

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Сеник Андрій Антонович

УДК 621.98.01

**ДИСЕРТАЦІЯ**

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗГОРТНИХ ВТУЛОК  
ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ ФОРМИ І ЯКОСТІ

05.02.08 – технологія машинобудування

13 – механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора  
філософії)

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ А.А. Сеник

Науковий керівник:  
Кривий Петро Дмитрович,  
кандидат технічних наук, доцент

Тернопіль – 2018

## АНОТАЦІЯ

*Сеник А.А.* Технологічне забезпечення виготовлення згортних втулок підвищеної точності форми і якості. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 «Технологія машинобудування». – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2018.

Дисертація присвячена теоретичним і експериментальним дослідженням технологічного процесу виготовлення згортних втулок підвищеної якості за показниками: точність форми внутрішньої циліндричної форми (ВЦП) за параметром відхилення від круглості *EFK*; зниження шорсткості поверхні, сформованої при вібраційному обкочуванні кулькою, та підвищення мікротвердості і ступеня зміцнення.

На основі огляду та аналізу існуючих технологічних процесів виготовлення згортних втулок і технологічного спорядження (оснащення) для їх реалізації встановлені певні недоліки, на основі яких визначені напрями досліджень для реалізації поставленої мети.

Теоретично досліджено величини відпружинювання при формуванні згортних втулок у напівциліндричній матриці і при транспортуванні у транспортному каналі, використання яких дасть можливість коректувати профілі деформуючих елементів (пуансонів) технологічного спорядження, що забезпечить підвищення точності форми.

Використано імовірісно-статистичний метод і гармонічний аналіз на основі тригонометричних рядів Фур'є для оцінювання відхилень від круглості ВЦП згортних втулок, сформованих при різних значеннях кривини транспортного каналу. Встановлено, що запропонований технологічний процес після згортання втулки забезпечує зменшення відхилення від круглості по відношенню до цього параметра, сформованого при традиційному процесі, у 2,4-5,6 разів.

Встановлено, що у запропонованому технологічному процесі максимальне зусилля формування у 1,4 рази менше, ніж у традиційному.

Відзначено, що збільшення зусилля обкочування поверхні заготовки кулькою від 0 до 200; 250; 300 і 350 Н забезпечує такі математичні сподівання параметра шорсткості середнього арифметичного відхилення профіля  $R_a$ : 0,69; 0,55; 0,40; 0,28 і 0,24 мкм відповідно.

Математичне сподівання мікротвердості зміцненої поверхні шляхом обкочування кулькою із зусиллям: 0; 200; 250; 300 і 350 Н відповідно склало: 12,58; 16,65; 18,11; 19,48 і 20,65 (кгс/мм<sup>2</sup>), а ефективність такого технологічного прийому підтверджена критерієм Стьюдента.

**Ключові слова:** згортна втулка, величина відпружинювання, точність форми, шорсткість, ступінь зміцнення.

## ANNOTATION

*Senyk A.A.* Technological equipment for producing turning bushes of advanced shape and quality – Qualification scientific manuscript.

Dissertation is submitted for the scientific degree of “Candidate of Sciences” (Engineering) in specialism 05.02.08 «Mechanical Engineering». – Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2018.

The dissertation is devoted to the theoretical and experimental investigations of the manufacturing process for producing turning bushes of the advanced quality according to such criteria: accuracy of the internal cylinder surface (ICS) shape due to the deflection parameter from the *EFK* rounding; decrease of the surface roughness, caused by its vibration rolling by the ball, increasing its micro-hardness and the level of strengthening.

Basing on the review and analysis of the available manufacturing processes for producing turning bushes and technological equipment, some shortcomings and unknown problems have been revealed, basing on which the areas of investigations for obtaining the goal have been determined.

The values of springing while shaping of turning bushes in the semi-cylinder matrix have been investigated theoretically, as well as their movement in the transporting channel. Their application will make it possible to correct the profiles of deforming elements (punches) of the technological equipment, which will contribute to the increase of the shape precision.

The probability-statistic method and the harmony analysis, basing on the trigonometric Fourier's series, have been used to estimate the deflections at the ICS rounding of turning bushed, formed at different values of the transporting channel curvature. It was determined, that the proposed manufacturing process after the bush being turned, provides sufficient decrease of curvature deflection, as compared with that, being formed during the conventional manufacturing process, in 2,4-5,6 times.

It was determined, that the maximum forming force in the proposed manufacturing process is in 1,4 times lower than that in the conventional one.

It was stressed, that the increase of the rolling force of the blank surface by the ball from 0 till 200; 250; 300 and 350 N correspondingly provides such values of the mathematic expectations of the average mathematic deflection of the profile  $R_a$ : 0,69; 0,55; 0,40; 0,28 and 0,24 mkm.

Mathematic expectations by the ball rolling of its surface with the forces 0; 200; 250; 300 and 350 N correspondingly were 12,58; 16,65; 18,11; 19,65 (kgs/mm<sup>2</sup>), and the efficiency of this manufacturing process is proved by the Student's criterion.

**Key words:** turning bush, springing value, shape accuracy, roughness, level of strengthening.

### **Список публікацій здобувача:**

#### ***Публікації в закордонних збірниках***

1. Theoretical and Experimental Substantiation of Angle Orientation of Rolling Bushings of Roller and Bushing Chains / P. Kryvyu, P. Kryvynsryy, V. Bodnar, I. Sotnyk, A. Senyk // Paper no. MSEC 2007-31211 International Manufacturing Science and Engineering conference. Oktober 15-1. - Atlanta,



Georgia, USA, 2007. - pp. 623-627. (Автором на основі гармонічного аналізу із заданою імовірністю визначено достатню кількість гармонік. Індексується в міжнародній наукометричній базі SciVerse **Scopus**).

2. Синтез свертных втулок с раскрытым стыковым швом для приводных роликовых и втулочных цепей / П.Д. Кривый, А.А. Сеник, В.Р. Кобельник, П.П. Кривинский // Международный инженерный журнал “Приводы и компоненты машин” ООО НПП “Подъемтранссервис”. – Москва, 2016. - №1-2 (19). – С.12-17. (Автором на основі теорії розмірних ланцюгів досліджено допустимі максимальні і мінімальні значення величини розкриття стикових швів втулок, на торцевих поверхнях яких виконані фаски).

### *Публікації у фахових виданнях України*

3. Кривий П.Д. Технологічне спорядження для формування згортних втулок / П.Д. Кривий, А.А. Сеник // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2003. – Том 8. – №2. – С. 29-34. (Автором запропоновано різні варіанти механізмів повороту деформуючих фільтер в процесі калібрування згортної втулки).

4. Кривий П.Д. Приведена сила тертя і величина відпружинення при переміщенні прямокутної карточки в криволінійному каналі / П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник, А.А. Сеник // Міжвузівський збірник “Наукові нотатки” ЛДТУ. – Луцьк, 2005. – №17. – С. 192-198. (Автором запропонована геометрична модель транспортування плоскої карточки у криволінійному радіусному каналі і залежності для визначення сили тертя).

5. Кривий П. Методика експериментального дослідження зусилля формування згортних втулок / П. Кривий, А. Сеник // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2007. – Том 12. – №1. – С. 53-59. (Автором запропонована і реалізована методика фіксації значень динамометра та обробки експериментальних даних на ПК).

6. Згортна втулка для приводних роликових і втулкових ланцюгів / О.Л. Бондаренко, В.Р. Кобельник, П.Д. Кривий, П.П. Кривинський, А.А. Сеник // Збірник наукових праць “Процеси механічної обробки в машинобудуванні”

ЖДТУ. – Житомир, 2009. – Вип. 6. – С. 68-81. *(Автором запропоновано профіль стикового шва і методика визначення імовірності попадання в контакт з валіком певної довжини цього шва).*

7. Формування на плоских поверхнях віброобкочуванням регулярного мікрорельєфа з підвищеним ступенем перекриття / П.Д. Кривий, Н.П. Кашуба, А.А. Сенік, П.П. Кривінський // Збірник наукових праць “Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем” ДДМА. – Краматорськ, 2011. - Вип. №29. – С.138-145. *(Автором теоретично досліджено вплив елементів режиму вібраційного обкочування на відносну площу віброобкочування).*

8. Сенік А.А. Конструкторсько-технологічне забезпечення підвищення точності форми згортних втулок / Сенік А.А. // Збірник наукових праць “Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем” ДДМА. – Краматорськ, 2017. - Вип. № 41. – С. 46 - 55.

### ***Патенти України***

9. Дек. Пат. 55106А Україна, МПК В21D 05/10. Пристрій для формування згортних втулок / Кривий П.Д., Сенік А.А.; заявник і патентоотримувач ТДТУ ім. І. Пулюя. – № 2002 075349; заявл. 01.07.2002; опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3. *(Частка всіх авторів однакова).*

10. Пат. 81025 Україна, МПК В24В 39/00 (2013.01). Пристрій для обробки плоских поверхонь віброобкочуванням / Кривий П.Д., Кашуба Н.П., Сенік А.А., Кривінський П.П.; заявник і патентоотримувач Кривий П.Д., Кашуба Н.П., Сенік А.А., Кривінський П.П. – № а2012 13722; заявл. 30.11.2012; опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12. *(Частка всіх авторів однакова).*

11. Пат. 78307 Україна, МПК В21D 5/00 (2013.01). Спосіб виготовлення згортної втулки / Сенік А.А., Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Бондаренко О.Л., Кривінський П.П.; заявник і патентоотримувач ТНТУ ім. І. Пулюя. – № U2012 11625; заявл. 08.10.2012; опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5. *(Частка всіх авторів однакова).*

12. Пат. 78947 Україна, МПК В21J 1/02 (2006.01). Заготовка для згортної втулки / Кривий П.Д., Сенник А.А., Бондаренко О.Л., Кривінський П.П.; заявник і патентоотримувач Кривий П.Д., Сенник А.А., Бондаренко О.Л., Кривінський П.П. – № U2012 09702; заявл. 10.08.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7. (*Частка всіх авторів однакова*).

13. Пат. 90980 Україна, МПК В21D 5/10 (2006.01). Пристрій для виготовлення згортних втулок із листових заготовок / Бондаренко О.Л., Кривінський П.П.; Кривий П.Д., Сенник А.А., Шпак Р.І.; заявник і патентоотримувач Бондаренко О.Л., Кривінський П.П.; Кривий П.Д., Сенник А.А., Шпак Р.І. – № U2014 02250; заявл. 05.03.2014; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11. (*Частка всіх авторів однакова*).

14. Пат. 92285 Україна, МПК В21J 1/00 (2014.01). Заготовка для згортної втулки / Кривий П.Д., Сенник А.А., Кривінський П.П., Бондаренко О.Л.; заявник і патентоотримувач Кривий П.Д., Сенник А.А., Кривінський П.П., Бондаренко О.Л. - №u2014 02253; заявл. 05.03.14; опубл. 11.08.14, Бюл. №15. (*Частка всіх авторів однакова*).

15. Пат. 92908 Україна, МПК В21L 19/00 (2014.01). Згортна втулка / Сенник А.А., Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Кривінський П.П., Бондаренко О.Л.; заявник і патентоотримувач Сенник А.А., Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Кривінський П.П., Бондаренко О.Л. - №u2014 03385; заявл. 02.04.14; опубл. 10.09.14, Бюл. №17. (*Частка всіх авторів однакова*).

16. Пат. 112745 Україна, МПК (2016.01) В21J 1/00 F16G 13/18 (2006.01). Згортна втулка / Сенник А.А.; заявник і патентоотримувач ТНТУ ім. І. Пулюя. – № U2016 07262; заявл. 04.07.2016; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24.

17. Пат. 115787 Україна, МПК В29С 47/12 (2006.01). Розрізна пружна фільера для калібрування згортних втулок / Сенник А.А.; заявник і патентоотримувач ТНТУ ім. І. Пулюя. – № U2016 11727; заявл. 21.11.2016; опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8.

18. Пат. 116144 Україна, МПК В29С 47/12 (2006.01). Розрізна пружна фільера для калібрування згортних втулок з n-вершинним огранюванням /

Кривий П.Д., Сенік А.А., Тимошенко Н.М.; заявник і патентоотримувач ТНТУ ім. І. Пулюя. – № U2016 11723; заявл. 21.11.2016; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9. (Частка всіх авторів однакова).

### *Тези конференцій та семінари*

19. Кривий П.Д. Технологическое обеспечение точности формы свертных втулок приводных роликовых и втулочных цепей / П.Д. Кривий, П.П. Кривий, А.А. Сенік // Матеріали міжнародної ювілейної науково-практ. конф. “Учебная, научно-практическая и инновационная деятельность высшей школы в современных условиях”. Направление научно-производственная и инновационная деятельность высшей школы в современных условиях: тезисы док. – Оренбург: ОГУ, 2001. – С. 218-219. (Автором запропоновано корекцію робочих профілів деформуючих інструментів, що забезпечує підвищення точності форми).

20. Кривий П. Новый метод контролю відхилень від круглості згортних втулок / П. Кривий, А. Сенік, В. Лазарюк // Матеріали VI наук. конф. Терноп. держ. техн. універ. ім. Івана Пулюя: 24-26 квітня 2002: тези доп. – Тернопіль: ТДТУ, 2002 – С. 46. (Автором запропоновано для контролю значних відхилень від круглості застосувати відомий метод проектування, використавши ПК).

21. Кривий П.Д. Вплив кратності калібрування на відхилення від круглості згортних втулок / П.Д. Кривий, Є.І. Горлій, А.А. Сенік // Тези доп. на 6-му Міжнар. симпозиумі укр. інженерів-механіків у Львові: 21-23 травня 2003: тези доп. – Львів: КІНПАРИ ЛТД, 2003 – С.103. (Автором запропоновано використати для обґрунтування кількості фільтрів і оцінки ефективності калібрування середні значення відхилень від круглості та дисперсії за критеріями Стьюдента і Фішера).

22. Статистична оцінка на основі гармонічного аналізу впливу технології формування циліндричних поверхонь на відхилення їх від круглості / П. Кривий, А. Сенік, В. Коломієць, Н. Тимошенко, П. Кривінський // Збірник тез доп. Міжнар. наук.-тех. конф. молодих учених та студентів “Актуальні

задачі сучасних технологій”: 21 – 22 грудня 2010 р.: тези доп. – Тернопіль: ТНТУ, 2010. – С. 53. *(Автором запропоновано використання критерію  $\lambda_0$  для перевірки гіпотези миттєвого розсіювання і відсутності систематичних похибок).*

23. Сенік А.А. Статистичне оцінювання відхилень від круглості згортних шкворневих втулок автомобілів / А.А. Сенік // Матеріали міжнар. наук.-тех. конф. молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій”: 11 – 12 грудня 2013 р.: тези доп. – Тернопіль: ТНТУ, 2013. – С. 136.

24. Нова технологія виготовлення згортних втулок приводних роликів ланцюгів на основі імовірнісного підходу / П.Д. Кривий, А.А. Сенік, Н.М. Тимошенко, О.І. Яловий // Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Обладнання і технології сучасного машинобудування»: 11-12 травня 2017р.: тези доп. – Тернопіль: ТНТУ, 2017. – С. 92-93. *(Автором запропоновано технологічний процес виготовлення корсетної втулки з врахуванням величини бочкоподібності запресованих у пластини внутрішніх ланок втулок).*

25. До питання точності форми згортних втулок за параметром відхилення від круглості / П.Д. Кривий, В.О. Дзюра, Н.М. Тимошенко, А.А. Сенік // Збірник тез доповідей 8-мої Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування»: 28 – 29 вересня 2017 р.: тези доп. – Херсонська державна морська академія, 2017. – С. 434 – 435. *(Автором для оцінки відхилень від круглості запропонований новий параметр – коефіцієнт наповнення профілю).*

26. Сенік А. Економічна ефективність прогресивного технологічного процесу виготовлення згортних втулок для приводних роликів ланцюгів / А. Сенік // Матеріали Міжнар. наук.-тех. конф. “Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій” присвяченої 100-річчю з дня заснування НАН України та на вшанування пам’яті І. Пулюя (100 річчя з дня смерті): 22 – 24 травня 2018р.: тези доп. – Тернопіль: ТНТУ, 2018. – С. 159-160.

## ЗМІСТ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>   | <b>14</b> |
| <b>РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД І АНАЛІЗ ПРОГРЕСИВНИХ<br/>ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗГОРТНИХ<br/>ВТУЛОК І МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ТОЧНОСТІ ЇХ ФОРМИ .....</b> | <b>22</b> |
| <b>1.1. Згортна втулка як найважливіший елемент шарнірів механізмів<br/>та вузлів машин .....</b>   | <b>23</b> |
| <b>1.2. Огляд і аналіз прогресивних технологічних процесів<br/>виготовлення згортних втулок .....</b>   | <b>29</b> |
| <b>1.2.1 Аналіз технологічних процесів виготовлення згортних втулок<br/>методом періодичного деформування .....</b>                                 | <b>29</b> |
| <b>1.2.1.1 Аналіз технологічного процесу виготовлення згортних втулок<br/>фірми SEDIS (Франція).....</b>  | <b>29</b> |
| <b>1.2.1.2. Особливості технологічного процесу виготовлення згортних<br/>втулок на DITTON .....</b>   | <b>33</b> |
| <b>1.2.1.3. Особливості технологічного процесу виготовлення згортних<br/>втулок на заводі «Краснодарсільмаш» (РФ) .....</b>                         | <b>35</b> |
| <b>1.2.2. Аналіз технологічного процесу виготовлення згортних втулок<br/>методом послідовного деформування на НЗНА .....</b>                        | <b>38</b> |
| <b>1.3. Пристрій для формування згортних втулок методом<br/>послідовного деформування .....</b>   | <b>42</b> |
| <b>1.4. Огляд і аналіз деяких видів відхилень форми згортних втулок,<br/>методів їх вимірювання та оцінювання .....</b>                             | <b>44</b> |
| <b>1.4.1. Огляд і аналіз окремих видів відхилень форми згортних втулок...</b>   | <b>44</b> |
| <b>1.4.2. Огляд і аналіз методів вимірювання та оцінювання окремих<br/>видів відхилень форми згортних втулок .....</b>                              | <b>49</b> |
| <b>1.5. Висновки.....</b>   | <b>53</b> |

|   |  |            |
|---|--|------------|
| <b>РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОТВОРЕННЯ ФОРМИ U-ПОДІБНИХ ЗАГОТОВОК І СИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗГОРТНИХ ВТУЛОК .....</b> |  | <b>55</b>  |
| <b>2.1.</b>   | <b>Теоретичні дослідження величини відпруження U- подібних листових заготовок при їх пружно-пластичному деформуванні ..</b>  | <b>55</b>  |
| <b>2.2.</b>   | <b>Теоретичне дослідження загального зусилля, прикладеного до пуансона при послідовному деформуванні у транспортному каналі .....</b>  | <b>65</b>  |
| <b>2.3.</b>   | <b>Теоретико-експериментально-статистичне дослідження приведеної сили тертя і величини відпружинення при переміщенні прямокутної карточки у транспортному каналі з постійним радіусом <math>r</math> .....</b> | <b>77</b>  |
| <b>2.4.</b>   | <b>Теоретичне дослідження відносної площі віброобкочування з підвищеним ступенем перекриття .....</b>  | <b>83</b>  |
| <b>2.5.</b>   | <b>Імовірісно-статистичний метод визначення зусилля дорнування ВЦП згортних втулок .....</b>   | <b>91</b>  |
| <b>2.6.</b>   | <b>Висновки.....</b>   | <b>96</b>  |
| <b>РОЗДІЛ 3. ПРОГРЕСИВНІ КОНСТРУКЦІЇ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ЗГОРТНИХ ВТУЛОК І ТЕХНОЛОГІЧНЕ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ .....</b>     |  | <b>98</b>  |
| <b>3.1.</b>   | <b>Прогресивні конструкції заготовок згортних втулок .....</b>   | <b>98</b>  |
| <b>3.1.1.</b>   | <b>Заготовка згортної втулки у вигляді частково-циліндричної оболонки з опуклою внутрішньою поверхнею .....</b>  | <b>98</b>  |
| <b>3.1.2.</b>   | <b>Заготовка згортної втулки у вигляді спряжених різної кривини циліндричних оболонок.....</b>   | <b>99</b>  |
| <b>3.1.3.</b>   | <b>Заготовка згортної втулки із спряженими плоско-циліндричними ділянками .....</b>  | <b>101</b> |
| <b>3.2.</b>   | <b>Нові конструкції згортних втулок для ПРВЛ .....</b>   | <b>102</b> |

|   |  |            |
|---|--|------------|
| <b>3.2.1.</b>                                       | <b>Конструкція згортної втулки для ПРВЛ з комбінованою формою стикового шва .....</b>  | <b>102</b> |
| <b>3.2.2.</b>                                       | <b>Конструкція згортних втулок ПРВЛ з розкритим стиковим швом .....</b>  | <b>112</b> |
| <b>3.3.</b>   | <b>Технологічне спорядження з радіусним транспортним каналом для формування згортних втулок .....</b>  | <b>123</b> |
| <b>3.4.</b>   | <b>Технологічне спорядження для формування згортних втулок підвищеної точності форми .....</b>   | <b>131</b> |
| <b>3.5.</b>   | <b>Нова технологія виготовлення і використання згортних шкворневих втулок ходової частини деяких транспортних засобів .....</b>                                    | <b>139</b> |
| <b>3.6.</b>   | <b>Пружні фільтри для калібрування згортних втулок .....</b>   | <b>149</b> |
| <b>3.6.1.</b>                                       | <b>Розрізна чотирисекторна пружна фільтра .....</b>  | <b>150</b> |
| <b>3.6.2.</b>                                       | <b>Розрізна пружна 2n- секторна фільтра .....</b>  | <b>152</b> |
| <b>3.7.</b>   | <b>Висновки .....</b>  | <b>154</b> |
| <b>РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>       |  |            |
| <b>ЗУСИЛЛЯ ФОРМУВАННЯ ЗГОРТНИХ ВТУЛОК, ТОЧНОСТІ</b> |  |            |
| <b>ЇХ ФОРМИ, ШОРСТКОСТІ ТА СТУПЕНЯ ЗМІЩЕННЯ</b>     |  |            |
| <b>ВІБРООБКОЧЕНИХ ПОВЕРХОНЬ .....</b>               |  |            |
| <b>4.1.</b>   | <b>Установка і методика для експериментального дослідження зусилля формування згортних втулок .....</b>  | <b>156</b> |
| <b>4.2.</b>   | <b>Оброблення експериментальних результатів зусилля формування згортних втулок і їх аналіз .....</b>   | <b>164</b> |
| <b>4.3.</b>   | <b>Експериментальне дослідження впливу радіуса транспортного каналу і способу базування на відхилення від круглості втулок ПРВЛ після операції згортання .....</b> | <b>167</b> |
| <b>4.4.</b>   | <b>Імовірно-статистичний метод оцінювання точності форми ВЦП згортних втулок у внутрішніх ланках ПРВЛ .....</b>  | <b>170</b> |
| <b>4.5.</b>   | <b>Методика визначення впливу кратності калібрування на відхилення від круглості згортних втулок .....</b>   | <b>176</b> |



|               |   |            |
|---------------|---|------------|
| <b>4.6.</b>   | <b>Методика оцінювання відхилень від круглості згортних втулок за параметром «коефіцієнт наповнення форми» .....</b>  | <b>177</b> |
| <b>4.7.</b>   | <b>Експериментальне дослідження одиничних показників якості ВЦП згортних втулок .....</b>   | <b>179</b> |
| <b>4.7.1.</b> | <b>Експериментальне дослідження шорсткості поверхні, сформованої прокатною і обкочуваною кулькою .....</b>  | <b>179</b> |
| <b>4.7.2.</b> | <b>Експериментальне дослідження ступеня зміцнення ВЦП згортних втулок, сформованих поверхнево-пластичним деформуванням .....</b>  | <b>183</b> |
| <b>4.8.</b>   | <b>Висновки .....</b>   | <b>185</b> |
|               | <b>РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗГОРТНИХ ВТУЛОК ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ ФОРМИ І ЯКОСТІ НА ПРИКЛАДІ ВТУЛОК ДЛЯ ПР 19,05-3800 .....</b> | <b>187</b> |
| <b>5.1.</b>   | <b>Визначення економічної ефективності від економії електроенергії .....</b>  | <b>189</b> |
| <b>5.2</b>    | <b>Визначення економії коштів від зменшення кількості калібруючих комплектів фільтр .....</b>   | <b>191</b> |
| <b>5.3</b>    | <b>Економічна ефективність від підвищення ефективності використання основних фондів (<i>E<sub>o.ф.</sub></i>) верстатів для формування втулок .....</b>   | <b>191</b> |
| <b>5.4</b>    | <b>Визначення економічного ефекту у сфері експлуатації ПРВЛ за рахунок підвищення точності форми ВЦП згортних втулок і зносостійкості шарнірів ПРВЛ .....</b>                                   | <b>192</b> |
| <b>5.5.</b>   | <b>Висновки .....</b>   | <b>193</b> |
|               | <b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>   | <b>194</b> |
|               | <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>  | <b>196</b> |
|               | <b>ДОДАТКИ.....</b>   | <b>214</b> |

## ВСТУП

Технологічні процеси в період третьої технічної революції характеризуються високою концентрацією операцій, швидкістю і точністю їх виконання, глибоким теоретико-експериментальним обґрунтуванням з використанням сучасних досягнень фундаментальних досліджень з теорії імовірностей, теорії пружності, опору матеріалів, особливостей поверхневого пластичного деформування вібраційним обкочуванням.

У сотнях тисяч механізмів і машин широко використовуються приводні роликові і втулкові ланцюги, які оснащені згортними втулками, а також згортні втулки як елементи підшипників ковзання.

Для виготовлення таких втулок використовують сотні тисяч високовартісного сталевого прокату – конструкційних якісних сталей і десятки тисяч тонн прокату кольорових сплавів міді, переважно бронз і латуней.

Згортні втулки як важливі елементи конструкцій різних складальних одиниць виготовляються високотехнологічними фірмами Великобританії, Італії, Латвії, Німеччини, США, Франції, Швеції, Японії, Чехії, РФ.

Якісні параметри таких втулок як точність форми, точність геометричних параметрів, шорсткість, стабільність фізико-механічних характеристик, наприклад, твердість, однорідність структури, міцність тощо забезпечуються прогресивними технологічними процесами і належним технологічним обладнанням.

Проте застосування положень фундаментальних дисциплін при проектуванні технологічних процесів виготовлення згортних втулок та методів досліджень їх якісних показників не знайшло їх якісного застосування.

**Актуальність теми.** Сучасне машинобудування в результаті науково-технічної революції забезпечує виготовлення засобів виробництва, які характеризуються високою енергомісткістю, продуктивністю, швидкістю переміщення виконавчих елементів, точністю їх позиціонування. Для забезпечення таких характеристик до окремих деталей і складальних одиниць

машин ставляться підвищені вимоги щодо їх якості як сукупності показників, що визначають здатність виробу забезпечувати певні потреби відповідно до їх призначення.

Згортні втулки як деталі окремих складальних одиниць машин найширше використовуються у приводних роликівих і втулкових ланцюгах (ПРВЛ), а також як елементи підшипників ковзання (ЕПК). ПРВЛ, у свою чергу, широко використовують у транспортних системах: автомобілях, мотоциклах, велосипедах, а також у дорожніх та сільгоспмашинах, вертольотобудуванні, металорізальних верстатах тощо. Згортні втулки як ЕПК застосовують у механізмах газорозподілу двигунів внутрішнього згоряння (підшипники в коромислах клапанів), а також у ходовій частині деяких марок автомобілів.

Для виготовлення таких згортних втулок використовують тисячі тонн високоякісного прокату як чорних, так і кольорових сплавів.

Згортні втулки для ПРВЛ виготовляють із якісних сталей з наступним термічним або хіміко-термічним обробленням, а втулки для ЕПК – переважно зі сплавів міді – бронз і латуней.

Згортні втулки при функціонуванні ПРВЛ піддаються ударним і згинним навантаженням, а також зношуванню в результаті контакту їх ВЦП з валиком, а згортні втулки для ЕПК, як правило, піддаються зношуванню по своїх внутрішніх циліндричних поверхнях.

Інтенсивність зношування контактуючих циліндричних поверхонь значною мірою залежить від таких показників якості як точність форми поперечного перерізу ВЦП за параметром відхилення від круглості, який впливає на дійсну площу контакту, та від фізико-механічних властивостей поверхневого шару ВЦП, а саме його мікротвердості і шорсткості.

Тому здійснення технологічного забезпечення виготовлення згортних втулок підвищеної точності форми і якості поверхневого шару з розробленням імовірісно-статистичних методик оцінювання відхилень від круглості та мікротвердості і шорсткості віброоброблених поверхонь є актуальним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Дисертаційна робота відповідає тематиці, яка передбачена переліком тематичних наукових досліджень і розробок вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації та наукових установ Міністерства освіти і науки на 2012-15 рр. наказ МОН України від 07.06.2011 №535, а також плану держбюджетної науково-дослідної теми: «Розробка наукових основ створення надтвердої високотемпературної кераміки і методики дослідження її різальної здатності» (2002–2004р.р.) (номер державної реєстрації 0102U002298).

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення якості згортних втулок шляхом технологічного забезпечення підвищеної точності їх форми за параметром відхилення від круглості та зміцнення їх внутрішніх циліндричних поверхонь.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

– втконати огляд і аналіз прогресивних технологічних процесів виготовлення згортних втулок, існуючого технологічного спорядження для їх виготовлення та методів контролю точності їх форми за параметром відхилення від круглості;

– виконати теоретичні та експериментально-статистичні дослідження величини відпружинювання заготовки і силових характеристик процесу формоутворення згортних втулок;

– розробити імовірісно-статистичний метод визначення зусилля дорнування ВЦП згортних втулок;

– теоретично визначити відносну площу вібраційного обкочування при формуванні на ВЦП втулки регулярного мікрорельєфу із підвищеним ступенем перекриття залежно від елементів віброобкочування;

– розробити прогресивні конструкції заготовок для згортних втулок, технологічне та інструментальне спорядження для їх виготовлення, а також установку для дослідження зусилля формування згортних втулок;

- дослідити закономірності зміни зусилля формування згортних втулок при транспортуванні заготовки у транспортному каналі;
- розробити методики для оцінювання в імовірнісному аспекті точності форми ВЦП згортних втулок, ступеня зміцнення поверхневого шару при вібраційному обкочуванні та шорсткості віброобкоченої поверхні за параметром  $R_a$ ;
- розробити методику визначення очікуваної економічної ефективності від впровадження запропонованих технічних рішень у виробництво.

*Об'єкт дослідження* – процес формування згортних втулок підвищеної якості за параметром точності форми та зміцнення робочої поверхні.

*Предмет дослідження* – силові характеристики процесу формування згортних втулок, точність форми та ступеня зміцнення їх внутрішньої циліндричної поверхні.

*Методи дослідження.* Основою досліджень є системний підхід до вивчення та аналізу взаємозв'язку між конструкторсько-технологічним забезпеченням формування згортних втулок та їх якісними показниками. В основу теоретичних досліджень покладено підходи та принципи фундаментальних положень теорії пружності і пластичності, технології машинобудування й опору матеріалів, оброблення металів тиском, теорії імовірності та математичної статистики, гармонічного аналізу з використанням тригонометричних рядів Фур'є.

Достовірність теоретичних результатів перевірялась експериментальними методами з використанням сучасних стандартних високоточних приладів як, наприклад, профілометра та кругломіра і спеціально розробленого обладнання.

Обробку окремих отриманих результатів здійснювали з використанням розробленого програмного забезпечення.

### **Наукова новизна отриманих результатів:**

- вперше досліджено залежності для визначення загального зусилля при транспортуванні встановленої кількості заготовок (карточок) у

транспортному каналі та формуванні згортних втулок у циліндричній пустотілій матриці;

- вперше запропоновано імовірно-статистичний метод визначення зусилля формування шкворневих втулок та отримані залежності для визначення математичного сподівання і дисперсії;

- вперше обґрунтовано й запропоновано новий параметр оцінювання відхилення від круглості – коефіцієнт наповнення профілю;

- вперше на основі теорії малої вибірки і методу ітерацій запропоновано методику визначення необхідної та достатньої кількості деформуючих і калібруючих фільтрів при фінішній обробці згортних втулок;

- вперше отримано залежності для визначення величини розкриття стикового шва, на основі яких запропоновані нові конструкції втулок;

- вперше встановлено залежність між зусиллям віброобробчування і ступенем зміцнення та шорсткості за параметром  $R_a$  – середнє арифметичне відхилення профілю;

- вперше отримано закономірності зміни зусилля деформування заготовки при згортанні втулки, які статистично опрацьовано за методом ітерацій і в результаті отримано усереднену закономірність, яку апроксимовано тригонометричним рядом Фур'є.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Запропонований новий технологічний процес згортання втулки забезпечує підвищену точність форми за параметром відхилення від круглості.

Експериментально підтверджено ефективність запропонованих технологічних заходів, яка виражається у значному (майже на порядок) зменшенні відхилень від круглості поперечних перерізів згорнутих втулок.

Розроблено комплект конструкцій заготовок для згортних втулок та подано аналітичні залежності для визначення їх конструктивних параметрів.

Розроблено нові конструкції згортних втулок як для ПРВЛ, так і для вузлів машин, у яких згортні втулки виконують функції ЕПК. Особливість

нових конструкцій втулок для ПРВЛ полягає в тому, що стиковий шов непрямолінійний. Це дає можливість уникнути лінійного контакту стикового шва як своєрідного леза по всій довжині втулки, а для ЕПК наявність одного або декількох наскрізних отворів на бічній поверхні втулки, що є ключем кутової орієнтації, яка забезпечить у зоні контакту валика із внутрішньою поверхнею згортної втулки її мінімальне відхилення від круглості.

Запропоновані нові конструктивні рішення для формування згортних втулок, які забезпечують підвищення точності форми за параметром відхилення від круглості та підвищення стійкості калібруючих фільтер за рахунок їх повороту на певний кут за один подвійний хід пуансона.

Розроблена методика визначення конструктивних параметрів заготовок згортних втулок і елементів пристрою для їх калібрування на основі імовірнісного підходу.

Технічна новизна розробок захищена 10-ма деклараційними патентами України на корисні моделі.

На НВ ПМП “Промтехконструкція” (м. Краматорськ) і на заводі приводних ланцюгів “DITTON” (м. Даугавпілс) знайшла застосування “Методика визначення деяких конструкторських параметрів заготовок згортних втулок і пристрою для їх калібрування на прикладі згортної втулки ТРД 38-3116-12Т».

Окремі патенти впроваджено на приватному підприємстві “Кам’янець-Подільськагрегат” – Пат. 112745; на ТОВ “БІГМА” м. Тернопіль – Пат. 92908, на ТОВ “Кабельний завод” м. Кам’янець-Подільськ – Пат. 115787.

Сумарний економічний ефект від застосування склав 19220 грн.

Окремі результати роботи використовуються у навчальному процесі при підготовці фахівців галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» при викладанні дисциплін: «Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин», «Технологія обробки деталей тиском» у ТНТУ ім. І. Пулюя.

**Особистий внесок здобувача.** Основні теоретичні та експериментальні дослідження за темою дисертації автор отримав особисто. Роботи [127, 128] одноосібні. У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить: визначення на основі гармонічного аналізу відхилень від круглості достатньої кількості гармонік [150], отримання залежностей для визначення максимальних і мінімальних значень розкриття стикового шва згортних втулок [133], застосування різних варіантів механізмів повороту деформуючих фільєр [72], розроблення геометричної моделі транспортування плоскої карточки у радіусному каналі і визначення сили тертя та методи фіксації зусиль в процесі формування втулок [70, 71], розроблення методики визначення імовірності попадання стикового гвинтового шва у контакт з валиком [51], отримання залежностей для визначення впливу елементів режиму вібраційного обкочування на відносну площу віброобкочування [144], розроблення корекції профілів деформуючих інструментів та методів контролю і статистичної оцінки відхилень від круглості та кратності калібрувань [62, 68, 76, 130, 136], розроблення технологічних процесів виготовлення корсетної втулки [87].

Особистий внесок здобувача в експериментальних дослідженнях полягає у розробленні методик і залежностей для оброблення експериментальних даних та визначення складових економічного ефекту, а також створення установки для здійснення експериментів. Постановка завдань, аналіз і трактування отриманих результатів виконані спільно з науковим керівником.

**Апробація матеріалів дисертації.** Основні положення та результати роботи доповідались й обговорювались на: Наук.-практ. конф. ТНТУ ім. І. Пулюя у 2001, 2002, 2004-2013, 2017-2018.; Міжнар. ювіл. наук.-практ. конф. “Навчальна, науково-практична і інноваційна діяльність вищої школи в сучасних умовах”. (Оренбург, 2001), II Всеукр. наук.-техн. конф. “Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво” (Суми, 2002); Міжнар. симпозіумі українських інженерів-механіків у Львові (Львів, 2003, 2011); Міжнар. наук.-техн. конф. студ., асп. та



молодих вчених (Севастополь, 2004); Міжнар. наук.-техн. конф. “Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку” (Краматорськ, 2006); International Manufacturing Science & Engineering Conference (Atlanta, 2007); VII Всеукр. молод. наук.-техн. конф. “Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво” (Одеса, 2007); допов. “Приводы и компоненты машин” (Москва, 2013(06)); Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування (Херсон, 2014, 2016, 2017); VI міжнар. наук.-практ. конф. «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»: (Чернігів, 2016).

Результати роботи доповідались й отримали позитивний відгук на розширеному засіданні науково-технічного семінару ТНТУ ім. І. Пулюя (2018).

**Публікації.** Результати наукових досліджень викладено у 48 друкованих працях, з яких: 6 статей у фахових виданнях України, 2 у закордонних виданнях (США і РФ), одна з яких входять до міжнародної наукометричної бази даних SCOPUS, 10 патентів України (деклараційні і на корисні моделі), 30 тез у збірниках матеріалів міжнародних науково-технічних конференцій та симпозіумів.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 155 найменувань та додатків. Загальний обсяг дисертації 245 сторінки, у тому числі 195 сторінок основного тексту, 93 рисунки, 15 таблиць.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД І АНАЛІЗ ПРОГРЕСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗГОРТНИХ ВТУЛОК ТА МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ТОЧНОСТІ ЇХ ФОРМИ

Огляд літературних джерел та охоронних документів на винаходи, що стосуються технологічних процесів виготовлення згортних втулок, показав широкий спектр технічних рішень, які забезпечують їх необхідну якість. Слід відзначити, що згортні втулки для ПРВЛ масово виготовляються провідними високотехнологічними закордонними фірмами як, наприклад, Chain Belt (США); IWIS і Wippermann (ФРН); Renold (Великобританія), Elite (Швеція), Regina (Італія), DITTON (Латвія), Tsubaki (Японія), Новосибірський завод низьковольтної апаратури (НЗНА), Краснодарськмаш, Алтайський завод геологічного обладнання (АЗГРО) і підприємства поштової скриньки м. Тузла (Російська Федерація (РФ)). В Україні такі втулки виготовляються заводами: Дніпропетровським заводом приводних ланцюгів та електродів (ДЗПЛЕ) і фірмою “Промтехконструкція” м. Краматорськ.

В першу чергу необхідно відзначити, що створенню технологічних процесів і дослідженню якісних показників згортних і цільних втулок присвячені наукові роботи багатьох вчених, зокрема: Саленієкса Н.К. [124], Балцера Е.А. [14] (Латвія), Kuntzman P. [151] (Франція); Rachner H. G. [153] (ФРН), Азнауряна Р.В. [13], Іскандерова І.І. [55] (Азербайджан); Малова А.Н. [81], Романовського Б.В. [122], Жукова К.П. [49, 50], Туліна Ю.В. [142], Колева К.С. [58], Івашкова І.І. [53], Проскуракова Ю.Г. [112], Осипова Ю.К. [91], Шведова І.А. [146] (РФ); Медвідя М.В. [82], Огнівця В.А. [88], Глущенко І.П. [31], Дубиняка С.А. [42], Кривого П.Д. [74] (Україна) та інших.

Аналіз вищеподаного переліку літературних джерел показав, що існуючі технологічні процеси виготовлення деталей типу згортна втулка, створених на базі результатів значних наукових досліджень забезпечують належний рівень якості згортних втулок, регламентованих існуючими стандартами.

## 1.1. Згортна втулка як найважливіший елемент шарнірів механізмів та вузлів машин

Згортні втулки досить широко використовуються як складові елементи ПРВЛ різноманітних механізмів та машин, зокрема у приводах механізмів газорозподілу та систем мащення двигунів внутрішнього згорання автомобілів та деяких кораблів, механізмах керування польотом вертольотів, у сільськогосподарських і дорожніх машинах, трансмісіях потужних ескаваторів і як елементи підшипників ковзання в шатунно-поршневих спряженнях та ходових частинах, а також різних транспортних засобах (велосипедах, мотоциклах) тощо.

Згортна втулка являє собою пустотілий тонкостінний циліндр зі стиковим швом, у якого відношення  $K_c$  його довжини  $L$  до зовнішнього діаметра  $D$ , як правило, знаходиться в межах 1,3-2,5, тобто  $K_c = L/D = 1,3 \div 2,5$ . Креслення деяких згортних втулок для ПРВЛ різних виробників подані на рис. 1.1.

Відомі різні конструкторські варіанти згортних втулок ПРВЛ. Так фірма Chain Belt (США) [50] використовує згортні втулки з накрізними овальними отворами, розміщеними посередині висоти втулки на самому стиковому шву. Цей отвір є ключем для кутової орієнтації втулки стиковим швом всередину внутрішньої ланки ПРВЛ і служить для подачі мастила.

Німецька фірма IWIS у дворядному втулковому ланцюгу з кроком 9,525мм [135] використовує згортні втулки з наскрізним отвором діаметром 0,8-1,0 мм як ключ для її орієнтації під кутом  $90^0$  розміщення стикового шва по відношенню до поздовжньої осі внутрішньої ланки.

Романовським Б.В. [122] подана конструкція згортної втулки, у якій посередині стикового шва виконаний наскрізний отвір, який для зорієнтованої згортної втулки забезпечує більшу податливість стінки втулки у отворі внутрішньої пластини, що зменшує в процесі входу в зачеплення шарніра ПРВЛ із зубцем зірочки величину осьових мікропереміщень втулки і тим самим підвищує фретингостійкість таких з'єднань.

У роботі [146] подані конструкції модернізованих згортних втулок, у яких на стиковому шві виконані декілька (1-3) наскрізних отворів або один наскрізний симетрично розміщений відносно половини висоти втулки поздовжній паз. На даний час відомо декілька видів стикових швів згортних втулок [85], які схематично показані на рис. 1.2.

Аналіз літературних джерел і експериментальних даних [35, 85, 114, 116, 142] показав, що найкращу якість стикових швів отримують при дорнуванні згортних втулок з прямим швом.

На багатьох машинобудівних заводах з метою економії матеріалів у серійному і масовому виробництвах суцільні товстостінні і тонкостінні втулки (при діаметрі менше 50 мм) замінюють на тонкостінні згортні втулки, які отримують гнуттям зі стрічок антифрикційних матеріалів [35, 90, 114, 116, 142]. При виготовленні втулок гнуттям коефіцієнт використання металу підвищується до 0,98 з одночасним зниженням трудомісткості і затрат на виготовлення [135].

За характером навантаження згортні втулки можна розділити на 2 класи. До першого класу відносяться такі згортні втулки, які у процесі свого функціонування передають значні зусилля і сприймають згинні нормальні навантаження, що прикладені на ділянках, розміщених на середині їх зовнішніх циліндричних поверхонь, а також сприймають рівномірно розподілені по колу нормальні доцентрові напруження, розміщені на їх краях, і своїми внутрішніми циліндричними поверхнями контактують з валиками, внаслідок чого виникають сили тертя і, як результат, має місце зношування контактуючих поверхонь.

До цього класу належать згортні втулки ПРВЛ [29].

Для виготовлення згортних втулок першого класу використовують конструкційні сталі переважно марок 0,8КП; 0,8ПС; 10КП; 12ХН; 65Г та інші.

Різними виробниками встановлена наступна точність розмірних параметрів згортних втулок першого класу для діаметрів циліндричних поверхонь: зовнішніх – 7-10 квалітет; внутрішніх – 8-11 квалітет; для висоти згортних втулок регламентовані точності в інтервалі 12-16 квалітету.

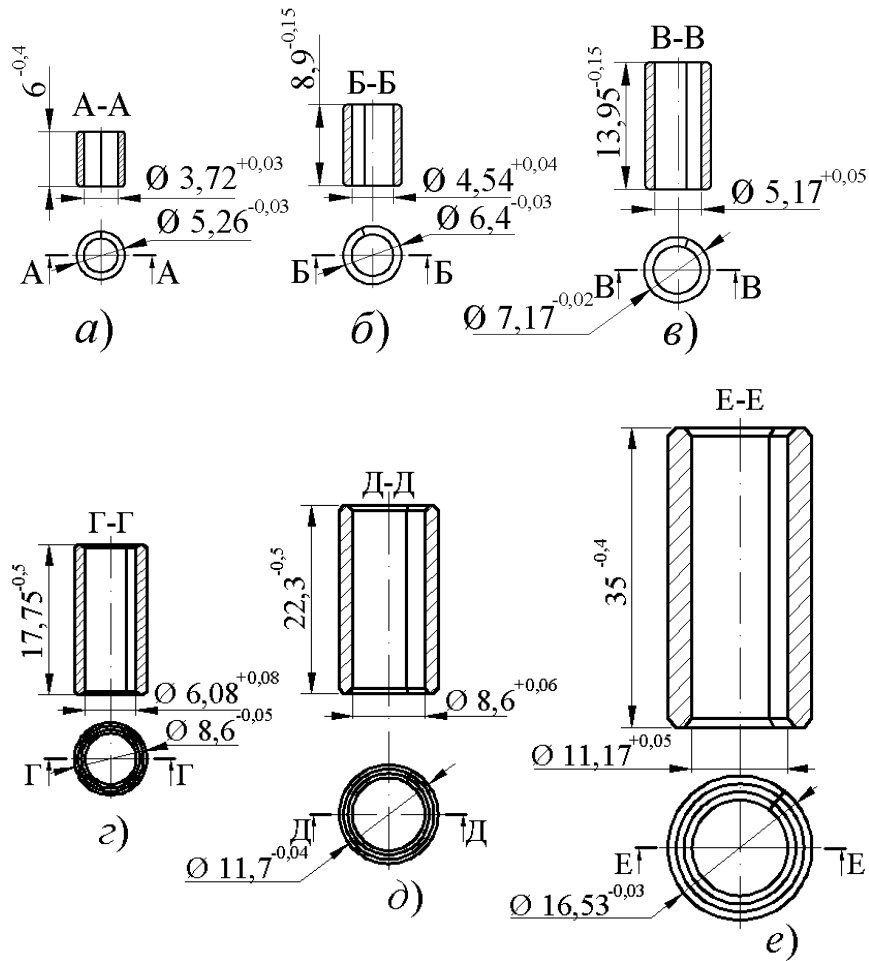


Рисунок 1.1 Згорні втулки для ПРВЛ різних виробників:

*a* – ПР-9,525; *б* – ПР-12,7; *в* – ПР-15,875 (DITTON); *г* – ПР-19,05 (НЗНА);

*д* – ПР-25,4 (ДЗПЛЕ, Промтехконструкція); *е* – ПР-38,1 (АЗГРО)

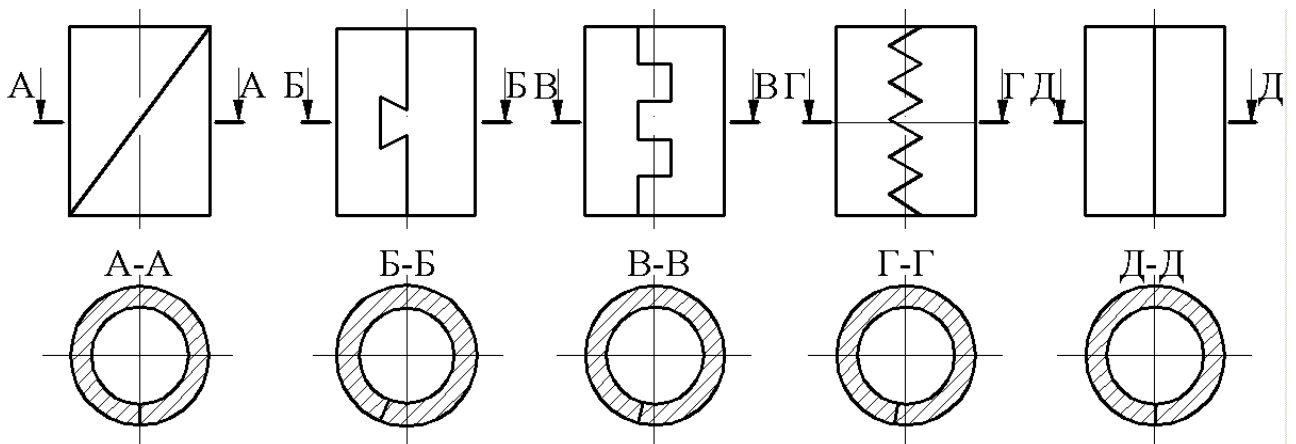


Рисунок 1.2 Деякі види стикових швів згортних втулок

Шорсткість циліндричних поверхонь згортних втулок: зовнішніх  $R_a$  1,6- $R_z$ 20; внутрішніх  $R_a$ 3,2-( $R_z$ 20); торцевих поверхонь  $R_a$ 1,6-( $R_z$ 320).

До недоліків доступної існуючої конструкторської документації на згортні втулки необхідно віднести окремо не вказані допуски форми [28] за параметрами: відхилення від циліндричності  $TFZ$ ; відхилення від круглості  $TFE$ ; відхилення від співвісності зовнішніх і ВЦП, відхилення профілю поздовжнього перерізу (відхилення прямолінійності твірних ВЦП) згортних втулок, запресованих у отвори внутрішніх пластин.

Окрім цього на кресленнях внутрішніх ланок ПРВЛ не вказані посадки спряжень між зовнішньою циліндричною поверхнею згортних втулок та отвором внутрішньої пластини ПРВЛ.

До другого класу віднесені згортні втулки, які виконують, в основному, функції антифрикційних ЕПК і з натягом запресовані у відповідні отвори корпусів із ВЦП, на зовнішні циліндричні поверхні яких діють нормальні рівномірно розподілені по всій бічній поверхні втулок напруження стиску, а їх ВЦП втулок сприймають навантаження з боку циліндричних поверхонь валиків або осей. Цього класу згортні втулки невеликого діаметра (в середньому <50мм) [90, 135] і виготовляють їх із холоднокатаних бронзових і латунних стрічок або інших антифрикційних матеріалів, які здатні деформуватись у холодному стані.

Орієнтовану товщину згортної втулки визначають за формулою  $L = 0,35\sqrt{D}$  [90]. ВЦП згортних втулок із бронзових або латунних стрічок (марок: БрОЦС, БрС, БрАЖ; Латунь Л-63, ЛС-59) після запресування у отвори корпусів піддають дорнуванню або розкочуванню [90, 135] і начисто оброблюють протяжкою із заокругленими калібруючими зубами [89]. Згортні втулки фіксують переважно шляхом розкочування в кільцеву канавку корпуса, який виготовлений зі сталі або чавуну. Такі згортні втулки, як правило, встановлюють у отвори корпусів з посадками  $H7/p6$ ,  $H7/r6$ ,  $H7/t7$ ,  $H7/u7$ .

Шорсткість робочих поверхонь згортних втулок другого класу призначають: зовнішніх  $R_a$  1,6-( $R_z$ 20); внутрішніх  $R_a$  3,2-( $R_z$ 20); торцевих

поверхонь  $R_{a1,6-(P_z320)}$ .

Аналіз [34, 52, 83, 89, 119, 125] показує, що основними показниками якості з'єднань типу «втулка-корпус» і вузлів підшипників ковзання є міцність спряження їх деталей, зносостійкість, точність форми, оптимальна шорсткість поверхонь отворів втулок.

Комплексним показником якості згортних втулок вважають зносостійкість їх функціональних поверхонь, яка формується такими одиничними показниками якості як: фізико-механічні властивості матеріалу втулки; точність геометричних розмірів (діаметрів зовнішніх і ВЦП); точність геометричної форми [28] (відхилення від циліндричності, бочкоподібність; відхилення від круглості поперечних перерізів; відхилення твірної ВЦП втулки від прямолінійності).

Фізико-механічні властивості матеріалу втулки формуються хімічним складом матеріалу і термічною його обробкою, яка забезпечує твердість і структуру матеріалу, наприклад, наявність хрому, вольфраму сприяє появі в хімічному складі відповідних карбідів  $GrC$ ,  $WC$ , що підвищує зносостійкість, а наявність у структурі фериту, аустеніту [39] спричиняє неоднорідність твердості й зниження зносостійкості.

При відносно великих плюсових допусках на зовнішній діаметр згортної втулки і виникненні при цьому значних натягів у пресових з'єднаннях згортна втулка – отвори внутрішніх пластин ПРВЛ, як наслідок, має місце значна за величиною радіальна деформація кінців згортних втулок у внутрішніх ланках ПРВЛ, що призводить до утворення бочкоподібності ВЦП згортних втулок і в кінцевому результаті – до кромкового контакту її з валиком [50]. Такий контакт спричиняє високу інтенсивність зношування шарнірів ПРВЛ, особливо на періоді припрацювання.

Вперше така радіальна деформація кінців втулок була досліджена Жуковим К.П. [50] і Кривим П.Д. [66]. При дослідженні [49] було прийнято припущення подавати згортну втулку як суцільну циліндричну оболонку, і тому величину радіальної деформації визначали як постійну величину на проміжку

[0,  $2\pi$ ]. Проте в роботах [66, 74] теоретично доведено і експериментально підтверджено те, що величина радіальної деформації кінців запресованих у отвори внутрішніх пластин втулок внутрішніх ланок ПРВЛ на проміжку [0,  $2\pi$ ] є змінною з певною закономірністю і її максимальна величина знаходиться у зоні стикового шва.

Відхилення від круглості як результат технологічної спадковості операцій і переходів при обробленні різанням циліндричних поверхонь (рис. 1.3) [74] та при формуванні згортних втулок і їх калібруванні зменшує фактичні площі контакту ВЦП втулки – валик, що призводить до збільшення питомого навантаження в шарнірі та інтенсивності зношування.

Окрім цього, відхилення від круглості зовнішньої циліндричної поверхні веде до зменшення площі контакту у пресовому з'єднанні втулка-отвір внутрішньої пластини. Це, в свою чергу зменшує міцність цього з'єднання (зусилля випресування втулки з отвору пластини, момент провертання втулки у отворі пластини [29]).

Для забезпечення регламентованого [27] значення моменту провертання збільшують величину натягу і, як наслідок, отримують ВЦП втулки зі значною бочкоподібністю. Відхилення від круглості згортних втулок, що використовуються у ходовій частині деяких автомобілів, так званих шкворневих, або у вузлах коромисел газорозподільного механізму двигунів внутрішнього згоряння, мають такий же вплив на умови контактування як і у ПРВЛ.

Тому забезпечення підвищення точності форми згортних втулок за параметрами відхилення від круглості їх поперечних перерізів, відхилення профілю поздовжнього перерізу та відхилення від прямолінійності твірної ВЦП, що формує бочко подібність, конструкторсько-технологічними методами сприяють підвищенню зносостійкості контактних поверхонь втулок і довговічності механізмів та вузлів машин, що забезпечить певний економічний ефект.



## 1.2. Огляд і аналіз прогресивних технологічних процесів виготовлення згортних втулок

### 1.2.1. Аналіз технологічних процесів виготовлення згортних втулок методом періодичного деформування

#### 1.2.1.1. Аналіз технологічного процесу виготовлення згортних втулок фірми SEDIS (Франція)

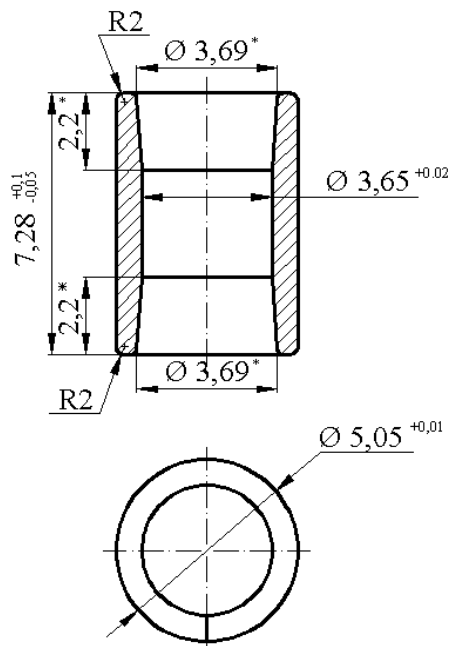
Згортні втулки для дворядного втулкового ланцюга з кроком 9,525 мм використовуються у приводних ланцюгах двигунів внутрішнього згоряння ряду провідних автомобілебудівних фірм і у механізмі керування польотом вертольотів. Креслення такої згортної втулки, виготовленої заводом DITTON, показане на рис. 1.3. У даному випадку подана, так звана, корсетна втулка, у якій кінцеві ділянки ВЦП являють собою зрізані конуси, обернені вершинами до середини втулки.

Технологічний процес виготовлення такої згортної втулки фірмою SEDIS (Франція) проілюстрований рис.1.4. Заготовкою для цієї втулки є карточка прямокутної форми, яку відрубують із спеціальної певної точності стрічки. Матеріал стрічки – високопластичні сталі марок: 08КП, 08ПС або 10КП.

Стрічку (плющенку) отримують із дроту шляхом багаторазового його прокатування на спеціальному прокатному стані у декількох клітях з використанням після кожної прокатки спеціальних індукторів і струмів високої частоти для зняття залишкових пластичних напружень. Кінцева точність прокатки забезпечує допуски: по товщині – 0,015 мм; по ширині – до 0,15 мм.

Для формування втулки використовують спеціальний верстат-автомат фірми SEDIS. Перша операція технологічного процесу 005 формування втулки.

На першій позиції (рис. 1.4, а) стрічку 1 подають до упору 7. Переміщенням ножа 2 вниз здійснюють рубку карточки, довжина якої визначається за формулою  $L_k = 2\pi r_n$ , де  $r_n$  – радіус нейтрального шару згорнутої втулки [125]. Над карточкою 3 симетрично відносно її середини вгорі



Технічні умови:

1. Нітроцементувати  $h$  0,1...0,2;  $HRC$  56...62.
2. Діаметри вказані до термообробки.
3. Матеріал: стрічка сталь 12ХН 0,73x7,2В. УМГТУ-4-93-69.
4. \* - розміри досягаються інструментом.

Рисунок 1.3 Корсетна згортна втулка для дворядного приводного втулкового ланцюга з кроком 9,525 мм приводу механізму газорозподілу і помпи системи мащення двигуна внутрішнього згоряння заводу DITTON (Латвія)

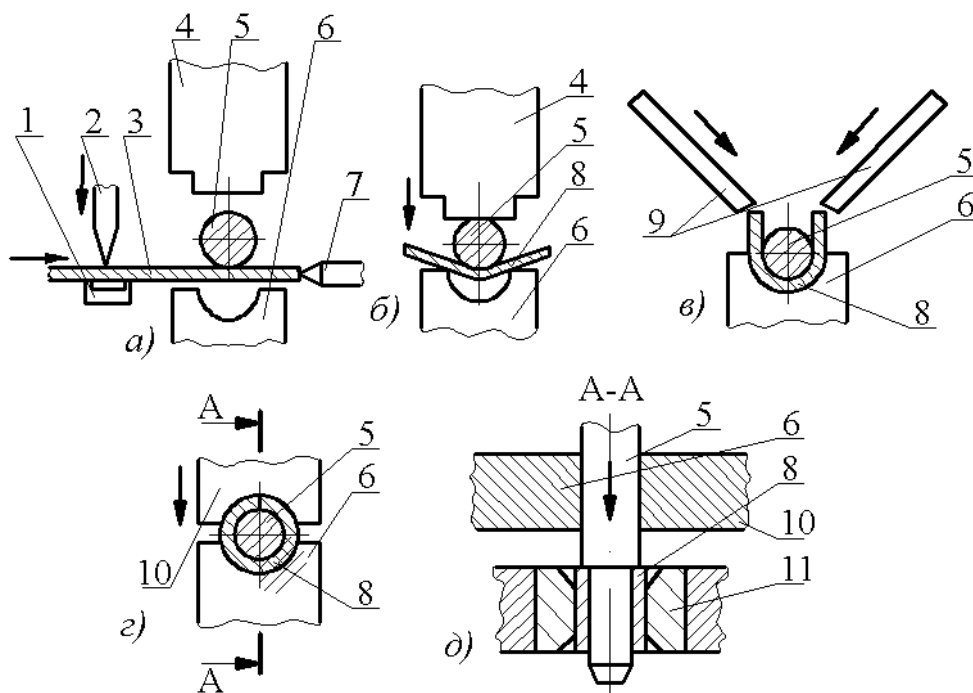


Рисунок 1.4 Схема переходів технологічного процесу виготовлення згортної втулки для втулкового приводного ланцюга фірми SEDIS (Франція)

розміщені пуансон 4 і оправка 5. Симетрично внизу під карточкою розміщена нижня напівматриця 6.

На другій позиції цієї операції (рис. 1.4, б) показано перший етап формування карточки шляхом переміщення назустріч один одному пуансона 4 і нижньої матриці 6 та отримання U- подібної заготовки 8.

На третій позиції (рис. 1.4, в) показано взаємодію нахилених пуансонів 9 з поверхнею U-подібної заготовки 8 і підгинання кінців карточки.

На четвертій позиції (рис. 1.4, г) подано кінцеві положення нижньої 6 і верхньої 10 напівматриць, при яких отримана згортна втулка 8. На зображенні перерізу А-А показано формування згортної втулки на оправці спеціального профілю, який забезпечує корсетність втулки. На перерізі А-А (рис.1.4, д) зображено калібрування втулки 8 у фільтрі 11 шляхом переміщення оправки 5 вертикально вниз. В подальшому калібруючий пуансон 5 переміщується вгору, а за рахунок відпружинювання згортна втулка дещо розкривається і, впираючись у торець фільтри або знімач, знімається з оправки і попадає у тару.

На другій операції 010 (термічній) (рис. 1.5) використовують спеціальну термічну піч 4, оснащену транспортером 3 із приймальним бункером 6. Сформовані згортні втулки 2 із бункера 1 попадають на транспортер 3, який з певною швидкістю проходить через піч 4, всередині якої розміщені зони для хіміко-термічної обробки (нітро-цементациї), гартування і відпуску. Термооброблені втулки 5 попадають в тару 6.

На третій операції 015 (шліфувальній) (рис. 1.6) здійснюють шліфування зовнішніх циліндричних поверхонь сформованих і термооброблених згортних втулок, використовуючи безцентрово-шліфувальний напівавтомат.

На четвертій 020 операції (першій контрольній), використовуючи статистичні методи, організовують вибірки через певний період експлуатації шліфувальних кругів і вимірюють зовнішній діаметр втулок при закритому стиковому шві, а також відхилення від круглості та неспіввісності зовнішньої та ВЦП втулок.

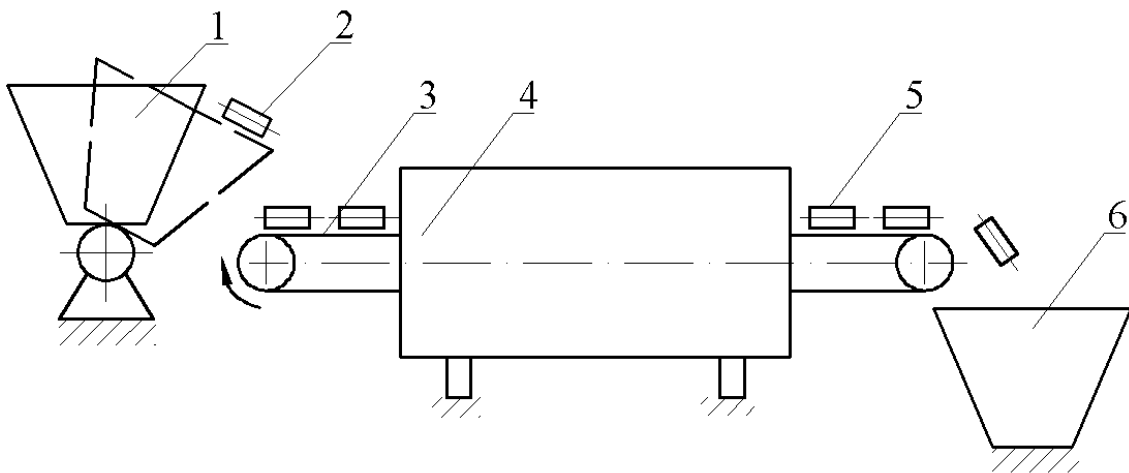


Рисунок 1.5 Схематичне зображення операції 010 – термічна обробка згортних втулок

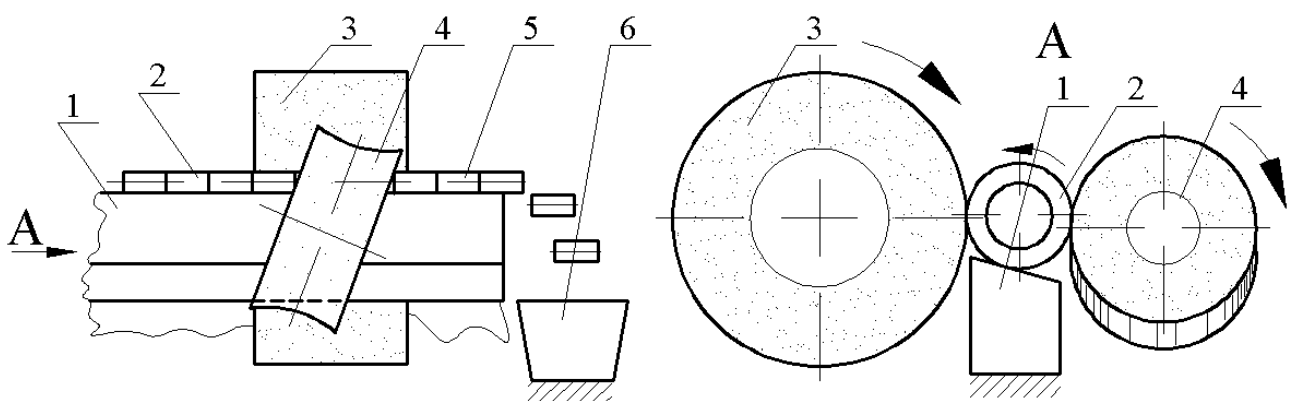


Рисунок 1.6 Схематичне зображення операції 015 – безцентрове шліфування зовнішньої циліндричної поверхні згортних втулок: 1 – опорний ніж; 2 – втулка, що підлягає шліфуванню; 3 – шліфувальний круг; 4 – ведучий круг; 5 – прошліфована втулка; 6 – тара

На п'ятій технологічній операції 025 (полірування) реалізують викінчуювальне оброблення з використанням віброабразивної установки. При цьому забезпечувались такі елементи режиму віброоброблення: амплітуда коливань – 5 мм; частота вібрацій – 20 Гц; тривалість оброблення – 45 хв. Робоче середовище – абразивний матеріал електрокорунд білий 54 С у вигляді куба і тетраєдра з величиною ребра до 10 мм, зернистістю 10-16, з керамічною зв'язкою середньої твердості та вода.

На шостій технологічній операції 030 (контрольній) здійснювався статистичний візуальний контроль відповідних конструкторських параметрів білизни оброблених зовнішніх поверхонь, наявність задирок і скруглень гострих кромки.

В результаті досліджень, здійснених у Ризькому технічному університеті (Латвія) Балцер Е.А. [14] і ТНТУ ім. І. Пулюя, (Україна) Кривим П.Д. [74], встановлено, що безцентрове шліфування спричиняє появу неспіввісності внутрішніх та зовнішніх циліндричних поверхонь згортних втулок. За даними [39] максимальна товщина стінки згортних шліфованих втулок має місце в зоні стикового шва як наслідок того, що під дією складових сил різання при шліфуванні зона шва як найменш жорстка має можливість деформуватися в радіальному напрямі й при цьому зменшується глибина різання, що призводить до збільшення у цій зоні товщини стінки і появи ексцентриситету згортних втулок. Слід відзначити, що наявність ексцентриситету згортних втулок негативно впливає на точність контактних кроків ПВЛ з кроком 9,525 мм [74].

#### **1.2.1.2. Особливості технологічного процесу виготовлення згортних втулок фірми “DITTON”**

В результаті теоретико-експериментальних досліджень, проведених у Ризькому технічному університеті під керівництвом проф. Салінієкса К.Н., запропонований удосконалений технологічний процес виготовлення згортних втулок для втулкового приводного дворядного ланцюга з кроком 9,525 мм., який призначений для двигунів внутрішнього згорання легкових автомобілів.

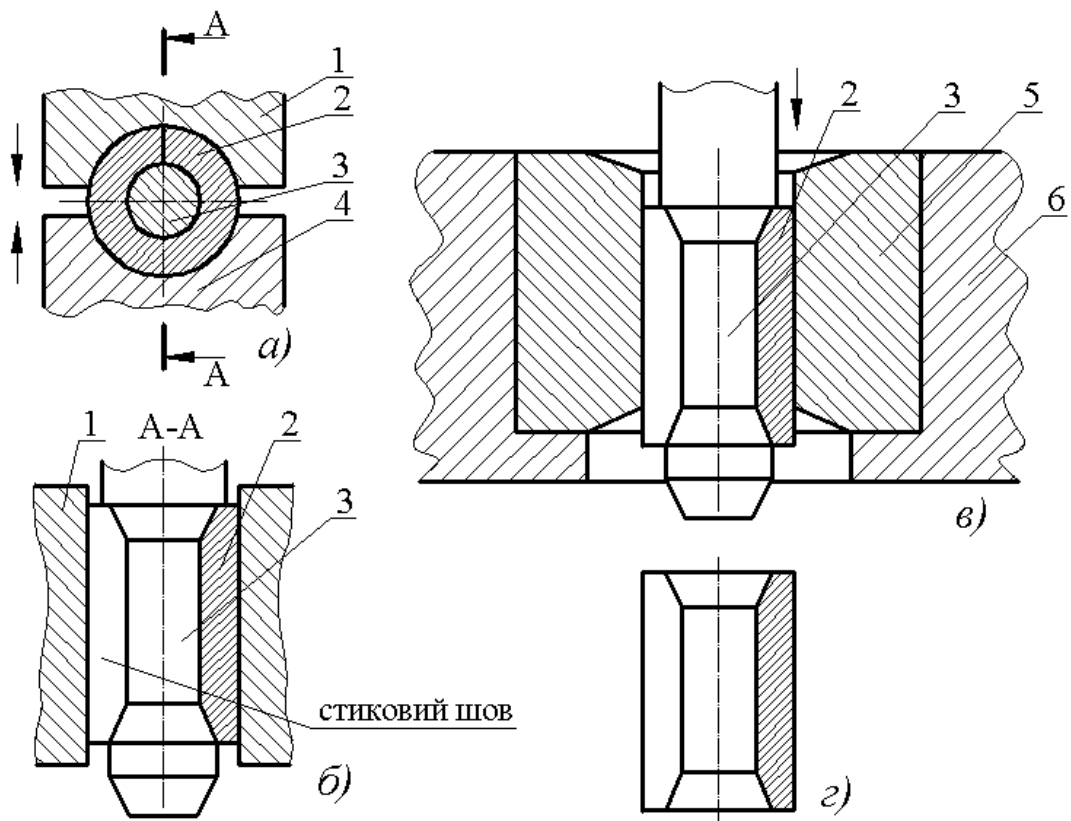


Рисунок 1.7 Схеми останніх переходів формування згортої втулки втулкового приводного дворядного ланцюга з кроком 9,525 мм.: *a* – положення на оправці 3 згортої втулки 2 у закритих верхній 1 і нижній 4 напівматрицях; *б* – переріз А-А рис.1.7, *a*; *в* – схема процесу калібрування згортої втулки 2, розміщеної на оправці 3 у калібруючій фільтері 5, встановленій у отворі плити 6;  
*г* – сформована корсетна втулка

Удосконалення технологічного процесу полягає у наступному.

По перше, згортну втулку формують на оправці удосконаленої конструкції (рис.1.7, а) з удосконаленими формуючими інструментами (пуансонами), профілі яких оптимізовані з урахуванням відпружинювання із наступним калібруванням у фільтері (рис.1.7, б), виконаний із твёрдосплавного матеріалу ВК20 (20% Со і 80% WC).

По друге, викінчувальну операцію після термічної обробки здійснюють у галтовочних барабанах із наступним робочим середовищем: сталеві полірувальні кульки діаметром 5-7 мм (30-40% від маси  $m$  оброблюваних згортних втулок); тирса із твердих порід дерев (20-25% від  $m$ ), олеїнова кислота (15% від  $m$ ), авіаційний бензин (0,2-0,3 від об'єму галтовочного барабану).

В кінцевому результаті в удосконаленому технологічному процесі виготовлення згортних втулок для втулкового приводного дворядного ланцюга з кроком 9,525 мм фірми "DITTON" відсутня технологічна операція «безцентрове шліфування зовнішніх циліндричних поверхонь втулок», що позбавляє можливості появи ексцентриситету та неспіввісності зовнішньої та внутрішньої циліндричних поверхонь у поперечному перерізі згортної втулки і забезпечує суттєвий економічний ефект.

### **1.2.1.3. Особливості технологічного процесу виготовлення згортних втулок на заводі «Краснодарсільмаш»**

Технологічним процесом виготовлення згортних втулок і роликів із стрічки забезпечуються наступні параметри: ширина стрічки; ширина і кут нахилу фасок; коробчастість поверхні стрічки і її реберна кривизна. В додатку Д1 подана класифікація видів браку на даній операції (прокатка стрічки) і факторів, які сприяють його виникненню [145].

Формування згортних втулок із листових заготовок, прямокутних стрічок, отриманих на стані точної підкатки, здійснюють у штампах згортки. Принципи і побудова технології виготовлення втулок і роликів для всіх типорозмірів ПРВЛ, які випускаються заводом «Краснодарсільмаш», однакові, тому штампи

згортки відрізняються тільки виконавчими розмірами деталей штампу і змінного інструменту.

Технологічний процес формування згортних втулок на заводі «Краснодарсільмаш» здійснюється за методом періодичного деформування заготовки, реалізуючи декілька переходів за заданим циклом і проілюстрований на рис. 1.8.

На першій 005 формувальній операції виконуються наступні переходи:

на першому здійснюється подача стрічки 1 у штамп до упора 3;

на другому стрічка 1 затискається проміжним пуансоном 2;

на третьому (рис.1.8, *а*) виконується попереднє деформування стрічки (гнуття) перед рубкою заготовки для отримання скошеного торця карточки. Скос на торці заготовки (стрічки) забезпечує щільніше замикання стикового шва втулок при подальшому їх формуванні;

на четвертому реалізується рубка стрічки різальними кромками деформуючого пуансона 2 і нерухомого ножа 5 (рис.1.8, *б*);

на наступному здійснюється на оправці 4 попереднє гнуття формуючим пуансоном 2 П-подібної заготовки.

В подальшому змінюється позиція, а саме: переміщення заготовки на позицію остаточного формування (гнуття) (рис.1.8, *в*).

На цьому переході відбувається остаточне формування згортної втулки шляхом обтискування отриманої раніше П-подібної заготовки у матриці 8 пуансоном 6 згортної втулки на оправці 7.

Наступний перехід – скидання сформованої втулки із оправки 7 і зняття її із штампа.

Наступна друга 010 операція.

Калібрування сформованих втулок на прес-автоматі у спеціальних пристроях (рис.1.9). На заводі «Краснодарсільмаш» використовується пристрій для калібрування втулок, який складається із комплекту з 6-ти фільтер, з яких дві фільтери – деформуючі, а 4 – калібруючі.



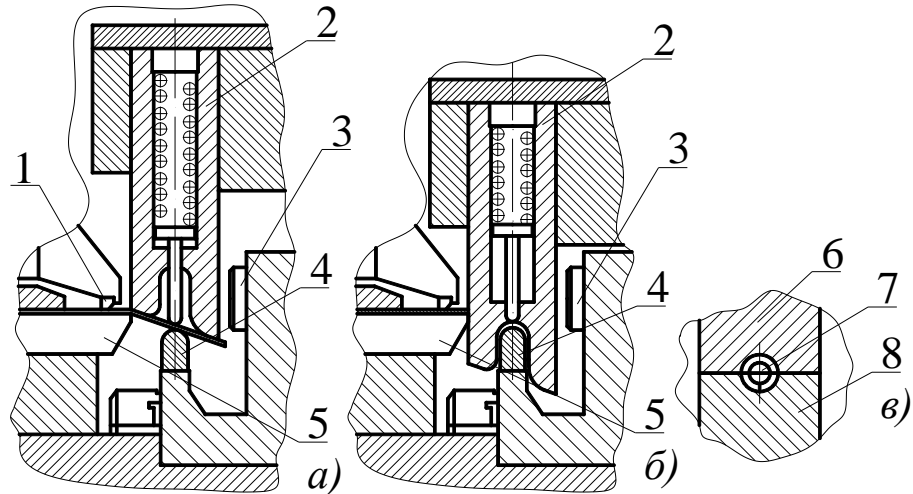


Рисунок 1.8 Послідовність формування згортних втулок за технологічним процесом на заводі «Краснодарсільмаш»

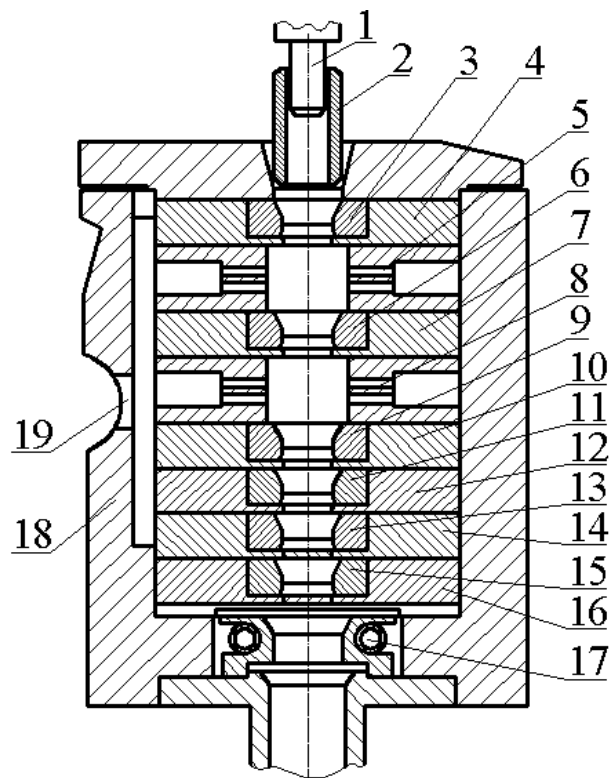


Рисунок 1.9 Пристрій для калібрування згортних втулок заводу «Краснодарсільмаш»

Процес калібрування здійснюється за один прохід. Деталі із бункера (на рис. не показано) подаються у пристрій подачі сформованої згортної втулки у робочу зону, після чого втулка 2 проштовхується штовхачем через комплект деформуючих та калібруючих твердосплавних фільтер і набуває заданої циліндричної форми.

Пристрій складається із корпусу 18, виконаного у вигляді циліндричного стакана, у якому встановлені дві деформуючі (3 і 6) та чотири калібруючі (9, 11, 13, 15) фільтери, які по своїх зовнішніх циліндричних поверхнях запресовані у кільця відповідно 4, 7, 10, 12, 14, 16. У нижній частині корпусу 18 у його дні виконаний отвір, де встановлений знімач 17. На фільтери 6 і 9 через отвір 19, що виконаний у бічній стінці корпусу 18, по каналах 5 і 8 подається мастильна рідина.

До недоліків вищеописаного технологічного процесу необхідно віднести наступне. По перше, після формування П-подібної заготовки має місце деяке відпружинювання кінців заготовки, а також П-подібна заготовка набуває форми, у якій дві прямолінійні ділянки непаралельні й знаходяться під деяким кутом одна відносно одної. По друге, внаслідок явища незначного відпружинювання, яке буде мати місце на останньому переході (рис.1.8, в), а також технологічної спадковості у поперечних перерізах згортних втулок будуть певні відхилення від круглості. По третє, відсутнє техніко-економічне обґрунтування доцільності такої кількості фільтер. По четверте, на даний час не виявлено методу, підтвердженого експериментально, який би обґрунтував доцільну кількість фільтер і кратність калібрування.

### **1.2.2. Аналіз технологічного процесу виготовлення згортних втулок методом послідовного деформування на НЗНА**

Згортні втулки, які виготовляються на НЗНА, використовують в одно-, дво- і чотирирядних ПРВЛ з кроком 19,5 мм [29], останні, зокрема, використовують у трансмісіях потужних екскаваторів.

Матеріал заготовки згортних втулок – Сталь 65Г, відпалена. Форма

заготовки – прямокутна плоска карточка. Конструктивні параметри: висота  $H_6=17,75_{-0,5}$  мм; діаметр внутрішньої циліндричної поверхні  $d_6=6,06^{+0,08}$  мм; діаметр зовнішньої циліндричної поверхні  $D=8,6_{-0,05}$  мм; шорсткість циліндричних поверхонь  $R_z 20$ ; інших –  $R_z 320$ ; твердість  $HRC 45\dots 55$ .

Технологічний процес виготовлення згортних втулок ПРВЛ з кроком 19,05 мм на НЗНА складається із таких операцій: перша – заготівельна, при якій заготовку у вигляді прямокутної карточки відповідних розмірів отримують шляхом рубки попередньо прокатої на стані точної підкатки стрічки; друга – формування циліндричної поверхні згортної втулки; третя – термічна, яка поєднує гартування і відпуск; четверта – викінчувальна з використанням вібраційно-абразивної обробки або галтовочних барабанів і кінцева остаточна п'ята – контрольна з використанням статистичних методів контролю якісних параметрів. Необхідно зазначити як недолік технічних умов щодо твердості, поле розсіювання якої складає 10 одиниць  $HRC$ , що свідчить про неоднорідність фізико-механічних властивостей матеріалу втулок. Необхідно відзначити, що після кожної із операцій здійснюється як окремий перехід контроль розмірних параметрів або твердості, обумовлених кресленням деталі.

Друга технологічна операція – формування циліндричної поверхні згортної втулки складається із двох переходів: першого – безпосередньо згортання карточки методом послідовного деформування у формуючій матриці (ФМ) і другого – калібрування отриманого пустотілого квазіциліндра у комплекті фільтер.

На рис. 1.10, а схематично зображена перша позиція першого переходу формування згортної втулки, коли заготовка (прямокутна карточка) 1 під дією зусилля  $F_\phi$  від шибера пуансона 2 попадає у транспортний прямолінійний канал 3, виконаний у корпусі 4, у якому є отвір і внутрішня циліндрична поверхня 5 цього отвору та зовнішня циліндрична поверхня 6 оправки 7 утворюють кільцеву формуючу матрицю 8 ФМ. На рис.1.10, а показано, що завдяки зазору через різницю ширини транспортного каналу і товщини карточки нижній торець 9 заготовки 1 (карточка), опертий на внутрішню

циліндричну поверхню 5 формуючої матриці 8, дещо нижчий від горизонтальної осі цієї матриці. На рис. 1.10, б заготовка (карточка) подана як стержень, який опирається на нахилену поверхню і знаходиться під дією системи сил: вертикальної від шибберного пуансона  $F_\phi$ , нормальної  $F_n$ , спрямованої по нормалі до центра кола, отриманого при перпендикулярному перерізі формуючої матриці; горизонтальної  $F_z$  (складової  $F_\phi$ ), під дією якої консольна ділянка заготовки довжиною  $L_k$  буде працювати на згин; вертикальної  $F_v$ , що буде протидіяти силі  $F_\phi$ ; реакції опори  $R_a$  і сили тертя  $F_{тр}$ . На рис. 1.10, в подана друга (проміжна) позиція першого переходу, на якій зображено положення заготовки (карточки), що перемістилась у транспортному каналі 3 і формуючій матриці 8 на певну величину. Внаслідок дії  $F_z$  консольна прямолінійна ділянка 10 піддалась пружній деформації, а оправка 7 дещо змістилась від свого початкового положення. На рис. 1.10, г показано положення нижнього торця 9 заготовки 1, який співпадає з вертикальною віссю формуючої циліндричної матриці 8. На рис. 1.10, д показано таке положення заготовки 1, коли її нижній торець перемістився у формуючій матриці 8 на кут  $\alpha_1 > 90^\circ$  і при цьому змінився напрям дії сили  $F_n$ , що призвело до переміщення заготовки 1 у транспортному каналі 3 вліво. На рис. 1.10, е показано кінцеве нижнє крайнє положення шибберного пуансона 2 і сформовану на оправці 7 згортну втулку 11. Слід зауважити як недолік, що при такому технологічному спорядженні нижнє положення шибберного пуансона перешкоджає закриттю стикового шва згортної втулки.

На рис. 1.11 подано зображення торцевих поверхонь п'яти згортних втулок після першого переходу згортання карточки із прямолінійними ділянками  $L_1$  і  $L_2$ . При наступному переході – калібрування (рис. 1.10, є) – шибберний пуансон 2 починає рухатись вгору до свого крайнього положення (на рис. не показано), а консольна оправка 7 починає переміщуватись зліва направо і при цьому згортна втулка 11 проштовхується через деформуючу 12 і дві калібруючі 13, 14 фільтри й калібрується, отримуючи правильну циліндричну форму і закритий стиковий шов.

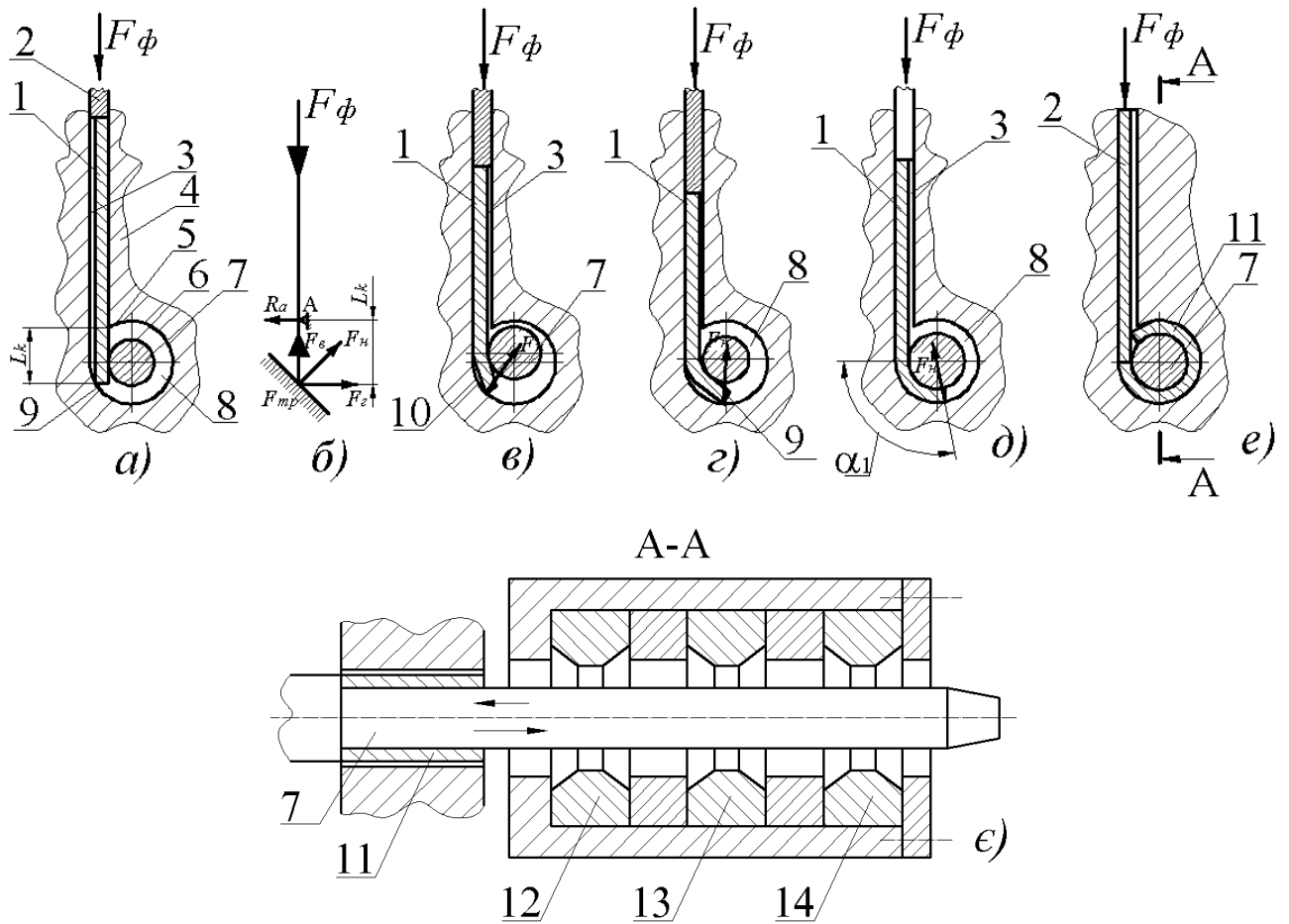


Рисунок 1.10 Схематичне зображення фрагментів технологічного процесу формування циліндричної поверхні згортної втулки, реалізованого на НЗНА

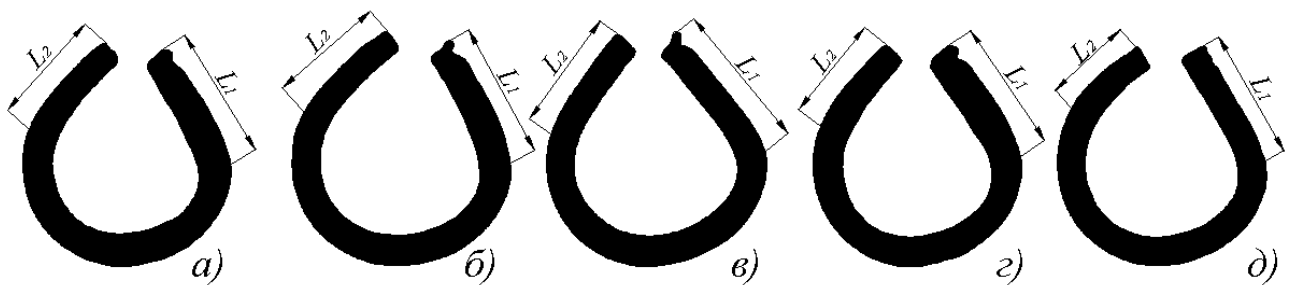


Рисунок 1.11 Торцеві поверхні згортних втулок отриманих після першого переходу технологічного процесу на НЗНА, *a*, *б*, *в*, *г*, *д* – форми торцевих поверхонь згортних втулок;  $L_1$  і  $L_2$  – відповідно довжини прямолінійних ділянок на торцевих поверхнях

У подальшому консольна оправка повертається у своє вихідне крайнє ліве положення, наступна заготовка подається на вихідну позицію під шиберний пуансон і процес аналогічно до попереднього повторюється.

До позитивних сторін аналізованого технологічного процесу слід віднести: по перше, при частоті подвійних ходів (80 п.х./хв) і двопозиційному формуванні втулок продуктивність верстата складає 160 шт. за 1 хв., що у два рази більше, ніж при вищеописаних процесах фірм SEDIS і DITTON; по друге, формування згортних втулок здійснюється за 2 зворотньо-поступальні рухи; по третє, немає необхідності використання формуючих інструментів (матриць, пуансонів) із спеціальними профілями.

Недоліками цього технологічного процесу є: по перше, консольно закріплена оправка, яка не забезпечує постійного положення у формуючій матриці; по друге, формування прямолінійних (хордових) ділянок на згортній втулці, що при калібруванні призводить до значних ударних навантажень на деформуючу фільтру, що є причиною їх низької стійкості; по третє, використання плоскої заготовки як своєрідного стержня, що вимагає при втраті стійкості і деформуванні значних зусиль, які є причиною низької стійкості циліндричної поверхні формуючих фільтер.

### **1.3. Пристрій для формування згортних втулок методом послідовного деформування**

Відомий пристрій [8] для виготовлення втулок із листових заготовок, який показаний на рис. 1.12, *а* (загальний вигляд), 1.12, *б* (вигляд збоку) і 1.12, *в* (розріз А-А на рис. 1.12), розроблений у науково-дослідному інституті технології машинобудування [5] (Ростов-на-Дону, РФ).

Пристрій (рис. 1.12) для виготовлення втулок із листових заготовок (у подальшому – пристрій) складається із встановленої на плиті 1 роз'ємної матриці 2 з циліндричним отвором 5 і західним пазом 15 та оправки 17, яка має дві частини: ліву 6 і праву 3, що встановлені у підшипникових опорах 7 і 4 з можливістю горизонтального переміщення. На лівій частині 6 оправки 17, яка

входить у середину матриці 2, встановлена шпонка 18. На правій частині 3 оправки 17 закріплена зірочка 14 і штурвал 19, призначений для встановлення оправки із шпонкою 18 у початкове кругове положення. Обидві частини оправки – ліва 6 і права 3 – зафіксовані від взаємного провертання.

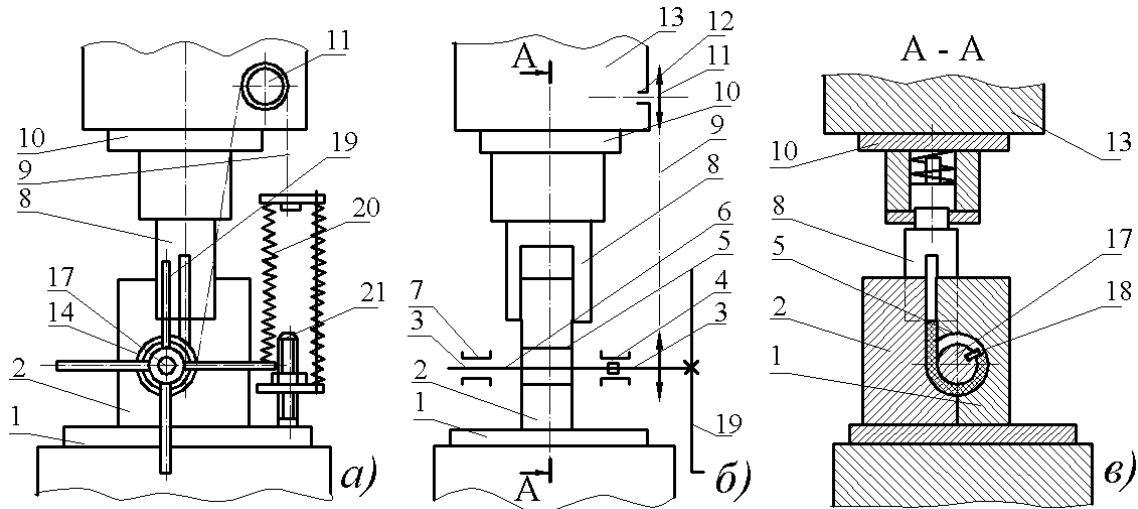


Рисунок 1.12 Схематичне зображення пристрою для виготовлення втулок із листових заготовок

На поверхні 13 ексцентричної осі обертання 12 встановлені зірочка 11, яка зв'язана приводним роликово-втулковим ланцюгом 9 із зірочкою 14, і вузол гальмування 20, оснащений регульовальним гвинтом 21. Віддалі від вертикальної площини, яка проходить через вісь 12, до точки прикладання навантаження зліва (зірочка 11) і справа (вузол гальмування 20) однакові. На верхній плиті 10 встановлений підпружинений шибер 8.

Пристрій працює таким чином.

Оправку 17 за допомогою штурвала 19 повертають так, щоб шпонка 18 опинилась навпроти щілини у матриці 2, і утримують в такому положенні. Зірочку 11 встановлюють так, щоб її вісь розміщувалась у вертикальній площині з віссю 12 і вище від неї, а зусилля гальмування регулюють гвинтом 21. В щілину матриці 2 вводять заготовку у вигляді прямокутної карточки і, опускаючи повзун 13, стискають її між шибером 8 і шпонкою 18 до тих пір, поки зусилля з боку шибера не перевищить початкове зусилля вузла гальмування 20. По мірі прошовування заготовки в кільцевій щілині, яка

утворена ВЦП отвору 5 матриці 2 і лівою частиною 6 оправки 17, зусилля вузла гальмування 20 зменшується пропорційно до зростаючого зусилля тертя між заготовкою і стінками матриці, зберігаючи таким чином зусилля гнуття постійним протягом всієї операції. Це здійснюється завдяки тому, що зменшується натяг ланцюга за рахунок зменшення співвідношення плечей між точками прикладання навантаження, так як зірочка 11 отримує обертання навколо осі 12 від зірочки 14, яка обертається разом з оправкою 17.

Після закінчення гнуття повзун 13 преса і шибер 8 піднімають вгору, матрицю розкривають, оправку із втулкою виймають із підшипникових опор 4 й 7 і знімають втулку з оправки. Після цього оправку встановлюють у підшипникові опори, виставляють шибер 8 і зірочку 11 у вихідні положення й аналогічно до попереднього повторюють процес формування втулки.

Основними недоліками описаного пристрою є те, що його використання, по перше, не забезпечує можливість автоматизації процесу, тобто низька продуктивність; по друге, є певні труднощі у виставленні ексцентрично розміщеної зірочки 11 в задане положення у вертикальній площині; по третє, неможливість забезпечити одночасно із гнуттям втулок їх калібрування.

#### **1.4. Огляд і аналіз деяких видів відхилень форми згортних втулок, методів їх вимірювання та оцінювання**

##### **1.4.1. Огляд і аналіз окремих видів відхилень форми згортних втулок**

На даний час відсутня єдина система для всіх видів відхилень геометрії поверхні, яка задовольняла б умови взаємозамінності за розмірами, формою, розміщенням поверхонь деталей, методами вимірювань. В останні роки стандарти на відхилення форми і розміщення поверхонь діють у Великобританії (BS308 1953), ФРН (DIN 7182, V14), Чехії, Швейцарії, Канаді, США (U14-5), РФ (ГОСТ 24642-83), Україні (ГОСТ 24642-81), та в інших країнах.



Точність форми поверхонь регламентується відповідними міжнародними стандартами [15, 44, 105]. Ці стандарти встановлюють не тільки терміни і визначення, але й допуски на певні види відхилень форми, які досліджуються у даній роботі. Такими основними видами відхилень є: відхилення від круглості  $EFK$ , відхилення профілю поздовжнього перерізу ВЦП згортної втулки, запресованої своїми кінцями у отвори внутрішніх пластин ПРВЛ або запресованої у корпус (відхилення від прямолінійності твірної внутрішньої поверхні згортної втулки) –  $EFK$ .

Відхилення від круглості  $EFK$  – це максимальна віддаль від точки реального профілю до прилягаючого кола. Допуск круглості – максимальне значення відхилення від круглості  $TFK$  (рис.1.17 ст.9 [28]).

Відхилення профілю поздовжнього перерізу – це найбільша віддаль  $EFL$  від точок реального профілю до відповідної сторони прилеглого профілю (рис. 1.17 ст. 10 [28]).

Частковими видами відхилення профілю поздовжнього перерізу запресованих згортних і суцільних втулок в отвори внутрішніх пластин або у корпус можуть бути: конусоподібність – відхилення профілю поздовжнього перерізу, при якому твірні прямолінійні, але не паралельні (рис. 1.14) [39]; бочкоподібність [50] (рис. 1.13) або сідлоподібність (рис. 1.14). Величини цих відхилень визначають за формулою:

$$EFP = (d_{\max} - d_{\min}) / 2, \quad (1.1)$$

де  $d_{\max}$  і  $d_{\min}$  – відповідно максимальний і мінімальний діаметр згортної втулки.

Додатковими параметрами відхилень форми згідно з [28] є такі:

1. Середнє арифметичне відхилення профілю поздовжнього перерізу  $EFK_a$  – середнє арифметичне із абсолютних значень віддалей  $h_i$  між реальним профілем і середньою прямою в межах нормованої ділянки (рис.1.14). При обчисленні цифровими методами

$$EFK_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |h_i|, \quad (1.2)$$

де  $N$  – кількість значень вимірювань.

2. Середнє арифметичне відхилення від круглості  $EFK_a$  – середнє арифметичне абсолютних значень віддалей  $h_i$  між реальним профілем і середнім колом. При обчисленні цифровими методами:

$$EFK_a = \frac{1}{N} \sum |h_i|. \quad (1.3)$$

Окрім цих параметрів відхилення форми [28] стосовно циліндричних поверхонь згортних втулок регламентує наступні параметри:

3. Середнє квадратичне відхилення від круглості  $EFK_u$  – середнє квадратичне віддалей  $h_i$  між реальним профілем і серединним колом (рис.1.15).

При обчисленні цифровими методами:

$$EFK_u = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N h_i^2} \quad (1.4)$$

4. Середнє квадратичне відхилення профілю поздовжнього перерізу  $EFP_u$  – середнє квадратичне віддалей  $h_i$  між реальним профілем і середнім профілем поздовжнього перерізу в межах нормованої ділянки (рис. 1.15).

При обчисленні цифровими методами:

$$EFP_u = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n h_{1i}^2 + h_{2i}^2} \quad (1.5)$$

де  $n = N/2$ ;  $h_{1i} = h_1(s_1)$ ;  $h_{2i} = h_2(s_2)$ .

5. Кількість проходів через нуль  $NN$  – кількість точок перетину реального профілю із середнім профілем в межах нормованої ділянки (рис. 1.16).

Дослідженню точності форми циліндричних поверхонь згортних втулок на даний час присвячено достатню кількість наукових праць [60, 74, 124, 134 та інші]. Стосовно згортних втулок ПРВЛ, то точність їх форми за параметром  $EFK$  досліджувалась Ризькою науковою школою під керівництвом професора Саленієкса Н.К. [14], а за параметрами  $EFK$  і  $EFP$  – Тернопільською науковою школою під керівництвом професора Дубиняка С.А. [42]. Доречно відзначити, що вплив відхилень від круглості ( $EFK$ ) ВЦП згортних втулок на зносостійкість шарнірів ПРВЛ вперше висвітлено в роботі [146].

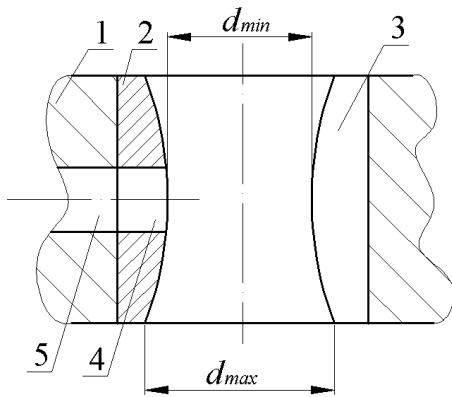


Рисунок 1.13 Схематичне зображення поздовжнього перерізу шкворневої втулки, запресованої в отвір корпусу цапфи: 1 – корпус цапфи, 2 – згортна втулка; 3 – стиковий шов; 4 і 5 – відповідно отвори у стінці втулки і корпус для мащення

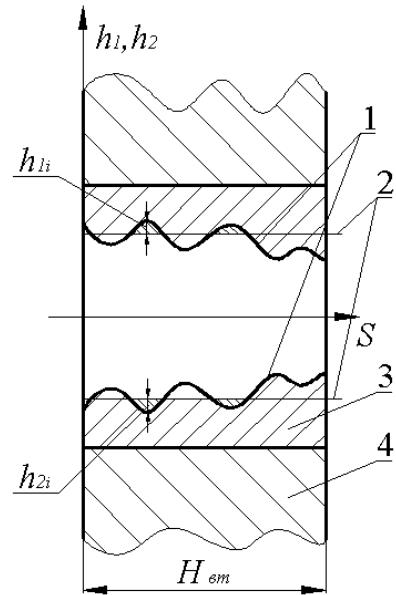


Рисунок 1.14 Схематичне зображення відхилення профілю поздовжнього перерізу: 1 – реальний профіль; 2 – середній профіль; 3 – втулка; 4 – корпус

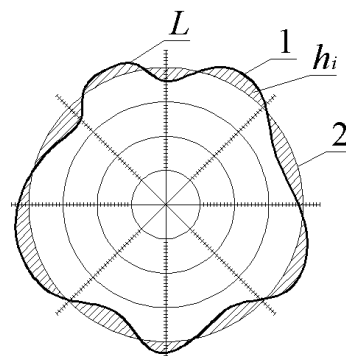


Рисунок 1.15 Схематичне зображення круглограми для визначення середнього арифметичного відхилення від круглості  $EFK_d$ : 1 – реальний профіль; 2 – середнє коло

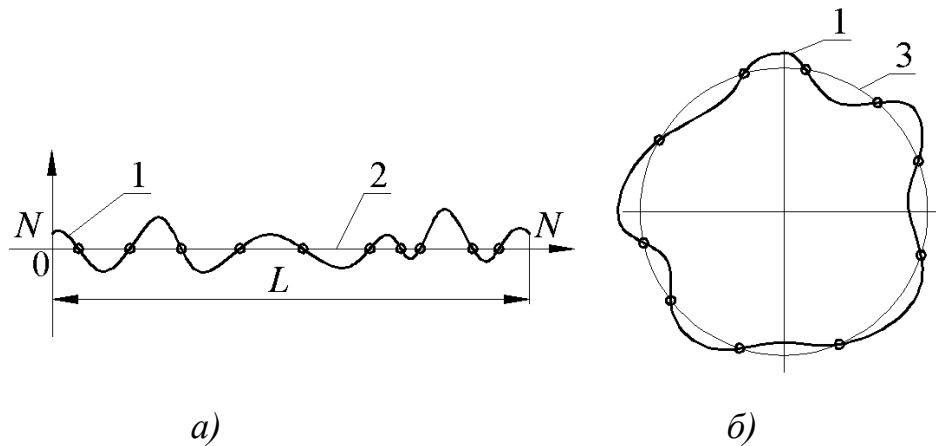


Рисунок 1.16 Схематичне зображення кількості точок перетину реального профілю із середнім профілем: *a* – для поздовжнього перерізу; *б* – для круглості: 1 – реальний профіль; 2 – середня пряма; 3 – серединне коло

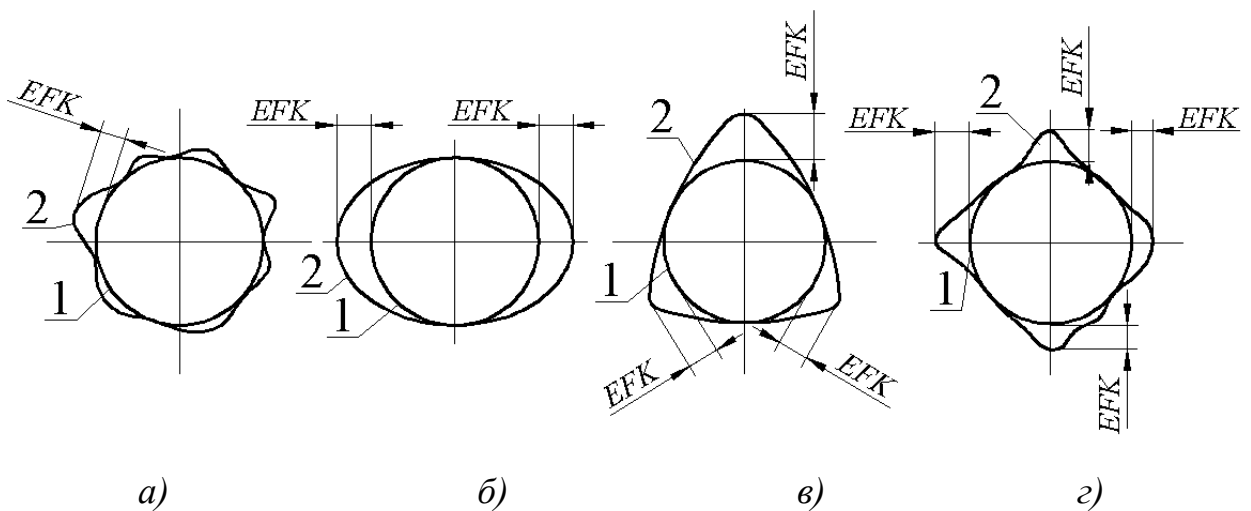


Рисунок 1.17 Схематичне зображення форми поперечних перерізів циліндричних поверхонь з однаковою величиною відхилень від круглості: 1 – круглограма; 2 – прилягаюче коло; *a*, *б*, *в*, *г* – різні форми відхилень від круглості

Необхідно зауважити, що такий вид відхилень від круглості як  $E_{FK}$ , в принципі, не може бути достатньою, однозначною характеристикою квазіциліндричних поверхонь і не може бути ґрунтовною оцінкою форми як для пресових з'єднань, так і для спряжень із зазором. Таке твердження ілюструється рис. 1.17. Із рис. 1.21 виходить, що при одній і тій же величині відхилень від круглості  $E_{FK}$  можуть бути різні умови контактування спряжених поверхонь, що впливатиме на певні показники якості як, наприклад, на міцність пресових з'єднань згортна втулка – отвір внутрішньої пластини ПРВЛ; згортна втулка – отвір корпусу цапфи ходової частини автомобілів на фактичну площу контакту і зносостійкість контактуючих поверхонь шарніра ВЦП згортна втулка – валик ПРВЛ. Виникає сумнів щодо адекватності таких додаткових параметрів відхилень форми згідно з [28] як середнє арифметичне відхилення від круглості  $E_{FK_a}$ , середнє квадратичне відхилення профілю поздовжнього перерізу  $E_{FP_u}$  і середнє квадратичне відхилення від круглості  $E_{FK_u}$ . По перше, ці значення визначаються за абсолютними відхиленнями від серединного кола або середнього профілю поздовжнього перерізу, причому невідомо як провести це серединне коло або середній профіль поздовжнього перерізу. По друге, визначення таких додаткових параметрів тільки за абсолютними значеннями в принципі змінює дійсну форму на віртуальну, яка не відповідає дійсності і не може адекватно відтворювати фізичні явища, які мають місце у спряженнях певних поверхонь згортних втулок з поверхнями інших деталей.

#### **1.4.2. Огляд і аналіз методів вимірювання та оцінювання окремих видів відхилень форми згортних втулок**

Аналіз літературних джерел [15, 39, 44, 74, 105, 135, 138, 145, 149] показав, що на даний час існують ефективні методи вимірювання і оцінювання таких видів відхилень форми як відхилення від круглості та відхилення від профілю поздовжнього перерізу. Відхилення від круглості деталей машин, в тому числі поперечних перерізів згортних втулок, вимірюють як універсальними, так і спеціальними приладами. Відхилення від круглості у

вигляді овальності визначається, як зазначено вище, за формулою (1.1) як половина різниці між найбільшим і найменшим діаметрами згортної втулки, вимірними у двох взаємно перпендикулярних напрямках [28, 38].

Вимірювання відхилення від круглості у вигляді огранювання з непарним числом граней приладами з двоточковим контактом (штангенциркуль, мікрометр, вертикальний і горизонтальний оптиметр тощо) є неможливим. Таке огранювання можливо виміряти, використавши, наприклад, спеціальне кільце (рис. 1.18) або призму (два нерухомих контакти) з індикатором (рис. 1.19). При вимірюванні у спеціальному кільці за величину огранювання приймають різницю найбільшого і найменшого показів індикатора. При вимірюванні відхилень від круглості на призмі (рис. 1.19) за його величину огранювання приймаємо різницю найбільшого і найменшого показів приладу, яку множать на коефіцієнт, що залежить від числа граней, кута  $\gamma$  (огранювання з непарним числом граней). Вимірювання відхилень від круглості (приблизний контроль зовнішніх циліндричних поверхнею згортних втулок) можна здійснювати шляхом вимірювання коливань діаметрів у поперечному перерізі, що схематично показано на рис. 1.20. Особливістю конструкції згортних втулок ПРВЛ є те, що завдяки їх термічній обробці і явищу відпружинювання їх стикові шви можуть мати незначну величину розкриття.

Тому, врахувавши те, що при функціонуванні згортні втулки своїми ВЦП працюють на зношування, для отримання достовірних даних про точність форми цих втулок постає необхідність здійснювати вимірювання і в подальшому оцінювання їх макрогеометрії у запресованому стані, а для втулок як елементів підшипників ковзання додатково визначати відхилення від круглості після кожної операції згортання. Відхилення від круглості як внутрішніх, так і зовнішніх циліндричних поверхонь найточніше вимірюються спеціальними приладами – кругломірами різних виробників і моделей, зокрема виробництва заводу «Калібр» (РФ), «Rank Taylor Hobson» (Великобританія) тощо. Слід відзначити, що кругломіри останньої фірми мають комп'ютерне забезпечення, що дозволяє в процесі вимірювання отримувати лінійчасті

спектри амплітуд як результат апроксимації випадкової нестационарної функції відхилення від круглості тригонометричним рядом Фур'є.

Для оцінювання точності форми циліндричних поверхонь опорних валків прокатного стану [140], зокрема відхилень від круглості на проміжку  $[0; 2\pi]$ , використовували параметр «середнє арифметичне відхилення від круглості». Для цього за методами Спрега [80] будували серединне коло і визначали його радіус, координати його центру  $X_0$  та  $Y_0$ , а також відхилення  $h_i(\varphi)$ , де  $\varphi$  – біжуче значення кута. При апроксимації отриманих значень  $h_i(\varphi)$  тригонометричним рядом Фур'є, отримали лінійчасті спектри амплітуд без першої гармоніки, яка означає ексцентричність форми [63, 74, 149]. Такий метод допускає певну похибку дисперсії відхилень від круглості [139].

Аналіз літературних джерел [47, 139] показав, що для оцінювання відхилень від круглості на проміжку  $[0; 2\pi]$  використовували гармонічний аналіз, на основі якого отримували лінійчастий спектр амплітуд, що дало можливість виявити вплив кожної складової гармоніки на загальну дисперсію розсіювання величини *EFK*, яку приймають як випадкову.

Проте слід зауважити, що такий підхід до оцінювання можна застосувати для окремої реалізації. Для сукупності реалізацій відхилень від круглості, визначених, наприклад, за круглограмами поперечних перерізів для циліндричних поверхонь, отриманих обробкою різанням, для оцінки відхилень від круглості, що являють собою стаціонарний випадковий процес, необхідно використовувати теорію кореляційних функцій. При дослідженні точності форми циліндричних поверхонь, як правило, використовували детермінантський підхід. При виготовленні згортних втулок внаслідок нестабільності фізико-механічних властивостей матеріалу заготовок, профілів деформуючих і калібруючих інструментів та їх зношування відхилення від круглості буде випадковою величиною і для отримання достовірних результатів цей параметр необхідно подавати як випадкову величину. Враховуючи роботи [47, 140], оцінювання відхилень від круглості на проміжку  $[0, 2\pi]$  рекомендовано здійснювати для ансамблю реалізацій з певною їх кількістю.

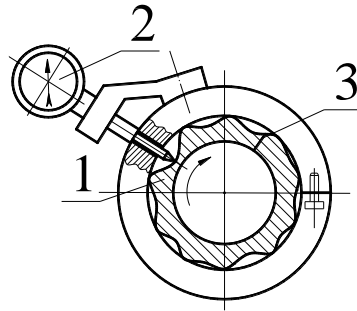


Рисунок 1.18 Схема вимірювання відхилень від круглості зовнішньої циліндричної поверхні згортних втулок з використанням спеціального кільця: 1 – досліджувана згортна втулка; 2 – індикатор; 3 - кільце

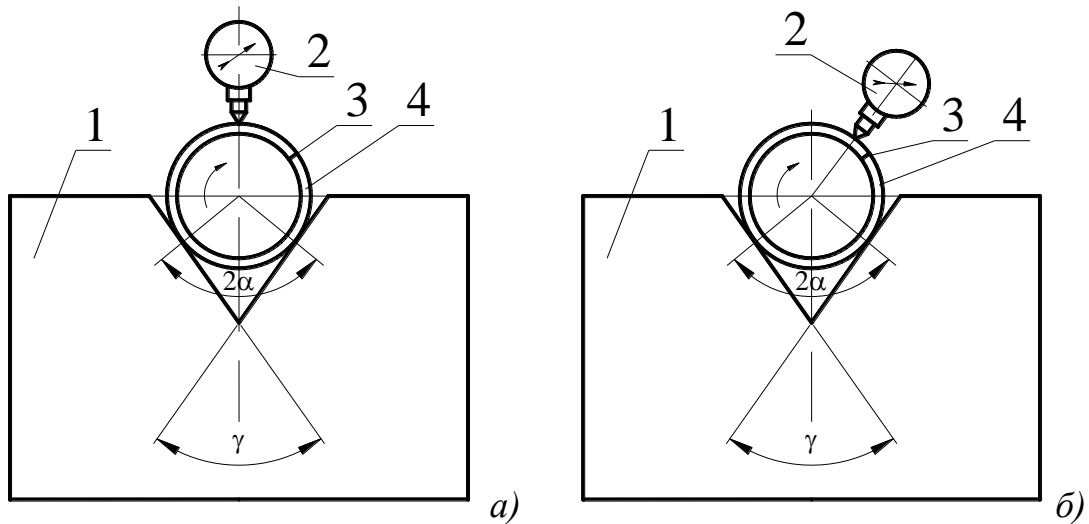


Рисунок 1.19 – Схеми вимірювання відхилення від круглості – огранювання в призмі: *а* – симетрична; *б* – несиметрична; 1 – призма; 2 – індикатор годинникового типу; 3 – згортний шов; 4 – досліджувана згортна втулка

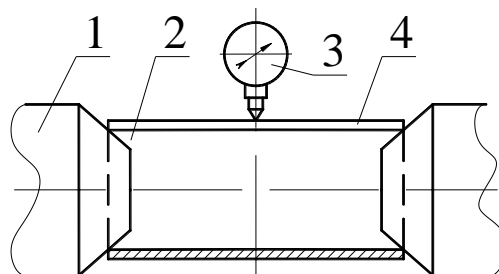


Рисунок 1.20 Схема вимірювання відхилень від круглості зовнішньої циліндричної поверхні згортних втулок в центрах: 1 і 5 – відповідно передній і задній центри; 2 – згортна втулка; 3 – індикатор; 4 – стиковий шов



На основі отриманих даних з точки зору забезпечення достовірності результатів, матиме певну цінність імовірнісний підхід, зокрема метод ітерацій з теорії малої вибірки [137] для оцінювання відхилень від круглості за вибірковими характеристиками: вибіркове середнє значення величини  $EFK_e$ , яке приблизно дорівнює математичному сподіванню  $M(EFK_e)$ , і випадкова дисперсія  $D_e(EFK)$ . Дослідженню відхилень від профілю поздовжнього перерізу присвячено ряд наукових робіт. Так дослідженню бочкоподібності згортних втулок внутрішніх ланок ПРВЛ присвячені роботи [23, 24, 25, 26 (ст. 11), 148,], в яких подані дані про дійсні значення цього параметра як для згортних втулок ПРВЛ, так і для втулок, що є елементами підшипників ковзання. В літературі [21, 38, 74, 91, 115, 117] рекомендуються різні технологічні прийоми для покращення макрогеометрії шарніра ПРВЛ і макрогеометрії ВЦП згортних втулок як елемента підшипника ковзання. Проте в роботах [23, 26, 50, 74] доведено, що введення додаткових технологічних операцій не повністю усуває бочкоподібність запресованих у отвори внутрішніх пластин втулок.

Окрім цього у більшості випадків при визначенні величини бочкоподібності, за винятком [74] використовували інтегральний метод, за яким бочкоподібність подавалась рівномірною на проміжку  $[0, 2\pi]$ .

Таким чином, вирішення питання забезпечення необхідної точності форми ВЦП згортних втулок технологічними методами сприяло б збільшенню довговічності ПРВЛ і значній економії ресурсів.

### **1.5. Висновки і завдання досліджень**

Із здійсненого аналізу сучасного стану існуючих технологічних процесів виготовлення згортних втулок та методів контролю точності форми за параметрами відхилення від круглості можна зробити такі висновки:

1. У відомих наукових працях значна увага приділялась згортним втулкам ПРВЛ і згортним втулкам, що використовуються в якості ЕПК, як елементам шарнірів механізмів; вузлів машин з точки зору найважливіших особливостей їх конструкцій, навантажень у процесі функціонування, дослідження їх

точнісних параметрів, а також технологічному забезпеченню різними виробниками їх якісних показників.

2. У результаті аналізу виявлено ряд суттєвих недоліків проаналізованих технологічних процесів виготовлення і використання згортних втулок, які спричиняють значні відхилення від круглості ВЦП і від прямолінійності твірних ВЦП.

3. Проаналізовано існуючі методи оцінювання точності форми згортних втулок за параметром відхилення від круглості – *EFK* не може бути достатньою і ґрунтовною оцінкою круглості.

4. Встановлено, що оцінювання точності форми ВЦП згортних втулок у абсолютній більшості випадків проаналізованих літературних джерел здійснювалось при детерміністському підході без врахування стохастичного характеру досліджуваного параметру.

5. При аналізі стану питання у доступних літературних джерелах відзначено, що використання як заготовки для згортних втулок ПРВЛ і згортних втулок як ЕПК плоскої прямокутної карточки з точки зору опору матеріалів є необґрунтованим.

Відзначаючи те, що технології виготовлення згортних втулок із забезпеченням підвищеної точності форми і деяких інших якісних показників, як, наприклад, стабільності твердості, а також контролю їх певних конструкторських параметрів приділена значна увага, разом з тим не вирішено технічне питання технологічного забезпечення підвищеної точності форми згортних втулок саме на першій технологічній операції згортання втулки, не запропоновано зміцнення і регуляризації мікрорельєфів, не використовувались імовірно-статистичні методи оцінювання показників якості.

Тому запропоноване і науково-технічно обґрунтоване технологічне забезпечення виготовлення згортних втулок із підвищенням точності форми їх ВЦП із зміцненням їх ВЦП та із зниженням шорсткості є актуальним завданням у цьому напрямку.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОТВОРЕННЯ ФОРМИ U-ПОДІБНИХ ЗАГОТОВОК І СИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗГОРТНИХ ВТУЛОК

#### 2.1. Теоретичні дослідження величини відпруження U-подібних листових заготовок при їх пружно-пластичному деформуванні

Згортні втулки, особливо шкворневі для ходової частини автомобілів і втулки коромисел механізму газорозподілу двигунів внутрішнього згорання, а також втулки для ПРВЛ виготовляють шляхом згинання у штампах з метою отримання U-подібної або П-подібної заготовки.

Такі U- або П-подібні заготовки після розкриття штампа змінюють свою форму внаслідок відпружинення (пружної віддачі).

Дослідженню форми при відпруженні з метою корегування розмірів і форми окремих елементів штампів присвячено цілий ряд наукових робіт [1-4 та інші].

Аналізом вказаних літературних джерел встановлено, що при розв'язанні цієї задачі в одних випадках не враховувалось зміцнення матеріалу [110], а в інших величину пружної віддачі рекомендовано визначати за діаграмами, отриманими в результаті оброблення експериментальних даних [18, 117].

Розглянемо процес виготовлення деталі із плоскої заготовки шляхом її деформування у напівматриці циліндричної форми (рис.2.1).

Штамп має форму напівциліндра із внутрішнім радіусом  $R+h$  і довжиною  $b$ . Заготовка шириною  $b$  і товщиною  $h$  за допомогою пуансона, виконаного у вигляді циліндра зовнішнього радіусу  $R$  (на рис. не показано), вдавлюється у штамп, в результаті чого заготовка отримує форму, показану на рис.2.1. Після звільнення заготовки зі штампа її форма змінюється внаслідок пружного відпружинення. Завдання полягає в тому, щоб знайти форму заготовки після пружної віддачі.

Приймемо такі припущення.

1. Заготовку у вигляді плоскої прямокутної карточки будемо розглядати як полосу одиничної ширини в напрямку осі  $z$ , тобто розглядаємо полосу як балку. Зауважимо, що у випадку, коли  $b$  набагато перевищує довжину деформованої частини заготовки, її (заготовку) потрібно розглядати як пластину, тобто потрібно враховувати поперечну деформацію і відповідні напруження у напрямку осі  $z$ . У цьому випадку полосу можна розраховувати як балку, якщо як ефективний модуль пружності брати  $E=(1-\nu^2)$  де  $E$  – модуль пружності матеріалу,  $\nu$  – коефіцієнт поперечної деформації (коефіцієнт Пуансона). Так як для металів  $\nu \approx 0,3$  то  $E/(1-\nu^2) \approx E/0,91$ . Якщо  $b$  співрозмірна з довжиною деформованої частини, тобто  $b \cong \pi \cdot R$ , то потрібно брати середнє значення модуля пружності між  $E$  і  $E/(1-\nu^2)$  [120].

2. Вважаємо, що в процесі деформування має місце чистий згин, тобто видовження чи вкорочення серединної поверхні заготовки відсутні.

3. Вивчаємо поведінку тільки тієї ділянки балки, яка в кінцевому стані zdeформована точно по профілю нижньої напівматриці і пуансона. Це означає, що радіус кривини серединної поверхні у всіх точках однаковий і дорівнює  $\rho=R_s+h/2$ .

4. Матеріал заготовки пружно-пластичний з лінійним зміцненням (рис. 2.2).

Тоді напруження  $\sigma$  можемо подати у вигляді

$$\left\{ \begin{array}{ll} \sigma = -\sigma_0 \left(1 - \frac{E_1}{E}\right) + E_1 \varepsilon, & \varepsilon < -\varepsilon_0 \quad (-\sigma_0 + E_1(\varepsilon + \varepsilon_0)) \\ \sigma = E\varepsilon & -\varepsilon_0 < \varepsilon < \varepsilon_0 \\ \sigma = \sigma_0 \left(1 - \frac{E_1}{E}\right) + E_1 \varepsilon & \varepsilon > \varepsilon_0 \quad (\sigma_0 + E_1(\varepsilon - \varepsilon_0)) \end{array} \right. \quad (2.1)$$

де  $E$  – модуль Юнга (ефективний);  $E_1$  – модуль зміцнення;  $\sigma_0$  – границя пластичності матеріалу;  $\varepsilon_0 = \sigma_0/E$  – границя пружності.

Вважаємо, що має місце гіпотеза плоских перерізів, тобто нормальне до серединної лінії волокно до деформації залишається нормальним і після деформації. Це означає, що деформації за товщиною розподілені за лінійним законом

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \rho x, \quad (2.2)$$

де  $\varepsilon_0$  - деформація серединної лінії;  $y$  – координата, яка відраховується вздовж товщини балки з початком на серединній лінії і змінюється в межах  $-h/2 \leq y \leq h/2$  ( $h$  – товщина);  $x$  – кривина zdeформованої серединної лінії.

Згідно із припущенням 2 видовження чи вкорочення серединної лінії відсутнє, тому  $\varepsilon_0 = 0$ . Відповідно до припущення 3 радіус кривини серединної лінії zdeформованої балки у всіх точках однаковий і дорівнює  $\rho = R_{\varepsilon} + h/2$ .

Отже

$$x = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R_{\varepsilon} + h/2} = \text{const} \quad (2.3)$$

Таким чином деформації волокон за товщиною у зігнутому стані (рис.2.3) розподілені за законом

$$\varepsilon = y \cdot x \frac{y}{\rho} = \frac{y^2}{R_{\varepsilon} + h/2}. \quad (2.4)$$

Припустимо, що у zdeформованому стані матеріал у заштрихованій області повністю перейшов у пластичний стан, а в області  $-y_0 \leq y \leq y_0$  має місце пружне деформування. Для знаходження значення  $y_0$  використаємо твердження, що незворотні пластичні деформації починаються при  $\varepsilon < 0,002$  ( $> 0,2\%$ ). Це означає, що можна прийняти  $\varepsilon_0 = 0,002$  (див.рис.2.2). Отже деформація волокна при  $y = y_0$  дорівнює  $\varepsilon_0$ . Враховуючи (2.4), знайдемо

$$\varepsilon_0 = \frac{y_0^2}{R_{\varepsilon} + h/2}; \quad y_0 = (R_{\varepsilon} + h/2)\varepsilon_0 \cong (R_{\varepsilon} + h/2) \cdot 0,002. \quad (2.5)$$

Таким чином, маючи розподіл деформацій за товщиною (2.4), можемо знайти розподіл напруження, використовуючи діаграму (рис.2.2).

На ділянці  $-y_0 \leq y \leq y_0$

$$\sigma = E\varepsilon = E \cdot y / (R_{\varepsilon} + h/2); \quad (2.6)$$

При  $y = \pm y_0$  маємо

$$\sigma = \pm E \cdot \frac{y}{R + h/2} = \pm E\varepsilon_0 = \pm \sigma_0. \quad (2.7)$$

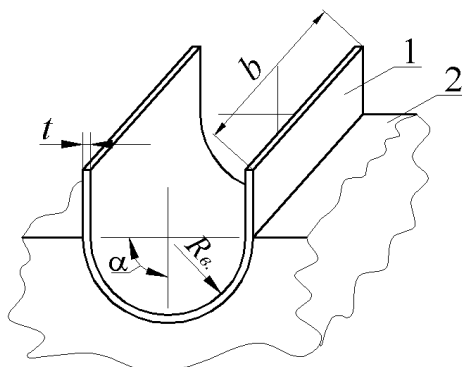


Рисунок 2.1 Схематичне зображення U- подібної заготовки із ідеально-пластичного матеріалу отриманої гнуттям у штампі: 1 – заготовка, 2 – нижня напівматриця

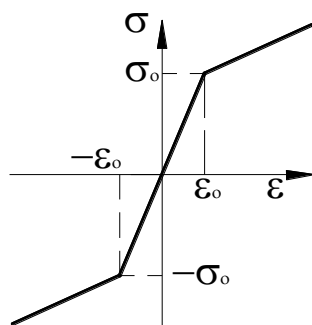


Рисунок 2.2 Діаграма лінійного зміцнення матеріалу

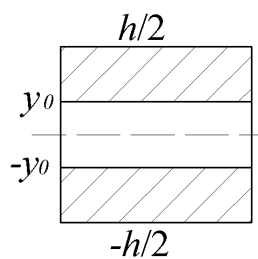


Рисунок 2.3 Схематичне зображення деформації волокон за товщиною у зігнутому стані

На ділянці  $y_0 \leq y \leq h/2$

$$\sigma = \sigma_0 + E_1(\varepsilon - \varepsilon_0) \quad (2.8)$$

При  $y = h/2$

$$\begin{aligned} \sigma(h/2) &= \sigma_1 = \sigma_0 + E_1(\varepsilon_1 - \varepsilon_0) = \sigma_0 + E_1\left(\frac{h/2}{R+h/2} - \frac{\sigma_0}{E}\right) = \\ &= \sigma_0 + E_1\left(\frac{h/2 \cdot \varepsilon_0}{y_0} - \frac{\sigma_0}{E}\right) = \sigma_0 + E_1 \frac{\sigma_0}{E} \left(\frac{h}{2y_0} - 1\right), \end{aligned} \quad (2.9)$$

тут  $R + h/2 = \frac{y_0}{\varepsilon_0}$  (на основі (2.5)).

На ділянці  $-h/2 \leq y \leq -y_0$   $\sigma = -\sigma_0 + E_1(\varepsilon + \varepsilon_0)$ .

При  $y = -h/2$ ,

$$\begin{aligned} \sigma(-h/2) &= -\sigma_0 + E_1\left(-\frac{h/2}{R+h/2} + \frac{\sigma_0}{E}\right) = -\sigma_0 + E_1\left(-\frac{\varepsilon_0 \cdot h/2}{y_0} - \frac{\sigma_0}{E}\right) = \\ &= -\sigma_0 - E_1 \frac{\sigma_0}{E} \left(\frac{h}{2y_0} - 1\right) \end{aligned} \quad (2.10)$$

Розподіл напруження за товщиною має такий вигляд (рис. 2.4).

Результуючий момент у перерізі можна записати у вигляді

$$M = 2(P_1 y_1 + P_2 y_2 + P_3 y_3), \quad (2.11)$$

де  $P_1, P_2, P_3$  – сумарні зусилля на різних ділянках;  $y_1, y_2, y_3$  – відповідні плечі.

Значення  $P_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) і  $y_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) виражаються формулами

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{1}{2} \sigma_0 y_0; \quad y_1 = \frac{2}{3} y_0; \quad P_2 = \sigma_0 \left(\frac{h}{2} - y_0\right); \quad y_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{h}{2} + y_0\right); \\ P_3 &= \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_0) \left(\frac{h}{2} - y_0\right) = \frac{\sigma_0 E_1}{2y_0 E} \left(\frac{h}{2} - y_0\right)^2; \quad y_3 = \frac{1}{3} (h + y_0). \end{aligned} \quad (2.12)$$

Остаточно для результуючого моменту знайдемо

$$M = \sigma_0 \left[ \frac{h^2}{4} - \frac{y_0^2}{3} + \frac{E_1}{3E y_0} \left(\frac{h}{2} - y_0\right)^2 (h + y_0) \right]. \quad (2.13)$$

Відомо, що такий напружений стан у балці, коли у всій області згинний момент постійний, може бути досягнутий в результаті навантаження балки на

кінцях згинними моментами однакової величини. Тоді у балці реалізується чистий згин і момент в будь-якому перерізі балки буде постійний і дорівнюватиме за величиною зовнішньому моменту, яким навантажувалась балка на кінцях.

Таким чином, для того, щоб балка в результаті навантаження zdeформувалася, щоб її форма відповідала точно формі матриці і пуансона (тобто кривизна серединної лінії буде постійною і визначатися за формулою (2.3)), потрібно на кінцях навантажувати її згинними моментами, які за величиною дорівнюють моменту (2.13). Після звільнення балки з матриці її форма зміниться в результаті так званого відпружинення і в результаті отримаються залишкові деформації і залишкові напруження в балці.

Відомо, що залишкові напруження і деформації можна знайти на основі теореми про розвантаження. На основі цієї теореми залишкові напруження і деформації можна отримати як різниці

$$\sigma_{ij}^{zal} = \sigma_{ij}^{np.nl} - \sigma_{ij}^{np}; \quad \varepsilon_{ij}^{zal} = \varepsilon_{ij}^{np.nl} - \varepsilon_{ij}^{np}, \quad (2.14)$$

де  $\sigma_{ij}^{np.nl}$  і  $\varepsilon_{ij}^{np.nl}$  – напруження і деформації, отримані в результаті розв'язування задачі пружно-пластичного деформування;

$\sigma_{ij}^{np}$  і  $\varepsilon_{ij}^{np}$  – напруження і деформації, отримані в результаті розв'язування пружно-пластичного деформування конструкції під деяким зовнішнім навантаженням;

$\sigma_{ij}^{np}$  і  $\varepsilon_{ij}^{np}$  – відповідно напруження та деформація, отримані в результаті розв'язування деякої фіктивної задачі про деформування цієї ж конструкції під таким самим зовнішнім навантаженням за умови, що матеріал у всіх точках конструкції залишається пружним, тобто справедливий закон Гука  $\sigma = E \cdot \varepsilon$ .

Знайдемо розв'язок задачі про згин балки моментами, що дорівнюють за величиною моменту (2.13), за умови, що матеріал балки пружний по всьому перерізу. В результаті отримаємо чистий згин. Тоді радіус кривини серединної поверхні у всіх точках однаковий і буде відрізнятися від радіуса кривини зігнутої серединної лінії у попередній задачі.



Якщо позначити цей радіус кривини через  $\rho'$ , то деформації за товщиною будуть розподілені за законом

$$\varepsilon = y/\rho'. \quad (2.15)$$

Тоді напруження в кожному перерізі будуть також розподілені за лінійним законом (рис. 2.5), причому

$$\sigma'_1 = E\varepsilon'_1 = E \cdot h/2\rho'. \quad (2.16)$$

Згинний момент в будь-якому перерізі буде дорівнювати

$$M' = 2P' \cdot y'_1; \quad P'_1 = \frac{1}{2}\sigma'_1 \cdot \frac{h}{2} = \frac{h}{4} \cdot E \frac{h}{2\rho'} = E \cdot \frac{h^2}{8\rho'}; \quad y'_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{h}{2} = \frac{h}{3};$$

$$M' = 2E \frac{h^2}{8\rho'} \cdot \frac{h}{3} = \frac{Eh^3}{12\rho'}. \quad (2.17)$$

Цей момент повинен дорівнювати зовнішнім моментам, які діють на балку, і повинен дорівнювати за величиною моменту (2.13). Таким чином, для знаходження  $\rho'$  отримаємо рівняння

$$\frac{Eh^3}{12\rho'} = \sigma_0 \left[ \frac{h^2}{4} - \frac{y_{02}}{3} + \frac{E_1}{3Ey_0} \left( \frac{h}{2} - y_0 \right)^2 (h + y_0) \right]. \quad (2.18)$$

Отже кривина зігнутої осі балки у припущенні, що матеріал у всіх точках пружний, така

$$x^{np.nl.} = \frac{1}{\rho'} = \frac{12\sigma_0}{Eh^3} \left[ \frac{h^2}{4} - \frac{y_0^2}{3} + \frac{E_1}{3Ey_0} \left( \frac{h}{2} - y_0 \right)^2 (h + y_0) \right]. \quad (2.19)$$

Кривина зігнутої осі балки у випадку пружно-пластичної задачі  $x^{np.nl.} = 1/(a + h/2)$ . Таким чином  $\varepsilon^{np.} = y \cdot x^{np.} = \frac{y}{\rho'}$ ;  $\varepsilon^{np.nl.} = y \cdot x^{np.nl.} = \frac{y}{R_{г.} + h/2}$ .

Отже, на основі теореми про розвантаження знайдемо:

$$\varepsilon_{зал} = \varepsilon^{np.nl.} - \varepsilon^{np.} = y \left( \frac{1}{R_{г.} + h/2} - \frac{1}{\rho'} \right) = \frac{y}{\rho_{зал}} \cdot \frac{1}{\rho_{зал}} = \frac{1}{R_{г.} + h/2} - \frac{1}{\rho'} = \frac{\rho' - (R_{г.} + h/2)}{\rho'(R_{г.} + h/2)},$$

$$\rho_{зал} = (\rho'(R_{г.} + h/2))/(\rho' - (R_{г.} + h/2)) = (\rho \cdot \rho')/(\rho' - \rho). \quad (2.20)$$

Визначимо величину кута пружної віддачі  $\gamma$ . На рис.2.6 показано форму серединної лінії балки АСВ після деформування її в матриці

( $OA = OC = OB = \rho$ ;  $\angle COA = \alpha = \pi/2$ ) і залишкова форма  $A'CB'$  після звільнення заготовки із матриці ( $O'A' = O'C = O'B' = \rho_{зал}$ ).

Так як в результаті деформування довжина серединної лінії не змінилася, то  $\cup A'CB' = \cup ACB$ :  $2\alpha'\rho_{зал} = 2\alpha\rho$ ;  $\alpha' = \alpha(\rho/\rho_{зал}) = (\pi/2) \cdot (\rho/\rho_{зал})$ ,

тут  $\rho$  - задане за кресленням втулки.

$$\gamma = \alpha - \alpha' = \pi/2(1 - \rho/\rho_{зал}). \quad (2.21)$$

Формула (2.20) дозволяє знайти радіус кривини серединної лінії балки після її попереднього деформування у матриці радіусом  $R+h$  і наступного відпружинення. На практиці нас більше цікавить радіус кривини матриці, якщо після деформування заготовки і наступного відпружинення нам потрібно отримати деталь, радіус кривизни серединної лінії якої після відпружинення буде заданий. Тобто задається величина  $\rho_{зал}$  і потрібно знайти  $\rho$  або  $R_в$ . Для цього необхідно розв'язати рівняння (2.18) відносно  $\rho$ .

Спочатку виконаємо необхідні перетворення. Із рівняння (2.20) знайдемо

$$1/\rho' = 1/\rho - 1/\rho_{зал} \quad (2.22)$$

Для  $y_0$ , використовуючи (2.5), знайдемо

$$y_0 = \rho\varepsilon_0 = \rho(\sigma_0/E). \quad (2.23)$$

Підставивши (2.22) і (2.23) у (2.18), отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{Eh^3}{12} \left( \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_{зал}} \right) &= \sigma_0 \left[ \frac{h^2}{4} - \frac{\rho^2 \sigma_0^2}{3E^2} + \frac{E_1 \cdot E}{3E\rho\sigma_0} \left( \frac{h}{2} - \frac{\rho\sigma_0}{E} \right)^2 \left( h + \frac{\rho\sigma_0}{E} \right) \right]; \\ \frac{Eh^3}{12} \left( 1 - \frac{1}{\rho_{зал}} \right) &= \frac{\rho h^4}{4} - \frac{1}{3} \cdot \frac{\sigma_0^2}{E^2} \rho^3 + \frac{E_1}{3\sigma_0} \left( \frac{h^2}{4} - \frac{\rho h \sigma_0}{E} + \frac{\rho^2 \sigma_0^2}{E^2} \right) \left( h + \frac{\rho\sigma_0}{E} \right); \\ \frac{Eh^3}{12} \left( 1 - \frac{1}{\rho_{зал}} \right) &= \frac{\rho h^4}{4} - \frac{1}{3} \cdot \frac{\sigma_0^2}{E^2} \rho^3 + \frac{E_1}{3\sigma_0} \left( \frac{h^2}{4} - \frac{\rho h^2 \sigma_0}{E} + \frac{\rho^2 h \sigma_0^2}{E^2} + \frac{\rho h^2 \sigma_0}{4E} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{\rho^2 h \sigma_0^2}{E^2} + \rho^3 \frac{\sigma_0^3}{E^3} \right); \\ \frac{Eh^3}{12\sigma_0} &= \frac{Eh^3}{12\sigma_0} \cdot \frac{\rho}{\rho_{зал}} + \frac{\rho h^4}{4} - \frac{1}{3} \cdot \frac{\sigma_0^2}{E^2} \cdot \rho^3 + \frac{E_1}{3\sigma_0} \left( \frac{h^4}{4} - \frac{3\rho h^2 \sigma_0}{E^3} \rho^3 \right); \end{aligned}$$

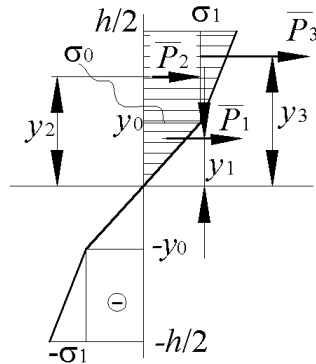


Рисунок 2.4 Діаграма розподілу напружень за товщиною  $h$  стінки згортної втулки

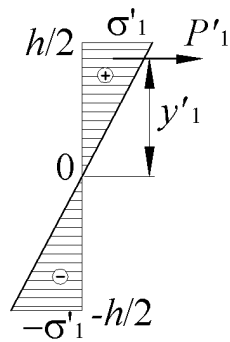


Рисунок 2.5 Епюра напружень в кожному перерізі балки

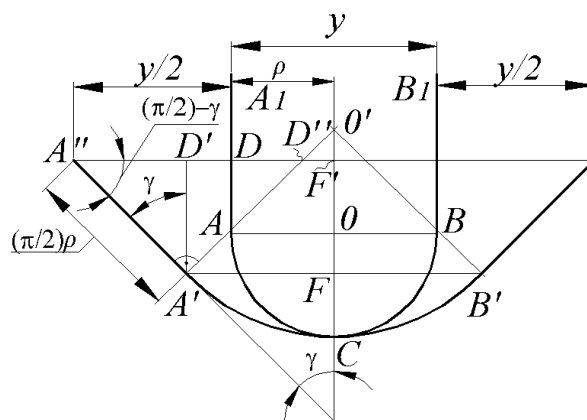


Рисунок 2.6 Форма середньої лінії балки АСВ після розкриття штампа

$$\begin{aligned}
\rho^3 \frac{\sigma_0^2}{3E^2} \cdot \frac{E_1}{E} - \rho^3 \frac{\sigma_0^2}{2E^2} + \rho \frac{h^2}{4} \left( 1 + \frac{Eh}{3\sigma_0 \rho_{зал}} - \frac{E_1}{E} \right) + \frac{h^3}{12\sigma_0} (E_1 - E) &= 0; \\
\rho^3 \frac{\sigma_0^2}{3E^2} \left( 1 - \frac{E_1}{E} \right) - \rho \frac{h^2}{4} \left( 1 - \frac{E_1}{E} \right) - \frac{\rho h^2}{4} \cdot \frac{Eh}{3\sigma_0 \rho_{зал}} + \frac{Eh^3}{12\sigma_0} \left( 1 - \frac{E_1}{E} \right) &= 0; \\
\rho^3 \frac{\sigma_0^2}{3E^2} - \frac{\rho h^2}{4} - \frac{\rho E h^3}{12\sigma_0 \rho_{зал}} \cdot \frac{E}{E - E_1} + \frac{E h^3}{12\sigma_0} &= 0; \\
\rho^3 - \rho \frac{3E^2 h^2}{4\sigma_0^2} \left[ 1 + \frac{E^2 h}{3\sigma_0 \rho_{зал} (E - E_1)} \right] + \frac{E^3 h^3}{4\sigma_0^3} &= 0. \tag{2.24}
\end{aligned}$$

Отже, ми отримали кубічне рівняння відносно  $\rho$ , яке можна записати у вигляді:

$$\rho^3 + \rho q + c = 0, \tag{2.25}$$

$$\text{де } q = -\frac{3E^2 h^2}{4\sigma_0^2} \left[ 1 + \frac{E^2 h}{3\sigma_0 \rho_{зал} (E - E_1)} \right] < 0; \quad c = \frac{E^3 h^3}{4\sigma_0^3} > 0.$$

Використавши [122], знайдемо корені цього рівняння:

$$D = \left( \frac{p}{3} \right)^3 + \left( \frac{q}{2} \right)^2 = \frac{E^6 h^6}{64\sigma_0^6} \left[ 1 - \left( 1 + \frac{E^2 h}{3(E - E_1)\sigma_0 \rho_{зал}} \right)^3 \right] < 0;$$

$$R_g = \frac{1}{3} (\sin q) \sqrt{|p|} = \frac{Eh}{2\sigma_0} \sqrt{1 + \frac{E^2 h}{3(E - E_1)\sigma_0 \rho_{зал}}}; \quad \cos \varphi = \left[ 1 + \frac{E^2 h}{3(E - E_1)\sigma_0 \rho_{зал}} \right]^{-3/2}.$$

Так як  $D < 0$ ,  $\rho < 0$ , то корені рівняння (2.25) обчислюються за формулами:

$$\rho_1 = -2R_g \cos \varphi/3; \quad \rho_2 = -2R_g \cos(\varphi/3 + 2\pi/3); \quad \rho_3 = -2R_g \cos(\varphi/3 + 4\pi/3),$$

де  $\varphi = 2\alpha$ .

Аналіз отриманих значень коренів кубічного рівняння (2.25) показує, що корені  $\rho_1$  і  $\rho_2$  достатньо великі і не підходять до нашої задачі.

Прийmemo за дійсний корінь  $\rho_3$ , який відповідає нашій задачі, і взявши до уваги, що  $\rho_3 = \rho_{зал}$  та підставивши  $\rho_3$  у формулу (2.21), знайдемо кут  $\gamma$ , який характеризує величину у відпружинювання U- подібної заготовки при її пружно-пластичному деформуванні  $\gamma = \pi/2 \cdot [1 - \rho/(2R_g \cdot \cos(\varphi/3 + 4\pi/3))]$ .

Використавши  $\Delta A''A'D'$  і  $\Delta A'O'F$  та визначивши з цих трикутників  $A''D'$  і  $A'F$  та врахувавши, що  $DF' = \rho$ , а  $A'O_1 = \rho_{заг}$ , отримаємо величину відпружинювання  $Y = 2(A''A' + D'F - DF')$  (рис. 2.6), яка виражається формулою:

$$Y = 2[\rho(0,5\pi \cdot \sin \gamma - 1) + \rho_{заг} \cos \gamma]. \quad (2.26)$$

Величину відпружинювання у рекомендовано враховувати при розрахунку профілів вертикального і бічних пуансонів при проектуванні нових конструкцій штампів для деформування таких заготовок.

## **2.2. Теоретичне дослідження загального зусилля, прикладеного до пуансона при послідовному деформуванні у транспортному каналі**

Аналіз останніх досліджень [5] та існуючих технологічних процесів виготовлення згортних втулок ПРВЛ [5, 74] показує, що на даний час внаслідок технологічної спадковості має місце значне відхилення від круглості їх ВЦП.

Найбільш продуктивним і поширеним є згортання втулки ПРВЛ методом послідовного деформування, реалізований на НЗНА, показаний на рис. 2.7 [5], а профіль її поперечного перерізу після згортання поданий на рис. 2.8. Характерною ознакою недосконалості існуючого технологічного процесу формоутворення згортних втулок є наявність прямолінійних ділянок  $l'$  та  $l''$  на круглограмі та розкритість згортного шва (рис. 2.8). Такі відхилення від круглості ВЦП згортних втулок, які утворюються внаслідок технологічної спадковості, не вдається повністю ліквідувати багаторазовим калібруванням у матрицях [42]. Більше того, при калібруванні виникають значні навантаження, які постійно діють на калібруючі матриці в одному і тому ж місці, що в результаті втомлює призводить до зниження їх стійкості, збільшення їх потреби і зниження ефективності технологічного процесу.

З метою забезпечення високої точності форми ВЦП згортних втулок запропонований технологічний процес їх виготовлення, суть якого пояснюється рис. 2.9 і рис. 2.10.

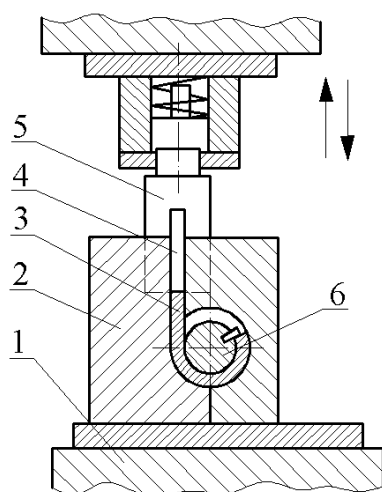


Рисунок 2.7 Конструктивна схема пристрою для згортання втулки за традиційною технологією: 1 – основа; 2 – формуюча матриця; 3 – карточка; 4 – пуансон; 5 – пуансонотримач; 6 – оправка

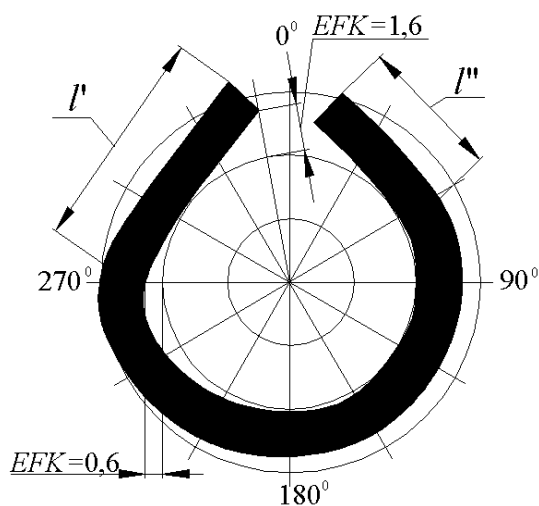


Рисунок 2.8 Профіль поперечного перерізу втулки ланцюга з кроком 19,05 мм, отриманої після згортання за традиційною технологією. Масштаб 1:5

Заготовка (карточка) 6 із накопичувача 2 (на рис. 2.9 не показано) штовхачем 5 подається на робочу позицію під пуансон 4. В цей час пуансон 4 та оправка 3, що спирається своїми кінцями на опори 2 і 11, як балка на двох опорах — нерухомі. Оправка при цьому займає середнє положення, яке показане на рис. 2.9, *а*. Як тільки штовхач 5 починає здійснювати зворотній хід при нерухомій оправці 3, пуансон 4 починає переміщуватись вниз, змушуючи карточку 7 рухатись вертикально вниз, а карточки 8 і 9 — у транспортному каналі 10, виконаному за певним радіусом  $r$ , або по архімедовій чи логарифмічній спіралях. Транспортуючись в каналі 10, карточки 7, 8 і 9 деформуються і карточка 9 своїм торцем діє на торець поперечної карточки, змушуючи її переміщуватись у формувальній матриці і згортатись у втулку 1. Дійшовши до крайнього нижнього положення, пуансон 4 починає переміщуватись вгору, а оправка 3 – вправо, несучи на собі згорнуту втулку 1. По мірі переміщення оправки 3 втулка 1 проходить через одну деформуючу 12 і дві калібруючі фільтери 13, зафіксовані гайкою 14. При цьому формується циліндрична поверхня втулки. Оправка 3, перемістившись на величину  $L_1$  у праве крайнє положення (рис. 2.9, *в*), починає рухатись у зворотньому напрямку, переміщуючись на величину  $L_2$ , і досягає крайнього лівого положення (рис. 2.9, *а*, 2.9, *г* і 2.10). Втулка 1, впираючись своїм торцем у знімач 15, фіксується від переміщення разом із оправкою 3, і при виході останньої із ВЦП втулки вона падає вниз через вікно 16 в тару. Потім оправка 3 переміщується вправо на величину  $L_3$  і зупиняється, а через деякий час штовхач 5 подає наступну карточку на робочу позицію і цикл повторюється. Точність форми ВЦП досліджувалась у згортних втулках для ПРВЛ з кроком 19,05 мм, отриманих як за традиційним (рис. 2.7), так і за запропонованим (рис. 2.9 і 2.10) технологічними процесами. Величина дослідних партій складала 30 шт. Аналіз круглограм, поданий у [143], здійснений за коефіцієнтом  $\lambda_0$  [59] і підтверджує ефективність запропонованого технологічного процесу. Для його реалізації необхідно визначити силові характеристики процесу формоутворення згортної втулки, а саме: зусилля  $P_{заг.}$ , прикладене до пуансона; довжину транспортного

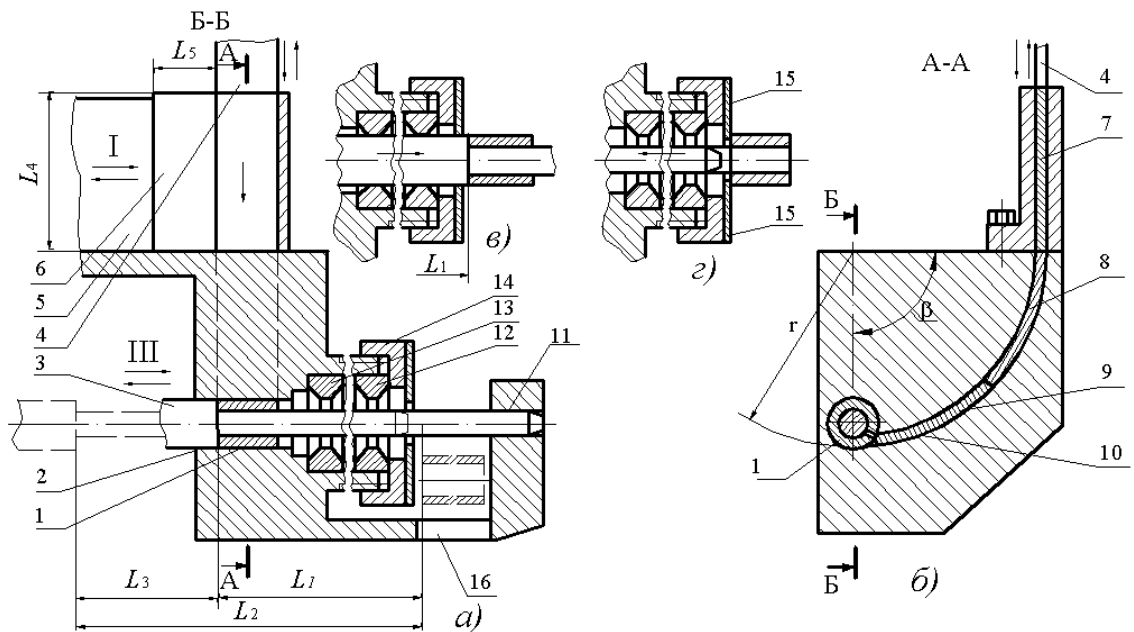


Рисунок 2.9 Пристрій для формування згортної втулки із карточки за запропонованою технологією: *a* – головний вигляд; *б* – переріз А-А; *в* – *г* – фрагментарні зображення оправки відповідно у правому і лівому крайніх положеннях



Рисунок 2.10 Циклограма роботи пристрою для згортки втулки



каналу при заданому радіусі  $r$ , центральний кут  $\beta$  та кількість карточок  $m$ , які одночасно знаходяться у транспортному каналі, виходячи з умови недопущення зминання торця карточки, що контактує із пуансоном. Величина  $P_{заг.}$  буде залежати від  $m$  і  $r$ , ширини пластинки (висота втулки)  $b$ , середнього діаметра  $d_c$ , товщини  $t$  стінки втулки. Для спрощеного розв'язання поставленого завдання приймаємо припущення, які несуттєво впливають на точність розрахунків: зміщення нейтральної лінії при деформації карточки дорівнює нулю; зазор між товщиною карточки і шириною паза  $\Delta \neq 0$ ; при відпружиненні нейтральна лінія деформованої карточки являє собою дугу з постійним радіусом  $r_0$ , довжина нейтральної лінії  $L_c = \pi d_n$  дорівнює довжині дуги, яка визначається через середній діаметр втулки  $L_d = \pi d_c$ , тобто  $d_n = d_c$ .

Розглянемо поставлену задачу поетапно.

На **першому етапі** визначимо зусилля, яке необхідно прикласти до карточки, щоб перемістити її у транспортному каналі на довжину  $L = \pi d_c$ , тут  $d_c$  - середній діаметр втулки. Звернемось до рис. 2.11, на якому схематично показана карточка, що знаходиться в транспортному каналі, і введені позначення: I — форма карточки для абсолютно пластичного матеріалу (радіус серединної лінії карточки дорівнює радіусу лінії симетрії радіусного каналу  $r_k = r$ ), II — форма карточки з урахуванням відпружинення для пружно-пластичного матеріалу з радіусом  $r_0$ . Визначимо зусилля та реакції, що діють на стінки транспортного каналу з боку пружно здеформованої карточки. При заданому радіусі транспортного каналу, що відповідає радіусу пуансона в штампі для гнуття, використавши [60], можемо записати формулу для визначення  $r_0$ :

$$r_0 = (C \cdot (2 \cdot r + t) - t) / 2; \quad (2.27)$$

де  $C$  – коефіцієнт відпружинення,  $t$  – товщина пластини.

Використавши розрахункову схему (див. рис. 2.11), величину відпружинювання  $Y$  визначимо із залежності:

$$Y = r(1 - \cos \alpha/2) - r_0 + \sqrt{r_0^2 - r^2 \cdot \cos^2 \alpha/2}, \quad (2.28)$$

де  $\alpha$  – центральний кут, який дорівнює  $\alpha = \pi d_c / r$ .

Коефіцієнт  $C$  визначимо, використавши [60]:

$$C = 1 / \left( 1 - E' \cdot (2r/t + 1)^{1-n} \right), \quad (2.29)$$

де  $k$ ,  $n$ ,  $E'$  – постійні величини для даного матеріалу, які характеризують інтенсивність зміцнення і визначаються із залежностей:

$$k = \sigma_k / \varepsilon_k^n; \quad n = (\lg \sigma_k - \lg \sigma_s) / (\lg \varepsilon_k - \lg \varepsilon_s); \quad E' = 3k / ((2 + n) \cdot E).$$

Тут  $\sigma_k$  і  $\varepsilon_k$  – відповідно істинні напруження і відносна деформація границі міцності;  $\sigma_s$  і  $\varepsilon_s$  – відповідно істинні напруження і відносна деформація границі текучості.

Із врахуванням (2.29) остаточно отримаємо

$$Y = r \left( 1 - \cos \frac{\pi d_c}{2r} \right) - \frac{C(2r+t)-t}{2} + \sqrt{\left( \frac{C(2r+t)-t}{2} \right)^2 - r^2 \sin^2 \frac{\pi d_c}{2r}}. \quad (2.30)$$

На рис. 2.13 подані графіки залежності  $Y$  від радіуса транспортного каналу для різних типорозмірів втулок. Аналіз залежності (2.30) і графіків (рис. 2.13) показує, що величина відпружинювання  $Y$  залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки (карточок), їхніх розмірів та радіусу транспортного каналу.

Слід підкреслити, що використання залежності (2.30) визначається технічним обмеженням:  $Y \leq Y_{\max}$ , де  $Y_{\max} = (F \cdot l^3) / (48 \cdot E \cdot I_x)$  – максимально допустима величина стрілки прогину карточки, визначена з умови міцності на згин, коли пружний стан переходить у пластичний; тут  $F$  – зусилля, прикладене до карточки;  $l = \pi \cdot d_c$  – довжина карточки;  $E$  – модуль Юнга;  $I_x = (b \cdot t^3) / 12$  – осьовий момент інерції поперечного перерізу карточки відносно центральної осі  $x$ . Врахувавши, що  $[\sigma_\tau] \geq M_{x\max} / W$ , де  $[\sigma_t]$  – границя текучості металу;  $M_{x\max} = (F \cdot l) / 4$  – максимальний згинний момент;  $W_x = (b \cdot t^2) / 6$  – осьовий момент опору, і спростивши, отримаємо умову технічного обмеження:

$$Y \leq Y_{\max} = ([\sigma_\tau] \cdot \pi^3 \cdot d_c^3) / (6 \cdot E \cdot t). \quad (2.31)$$

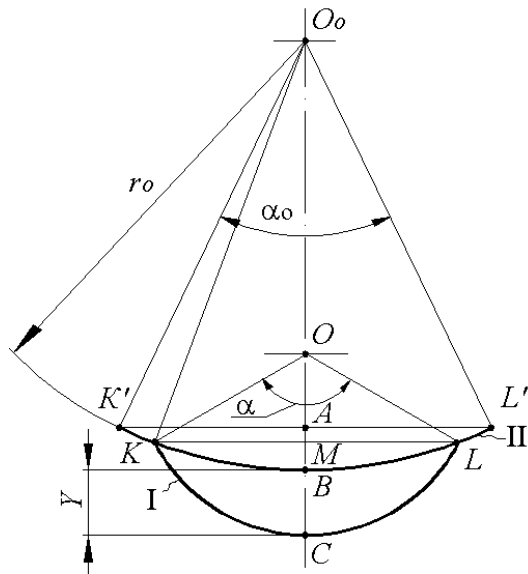


Рисунок 2.11 Розрахункова схема для визначення величини відпружинювання  $Y$

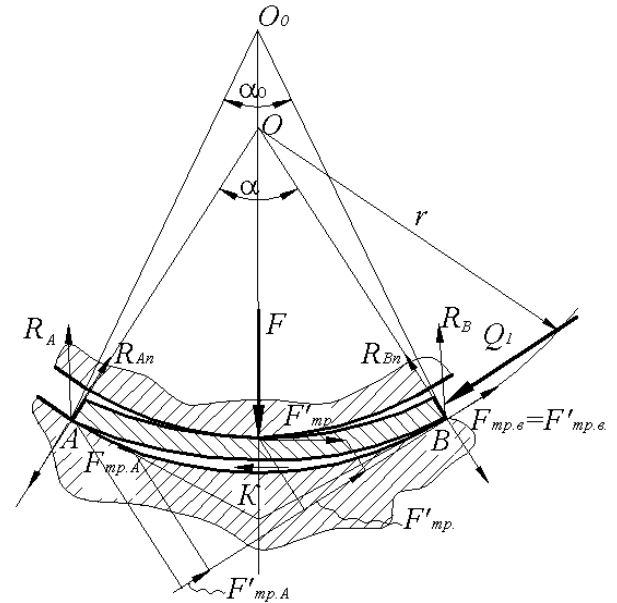


Рисунок 2.12 Розрахункова схема для визначення сили транспортування карточки в транспортному каналі

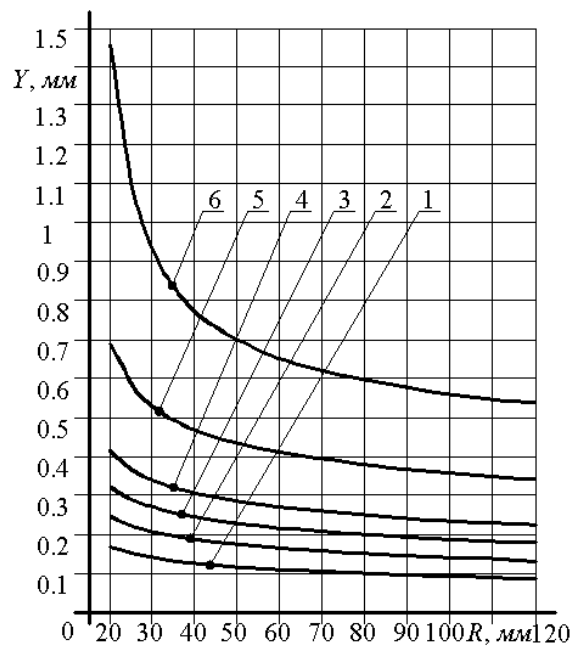


Рисунок 2.13 Графіки залежності величини  $Y$  від радіуса транспортного каналу для карточок заготовок втулок ланцюгів різних кроків: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – відповідно для втулок ланцюгів з кроком 9,525; 12,7; 15,875; 19,05; 25,4 і 38,1 мм (матеріал Сталь 45,  $E=20000$  кг/мм<sup>2</sup>,  $n=0,17$ ,  $\sigma_t=30$ )

Зусилля, необхідне для забезпечення пружної деформації карточки (пластинки) на величину  $Y$ , виразиться формулою:

$$F = (4 \cdot E \cdot b \cdot t^3) / (\pi^3 \cdot d_C^3) \cdot Y. \quad (2.32)$$

Прийнявши, що карточка (пластинка) знаходиться у стані рівноваги  $\sum M_i(0) = 0$  і скориставшись (рис. 2.12), значення зусилля  $Q_1$ , яке необхідне для переборення сил тертя, що виникають від пружної деформації однієї карточки при її транспортуванні в транспортному каналі, буде:  $Q_1 = F'_{mp.A} + F'_{mp.} + F'_{mp.B}$ , де  $F'_{mp.A}, F'_{mp.}, F'_{mp.B}$  – відповідно проекції сил тертя в опорах на напрям дії сили  $Q_1$  (рис. 2.11).

Знаючи силу  $F$ , і визначивши реакції в опорах  $R_A$  і  $R_B$  та враховуючи значення кута  $\alpha$ , після спрощення отримаємо:

$$Q_1 = \frac{2 \cdot E \cdot b \cdot t^3 \cdot Y}{\pi^3 \cdot d_C^3} \cdot f \cdot \cos \frac{\pi \cdot d_C}{2 \cdot r} \left( 3 + \cos \frac{\pi \cdot d_C}{r} \right). \quad (2.33)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя.

Скориставшись залежністю, поданою в [7], і визначивши плече гнуття та спростивши, отримаємо зусилля  $P$ , яке необхідно прикласти до пластини, щоб зігнути її до радіуса  $r$  в традиційних штампах:

$$P = \left( [\sigma_\tau] \cdot t^2 \cdot b \cdot \left( \sin \frac{\pi \cdot d_C}{2 \cdot r} + f \cdot \cos \frac{\pi \cdot d_C}{2 \cdot r} \right) \right) / \left( 2 \cdot r \cdot \sin \frac{\pi \cdot d_C}{2 \cdot r} \right). \quad (2.34)$$

Виходячи із другого закону термодинаміки і враховуючи те, що має місце ізотермічний процес, робота  $A$ , яка виконується при гнутті в традиційних штампах, визначається із залежності:  $A = P \cdot l$ , де  $l$  – переміщення точки прикладання сили (хід пуансона).

$$l = r \cdot (1 - \cos(\pi \cdot d_C / 2r)). \quad (2.35)$$

Використавши (2.34) і (2.35), отримаємо:

$$A = \left( [\sigma_\tau] \right)^2 b \left( \sin \frac{\pi \cdot d_C}{2 \cdot r} + f \cdot \cos \frac{\pi \cdot d_C}{2 \cdot r} \right) \left( 1 - \cos \frac{\pi \cdot d_C}{2 \cdot r} \right) / \left( 2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot d_C}{2 \cdot r} \right). \quad (2.36)$$

З іншого боку, робота, що виконується при гнутті пластинки під час її транспортування у транспортному каналі, буде дорівнювати:

$$A = P_1 \cdot l_1. \quad (2.37)$$

Тут  $P_1$  – зусилля, яке необхідно прикласти до карточки, щоб, zdeformувавши її у транспортному каналі, перемістити на величину  $l_1$ ;  $l_1 = \pi \cdot d_c$  – довжина карточки.

Порівнявши (2.35) та (2.36) і розв'язавши відносно  $P_1$ , отримаємо:

$$P_1 = \left( [\sigma_\tau] t^2 b \left( \sin \frac{\pi \cdot d_c}{2 \cdot r} + f \cos \frac{\pi \cdot d_c}{2 \cdot r} \right) \left( 1 - \cos \frac{\pi \cdot d_c}{2 \cdot r} \right) \right) / \left( 2 \pi d_c \sin \frac{\pi \cdot d_c}{2 \cdot r} \right). \quad (2.39)$$

На **другому етапі** визначимо необхідне зусилля  $Q$ , яке треба прикласти до останньої карточки для переборювання сил тертя при транспортуванні наступних карточок у транспортному каналі. При цьому будемо вважати, що наступні карточки створюватимуть силу опору, яка формується силами тертя, що виникають внаслідок пружної деформації карточок (пластинок):  $Q = Q_1 \cdot (m - 1)$ , де  $m$  – максимальна кількість карточок, які одночасно знаходяться у транспортному каналі і формувальній матриці.

Таким чином загальне зусилля  $P_1'$ , яке необхідне для деформування першої і переміщення наступних карточок у транспортному каналі, буде дорівнювати:

$$P_1' = P_1 + Q = P_1 + Q_1 \cdot (m - 1). \quad (2.39)$$

На **третьому етапі** розглянемо процес згортання карточки 1 (рис. 2.9 і 2.14) у формувальній матриці. В ідеальному випадку, коли карточка плоска, робота деформування під дією  $P_2$  у формувальній матриці радіусом  $r_{\text{вн.з.}}$  (зовнішній радіус втулки) на основі [94] буде:

$$A_1 = P_2 \cdot (d_c / 2). \quad (2.40)$$

Враховуючи те, що карточка попередньо zdeформована і має кривину радіусом  $r_0$ , хід пуансона буде меншим на величину  $EF$ , і тоді залежність (2.40) набуде вигляду :  $A_1 = P_2 \cdot FD$ .

Величина  $EF = r_{em.з.} - FD = \delta_n$  становить похибку переміщення точки прикладання сили  $P_2$ . Тому виникає необхідність визначити, чи допустимо нехтувати величиною  $\delta_n$  для реальних випадків. Використавши  $\Delta ECO$  (рис. 2.14), отримаємо  $\delta_n = r - \sqrt{r^2 - (d_{em.з.}^2/4)}$ , де  $d_{em.з.}$  – зовнішній діаметр втулки.

При виконанні умови, що  $r_{min} - d_{em.з.}/2 > 0$ , отримаємо  $r_{min} > d_{em.з.}/2$ , де  $r_{min}$  – мінімальний радіус транспортного каналу. Задавшись переміщенням  $\delta'_n = 0,05(d_{em.з.}/2)$ , знайдемо мінімальне значення  $r'_0$ , при якому похибка переміщення точки прикладання сили буде складати 5% від загального переміщення пуансона. З умови рівноваги карточки під дією зусиль, які прикладені з боку пуансона і матриці, використавши [106], отримаємо:

$$P_2 = 2P_3 \cdot \sin \alpha_1 + 2f \cdot P_3 \cdot \cos \alpha_1, \quad (2.41)$$

де  $P_2$  – зусилля, прикладене до пуансона;  $P_3$  – зусилля, що діє з боку матриці на карточку;  $\alpha_1$  – кут між напрямом дії  $P$  і зовнішнім боком карточки.

Графіки залежності  $\delta_n = f(r)$  в абсолютному і в процентному відношенні подані на рис. 2.15. Зусилля  $P_3$  можна знайти за формулою [106]:

$$P_3 = ([\sigma_\tau] \cdot t^2 \cdot b) / (4 \cdot r_{em.з.}). \quad (2.42)$$

Так як при переміщенні пуансона кут  $\alpha_1$  зменшується, то при цьому  $\sin \alpha_1$  зменшується, а  $\cos \alpha_1$  збільшується. Тоді можна очікувати, що крива зміни зусилля  $P_2$  від кута  $\alpha_1$  буде мати максимум. Значення кута  $\alpha_1$ , яке відповідає максимуму зусилля гнуття згідно з [106], буде:

$$\alpha_1 = \arccos \left( 1 / \left( \left( \frac{d_{em.з.}}{2} \cdot (r_{em.вн.} + \frac{t}{2}) \right) + 1 \right) \right). \quad (2.43)$$

Підставивши (2.42) та (2.43) в (2.41) і спростивши, отримаємо максимальне значення зусилля, що діє з боку пуансона:

$$P_{2max} = \frac{[\sigma_\tau] t^2 b}{2r_{em.з.}} \left\{ \sqrt{1 - \left[ \frac{2(r_{em.вн.} + t/2)}{d_{em.з.} + 2(r_{em.вн.} + t/2)} \right]^2} + f \frac{2(r_{em.вн.} + t/2)}{d_{em.з.} + 2(r_{em.вн.} + t/2)} \right\} \quad (2.44)$$

де  $r_{em.вн.}$  – внутрішній радіус втулки.

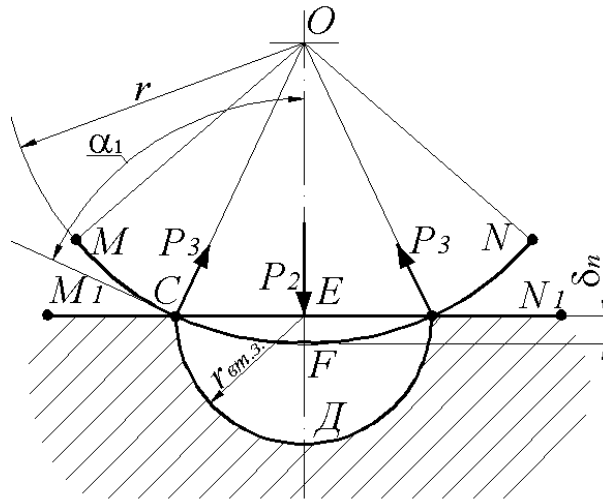


Рисунок 2.14 Розрахункова схема для визначення переміщення точки прикладання сили

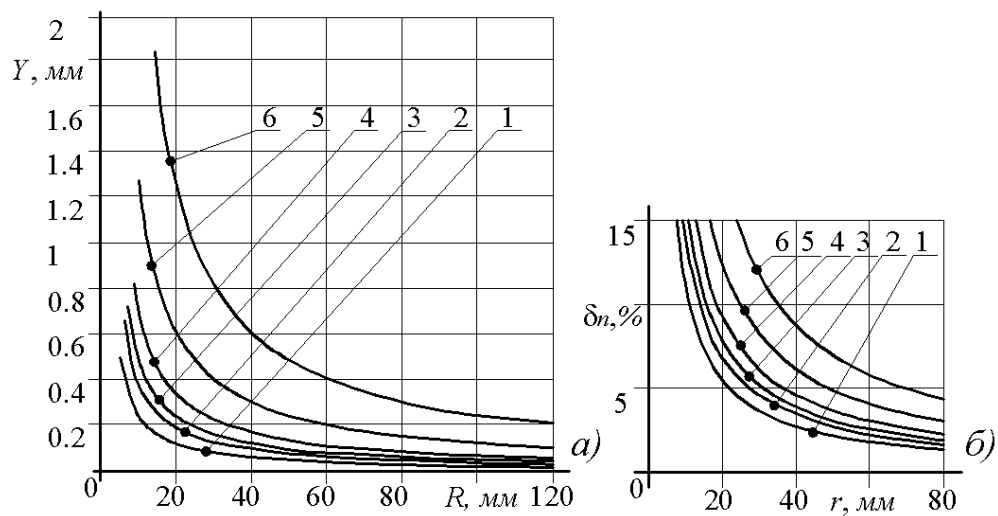


Рисунок 2.15 Графіки залежності  $\delta_n = f(r)$ : а) – в абсолютних значеннях; б) – в процентному відношенні; 1, 2, 3, 4, 5, 6 – відповідно для втулок ланцюгів з кроком 9,525; 12,7; 15,875; 19,05; 25,4 і 38,1 мм

Робота, яка буде виконана при деформуванні половини довжини карточки в традиційних штампах методом гнуття:

$$A_{ум} = P_{2\max} \cdot (r_{\text{ем.з.}} - \delta_n).$$

Для повного згортання втулки загальна робота буде:

$$A_z = 2 \cdot A_{ум} = 2 \cdot P_{2\max} \cdot (r_{\text{ем.з.}} - \delta_n). \quad (2.45)$$

З іншого боку, при послідовному деформуванні робота, яка буде виконана при транспортуванні карточки в матриці на віддаль  $\pi \cdot d_{\text{ем.з.}}$ , буде:

$$A_{mp} = P_M \cdot \pi \cdot d_{\text{ем.з.}}, \quad (2.46)$$

де  $P_M$  – зусилля, прикладене до торця карточки.

Порівнявши (2.45) і (2.46) та розв'язавши відносно  $P_M$ , отримаємо:

$$P_M = (2P_{2\max} \cdot r_{\text{ем.з.}} / (\pi \cdot d_{\text{ем.з.}})). \quad (2.47)$$

На **четвертому етапі** визначимо загальну силу, яку потрібно прикласти до торця карточки, щоб здійснити її деформування, маючи у транспортному каналі  $m$  карточок.

При цьому накладемо обмеження з умови міцності на зминання.

$$P_{заг} \leq [\sigma_{зм}] \cdot t \cdot b, \quad (2.48)$$

де  $[\sigma_{зм}]$  – допустима границя міцності на зминання.

З іншого боку умова міцності на зминання залишиться у вигляді:

$$P_{заг} = P_1 - Q_1 + Q_1 \cdot m + P_M \leq [\sigma_{зм}] \cdot t \cdot b. \quad (2.49)$$

Звідси визначимо кількість карточок, які одночасно знаходяться у транспортному каналі.

$$m = ([\sigma_{зм}] \cdot t \cdot b - P_M - P_1 + Q_1) / Q_1. \quad (2.50)$$

Графіки залежності  $m = \psi(r)$  подані на рис. 2.16.

Для практичного конструювання технологічного спорядження із врахуванням (2.48) і (2.50) необхідно визначити кут  $\beta$  (див. рис. 2.9,б).

Значення  $\beta$  в градусах визначається за формулою:

$$\beta = (180^0 \cdot m \cdot d_{\text{ем.з.}}) / r \quad (2.51)$$



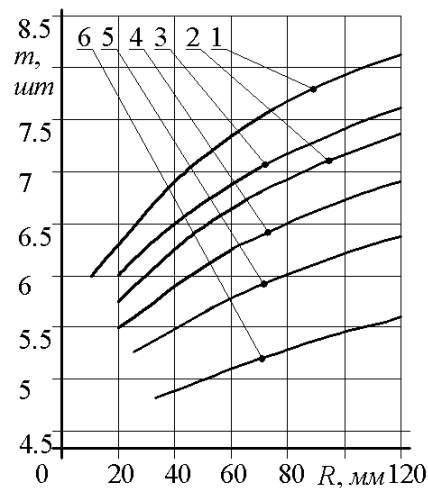


Рисунок 2.16 Графік залежності  $t = \psi(r)$  для втулок різних карточок;

1; 2; 3; 4; 5; 6 – відповідно для втулок ланцюгів з кроком

9,525; 12,7; 15,875; 19,05; 25,4 і 38,1 мм

### 2.3. Теоретико-експериментально-статистичне дослідження приведеної сили тертя і величини відпружинення при переміщенні прямокутної карточки у транспортному каналі з постійним радіусом $r$

При використанні технології згортання карточки як заготовки у втулку з використанням транспортного каналу з постійним радіусом  $r$  [72] виникає задача: визначити максимально допустиму довжину каналу і кількість  $t$  карточок, які в процесі формування у згортні втулки будуть одночасно знаходитись в цьому каналі.

Як показали експерименти величина  $t$  обмежується допустимим напруженням на зминання, що виникає на торці останньої карточки при дії на неї пуансона з певним зусиллям. В процесі переміщення прямокутної плоскої карточки по транспортному каналу остання піддається як пластичній, так і пружній (яка виникає в результаті відпружинення [60]) деформаціям. Під дією пружної деформації при переміщенні карточки в каналі виникають сили тертя, що є складовими загальної сили опору, яку повинно перемогти зусилля, прикладене до торця карточки з боку пуансона.

Дослідженню величини відпружинення листових заготовок присвячена значна кількість наукових робіт [11, 19, 36, 79]. Найширше це питання

висвітлено в роботі [60]. Проте проблема відпружинення у згаданих роботах розглядалась в основному при аналізі та оцінці точності лінійних і кутових розмірів при гнутті в штампах. На даний час у науковій літературі відсутні дослідження впливу величини відпружинення на сили тертя при переміщенні прямокутної карточки в транспортному каналі з певним радіусом, що унеможливує реалізацію прогресивних технологій згортання циліндричних втулок і оптимальне проектування технологічного оснащення.

Тому задача визначення приведеної сили тертя і величини відпружинення в процесі переміщення прямокутної карточки у транспортному каналі з певним радіусом при реалізації нових технологій виготовлення згортних втулок є актуальною. Для визначення приведеної сили тертя  $F_{mp,np}$  звернемось до розрахункової схеми, яка подана на рис. 2.17.

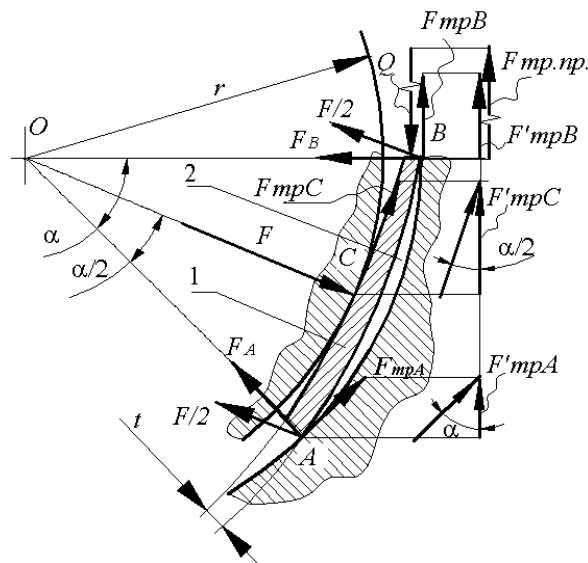


Рисунок 2.17 Розрахункова схема для визначення  $F_{mp,np}$  при транспортуванні карточки в транспортному каналі з радіусом  $r$

Прямокутна карточка 1 в положенні, яке показано на рис. 2.12, знаходиться в каналі 2 у пружно-пластичному стані. Вона отримала певну пластичну деформацію і разом з тим має певну пружну деформацію, яка виникає за рахунок відпружинення. В точках  $A$  і  $B$  внаслідок дії сили  $F$  сили відпружинювання виникають відповідні реакції  $F_A$  і  $F_B$ , які дорівнюють:

$$F_A = F_B = F / (2 \cos \alpha / 2), \quad (2.52)$$

де  $\alpha$  - центральний кут, що відповідає довжині дуги  $L$ , яка дорівнює довжині карточки, тобто  $L = \pi d_c$ , тут  $d_c$  – середній діаметр втулки, яка буде згорнута за запропонованою технологією [77].

На верхній торець карточки з боку пуансона діє сила  $Q$ , яка повинна бути більшою або дорівнювати сумі проєкцій всіх складових сил тертя (приведеній силі тертя –  $F_{mp.np.}$ ) на напрям дії  $Q$ .

В точках  $A$ ,  $B$  і  $C$  сили тертя будуть відповідно дорівнювати:

$$F_{ATP} = F_{BTP} = (F \cdot f) / (2 \cos \alpha / 2); \quad (2.53)$$

$$F_{CTP} = F \cdot f, \quad (2.54)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя ковзання.

Проекції  $F'_{ATP}$ ,  $F'_{BTP}$  і  $F'_{CTP}$  сил тертя  $F_{ATP}$ ,  $F_{BTP}$  і  $F_{CTP}$  на напрям дії сили  $Q$  відповідно будуть дорівнювати:

$$F'_{ATP} = (F \cdot f \cdot \cos \alpha) / (2 \cos \alpha / 2); \quad (2.55)$$

$$F_{mpB} = (F \cdot f) / (2 \cos \alpha / 2); \quad (2.56)$$

$$F_{mpC} = F \cdot f \cdot \cos \alpha / 2. \quad (2.57)$$

З урахуванням (2.55), (2.56) і (2.57) приведена сила тертя, що створюється однією карточкою, визначиться із залежності:

$$F_{mp.np.} = Ff / 2 \cdot ((\cos \alpha / \cos \alpha / 2) + 2 \cdot \cos \alpha / 2 + (1 / \cos \alpha / 2)) \leq Q \quad (2.58)$$

;

Виразивши довжину карточки через діаметр втулки і подавши кут  $\alpha$  як  $\alpha = (\pi \cdot d_{см.с}) / (r + (t/2))$  та задавшись радіусом  $r$  і маючи товщину  $t$  карточки, яку розглядаємо як брус з прямокутним перерізом шириною  $b$ , залежність (2.58) запишемо як:

$$F_{mp.np.} = \frac{2E \cdot b \cdot t^3 \cdot f \cdot Y_{np}}{\pi^3 \cdot d_c^3} \times \left[ \frac{\cos \frac{\pi \cdot d_c}{r + \frac{t}{2}}}{\cos \frac{\pi \cdot d_c}{2(r + \frac{t}{2})}} + 2 \cos \frac{\pi \cdot d_c}{2(r + \frac{t}{2})} + \frac{1}{\cos \frac{\pi \cdot d_c}{2(r + \frac{t}{2})}} \right] \leq Q, \quad (2.59)$$

де  $E$  – модуль пружності;  $Y_{np}$  – приведена величина відпружинення.

Позначивши  $\frac{\pi \cdot d_c}{2(r + \frac{t}{2})} = \beta$ , а  $\frac{\pi \cdot d_c}{r + \frac{t}{2}} = 2\beta$ , і підставивши у (2.59) отримаємо:

$$F_{mp.np.} = \frac{8E \cdot b \cdot t^3 \cdot f \cdot Y_{np}}{\pi^3 \cdot d_c^3} \cdot \left[ \frac{\cos 2\beta}{\cos \beta} + 2\cos \beta + \frac{1}{\cos \beta} \right], \text{ винесемо } \cos \beta \text{ за дужки}$$

$$F_{mp.np.} = \frac{8E \cdot b \cdot t^3 \cdot f \cdot Y_{np}}{\pi^3 \cdot d_c^3 \cos \beta} \cdot (\cos 2\beta + 2\cos^2 \beta + 1), \text{ представимо } \cos 2\beta \text{ як}$$

$\cos 2\beta = \cos^2 \beta - \sin^2 \beta$  а 1 як  $\cos^2 \beta + \sin^2 \beta$ . Підставивши і спростивши, отримаємо:

$$F_{mp.np.} = (8E \cdot b \cdot t^3 \cdot f \cdot Y_{np} \cdot \cos \beta) / (\pi^3 \cdot d_c^3). \quad (2.60)$$

Для визначення  $F_{mp.np.}$  провели експериментально-статистичні дослідження, використавши пристрій, конструктивна схема якого показана на рис. 2.18, і здійснивши обробку отриманих даних статистичними методами. Експериментальним об'єктом була вибрана карточка, яка служить заготовкою для втулки ПРВЛ з кроком 19,05 мм. НЗНА.

Радіус транспортного каналу  $r=100$  мм, ширина карточки  $b=17,75$  мм, товщина карточки  $t=1,27$  мм. Матеріал заготовки сталь 65Г – відпалена.

На основі 1 закріплена вертикальна плита із транспортним каналом 5, який у нижній своїй частині спряжений з формовочною матрицею 4, всередині якої розміщена оправка 3. На шарнірі 7 встановлений важіль 8, на кінці якого закріплена шалька 10 з вантажем масою  $G$ . Початкове положення важеля – I, кінцеве – II. На вертикальній плиті розміщена кутова шкала 9.

Експериментальне дослідження здійснювали наступним чином. У транспортний канал встановлювали карточку так, щоб важіль 8 знаходився у початковому положенні.

Внаслідок наявності відпружинення і пружної деформації виникає момент тертя:

$$M_{mp} = F_{mp.np.} \cdot l_1 = F_{mp.np.} \cdot \left( r + \frac{t}{2} \right), \quad (2.61)$$

де  $l_1 = r + t/2$  – плече прикладеної сили  $F_{mp.np}$  у початковому положенні.

На шальку 10 встановлювали вантаж масою  $G$ , поступово збільшуючи її значення до  $G_{кр}$  до того значення моменту, коли статичне тертя переходило в кінематичне і важіль починав рухатися за годинниковою стрілкою та повертався на певний кут  $\beta_1$ , переміщуючи при цьому і карточку 6 та змінюючи плече прикладеної сили, тобто:

$$M_{mp} = F_{mp.np} \cdot \left( r + \frac{t}{2} \right) = G_{кр} \cdot g \cdot \cos \beta_1 \cdot l_0,$$

де  $l_0$  – плече прикладеної сили  $G \cdot g$  в початковому положенні. Зідки

$$F_{mp.np} = (G_{кр} \cdot g \cdot \cos \beta_1 \cdot l_0) / \left( r + \frac{t}{2} \right) \quad (2.62)$$

Так як величина відпружинення і складові сили тертя є випадковими величинами, то для отримання достовірних значень здійснювали  $n$ -експериментів. За формулою (2.60) і за [20] визначили значення  $F_{mp.npi}$  і  $Y_i$ .

На основі теореми Ляпунова висували гіпотезу, що випадкові величини  $F_{mp.npi}$  і  $Y_i$  підпорядковані нормальному закону розподілу.

Визначали характеристики розсіювання: середні значення  $\bar{F}_{mp.npi}$   $\bar{Y}$  і середньоквадратичні відхилення  $\sigma(F_{mp.np})$ ,  $\sigma(Y)$ . За критерієм Греббса перевіряли однорідність статистичного ряду значень  $F_{mp.npi}$  і  $Y_i$ .

Результати експериментальних і розрахункових досліджень подані на рис. 2.19 та в таблиці 2.1.

Використавши критерій Колмогорова, встановили відповідність експериментального розсіювання теоретичному. Полігони і криві розсіювання величин  $F_{mp.npi}$  і  $Y_i$  подані на рис. 2.19.

За розрахункові значення приймали максимальні величини  $F_{mp.np}^{\max}$  і  $Y_{\max}$ , що відповідали квантилю 5% ризику.

Запропонована методика дозволяє з імовірністю  $P=95\%$  визначити приведену величину відпружинення і максимальне значення приведеної сили

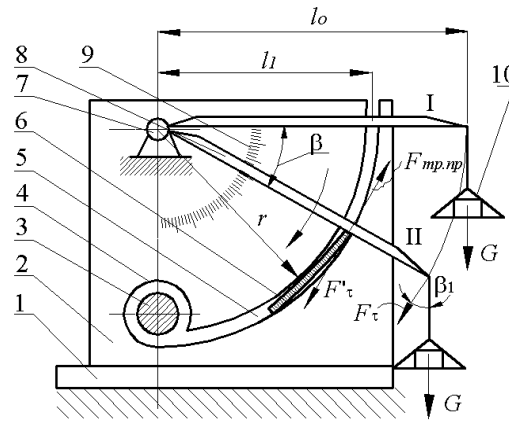


Рисунок 2.18 Конструктивна схема пристрою для експериментального визначення приведеної сили тертя

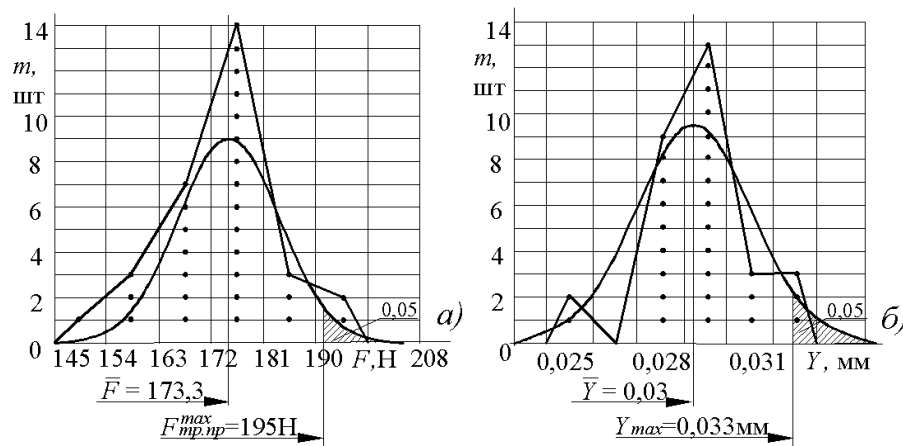


Рисунок 2.19 Полігони і теоретичні криві розсіювання:  
а) – приведеної сили тертя  $F_{mp,np}$ ; б) – приведеної величини відпружинення  $Y$

Таблиця 2.1

Результати експериментальних даних випадкових величин  $F_{mp,np_i}$  і  $Y_i$  та характеристики їх розсіювання

|  |  |  |
|--|--|--|
| Статистичний ряд значень,<br>$F_{mp,np}$ , Н – чисельник<br>$Y$ – знаменник (мм) |  | 189,8/0,0329; 181,2/0,0341; 180,4/0,0313; 168,5/0,0292;<br>193,7/0,0336; 197,0/0,0341; 174,4/0,0302; 173,2/0,0300;<br>164,0/0,0284; 174,8/0,0303; 176,3/0,0306; 162,0/0,0281;<br>146,9/0,0255; 174,2/0,0302; 162,0/0,0281; 173,2/0,0255;<br>176,8/0,0302; 172,8/0,0281; 162,0/0,0300; 178,0/0,0306;<br>164,0/0,0300; 176,5/0,0281; 167,6/0,0309; 177,1/0,0284;<br>169,6/0,0306; 173,2/0,0291; 173,6/0,0307; 164,0/0,0294;<br>170,5/0,0300; 181,4/0,0301. |
| Характеристики розсіювання   | $\bar{F}_{mp,np}$ , Н / $\bar{Y}$ мм     | 173,3/0,030  |
|  | $\sigma(F_{mp,np})$ , Н / $\sigma(Y)$ мм | 9,72/0,019   |
| Критерій Греббса, $t_{кF} / t_{кY}$  |  | 2,469/2,2105   |
| Критичне значення $t'_к$ при $p = 5\%$   |  | 2,792  |
| Квантиль імовірності 95%, $F_{mp,np}^{max} / Y_{max}$                            |  | 195/0,033  |
| Коефіцієнт варіації, $K_{varF} / K_{varY}$                                       |  | 0,056/0,063  |

тертя, використання якого в перспективі дасть можливість знайти максимально допустиму кількість карточок  $m$  у транспортному каналі з умови забезпечення міцності на зминання, а також, знаючи  $m$ , розрахувати певні конструктивні параметри пристрою для заготовки втулок.

#### **2.4. Теоретичне дослідження відносної площі віброобкочування з підвищеним ступенем перекриття**

Одним із методів підвищення експлуатаційних властивостей деталей якості їх контактуючих поверхонь і маслостійкості, шорсткості, твердості, зносостійкості є створення віброобкочуванням на цих поверхнях тертя регулярного мікрорельєфу [17, 57].

Так стендові й експлуатаційні випробування двигунів внутрішнього згорання автомобілів ЗІЛ-130 (РФ), в яких робочі поверхні гільз мали відповідний регулярний мікрорельєф, показали підвищення їх зносостійкості в 1,4 – 1,6 разів, а поршневих кілець – до двох разів [57]. Впровадження віброобкочування замість розвертування внутрішньої поверхні підшипника-втулки токарно-револьверного автомата моделі 15136 на Хабаровському верстатобудівному заводі (РФ) дало можливість підвищити зносостійкість робочої поверхні підшипника на 60-80%, виключивши при цьому утворення натирів і задирів [17].

Серед найголовніших критеріїв регулярного мікрорельєфу, який забезпечує підвищення зносостійкості контактуючої поверхні, є ступінь перекриття, що визначається відносною площею віброобкочення, яка дорівнює частці від відношення віброобкоченої площі робочої поверхні до загальної [17], а також ступінь зміцнення віброобкочуваної поверхні, що визначається зростанням мікротвердості металу обробленого поверхневого шару до вихідної мікротвердості металу, тобто  $\Delta H = (H_o - H_e) / H_{oe} \cdot 100\%$ .

Відомі технології і пристрої [4, 6, 43, 148] формування регулярних мікрорельєфів на плоских поверхнях. Найефективнішим відомим технологічним

засобом для створення регулярних мікрорельєфів різних видів [57] на плоских поверхнях є пристрій для обробки віброобкочуванням плоских поверхонь [6]. Проте цей пристрій має суттєвий недолік. Суть його полягає в тому, що через нестабільність у часі характеристик пружин стиску практично неможливо забезпечити однакові зусилля віброобкочування на кожному віброобкатнику, що може призвести до утворення так званого квазірегулярного мікрорельєфу і різної по всій робочій поверхні зносостійкості.

Окрім цього в літературі відсутні дослідження формування регулярних мікрорельєфів із підвищеним ступенем перекриття, коли відносна площа віброобкочування  $S_{e.e.} > 80\%$ . Тому створення технологічного спорядження для формування на плоских поверхнях регулярного мікрорельєфу з підвищеним ступенем перекриття і дослідження впливу елементів режиму віброобкочування на цей параметр віброобкоченої поверхні є актуальною задачею. Конструктивна принципова схема пристрою (технологічного спорядження) для формування віброобкочуванням на плоских поверхнях регулярного мікрорельєфу з підвищеним ступенем перекриття подано на рис. 2.20.

На пінолі 19 широкоуніверсального фрезерного верстата закріплений пристрій, який складається із корпусу 1, в якому з можливістю здійснення прямолінійного зворотно-поступального руху встановлена каретка 2. У каретці є поздовжній паз, в якому монтуються з можливістю забезпечення взаємного розміщення у поздовжньому і поперечному напрямках робочі гідравлічні циліндри 4, 6, 12, на кінцях штоків яких є деформуючі елементи – віброобкатники 16, 17, 18. Порожнини цих циліндрів 4, 6, 12 з'єднані із центральним циліндром 7, у верхній частині якого встановлена пружина 8, що одним кінцем контактує із верхнім торцем поршня 10, а іншим - з регулювальним гвинтом 9. Каретка через ролик 21 контактує з кулачком 20, профіль якого виконаний за Архімедовою спіраллю. Необхідне зусилля деформування створюється загвинчуванням регулювального гвинта 9 і стисненням пружини 8, яка, діючи на поршень 10 центрального циліндра, створює необхідний тиск у гідросистемі.



Формування регулярного мікрорельєфу забезпечується наступним чином. Заготовку, наприклад, стрічку 14 встановлюють на столі верстата 15. Здійснивши наладку пристрою, тобто забезпечивши певні положення віброобкатників шляхом відповідного їх розміщення як у поздовжньому, так і у поперечному напрямках, і встановивши поздовжню подачу  $S_n$  й частоту осциляції  $n$ , вмикають обертання шпинделя і поздовжню подачу стола. Віброобкатники 16, 17, 18, контактуючи з обробленою поверхнею, внаслідок здійснення двох взаємно перпендикулярних рухів її деформують і формують в залежності від обраних елементів режиму віброобробочування певний вид регулярного мікрорельєфу. Підвищений ступінь перекриття може бути забезпечений при умові, коли крок віброобробленої канавки  $t_k$  буде менший від ширини канавки  $\rho$ , утвореної віброобкатником, тобто  $t_k < \rho$ . Ступінь перекриття будемо подавати у процентному відношенні відносною площею віброобробочування як частку від ділення віброобробленої площі до загальної на певному відрізку заданої довжини, наприклад, довжині, яка дорівнює  $t_k$ .

В загальному геометричній моделі віброобробленої поверхні, створеної одним віброобкатником, можуть бути в залежності від кількості  $n$  осциляцій (0,5; 1; 2;...  $n$ ) або кроків на довжині розглядуваної поверхні та при певному співвідношенні кроку –  $t_k$  і ширини  $\rho$  канавки та дотриманні певних умов – трьох типів: перший – при  $0 < t_k/\rho < 0,5$ ; другий – при  $t_k/\rho = 0,5$ ; третій, коли  $0,5 < t_k/\rho \leq 1,0$ . У випадку, коли ширина стрічки, на якій формується регулярний мікрорельєф,  $H = 2 \cdot e_{кр} + \rho$ ,  $S_n = 0$  і  $e_{кр} = 0$ , максимальна відносна площа віброобробочування дорівнює  $S_{в.в.макс} = \pi/4 \cdot 100\% = 78,5\%$ . Якщо  $S_n = 0$ , а  $e_{кр} \neq 0$ , то відносна площа віброобробочування у відсотках визначиться із формули:

$$S_{в.в.} = (\pi \cdot \rho + 8e_{кр}) / (4\rho + 8e_{кр}) \cdot 100\% \quad (2.63)$$

Аналіз формули (2.63) і графіків, поданих на рис. 2.21, показує, що із збільшенням  $e_{кр}$  величина  $S_{в.в.}$  збільшується і при  $e_{кр} \rightarrow \infty$   $S_{в.в.} \rightarrow 100\%$ .

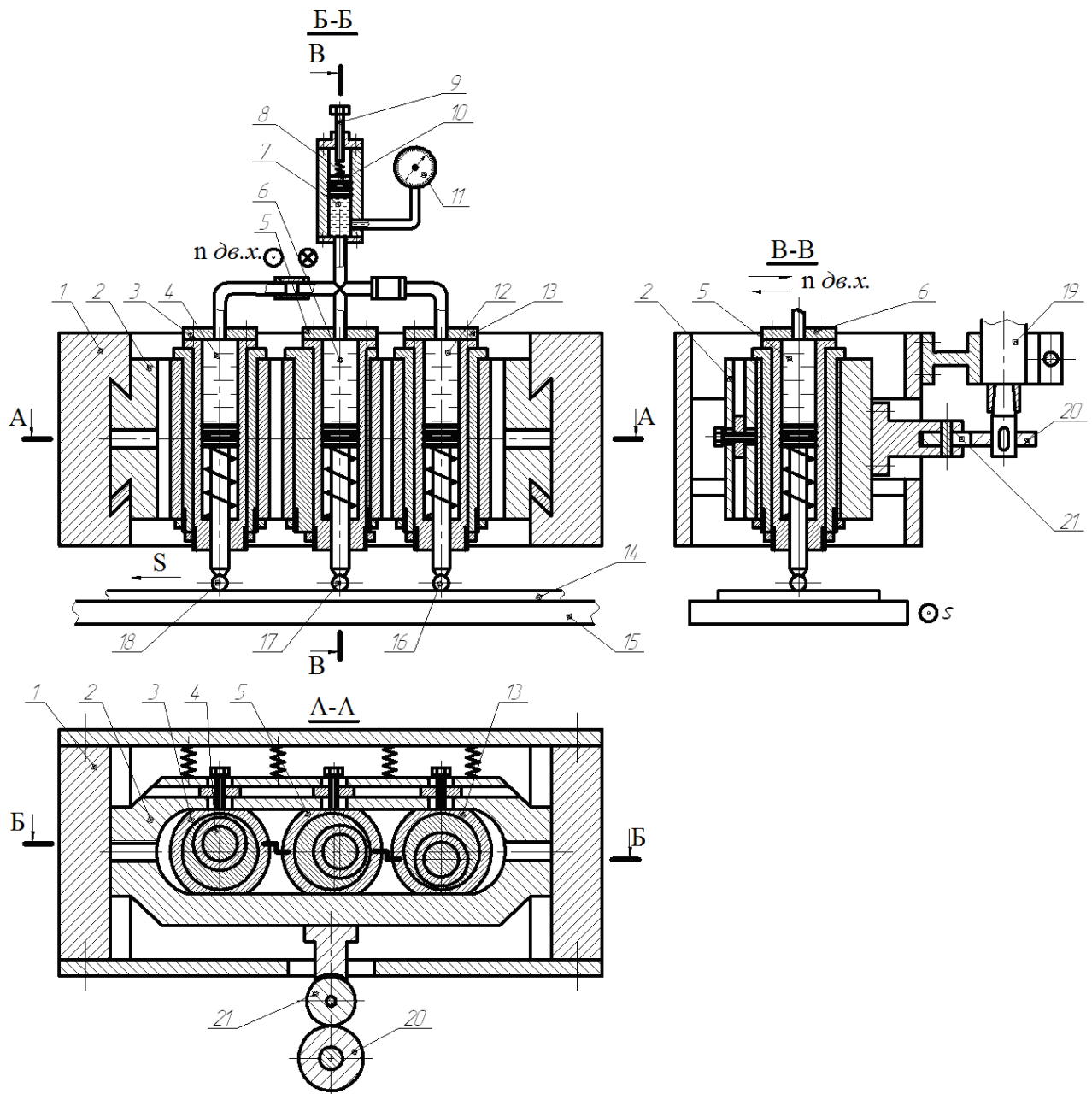


Рисунок 2.20 Конструктивна принципова схема пристрою (технологічне спорядження) для формування віброобробочуванням регулярного мікрорельєфу на плоских поверхнях

В даній роботі розглядається другий тип регулярного мікрорельєфу при умові, що  $S_n \neq 0$ ,  $H = 2 \cdot e_{кр} + \rho$  і  $t_k / \rho = 0,5$ . Геометрична модель цього типу регулярного мікрорельєфу при  $n=1$  подана на рис. 2.22.

Площа  $S_g$ , яка утворилась внаслідок деформації оброблюваної поверхні при здійсненні одного подвійного ходу віброобкатника і поздовжній подачі стрічки  $S_n$ , величині різниці максимального і мінімального радіусів кулачка з профілем, виконаним за Архімедовою спіраллю, яка дорівнює  $2e_{кр} = R_{к_{max}} - R_{к_{min}}$ , та ширині канавки  $\rho$  і кроку  $t_k = \rho/2$ , схематично зображена на рис. 2.22 фігурою  $A_1B_1K_2K_1C_2ND_2L_2ML_1$ .

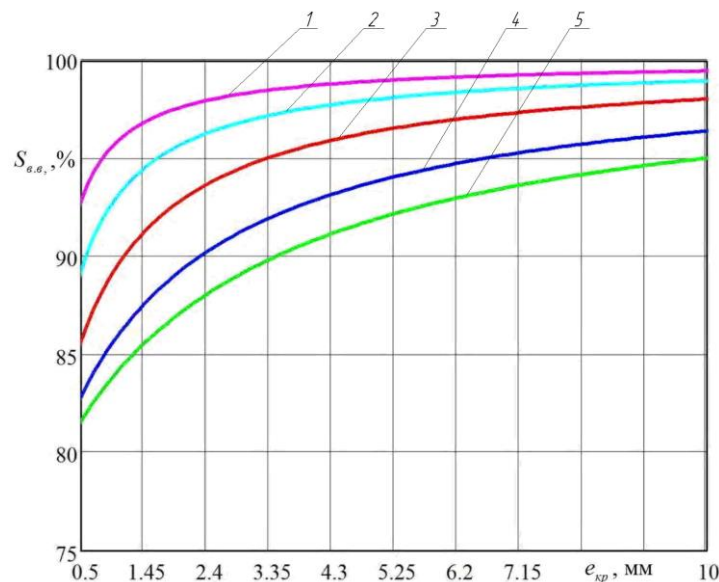


Рисунок 2.21 Графік залежності відносної площі віброобробкування регулярного мікрорельєфу  $S_{в.в.}$  у % від величини амплітуди  $e_{кр}$  при відповідних наченнях ширини канавки: 1-  $\rho = 0,5$  мм, 2-  $\rho = 1$  мм, 3-  $\rho = 2$  мм, 4-  $\rho = 4$  мм, 5-  $\rho = 6$  мм

В загальному площа віброобробленої поверхні, утвореної при вищезазначених умовах, може бути подана рівнянням такого виду:

$$S_g = \sum_{i=1}^n S_{зб_i} - \sum_{j=1}^m S_{зб_j}, \quad (2.64)$$

де  $S_{зб}$  та  $S_{з_м}$  – відповідно складові площі віброобробленої поверхні, які збільшують та зменшують величину  $S_g$ .

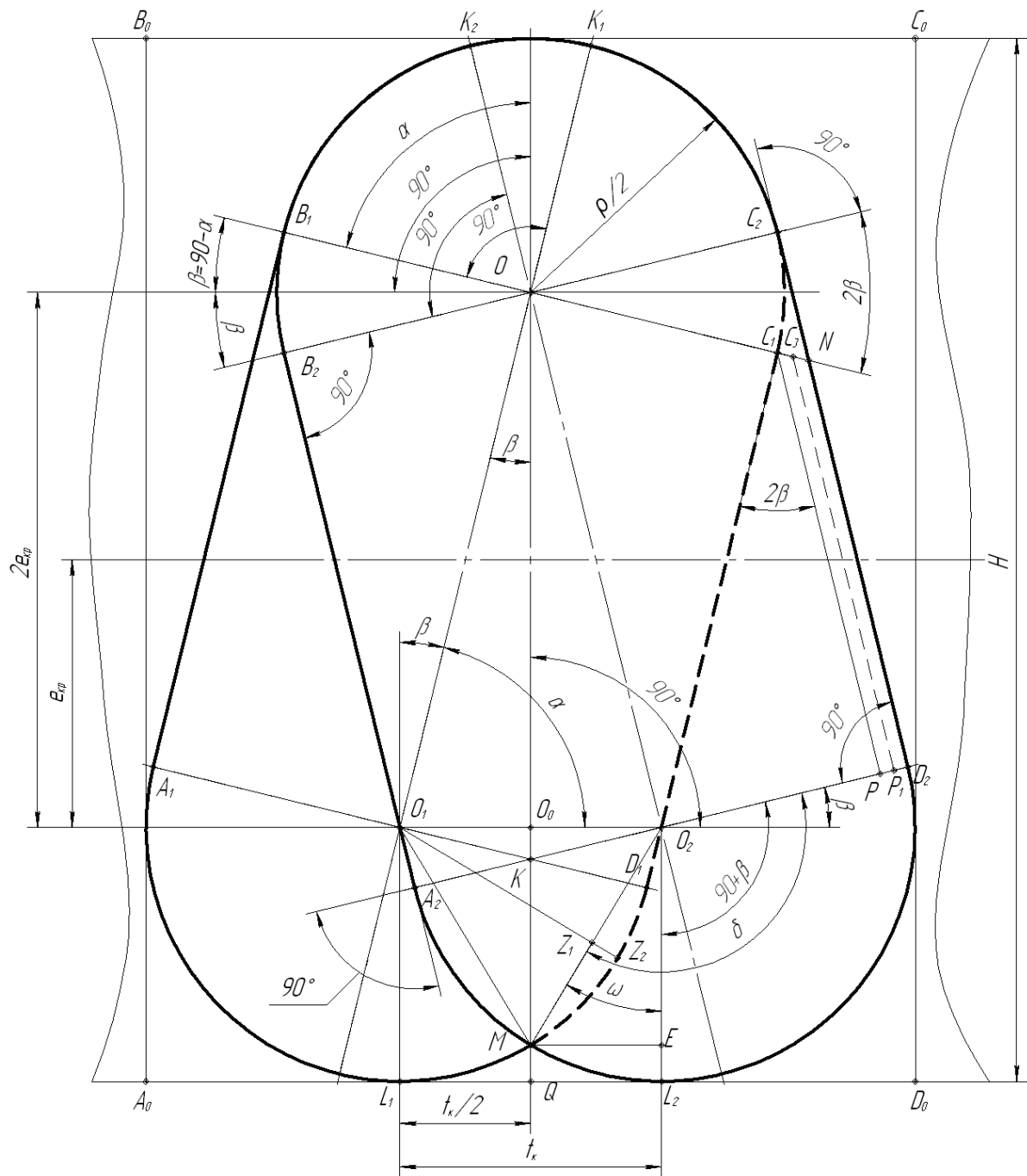


Рисунок 2.22 Геометрична модель та розрахункова схема рельєфу для визначення відносної площі віброобробчування за один подвійний хід віброобкатника

Скориставшись запропонованою геометричною моделлю і розрахунковою схемою, величину  $S_e$  виразимо:

$$S_e = S_{зб_1} = S_{A_1B_1C_1D_1} + S_{зб_2} = 2 \cdot S_{B_1K_2K_1C_1} + S_{зб_3} = S_{C_1C_2N} + S_{зб_4} = S_{O_2C_1ND_2} + S_{зб_5} = S_{O_2P_2L_2M} - S_{зм_1} = S_{ML_1O_2L_2}$$

Величина  $S_{зб_1}$  дорівнює площі прямокутного чотирикутника із сторонами, які дорівнюють  $2e_{кр}/\sin \alpha$  і  $\rho$ .

$$S_{зб_1} = (2\rho \cdot e_{кр})/\sin \alpha. \quad (2.65)$$

З  $\Delta O_0O_1O$ , взявши до уваги, що  $O_0O_1 = t_{\kappa}/2$ , а  $O_0O = 2e_{кр}$ , отримаємо:

$$\alpha = \arctg(4e_{кр}/t_{\kappa}). \quad (2.66)$$

Виразивши  $t_{\kappa}$  через елементи режиму віброобточування, тобто  $t_{\kappa} = S_n/n$ , будемо мати:

$$\alpha = \arctg((4e_{кр} \cdot n)/S_n). \quad (2.67)$$

Врахувавши, що  $\arctg(x) = \arcsin x/\sqrt{1+x^2}$ , а  $\sin(\arcsin(x))=x$  в кінцевому результаті отримаємо:

$$\sin \alpha = (4e_{кр} \cdot n)/(\sqrt{S_n^2 + 16e_{кр}^2 \cdot n^2}). \quad (2.68)$$

І тоді  $S_{зб_1}$  виразиться формулою:

$$S_{зб_1} = \rho(\sqrt{S_n^2 + 16e_{кр}^2 \cdot n^2}/2n). \quad (2.69)$$

Величина  $S_{зб_2}$  дорівнює площі круга з радіусом  $\rho/2$ .

$$S_{зб_2} = \pi\rho^2/4. \quad (2.70)$$

Величина третьої складової площі  $S_{зб_3}$  буде дорівнювати площі криволінійного трикутника  $C_1C_2N$  і виражається різницею площ прямокутного трикутника  $OC_2N$  і сектора  $OC_1C_2$ . З урахуванням того, що  $2\beta = 180^\circ - 2\alpha$  (рис. 2.22), використавши для тригонометричних функцій формули приведення і подвійного кута, після спрощень отримаємо:

$$S_{зб_3} = 1/2 \cdot \rho/2 \cdot (8e_{кр}nS_n)/(\sqrt{16e_{кр}^2n^2 - S_n^2}) \times (\rho/2 - \sqrt{S_n^2 + 16e_{кр}^2n^2} \cdot ((4e_{кр}n)/\sqrt{S_n^2 + 16e_{кр}^2n^2}) \cdot \sqrt{1 - (16e_{кр}^2n^2)/(S_n^2 + 16e_{кр}^2n^2)}). \quad (2.71)$$

Четверту складову площі  $S_{зб4}$ , яка збільшує площу віброобкочування, знайдемо, як суму площ  $\Delta O_2C_1P$  і трапеції  $C_1ND_2O_2$ .

Визначивши сторону  $O_2C_1$   $\Delta O_2C_1P$  як  $O_2C_1 = 2e_{кр}/\sin \alpha$ , врахувавши (2.68) і подавши  $2\beta = 180^\circ - 2\alpha$ , знайшли довжини сторін  $O_2P$  і  $C_1P$  і площу трикутника  $S_{\Delta O_2C_1P}$ . Розглянувши  $\Delta OC_2N$  і взявши до уваги, що  $OC_2 = \rho/2$  і  $\angle C_2ON = 2\beta = 180^\circ - 2\alpha$ , визначили довжину сторони  $C_2N$  і відповідно другу сторону  $NP_2$  трапеції  $NP_2PC_1$ . Висота  $PP_2$  трапеції визначається, як різниця  $\rho/2 - O_2P$ , а середня лінія буде дорівнювати  $CP_1$ . Врахувавши вищеподане і спростивши отримаємо:

$$\begin{aligned}
 S_{зб4} = & 0,5 \cdot \left( \sqrt{S_n^2 + 16e_{кр}^2 \cdot n^2} \cdot \frac{4e_{кр} \cdot n}{\sqrt{S_n^2 + 16e_{кр}^2 \cdot n^2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{16e_{кр}^2 \cdot n^2}{S_n^2 + 16e_{кр}^2 \cdot n^2}} \right) / 2n \times \\
 & \times \left( \sqrt{S_n^2 + 16e_{кр}^2 \cdot n^2} \cdot \left( \frac{32e_{кр}^2 \cdot n^2}{S_n^2 + 16e_{кр}^2 \cdot n^2} - 1 \right) \right) / 4n + \\
 & + \left( \sqrt{S_n^2 + 16e_{кр}^2 \cdot n^2} \cdot \left( \frac{32e_{кр}^2 \cdot n^2}{S_n^2 + 16e_{кр}^2 \cdot n^2} - 1 \right) + \sqrt{S_n^2 + 16e_{кр}^2 \cdot n^2} - 0,5 \cdot n \cdot \rho \right) / 4n \times \\
 & \times \left( 0,5 \cdot n \cdot \rho - \sqrt{S_n^2 + 16e_{кр}^2 \cdot n^2} \cdot \frac{4e_{кр} \cdot n}{\sqrt{S_n^2 + 16e_{кр}^2 \cdot n^2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{16e_{кр}^2 \cdot n^2}{S_n^2 + 16e_{кр}^2 \cdot n^2}} \right) / n
 \end{aligned} \tag{2.72}$$

Складову площі  $S_{зб5}$  визначимо, як площу сектора  $O_2D_2L_2M$ . Врахувавши позначення на розрахунковій схемі та врахувавши, що  $t_{\kappa} = S_n/n$ , після спрощення отримаємо:

$$S_{зб5} = \left( 1 - \left( 3 \cdot \arctg(4e_{кр} \cdot n) / S_n \cdot \pi \right) / (2\pi^2) \right) \cdot \pi \cdot \rho^2 / 4. \tag{2.73}$$

Прийнявши, що  $D_1M$  відділяє собою частину кола з центром в точці  $O_1$ , визначимо площу сегмента  $MZ_1D_1Z_2$ , скориставшись формулою:

$$S_{зм1} = S_c = 0,02258 \cdot \rho^2 \tag{2.74}$$

Тоді відносна площа віброобкочування  $S_{е.в.}$  виразиться залежністю:

$$S_{е.в.} = (S_e/S) \cdot 100\%, \tag{2.75}$$

де

$$S = (2e_{кр} + \rho) \cdot 3/2 \cdot \rho. \tag{2.76}$$

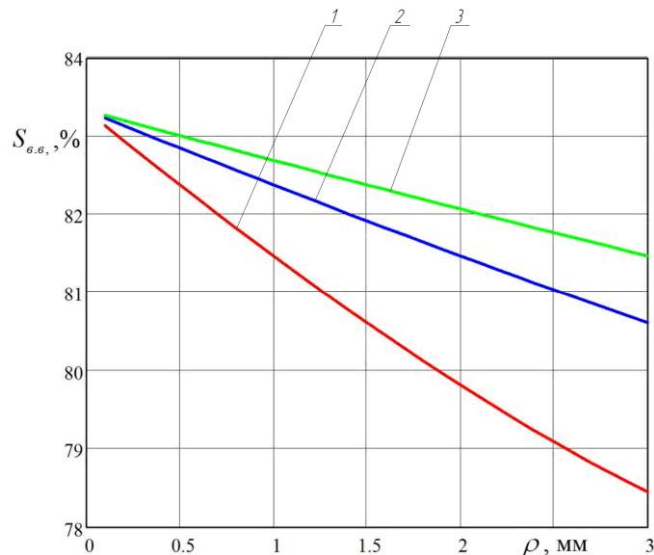


Рисунок 2.23 Графік залежності відносної площі віброобкочування регулярного мікрорельєфу  $S_{в.в.}$  у % від ширини канавки  $\rho$  в мм при відповідних значеннях ширини стрічки: 1 –  $H=10$  мм, 2 –  $H=20$  мм, 3 –  $H=30$  мм.

Використавши (2.75), отримали графіки залежності відносної площі віброобкочування  $S_{в.в.}$  в % від ширини канавки  $\rho$  в мм при відповідних значеннях ширини стрічки  $H$  в мм.

## 2.5. Імовірісно-статистичний метод визначення зусилля дорнування ВЦП згортних втулок

Існуючі технологічні процеси виготовлення згортних втулок [91, 111, 113, 132], які використовуються як ЕПК, наприклад, у шкворневих спряженнях ходової частини деяких марок автомобілів, у шатунно-поршневих спряженнях та у спряженнях згортна втулка-корпус коромисла механізму газорозподілу двигунів внутрішнього згоряння, передбачають після запресування цих втулок у корпусні деталі операцію дорнування їх ВЦП. Необхідність операції дорнування викликано тим, що, по перше, згортні втулки після їх формування мають значні відхилення від круглості і, по друге, в процесі запресування цих втулок у отвори корпусних деталей виникає суттєве спотворення форми (відхилення твірної ВЦП від прямолінійності) [26, 37].

Огляд і аналіз літературних джерел показав що, визначенню зусилля дорнування ВЦП втулок присвячено ряд наукових праць [91, 104, 111, 115]. Проте в існуючих залежностях для визначення зусилля дорнування, які подані у вищезгаданих наукових працях, величина натягу “ $i$ ” як різниця діаметрів дорна та ВЦП оброблюваних згортних втулок та коефіцієнта тертя  $f$  подані як сталі невідповідні величини. Якщо ж процес дорнування ВЦП згортних втулок реалізується на одній окремо взятій позиції (рис. 2.24) з використанням одного дорна з постійним його діаметром  $d_{\partial.n.}$ , а діаметр ВЦП згортних втулок  $d_{\partial.m.}$ , які підлягають дорнуванню, прийняти як величину, виконану з певною точністю (квалітетом) із відповідним полем допуску  $\delta_{\partial.m.}$ , тобто як величину випадкову з нормальним законом розподілу і врахувавши, що поле допуску виконано по  $H$ , то  $d_{\partial.m.} = d_{n.\partial.m.} + \delta_{\partial.m.}$ , де  $d_{n.\partial.m.}$  – номінальний діаметр ВЦП втулки а  $0 \leq \delta_{\partial.m.} \leq \delta_{\partial.m.}$  – випадкова величина допуску і взявши до уваги, що  $d_{\partial.n.} > d_{n.\partial.m.}$ , то величина  $i_1$  виразиться залежністю:

$$i_1 = d_{\partial.n.} - d_{n.\partial.m.} + \delta_{\partial.m.} \quad (2.77)$$

Позначивши  $\Delta_{\partial} = d_{\partial.n.} - d_{n.\partial.m.}$  і прийнявши, що стандарт  $\sigma_{\partial.m.} = \delta_{\partial.m.}/6$ , а середнє значення допуску  $\bar{\delta}_{\partial.m.} = \delta_{\partial.m.}/2$ , щільність розподілу величини “ $i$ ” виразиться залежністю:

$$f(i) = 6 / (\sqrt{2} \pi \sigma_{\partial.m.}) \cdot e^{-\left(18[i_j - (4 + 0.5 \bar{\delta}_{\partial.m.})]^2\right) / \delta_{\partial.m.}^2} \quad (2.78)$$

Якщо ж процес дорнування ВЦП згортних втулок реалізується на  $n$  позиціях з використанням  $N$  дорнів, діаметри яких виконані за встановленим квалітетом з полем допуску  $\delta_{\partial}$  по “ $h$ ”, то величина натягу виразиться формулою:

$$i_n = d_{n.\partial} - \delta_{\partial} - d_{n.\partial.m.} + \delta_{\partial.m.}, \quad (2.79)$$

де,  $d_{n.\partial}$  – номінальний діаметр дорна;  $\delta_{\partial}$  – випадкове значення відхилення діаметра дорна від номіналу.

Ввівши аналогічно до попереднього позначення  $\Delta_H = d_{n.\partial} - d_{n.\partial.m.}$  виразимо:

$$i_n = \Delta_n + \delta_{\partial.m.} - \delta_{\partial}. \quad (2.80)$$



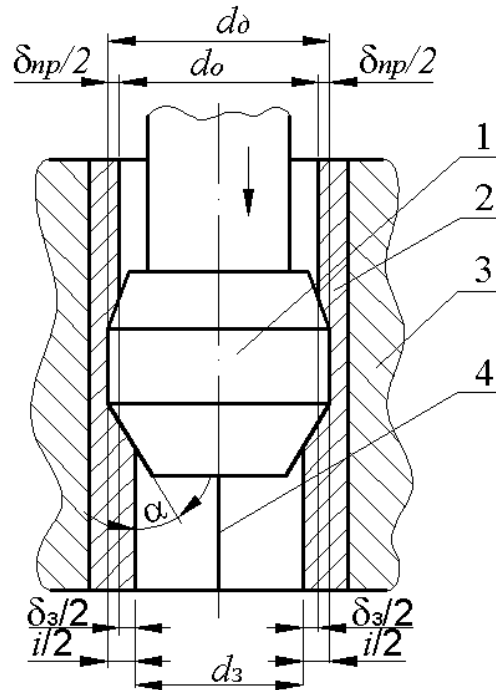


Рисунок 2.24 Схема дорнування згортної втулки  $d_3$  – діаметр згортної втулки до дорнування;  $d_o$  – діаметр згортної втулки після дорнування;  $d_\partial$  – діаметр циліндричного пояса дорна;  $\alpha$  – кут забірної частини дорна;  $i$  – натяг;  $\delta_{np}$  – величина відпружинювання;  $\delta_3$  – залишкова часткова деформація; 1 – дорн; 2 – оброблювана втулка; 3 – корпус; 4 – стиковий шов.

Позначивши  $\hat{q}_{em} - \hat{q}_\delta = \xi$ , знайдемо дисперсію цієї різниці  $D(\xi) = D(\hat{q}_{em}) + D(\hat{q}_\delta)$ , дисперсію розсіювання величин  $i_n$ .  $D_{in} = (\delta_{em}^2 + \delta_\delta^2)/36$  і стандарт відхилення  $\sigma(i_n)$  та математичне сподівання  $M(i)$ , що практично дорівнює його середньому значенню  $\bar{i}_n$  буде дорівнювати

$$M(i) = a \approx \bar{i}_n = \Delta_n + 0,5(\delta_{em} - \delta_\delta), \quad \sigma(i_n) = \left( \sqrt{\delta_{em}^2 + \delta_\delta^2} \right) / 6.$$

Тоді щільність розподілу величини  $i_n$  виразиться залежністю:

$$f(i_n) = 6 / \sqrt{2\pi(\delta_{em}^2 + \delta_\delta^2)} \cdot e^{-\left(18 \cdot i_n - [\Delta_n + 0,5(\delta_{em} - \delta_\delta)]\right)^2 / (\delta_{em}^2 + \delta_\delta^2)}. \quad (2.81)$$

Окрім цього, згідно з [113, 116] коефіцієнт тертя  $f_{mp}$  - величина випадкова і змінна у певних границях  $f_{mp.min} \leq f_{mp} \leq f_{mp.max}$ . На цій основі можна прийняти гіпотезу, що випадкова величина  $f_{mp}$  підкоряється нормальному закону розподілу із щільністю:

$$\psi(f_{mp}) = 6 / \sqrt{2\pi \cdot \delta_{mp}^2} \cdot e^{-\left(18 \cdot [f_{mp} - 0,5(f_{mp.min} + f_{mp.max})]\right)^2 / \delta_{mp}^2}, \quad (2.82)$$

тут стандарт розсіювання коефіцієнта тертя  $\sigma_{mp}$  і поле розсіювання будуть дорівнювати  $\sigma_{mp} = \delta/6$ ;  $\mathcal{D} = f_{mp.max} - f_{mp.min}$ . Середнє значення коефіцієнта тертя визначиться за формулою  $\bar{f}_{mp} = 0,5(f_{mp.min} + f_{mp.max})$ .

Розглянемо випадок, коли дорнування здійснюється одним окремо взятим дорном. Використавши [91, 109], зусилля дорнування виразимо залежністю:

$$F_\delta = F_{1\delta} + F_{2\delta} + F_{3\delta}, \quad (2.83)$$

де  $F_{1\delta}$  - деформуєча сила, яка дорівнює добутку контактного тиску  $P_\delta$  на проекцію, перпендикулярну до напрямку деформуєчої сили, тобто:

$$F_{1\delta} = (\pi \cdot d_\delta \cdot i \cdot p_\delta) / 2, \quad (2.84)$$

де  $d_\delta$  - діаметр циліндричної стрічки дорна;  $p_\delta$  - контактний тиск в зоні дорнування.

$$p_\delta = (i \cdot E_1) / \left( d_n \left( \frac{D^2 + d_n^2}{D^2 - d_n^2} + \mu_1 \right) \right), \quad (2.85)$$

тут  $E_1$  - модуль пружності матеріалу втулки (для бронзи  $E_1 = 1,2 \cdot 10^5$  МПа);  $D$  і  $d_n$  - відповідно зовнішній і внутрішній номінальні діаметри згортної втулки.

Підставивши (2.85) у (2.84), отримаємо:

$$F_{1\partial} = \left( \pi d_{\partial} \cdot E_1 \cdot i^2 \right) / \left( 2d_n \left( (D^2 + d_n^2) / (D^2 - d_n^2) + \mu_1 \right) \right) = A \cdot i^2, \quad (2.86)$$

тут  $A = \left( \pi d_{\partial} \cdot E_1 \right) / \left( 2d_n \left( (D^2 + d_n^2) / (D^2 - d_n^2) + \mu_1 \right) \right) = const$ ;

$F_{2\partial}$  – сила тертя на поверхні забірною конуса з кутом  $\alpha_{\partial}$  при вершині, спроектована на напрям руху дорна, яка визначається за формулою [113].

$$F_{2\partial} = \left( \pi d_{\partial} \cdot E_1 \cdot i^2 \cdot f_{mp} \right) / (2 \operatorname{tg} \alpha_{\partial}) = B \cdot i^2 \cdot f_{mp}, \quad (2.87)$$

тут  $\left( \pi d_{\partial} \cdot E_1 \right) / (2 \operatorname{tg} \alpha_{\partial}) = B = const$ ;

$F_{3\partial}$  – складова зусилля дорнування, яка залежить від тертя на циліндричній стрічці шириною  $b$  дорна, яка визначається за формулою:

$$F_{3\partial} = \left( \pi d_{\partial} \cdot E_1 \cdot b \cdot i \cdot f_{mp} \right) / d_n \left( (D^2 + d_n^2) / (D^2 - d_n^2) + \mu_1 \right) = C \cdot i \cdot f_{mp}, \quad (2.88)$$

тут  $\left( \pi d_{\partial} \cdot E_1 \cdot b \right) / \left( d_n \left( (D^2 + d_n^2) / (D^2 - d_n^2) + \mu_1 \right) \right) = C = const$ .

Підставивши (2.86), (2.87), (2.88) у (2.83), отримаємо:

$$F_{\partial} = A \cdot i^2 + B \cdot i^2 \cdot f_{mp} + C \cdot i \cdot f_{mp}. \quad (2.83)$$

Ввівши позначення  $i = x$ ,  $f_{mp} = Y$ , формулу (2.83) подамо у вигляді:

$$F_{\partial} = AX^2 + BX^2Y + CXY, \quad (2.84)$$

де  $X$  і  $Y$  – випадкові величини з нормальним законом розподілу і характеристиками:  $M(X) = ax$  та  $M(Y) = ay$  відповідно математичні сподівання;  $D(X)$  та  $D(Y)$  – дисперсії розсіювання;  $\sigma(X)$  та  $\sigma(Y)$  – стандарти відхилень.

Використавши теореми та числові характеристики [20], отримаємо залежності для визначення математичного сподівання сили дорнування  $M(F_{\partial}) = \sigma_f$ ; дисперсії розсіювання  $D(F_{\partial}) = \sigma_f^2$  стандарт розсіювання величини  $F(\partial)$ .

$$M(F_{\partial}) = M[A \cdot X]^2 + M[B \cdot X^2 \cdot Y] + M[C \cdot X \cdot Y], \quad (2.85)$$

де  $M[A \cdot X]^2 = A \cdot M[X^2] = A \cdot a_x^2$ ;  $M[B \cdot X^2 \cdot Y] = B \cdot M[X^2 \cdot Y] = B \cdot a_x^2 \cdot a_y$ ;

$M[C \cdot X \cdot Y] = C \cdot M[X \cdot Y] = C \cdot a_x \cdot a_y$ .

Врахувавши вищеподане, отримаємо:  $a_f = A \cdot a_x^2 + B \cdot a_x^2 \cdot a_y + C \cdot a_x \cdot a$ . За теоремами про добуток і суму випадкових величин [20] отримаємо вираз для визначення дисперсії розсіювання випадкової величини  $F_\delta$ .

$$D(F_\delta) = D(A \cdot X^2) + D(B \cdot X^2 \cdot Y) + D(C \cdot X \cdot Y), \quad (2.86)$$

Позначивши  $Z = X^2$  і врахувавши, що дисперсія величини  $Z$  буде дорівнювати:  $D[Z] = D[X^2] = \sigma_x^2(\sigma_x^2 + 2a_x^2)$ , в кінцевому рахунку отримаємо формулу для визначення дисперсії  $D(F_\delta)$ :

$$D[F_\delta] = A^2 \cdot [\sigma_x^2(\sigma_x^2 + 2a_x^2)] + B^2 [\sigma_x^2(\sigma_x^2 + 2a_x^2)] \cdot \sigma_x^2 + \\ + [a_x^4 \cdot \sigma_y^2 + a_y^2 \cdot \sigma_x^2(\sigma_x^2 + 2a_x^2)] + C^2 [\sigma_x^2 \cdot \sigma_y^2 + a_x^2 \cdot \sigma_y^2 + a_y^2 \cdot \sigma_x^2] \quad (2.87)$$

Базуючись на граничній теоремі Ляпунова [80], приймемо припущення, що закон розподілу випадкової величини  $F_\delta$  нормальний. Тоді максимальне значення сили дорнування, яке використовуватиметься для розрахунку конструктивних параметрів дорна і вибору пресового обладнання, буде визначатись за формулою:

$$F_{\delta, \max} = M[F_\delta] + 3\sqrt{D[F_\delta]}. \quad (2.88)$$

Як показують отримані значення  $F_{\delta, \max}$ , визначені за формулою (2.88) з урахуванням даних, поданих у [91], величина  $F_{\delta, \max}$  на 24% перевищує значення сили  $F_\delta$ , отриманого за традиційними методиками.

Таким чином використання імовірно-статистичного методу визначення зусилля дорнування ВЦП втулок забезпечує достовірніші результати, що сприятиме ефективнішому використанню цього виду числового оброблення.

## 2.5. Висновки

Отримані залежності для величини відпружинювання заготовки в процесі формування згортних стулок ПРВЛ і згортних шкворневих втулок ЕПК, а також залежності для визначення силових характеристик процесу формоутворення при різних технологічних процесах формування згортних втулок, а саме:

1. Отримана залежність для визначення величини відпружинювання заготовки як балки при періодичному деформуванні її у напівматриці циліндричної форми, яка буде використана для профілювання формуючих пуансонів, що забезпечить підвищення точності форми на операції згортання втулки.

2. Отримана залежність для визначення загального зусилля, прикладеного до пуансона при послідовному деформуванні заготовки у транспортному каналі в залежності від його радіуса, і залежність для визначення з умови міцності кількості карточок, що одночасно знаходяться у транспортному каналі, для втулок ПРВЛ з кроками 9,525; 12,7; 15,875; 19,05; 25,4 і 38,1 мм.

Показано, що в залежності від зміни радіуса каналу від 40 до 120 мм, кількість карточок змінюється від 4 до 7 штук. Отримані результати можуть бути використані для вибору електродвигуна і при конструюванні технологічного спорядження.

3. Отримана залежність для визначення приведеної сили тертя при транспортуванні карточки у транспортному каналі із заданим радіусом  $r$ , яка підтверджена експериментальними дослідженнями. Запропонована методика дозволяє з імовірністю  $P=0,95\%$  визначити приведену величину відпружинювання і максимальне значення приведеної сили тертя.

4. Отримана формула для визначення відносної площі віброобкочування, яка в залежності від ширини канавки й амплітуди осциляцій може бути використана для встановлення елементів режиму вібраційного обкочування.

5. Запропонований імовірнісно-статистичний метод визначення зусилля дорнування, який може бути використаний для вибору технологічного обладнання і розрахунку конструктивних параметрів дорна.

## РОЗДІЛ 3

### ПРОГРЕСИВНІ КОНСТРУКЦІЇ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ЗГОРТНИХ ВТУЛОК І ТЕХНОЛОГІЧНЕ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

#### 3.1. Прогресивні конструкції заготовок згортних втулок

##### 3.1.1. Заготовка згортної втулки у вигляді частково циліндричної оболонки з опуклою внутрішньою поверхнею

На рис. 3.1 подана запропонована заготовка для згортання втулок у вигляді частково циліндричної оболонки з певною кривиною  $\rho = 1/r_n$ , де  $r_n$  – радіус нейтрального шару заготовки, отриманої шляхом попереднього деформування плоскої прямокутної карточки. Величина центрального кута  $\theta$  визначається за формулою  $\theta = 2\pi R_n / r_n$  де  $R_n$  – радіус нейтрального шару згортної втулки.

З одного боку як технічне обмеження допустиме максимальне значення кута  $\theta$ , виходячи із можливості транспортування такої заготовки у транспортному каналі, буде  $\pi$  радіан. Тоді допустимо можливий радіус транспортного каналу буде  $R = L/\pi$ , де  $L$  – довжина кола, утвореного перпендикулярним перерізом зовнішньої циліндричної поверхні згортної втулки (довжина карточки) для заготовки у вигляді плоскої прямокутної пластинки до ПРВЛ з кроком 19,05 мм довжиною 27 мм,  $R = L/\pi = 27/3,14 = 8,7$  мм.

З другого боку при радіусі транспортного каналу  $R = L/\pi$  практично неможливо встановити криволінійний шибєрний пуансон з довжиною його дуги по зовнішній поверхні  $L_{ш.п.} = L_k$ . У крайньому випадку, коли, виходячи із другого технічного обмеження, довжина дуги транспортного каналу повинна бути не менша  $L_{m.k.} = 2L_k$ . Таким чином з урахуванням вищеподаного мінімально допустиме значення кута  $\theta_{\min.} = \pi/2$  рад, а радіус транспортного каналу буде  $R_{кр.к.} = 2L_k / \pi = 2\pi d_{см.} / \pi = 2d_{см.}$ .

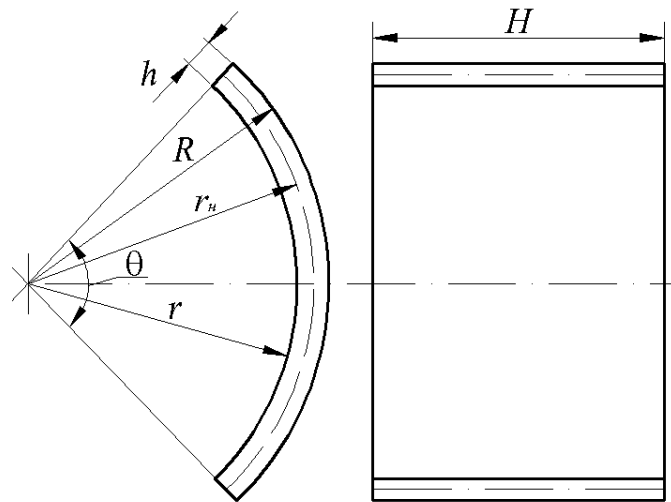


Рисунок 3.1 Схематичне зображення заготовки згортої втулки у вигляді частково-циліндричної оболонки:  $h$  – товщина стінки згортої втулки,  $R$  і  $r$  – відповідно радіуси зовнішньої та внутрішньої поверхонь заготовки,  $H$  – її висота

### 3.1.2. Заготовка згортої втулки у вигляді спряжених різної кривини циліндричних оболонок

На рис. 3.2 показана удосконалена конструкція заготовки для згортих втулок ПРВЛ [99].

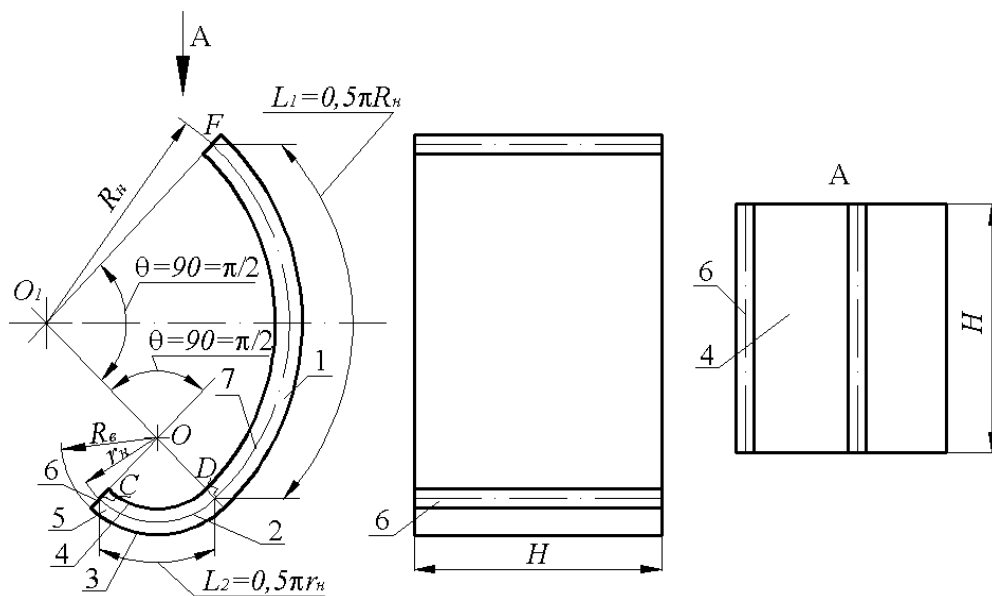


Рисунок 3.2 Схематичне зображення удосконаленої конструкції заготовки для згортої втулки

Заготовка являє собою спряження двох частково циліндричних оболонок різної кривини і довжини. Оболонка 1 виконана з радіусом нейтрального шару  $R_n$ , довжина якого дорівнює  $L_1=0,5\pi R_n$ , а оболонка 6 відповідно має радіус нейтрального шару  $r_n$  і довжину  $L_2=0,5\pi r_n$ . ВЦП 4 частково циліндричної оболонки 6 з радіусом нейтрального шару  $r_n$  виконана з радіусом, який дорівнює радіусові ВЦП втулки  $r_e$ , а зовнішня циліндрична поверхня 3 частково циліндричної оболонки 6 виконана з радіусом, який дорівнює радіусові зовнішньої циліндричної поверхні згортної втулки  $R_e$ .

Дуга кола 2 з радіусом  $r_n$  оболонки 6 і дуга кола 7 з радіусом  $R_n$  оболонки 1 стягнуті центральним кутом  $\theta=\pi/2$  рад. Вищеподана умова рівності центральних кутів величиною  $\pi/2$  рад. забезпечує технологічну можливість формування такої заготовки.

Однією із ознак, яка суттєво відрізняє заготовку, показану на рис. 3.2, від заготовки, яка зображена на рис. 3.1, є певне співвідношення радіусів кривини нейтральних шарів частково циліндричних оболонок 1 і 6. Сума довжин дуг 2 і 7 відповідно  $L_1$  і  $L_2$  з радіусами кривини нейтральних шарів відповідно  $R_n$  і  $r_n$  дорівнює довжині  $L_K$  кола з радіусом кривини нейтрального шару  $r_n$  згортної втулки, тобто  $L_K=L_1+L_2=0,5\pi(R_n+r_n)=2\pi r_n$ . Звідки отримуємо  $R_n=3r_n$ .

Таким чином, радіус  $R_n$  кривизни нейтрального шару частково циліндричної оболонки 1 дорівнює трьом радіусам  $r_n$  кривизни нейтрального шару оболонки 6.

Як встановлено експериментальними дослідженнями точності форми ВЦП згортних втулок, поданих на рис. 3.2, за параметром відхилення від круглості, сформованих з удосконаленої конструкції заготовки по відношенню до такого ж показника згортної втулки, сформованої із заготовки, поданої на рис. 3.1, зменшилась на 20-24%.

Основний конструкторський елемент заготовок згортних втулок поданий у п. 3.1.1, п. 3.1.2 є їх довжина, яка визначається на основі розробленої методики поданої у додатках.



### 3.1.3. Заготовка згортної втулки із спряженими плоскоциліндричними ділянками

Для технологічних процесів формування згортних втулок методом прямого згину на існуючому технологічному обладнанні, наприклад, НЗНА (РФ) запропонована конструкція заготовки, яка подана на рис. 3.3 [97].

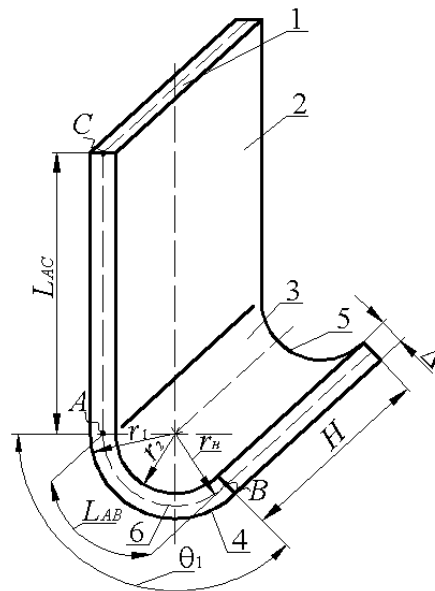


Рисунок 3.3 Схематичне зображення заготовки згортної втулки з плоскоциліндричними ділянками

Заготовка 1 складається з двох ділянок: плоскої 2 і частково циліндричної 3. Радіус  $r_1$  зовнішньої циліндричної поверхні 5 частково циліндричної оболонки 3 дорівнює радіусові  $R_e$  зовнішньої циліндричної поверхні згортної втулки, а радіус ВЦП  $r_2$  дорівнює радіусові  $r_e$  внутрішньої поверхні згортної втулки. Частково циліндрична оболонка 3 у перерізі, перпендикулярному до її поздовжньої осі, обмежена центральним кутом  $\theta_1 = \pi/4 \dots \pi$ . Довжина дуги 6 із радіусом кривини нейтрального шару  $r_n$  дорівнює  $L_{AB} = r_n \theta_1$ , а довжина плоскої оболонки  $L_{AC} = r_n (2\pi - \theta_1)$ . Радіус кривини  $r_n$  нейтрального шару частково циліндричної оболонки 3 як бруса великої кривини, коли  $\rho \ll 7 \cdot h$ , де  $\rho$  – радіус кривини осі бруса,  $h$  – товщина стінки бруса (втулки), дорівнює  $r_n = h / (\ln r_1 / r_2)$  [97]. Як показали експериментальні дослідження точності форми ВЦП згортних

втулок за параметрами  $EFR$  і  $EFR_a$  [28] для ПРВЛ з кроком 19,05 мм виробництва НЗНА, виготовлених із запропонованих заготовок (рис. 3.3), точність форми підвищилася на 25-28% по відношенню до точності форми згортних втулок, отриманих за традиційною технологією.

## 3.2. Нові конструкції згортних втулок для ПРВЛ

### 3.2.1. Конструкція згортної втулки для ПРВЛ з комбінованою формою стикового шва

В процесі складання внутрішніх ланок ПРВЛ за традиційними технологічними процесами поздовжні стикові шви згортних втулок на проміжку  $[0-2\pi]$  займають довільні кутові положення відносно напрямку зусилля, яке передається робочою віткою ланцюгової передачі, і відносно вектора швидкості руху цієї вітки. Ці положення поздовжніх стикових швів на проміжку  $[0-2\pi]$  визначаються відповідними кутами  $\varphi_{i_u}$ , де  $i_u$  – порядковий номер шарніра.

Величина  $\varphi$  є випадковою і підпорядкована закону рівної імовірності. Тому виникає імовірність того, що певна кількість згортних втулок займе такі положення, при яких їх поздовжні стикові шви довжиною, яка дорівнює висоті втулок, будуть знаходитися в зоні контакту ВЦП згортної втулки з валиком.

За даними [49, 50] поздовжній стиковий шов згортних втулок відіграє роль своєрідного леза і при взаємному провороті валика відносно ВЦП згортної втулки внаслідок скобління цим лезом поверхні валика підвищується інтенсивність зношування шарнірів ПРВЛ.

В результаті досліджень [63, 74] встановлено, що в зоні стикового шва по відношенню до інших зон ВЦП втулки мають місце найбільші похибки форми її ВЦП (відхилення від круглості і прямолінійності твірної ВЦП), які у випадку контакту цієї зони з циліндричною поверхнею валика призводять до появи кромкового контакту і зменшення фактичної площі контакту у спряженні втулка-валик і як результат – до підвищення інтенсивності зношування.

Відомим технічним вирішенням задачі, яке полягає в недопущенні виникнення лінійного контакту поздовжнього стикового шва втулки з валиком по всій її висоті, є згортна втулка з гвинтовим стиковим швом [152], показана на рис. 3.4. Особливістю конструкції цієї втулки є те, що заготовка (карточка) для згортки втулки виконана у вигляді паралелограма. Така форма карточки для згортки циліндричної втулки з гвинтовим стиковим швом забезпечується тільки при умові, якщо кут нахилу суміжної сторони паралелограма до основи  $\alpha$  буде  $\beta = \arctg 3H/2\pi D$ , де  $\beta$  – гострий кут між основою паралелограма, яка дорівнює  $-\pi D$ , і суміжною стороною;  $H$  – висота втулки;  $D$  – діаметр втулки.

Дані втулки [152] можуть застосовуватись, наприклад, як допоміжні підкладки у підшипниках ковзання. Як згортні втулки ПРВЛ, які несуть значні навантаження, вони не можуть бути застосовані з двох причин: по-перше, такі втулки не забезпечать регламентованої діючим стандартом міцності пресового з'єднання втулка-пластина як одного із найважливіших параметрів роботоздатності ПРВЛ, а по-друге, такі втулки неможливо запресувати в отвори пластини.

Тому створення конструкції такої згортної втулки, яка б унеможливила виникнення лінійного контакту стикового шва по всій висоті втулки з циліндричною поверхнею валика і забезпечувала б покращення умов контактування в шарнірах ПРВЛ та зменшення інтенсивності їх зношування, є актуальною задачею.

Максимальне допустиме зусилля, що може передатись робочою віткою ланцюгової передачі  $F_{\max} = [p_{\max}] \cdot F_{on}$  [25], де  $[p_{\max}]$  – рекомендований допустимий базовий тиск в шарнірі для певного типорозміру ланцюга при мінімальній частоті обертання ведучої зірочки;  $F_{on}$  – проекція опорної поверхні шарніра ПРВЛ [33].

Скориставшись [84], визначимо максимальну величину зони контакту ВЦП згортної втулки і валика в шарнірі ПРВЛ, яка обмежується кутом контакту  $2\varphi_0$  рис. 3.5.

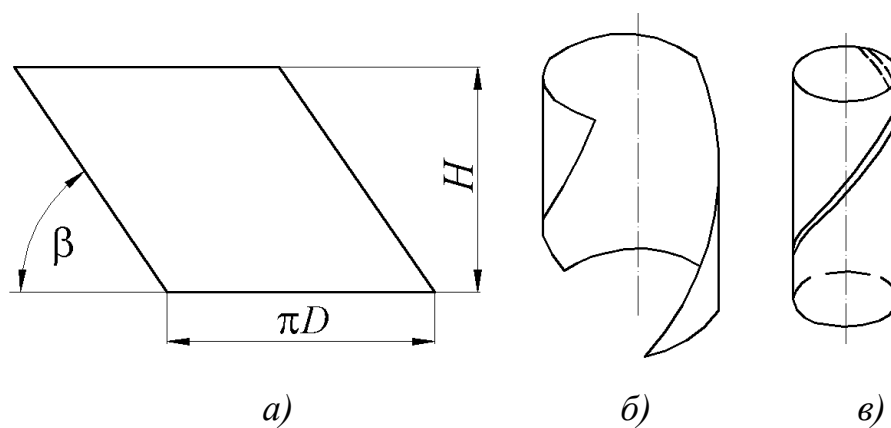


Рисунок 3.4 Етапи формування згортої втулки з гвинтовим стиковим швом [8]: а) – заготовка (карточка); б) – часткова згортка втулки; в) – згортна втулка

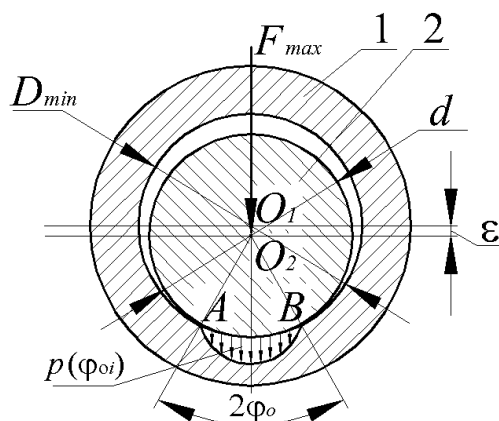


Рисунок 3.5 Схематичне зображення максимальної величини зони контакту ВЦП згортої втулки і валика в шарнірі ПРВЛ: 1 – втулка; 2 – валик

$$2\varphi_0 = 2\arctg 2\sqrt{\left[\frac{(1-\mu^2)E_1 + (1-\mu_1^2) \cdot E}{[p_{\max}] \cdot F_{on}}\right] / (\pi \cdot E \cdot E_1 \cdot \varepsilon_{\min})}, \quad (3.1)$$

де  $\mu$  і  $\mu_1$  – коефіцієнти Пуассона матеріалів валика і втулки, відповідно;  $E$  і  $E_1$  – модулі пружності матеріалів валика і втулки, МПа, відповідно;  $D_{\min}$  і  $d$  – відповідно діаметри: мінімальний внутрішній втулки і максимальний валика, мм;  $\varepsilon_{\min} = (D_{\min} - d)/2$  – мінімальний радіальний зазор, мм.

Врахувавши те, що у більшості випадків втулки і валики виготовляються із одного матеріалу, залежність (3.1) набуде вигляду:

$$2\varphi_0 = 2\arctg 2\sqrt{\left[2(1-\mu^2) \cdot [p_{\max}] \cdot F_{on}\right] / (\pi \cdot E \cdot \varepsilon_{\min})}. \quad (3.2)$$

Якщо взяти до уваги те, що втулка і валик виготовляються із сталі ( $\mu=0,3$ ,  $E \cdot 10^5$  МПа), а  $[p_{\max}] = 54$  МПа [33], то кут контакту буде:

$$2\varphi_{0_{град}} = 2\arctg 0,0025\sqrt{F_{on}/\varepsilon_{\min}}, \text{ град}, \quad (3.3)$$

або в радіанах  $2\varphi_{0_{рад}} = 0,035\arctg 0,0025\sqrt{F_{on}/\varepsilon_{\min}}, \text{ рад}. \quad (3.4)$

Нами запропонована нова конструкція згортної втулки [100], яка схематично зображена на рис. 3.6, а, а розгортка такої втулки подана на рис. 3.6, б. Фрагмент ПРВЛ із запропонованою втулкою показаний на рис. 3.7.

Особливістю запропонованої конструкції згортної втулки є наявність на стиковому шві двох прямолінійних ділянок, які розміщені на кінцях втулки, довжина кожної з яких дорівнює товщині пластини  $\Delta$  внутрішньої ланки ПРВЛ, а кут нахилу  $\omega$  гвинтової ділянки стикового шва, розміщеної в середній частині висоти втулки, з умови забезпечення лише одного кроку, який дорівнює  $H - 2\Delta$ , визначається із залежності:

$$\omega = \arctg (\pi \cdot D) / (H - 2\Delta). \quad (3.5)$$

Наявність на стиковому шві прямолінійних ділянок, виконаних на краях згортної втулки, забезпечує запресування втулки в отвір пластини, а при певному натягу – надійну міцність пресового з'єднання втулка-пластина. Виконання стикового шва гвинтоподібним забезпечує постійність довжини  $L_k$  лінії контакту гвинтової ділянки стикового шва з циліндричною поверхнею валика (див. рис. 3.8).

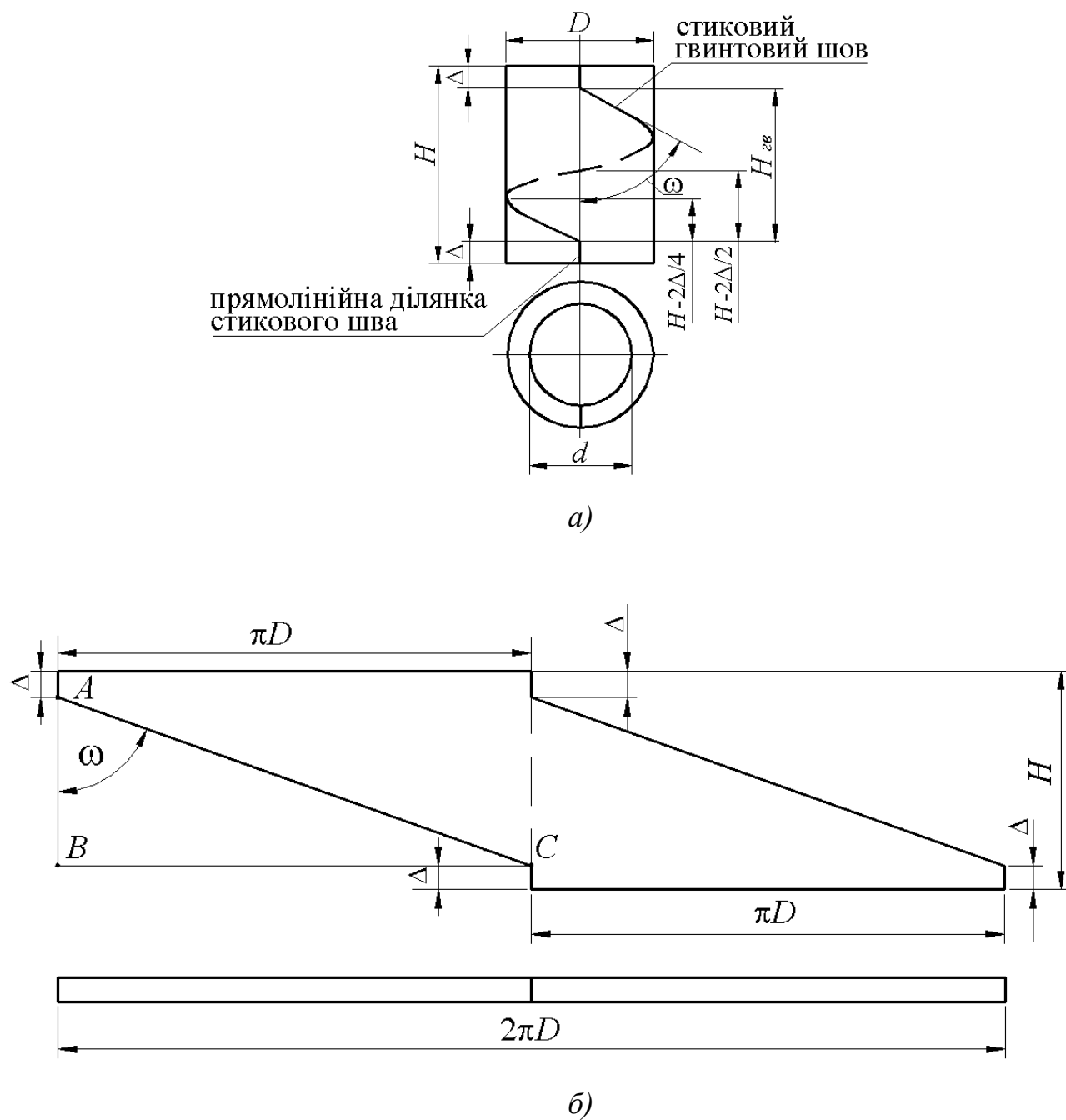


Рисунок 3.6 Схематичне зображення згортої втулки  
 нової конструкції – а) і її розгортки – б)

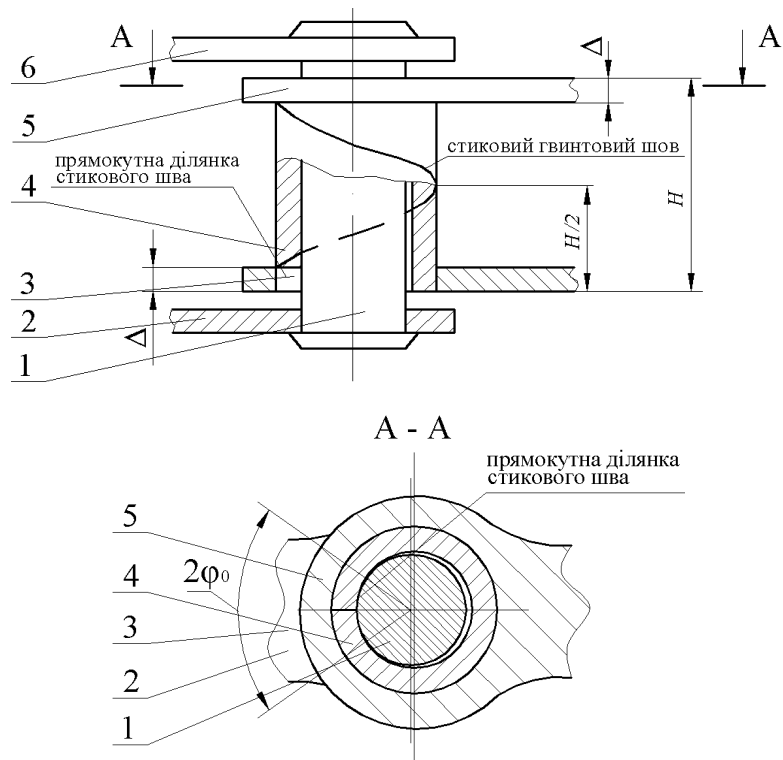


Рисунок 3.7 Фрагмент ПРВЛ із запропонованою втулкою: 1 – валик; 2, 6 – зовнішні пластини; 3, 5 – внутрішні пластини; 4 – згортна втулка

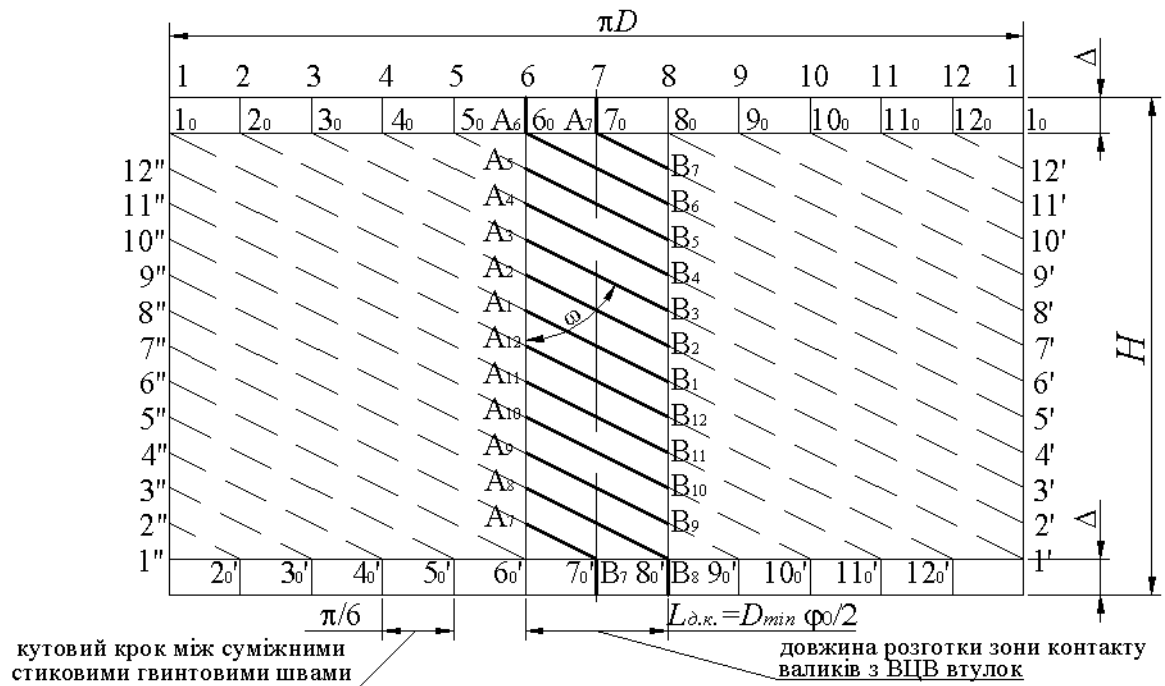


Рисунок 3.8 Схематичне зображення слідів розгортки рівномірно розміщених по колу стикових швів 12-ти згортних втулок

На рис. 3.8 штриховими і суцільними основними лініями зображено сліди гвинтових стикових швів на ВЦП втулок, які відповідно знаходяться поза зоною і в зоні контакту з циліндричною поверхнею валика, а  $1_0, 2_0 \dots 11_0, 12_0$  і  $1'_0, 2'_0 \dots 11'_0, 12'_0$  – позначено відповідно початкові й кінцеві положення слідів рівномірно розміщених по колу гвинтових стикових швів втулок, і  $1', 2' \dots 11', 12'$  і  $1'', 2'' \dots 11'', 12''$  – проміжні положення слідів гвинтових стикових швів рівномірно розміщених по висоті втулки відповідно на правому і лівому боці відносно зони контакту умовних розгортток.

Для визначення довжини контакту гвинтового стикового шва з циліндричною поверхнею валика звернемося до рис. 3.8.

Нехай, наприклад, у контурі ПРВЛ буде  $N=12$  шарнірів. Так як розсіювання стикового шва втулки на проміжку  $[0-2\pi]$  підпорядковане закону рівної імовірності, то прийmemo гіпотезу, що стикові шви втулок розміщені рівномірно з кутовим кроком  $\alpha_k = \pi/6$  (умовно показано цифрами 1...12). З рис. 3.8 виходить, що  $A_7 B_7 = 0,5 A_1 B_1$ .

Внаслідок паралельності прямих, які перетинаються під певним кутом двома іншими паралельними, можемо записати:

$$A_1 B_1 = A_2 B_2 = \dots = A_6 B_6 = 2 A_7 B_7 = A_8 B_8 = \dots = A_{12} B_{12} = L_k = (D_{\min} \varphi_0) / \sin \omega = const.$$

Виразивши у рівнянні (3.4)  $arctg$  через  $arcsin$ , будемо мати:

$$\sin \omega = \pi D_{\min} / \sqrt{(H - 2\Delta)^2 + \pi^2 D_{\min}^2}. \quad (3.6)$$

З урахуванням (3.6) остаточно отримаємо:

$$L_k = 0,011 arctg 0,0036 \sqrt{(F_{on} [(H - 2\Delta)^2 + \pi^2 D_{\min}^2]) / (D_{\min} - d_{\max})}. \quad (3.7)$$

Аналіз отриманої залежності (3.7) показує, що для конкретної контактуючої пари поверхонь згортної втулки і валика для певного типорозміру ПРВЛ у вихідному їх стані (після складання) величини  $F_{on}$ ,  $D_{\min}$ ,  $H$ ,  $\Delta$  і  $d_{\max}$  постійні і не впливають на  $L_k$ , тобто  $L_k - const$ .

Окремі розмірні параметри запропонованих згортних втулок та їхніх розгортток для різних типорозмірів ПРВЛ подані в табл. 3.1.



Таблиця 3.1

Розмірні параметри згортних втулок з гвинтовим стиковим швом і їх розгортки

|  |                       |            |           |           |           |           |            |
|--|-----------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| ПРВЛ<br>з кроком, мм                               |                       | 9,525      | 12,7      | 15,875    | 19,05     | 25,4      | 38,1       |
| $F_{on}, \text{мм}^2$                              |                       | 28,0       | 50,3      | 70,9      | 105,8     | 179,7     | 394,0      |
| $d, \text{мм}$                                     |                       | 3,58±0,005 | 4,45-0,02 | 5,08-0,02 | 5,96-0,05 | 8,51-0,05 | 11,1-0,05  |
| Конструктив.<br>параметри<br>втулок і<br>картловок | $D, \text{мм}$        | 3,65+0,02  | 4,54+0,04 | 5,17+0,05 | 6,06+0,05 | 8,6+0,05  | 11,17+0,05 |
|  | $H, \text{мм}$        | 7,4        | 8,9       | 13,95     | 17,75     | 22,3      | 35,0       |
|  | $\Delta, \text{мм}$   | 1,3        | 1,6       | 1,8       | 2,4       | 3,0       | 4,3        |
|  | $\omega, \text{град}$ | 67,3       | 68,2      | 57,5      | 55,8      | 58,9      | 53,1       |
| $2\varphi_0, \text{град}$                          |                       | 24,4       | 29,6      | 34,8      | 39,9      | 53,1      | 79,9       |
| $L_k, \text{мм}$                                   |                       | 0,975      | 1,465     | 2,105     | 2,873     | 5,275     | 10,877     |

Наявність гвинтової ділянки на стиковому шві створює в кожному із шарнірів ПРВЛ постійну довжину контакту стикового шва з поверхнею валика. Максимально можлива довжина лінії контакту  $L_{max} = L_k + 2\Delta$  у 1,9...2,44 разів менша за довжину лінії контакту традиційного стикового шва з поверхнею валика.

Необхідно зауважити, що для шарнірів ПРВЛ, в яких прямолінійні ділянки стикових швів згортних втулок попадають в зону контакту спряження втулка-валик, довжина лінії контакту гвинтової ділянки шва є величиною постійною і складає для ПРВЛ малих кроків 9,525 мм – 19,05 мм – (0,13 ... 0,16) Н, а для ПРВЛ з кроками 25,4 мм і 38,1 мм відповідно 0,24 Н і 0,31 Н.

Являє інтерес дослідження зміни кута контакту  $2\varphi$  і кількості шарнірів  $n_{ш}$ , прямолінійні ділянки яких попадають в зону контакту втулки-валика, в залежності від збільшення величини радіального зазору  $\varepsilon$ , яке має місце в процесі експлуатації ПРВЛ та зношування їх шарнірів і як результат – збільшення контактного кроку  $t$ . Граничне збільшення  $t$  ПРВЛ для ланцюгових передач із зірочками з числом зубців 50 і більше прийmemo  $\Delta t_{zp} = 0,04t_n$  [25], тут  $t_n$  – номінальний крок ланцюга. Допустивши, що інтенсивність зношування контактуючих поверхонь в шарнірах ПРВЛ однакова, отримаємо залежність для визначення максимально допустимого значення  $[\varepsilon_{max}]$

$$[\varepsilon_{max}] = \varepsilon_{min} + 0,02t_n. \quad (3.8)$$

Використавши (3.3) і (3.8), побудували графіки залежності  $2\varphi_0 = \psi(\varepsilon)$ , які подані на рис.3.9.

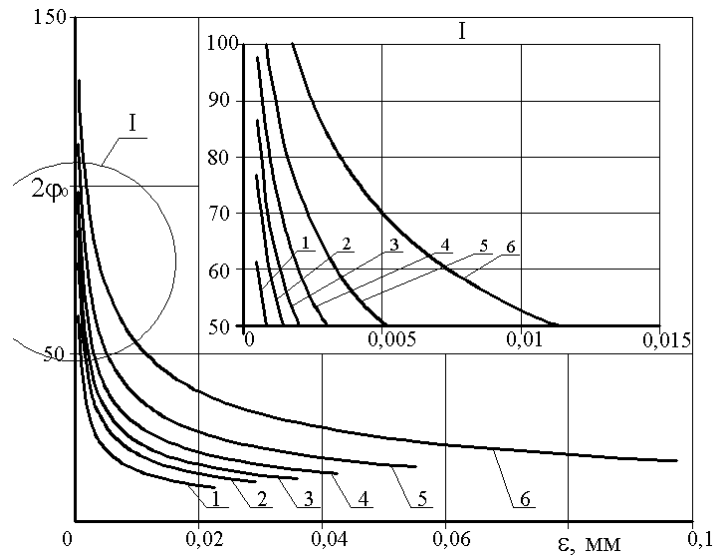


Рисунок 3.9 Графіки залежності зміни величини кута контакту в шарнірі ПРВЛ від радіального зазору  $\varepsilon$ ; 1, 2, 3, 4, 5, 6 – відповідно для ланцюгів з кроками: 9,525 мм, 12,7 мм, 15,875 мм, 19,05 мм, 25,4 мм, 38,1 мм.

Аналіз отриманих даних, поданих на рис. 3.9, показує, що, зі збільшенням типорозміру і кроку ПРВЛ вплив  $\varepsilon$  на  $2\varphi_0$  збільшується; а в процесі їх експлуатації внаслідок зношування циліндричних поверхонь валиків і ВЦП втулок  $\varepsilon$  зростає, що призводить до зменшення кута контакту  $2\varphi_0$  в шарнірах ПРВЛ. Знаючи кількість шарнірів  $N_k$  в контурі ланцюгової передачі і прийнявши, що на проміжку  $[0-2\pi]$  розсіювання положень прямолінійних ділянок стикових швів підпорядковуються закону рівної імовірності, та визначивши кутовий крок між ними  $\alpha_k = 2\pi/N_k$ , отримаємо залежність для визначення імовірної кількості шарнірів  $n_{ш}$ , прямолінійні ділянки яких попадають в зону контакту, при певних  $\varepsilon$  і  $2\varphi_0$ .

$$n_{ш} = N_k \arctg 2\sqrt{\left(2(1-\mu^2) \cdot [P_{\max}] \cdot F_{on}\right) / (\pi \cdot E \cdot \varepsilon)} / (180 + 1). \quad (3.9)$$

Оскільки в процесі експлуатації ПРВЛ  $\varepsilon$  зростає, а  $2\varphi_0$  зменшується, то із формули (3.9) виходить, що  $n_{ш}$  буде зменшуватись. Розрахункові дані для цілих чисел  $n_{ш}$  при відповідних значеннях  $\varepsilon$  подані в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Кількість  $n_{ш}$  прямолінійних ділянок стикових швів в зонах контакту шарнірів досліджуваних ПРВЛ в залежності від радіального зазору при  $N_k=100$  шт.

| $n_{ш}$ | ПРВЛ з кроком, мм   |        |        |        |        |        |
|---------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
|         | 9,525   | 12,7   | 15,875 | 19,05  | 25,4   | 38,1   |
|         | Значення радіального зазору $\varepsilon$ : # – мінімальні після складання;<br>* – максимальні після досягнення $\Delta t_{зр}$ . |        |        |        |        |        |
| 2       | 0.228*  |        |        |        |        |        |
| 3       | 0.196   | 0.299* | 0.362* | 0.431* |        |        |
| 4       | 0.11  | 0.197  | 0.278  | 0.415  | 0.553* |        |
| 5       | 0.07  | 0.125  | 0.177  | 0.264  | 0.448  | 0.797* |
| 6       | 0.048   | 0.086  | 0.122  | 0.182  | 0.309  | 0.677  |
| 7       | 0.0375#   | 0.063  | 0.089  | 0.132  | 0.225  | 0.493  |
| 8       |   | 0.048  | 0.067  | 0.1    | 0.171  | 0.374  |
| 9       |   | 0.045# | 0.053  | 0.078  | 0.133  | 0.292  |
| 10      |   |        | 0.045# | 0.063  | 0.106  | 0.234  |
| 11      |   |        |        | 0.051  | 0.087  | 0.19   |
| 12      |   |        |        | 0.05#  | 0.072  | 0.157  |
| 13      |   |        |        |        | 0.06   | 0.132  |
| 14      |   |        |        |        | 0.051  | 0.111  |
| 15      |   |        |        |        | 0.045# | 0.095  |
| 16      |   |        |        |        |        | 0.082  |
| 17      |   |        |        |        |        | 0.07   |
| 18      |   |        |        |        |        | 0.061  |
| 19      |   |        |        |        |        | 0.053  |
| 20      |   |        |        |        |        | 0.047  |
| 21      |   |        |        |        |        | 0.041  |
| 22      |   |        |        |        |        | 0.035# |

Враховуючи рівномірне розміщення  $n_{ш}$  стикових швів в зоні контакту і  $N - n_{ш}$  стикових швів, розміщених поза цією зоною, а також те, що тиск  $\rho$  в шарнірі ПРВЛ на дузі  $AB$  (рис. 3.5) змінний, можна стверджувати, що як для  $n_{ш}$ , так і  $N - n_{ш}$  шарнірів інтенсивність їх зношування буде різною. Це призводить до зростання різномірності контактних кроків ПРВЛ.

Аналіз даних табл. 3.2 показує, що для кожного із досліджуваних типорозмірів ПРВЛ цілі числа прямолінійних ділянок стикових швів згортних втулок при заданій кількості шарнірів  $N$  у контурі і величині опорної поверхні визначається фіксованим значенням радіального зазору. Для всіх

досліджуваних типорозмірів ПРВЛ встановлені фіксовані значення  $\varepsilon$ , які відповідають цілим числам  $n_{ш}$ .

### **3.2.2. Конструкція згортних втулок ПРВЛ з розкритим стиковим швом**

Для здійснення кутової орієнтації згортних втулок при складанні внутрішніх ланок ПРВЛ як ключ орієнтації використовують наскрізний отвір, виконаний на середині стикового шва, або частково розкритий в границях 0,1 ... 0,3 мм стиковий шов, який утворився в результаті пружних деформацій (відпружинювання) після калібрування у фільерах або після термічної обробки згортних втулок. Утворення наскрізного отвору на бічній поверхні згортних втулок на стиковому шві (наприклад, фірма IWIS), вимагає додаткової операції і складного в конструкторському відношенні інструменту. Величина можливого розкриття стикового шва при термообробці нестабільна, що призводить до незадовільної надійності процесу, наприклад, пневматичної орієнтації [2] згортних втулок.

Аналіз літературних джерел, зокрема [58] показав, що відома конструкція тонкостінної згортної втулки з розкритим стиковим швом, який може бути ключем кутової орієнтації згортних втулок. Разом з тим, слід зазначити, що у наукових літературних джерелах відсутні дослідження допустимих величин розкриття стикового шва згортних втулок, які б при автоматизованому складанні внутрішніх ланок ПРВЛ, а саме при запресовуванні цих втулок з фасками або з скругленнями на їх торцевих поверхнях в отвори внутрішніх пластин ПРВЛ, забезпечували б надійну міцність пресових спряжень.

Тому синтез таких згортних втулок ПРВЛ з науково-обґрунтованою величиною розкриття стикових швів є актуальною задачею.

Розв'язок цієї задачі подамо поетапно.

На *першому етапі*, скориставшись розрахунковою схемою, поданою на рис. 3.10, визначимо граничне мінімальне значення кута фаски  $\alpha_\phi$ , і кута

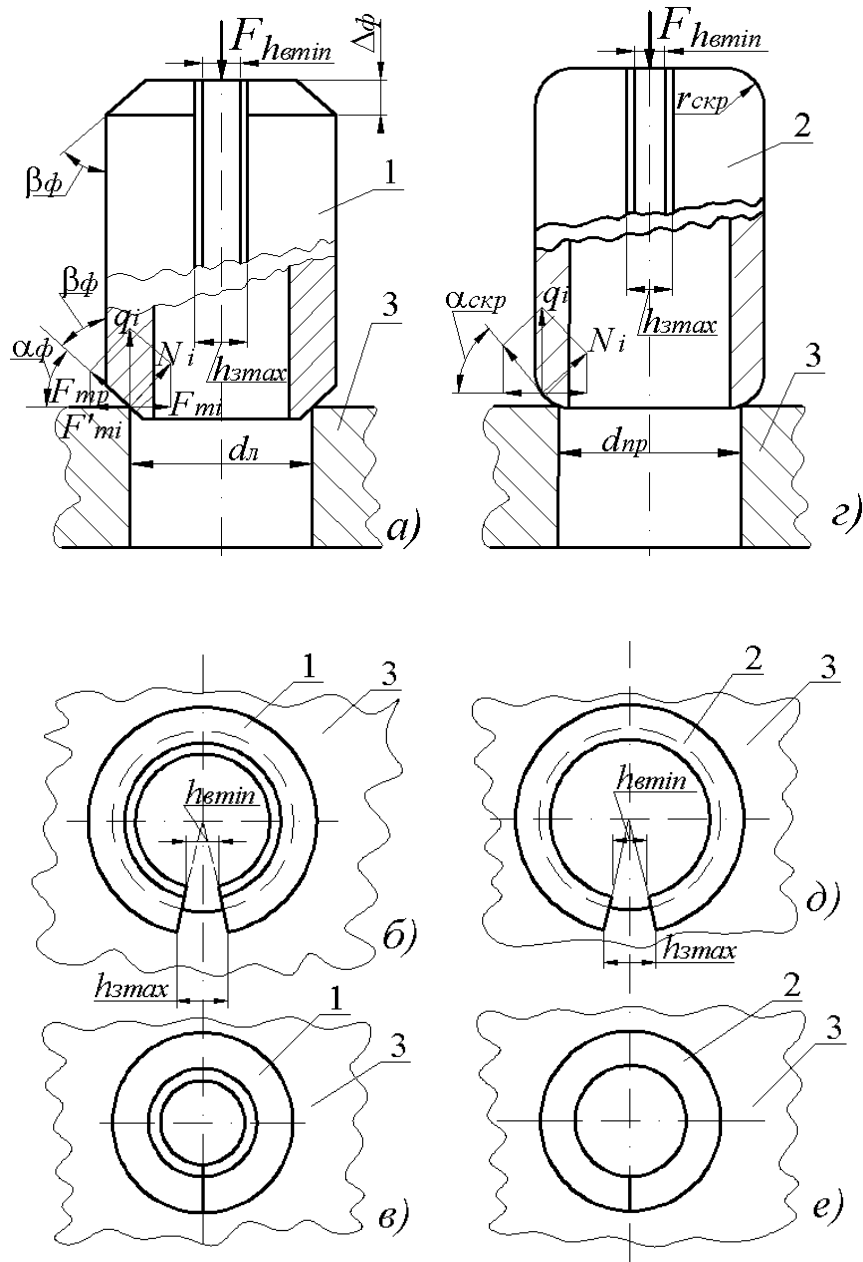


Рисунок 3.10 Розрахункові схеми для визначення гранично мінімального кута  $\alpha_{скр}$  і гранично максимального кута фаски  $\beta_{\phi}$ : а, б, в, г, д, е – відповідно перед і після запресування згортних втулок з розкритим швом у отвори внутрішніх пластин; 1 і 2 – відповідно згортні втулки з фаскою і скругленням; 3 – внутрішня пластина

скруглення  $\alpha_{скр}$ , який утворений дотичною до сліду скругленої торової поверхні втулки, поставленою у задану точку, і слідом верхньої плоскої поверхні внутрішньої пластини. З урахуванням кута тертя  $\Psi'_{mp}$ , отримаємо  $\alpha_{\phi} = \alpha_{скр} > \Psi'_{mp}$ .

Внаслідок контакту конічної поверхні фаски або торової поверхні скруглення втулки з краєм циліндричної поверхні отвору внутрішньої пластини під дією зусилля запресування  $F_{np}$  по лінії контакту цих поверхонь виникнуть рівномірно розподілені одиничні напруження  $q_i = F_{np} / \pi d_{nl}$  (тут  $d_{nl}$  – діаметр отвору внутрішньої пластини), протилежно направлені до напрямку дії сили  $F$ . Розклавши  $q_i$  на нормальну складову  $N_i$  і силу тертя  $F_{mpi}$ , яку представимо виразом  $F_{mpi} = N_i \cdot f$ , (де  $f$  – коефіцієнт тертя ковзання) і спроектувавши  $F_{mpi}$  на горизонтальний напрям, отримаємо значення складових сил  $F'_{mi} = q_i \cdot f \cdot \cos^2 \alpha$  і  $F_{mi} = q_i \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha$ . Для здійснення запресування втулки у отвір внутрішньої пластини необхідне виконання умови  $F'_{mi} < F_{mi}$ , звідки  $f \cdot \cos \alpha < \sin \alpha$ , або  $\text{tg} \alpha > f = \text{tg} \Psi'_{mp}$  і  $\alpha > \Psi'_{mp}$ . Кут фаски  $\beta \leq 90^\circ - \alpha$ .

На *другому етапі*, використовуючи метод максимуму-мінімуму, визначимо граничні значення величин розкриття стикового шва  $h_{np}$  як на зовнішній, так і на внутрішній циліндричних поверхнях згортних втулок з фасками, при яких гарантується їх запресування у отвори внутрішніх пластин.

Спочатку визначимо максимально допустимий діаметр  $D'_{em.max}$  зовнішньої циліндричної поверхні згортної втулки для випадку максимального розкриття стикового шва  $h'_{n.max}$  і мінімальний діаметр  $D'_{em.min}$  цієї ж поверхні для випадку мінімального розкриття стикового шва  $h'_{e.min}$ . Використаємо для цього розрахункову схему, подану на рис. 3.11.

Із розрахункової схеми (рис. 3.11) отримаємо:  $D'_{em.max} = d_{nl.max} + 2C'_1 D'_1$ , де  $d_{nl.max}$  – максимальний діаметр отвору внутрішньої пластини.

Взявши до уваги, що  $B_1 C_1 = B'_1 C'_1 = D'_{em.min} - d_{nl.min}$ , отримаємо  $C'_1 D'_1 = \Delta_{\phi} \cdot \text{tg} \beta_{\phi} - (D'_{em.min} + d_{nl.min}) / 2$ , де  $\Delta_{\phi}$  – величина фаски.

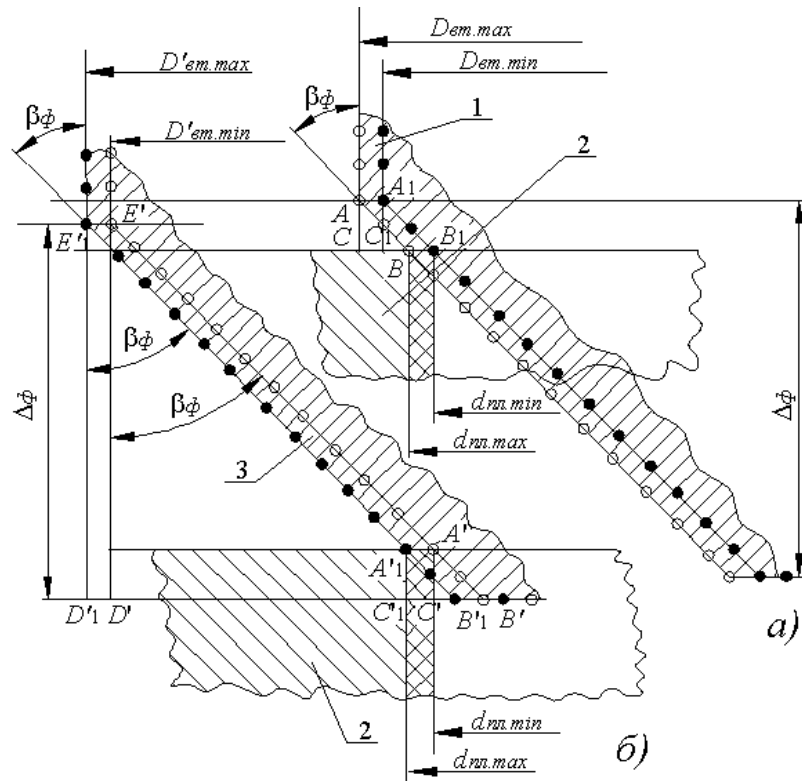


Рисунок 3.11 Розрахункова схема для визначення значень діаметрів зовнішньої циліндричної поверхні згортних втулок з розкритим стиковим швом: *a* і *б* – відповідно положення згортних втулок із закритим і відкритим стиковими швами перед їх запресуванням у отвори внутрішніх пластин; 1 і 2 – відповідно згортні втулки із закритим і розкритим стиковими швами; 3 – внутрішня пластина

Тоді максимальний діаметр зовнішньої циліндричної поверхні згортої втулки з максимально можливим розкритим стиковим швом буде дорівнювати:

$$D'_{em.max} = d_{nl.max} + 2\Delta_{\phi} \cdot tg\beta_{\phi} - D_{em.min} + d_{nl.min} \quad (3.10)$$

Використавши рис. 3.12,б, знайдемо довжину дуги  $L_{A_0B_0}^{\cup}$ :

$$L_{A_0B_0}^{\cup} = (d_{nl.max} + 2\Delta_{\phi} \cdot tg\beta_{\phi} - 2D_{em.min} + d_{nl.min}) \cdot \pi. \quad (3.11)$$

Величина центрального кута  $\theta'$ , який стягує дугу  $A_0B_0^{\cup}$  (рис. 3.12, б), визначиться із залежності:

$$\theta' = 360^{\circ} \left( 1 - D_{em.min} / (d_{nl.max} + 2\Delta_{\phi} \cdot tg\beta_{\phi} - D_{em.min} + d_{nl.min}) \right).$$

Максимально допустима величина  $h'_{n.max}$  розкриття стикового шва (рис. 3.12, б) на зовнішній циліндричній поверхні згортої втулки визначиться із формули:

$$h'_{n.max} = (d_{nl.max} + 2\Delta_{\phi} \cdot tg\beta_{\phi} - D_{em.min} + d_{nl.min}) \times \sin[180^{\circ} \left( 1 - D_{em.min} / (d_{nl.max} + 2\Delta_{\phi} \cdot tg\beta_{\phi} - D_{em.min} + d_{nl.min}) \right)]. \quad (3.12)$$

Величина максимального розкриття стикового шва  $h'_{e.max}$  (рис. 3.12, б) на ВЦП згортої втулки з максимально допустимим зовнішнім діаметром  $D'_{em.max}$  і максимальним діаметром  $d'_{em.max}$  її внутрішньої поверхні, який буде при мінімальній товщині стінки згортої втулки ( $\Delta_{cm.min} = 0,5(D_{em.min} - d_{em.max})$ ), де  $D_{em.min}$  і  $d_{em.max}$ , відповідно мінімальний і максимальний діаметри зовнішньої і ВЦП згортої втулки із закритим стикових швом, буде дорівнювати:

$$h'_{e.max} = d'_{em.max} \cdot h'_{n.max} / D'_{em.max}. \quad (3.13)$$

Взявши до уваги, що  $d'_{em.max} = D'_{em.max} - D'_{em.min} + d_{em.max}$ , і врахувавши, (3.10) і (3.12) та підставивши в (3.13), отримаємо:

$$h'_{e.max} = (d_{nl.max} + 2\Delta_{\phi} \cdot tg\beta_{\phi} - 2D_{em.min} + d_{nl.min} + d_{em.max}) \times \sin[180^{\circ} \left( 1 - D'_{em.min} / (d_{nl.max} + 2\Delta_{\phi} \cdot tg\beta_{\phi} - D_{em.min} + d_{nl.min}) \right)]. \quad (3.14)$$



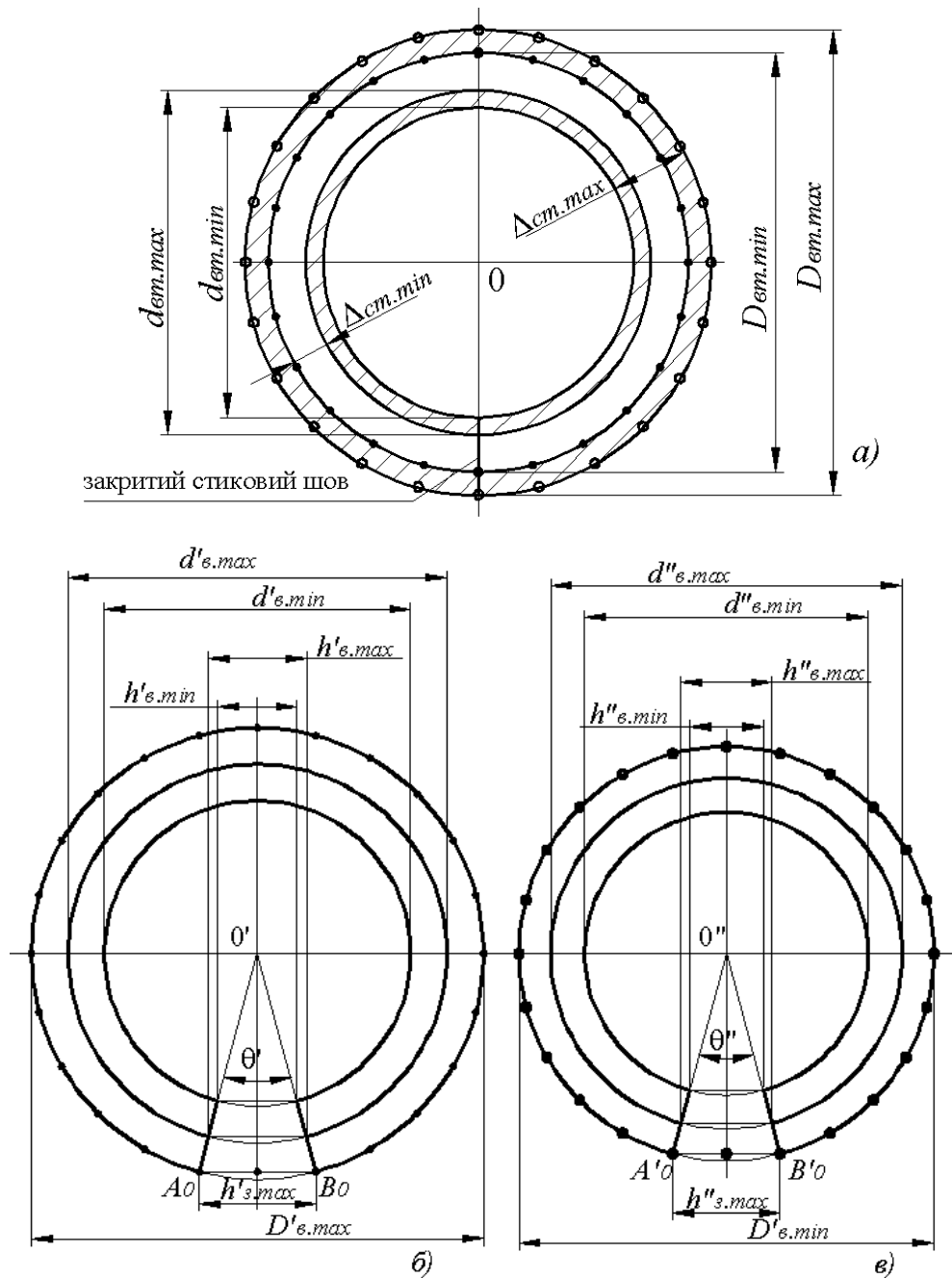


Рисунок 3.12 Розрахункові схеми для визначення величин розкриття стикового шва: *a* – схема поперечного перерізу згортної втулки із закритим стиковим швом; *б* і *в* – відповідно схеми для визначення величини розкриття стикового шва для випадків максимального  $D'_{em,max}$  і мінімального  $D'_{em,min}$  діаметрів зовнішніх циліндричних поверхонь

Мінімальна величина  $h'_{\epsilon.\min}$  розкриття стикового шва на ВЦП згортної втулки із зовнішнім її діаметром  $D'_{\epsilon.\max}$  і мінімальним діаметром  $d'_{\epsilon.\min}$  її ВЦП (рис. 3.12, б) за аналогією з попереднім виразиться залежністю:

$$h'_{\epsilon.\min} = d'_{\epsilon.\min} \cdot h'_{\eta.\max} / D'_{\epsilon.\max} .$$

З урахуванням того, що  $d'_{\epsilon.\min} = D'_{\epsilon.\max} - D_{\epsilon.\max} + d_{\epsilon.\min}$ , де  $D_{\epsilon.\max}$  – максимальний діаметр втулки з закритим стиковим швом, після спрощення отримаємо:

$$h'_{\epsilon.\min} = (d_{\eta.\max} + 2\Delta_{\phi} \cdot \operatorname{tg}\beta_{\phi} - D_{\epsilon.\min} + d_{\eta.\min} - D_{\epsilon.\max} + d_{\epsilon.\min}) \times \sin \cdot [180^{\circ} (1 - D_{\epsilon.\min} / (d_{\eta.\max} + 2\Delta_{\phi} \cdot \operatorname{tg}\beta_{\phi} - D_{\epsilon.\min} + d_{\eta.\min}))]. \quad (3.15)$$

Виконавши розрахунки аналогічно до попереднього, отримали залежність для визначення мінімального діаметра  $D'_{\epsilon.\min}$  згортної втулки з розкритим на зовнішній циліндричній поверхні стиковим швом на величину  $h''_{\zeta.\max}$  для випадку, коли запресування згортної втулки здійснювалось внаслідок контакту нижньої ділянки конічної поверхні фаски з краєм отвору пластини мінімального діаметра  $d_{\eta.\min}$  (рис. 3.11, б):

$$D'_{\epsilon.\min} = d_{\eta.\min} + 2\Delta_{\phi} \cdot \operatorname{tg}\beta_{\phi} - D_{\epsilon.\max} + d_{\eta.\max} . \quad (3.16)$$

Тоді величина  $h''_{\zeta.\max}$  максимального розкриття стикового шва (рис. 3.12, в) на зовнішній циліндричній поверхні згортної втулки з її зовнішнім діаметром  $D'_{\epsilon.\min}$  з урахуванням схеми, поданої на (рис. 3.12, в), визначиться із залежності:

$$h''_{\zeta.\max} = D'_{\epsilon.\min} \cdot \sin \theta / 2 . \quad (3.17)$$

Величина центрального кута  $\theta''$  виразиться залежністю:

$$\theta'' = 360^{\circ} (1 - D_{\epsilon.\max} / (d_{\eta.\min} + 2\Delta_{\phi} \cdot \operatorname{tg}\beta_{\phi} - D_{\epsilon.\max} + d_{\eta.\max})) . \quad (3.18)$$

Підставивши (3.16) і (3.18) у (3.17) і спростивши, отримаємо:

$$h_{з.макс}'' = (d_{нл.мін} + 2\Delta_{\phi} \cdot tg\beta_{\phi} - D_{ем.макс} + d_{нл.макс}) \times \sin \cdot [180^{\circ} (1 - D_{ем.макс} / (d_{нл.мін} + 2\Delta_{\phi} \cdot tg\beta_{\phi} - D_{ем.макс} + d_{нл.макс}))]. \quad (3.19)$$

Величину максимального розкриття стикового шва  $h_{\epsilon.макс}''$  на ВЦП згортної втулки при діаметрах її ВЦП  $d_{ем.макс}''$  і зовнішньої  $D_{ем.мін}'$  за аналогією визначимо з формули:

$$h_{\epsilon.макс}'' = d_{ем.макс}'' \cdot h_{з.макс}'' / D_{ем.мін}'. \quad (3.20)$$

Виразивши  $d_{ем.макс}''$  через  $D_{ем.мін}'$  і мінімальну товщину стінки згортної втулки, тобто:  $d_{\epsilon.макс}'' = D_{ем.мін}' - 2\Delta_{см.мін}$ , будемо мати

$$d_{\epsilon.макс}'' = d_{нл.мін} + 2\Delta_{\phi} \cdot tg\beta_{\phi} - D_{ем.макс} + d_{нл.макс} - D_{ем.мін}' + d_{ем.макс}'. \quad (3.21)$$

Підставивши (3.16) (3.19) і (3.21) у (3.20), отримаємо:

$$h_{\epsilon.макс}'' = (d_{нл.мін} + 2\Delta_{\phi} \cdot tg\beta_{\phi} - D_{ем.макс} + d_{нл.макс} - D_{ем.мін}' + d_{ем.макс}') \times \sin \cdot [180^{\circ} (1 - D_{ем.макс}' / (d_{нл.мін} + 2\Delta_{\phi} \cdot tg\beta_{\phi} - D_{ем.макс}' + d_{нл.макс}))]. \quad (3.22)$$

Величина мінімального розкриття стикового шва  $h_{\epsilon.мін}''$  на ВЦП згортної втулки з діаметром зовнішньої циліндричної поверхні  $D_{ем.мін}'$  і центральним кутом  $\theta''$  буде тоді, коли товщина стінки втулки буде максимальною, тобто  $\Delta_{см.макс} = 0,5 \cdot (D_{ем.макс}' - d_{ем.мін}')$ . Використавши розрахункову схему (рис. 3.12 в), можна записати:

$$h_{\epsilon.мін}'' = d_{ем.мін}'' \cdot h_{з.макс}'' / D_{ем.мін}'. \quad (3.23)$$

Виразивши  $d_{ем.мін}''$  через  $D_{ем.мін}'$  і  $\Delta_{см.макс}$ , отримаємо:

$$d_{\epsilon.мін}'' = d_{нл.мін} + 2\Delta_{\phi} \cdot tg\beta_{\phi} - 2D_{ем.макс}' + d_{нл.макс} + d_{ем.мін}'. \quad (3.24)$$

Підставивши (3.16), (3.19) і (3.24) у (3.23), будемо мати

$$h_{\epsilon.мін}'' = (d_{нл.мін} + 2\Delta_{\phi} \cdot tg\beta_{\phi} - 2D_{ем.макс}' + d_{нл.макс} + d_{ем.мін}') \times \sin \cdot [180^{\circ} (1 - D_{ем.макс}' / (d_{нл.мін} + 2\Delta_{\phi} \cdot tg\beta_{\phi} - D_{ем.макс}' + d_{нл.макс}))]. \quad (3.25)$$

На *третьому етапі* розглянемо згортні втулки із розкритим стиковим швом із скругленням, коли у поздовжньому осьовому перерізі слід зовнішньої

циліндричної поверхні згортної втулки спряжений із слідом її торцевої поверхні дугою радіусом  $r_{ск}$ , яка є частиною сліду торової поверхні.

Скористаємось розрахунковою схемою, поданою на рис. 3.13. Величина розкриття стикового шва на зовнішній циліндричній поверхні згортної втулки із скругленням повинна визначатись з урахуванням положення сліду торової поверхні і величини кута тертя  $\theta'_{mp}$ , а також умов контактування при запресуванні згортних втулок з розкритим стиковим швом у отвори внутрішніх пластин. Максимально допустимий діаметр зовнішньої циліндричної поверхні втулки  $D''_{вт.маx}$  визначиться за формулою:

$$D''_{вт.маx} = d_{нл.маx} + 2AD. \quad (3.26)$$

Величину  $AD$  визначимо з  $\triangle ABD$ . Взявши до уваги, що  $\angle ABO'_{маx} = \pi/4 + \alpha_{ск}/2$ , а  $\angle ABO = \pi/4 - \alpha_{ск}/2$ , і  $AB = 2BC$ , а також, що  $BC = r_{ск} \cdot \cos(\pi/4 + \alpha_{ск}/2)$ , отримаємо

$$AD = 2r_{ск} \cdot \cos[(\pi + 2\alpha_{ск})/4] \cdot \sin[(\pi - 2\alpha_{ск})/4]. \quad (3.27)$$

Спростивши рівняння (3.27) з урахуванням відомих формул додавання і віднімання аргументів тригонометричних функцій, а також формули подвійних кутів для синуса, отримаємо

$$AD = r_{ск} \cdot (1 - \sin \alpha_{ск}). \quad (3.28)$$

Тоді вираз (3.26) набуде вигляду

$$D''_{вт.маx} = d_{нл.маx} + 2r_{ск} \cdot (1 - \sin \alpha_{ск}). \quad (3.29)$$

Визначимо мінімально допустимий діаметр  $D''_{вт.мін}$  зовнішньої циліндричної поверхні згортної втулки при мінімально допустимій величині розкриття стикового шва  $h''_{мін}$ , забезпечивши при цьому виконання наступних умов:

а) запресування згортної втулки у отвір внутрішньої пластини здійснюється при його мінімальному діаметрі  $d_{нл.мін}$ .

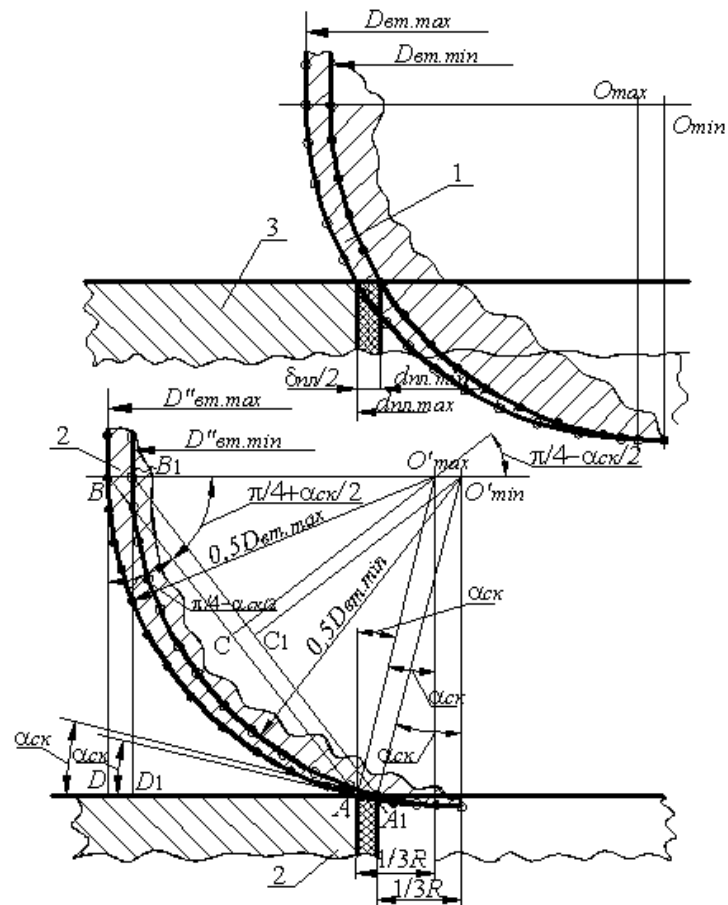


Рисунок 3.13 Розрахункова схема для визначення величини розкриття стикового шва згортної втулки із округленням: 1 – положення згортної втулки з закритим стиковим швом перед її запресуванням у отвір пластини; 2 – положення згортної втулки з максимально допустимим розкритим стиковим швом перед її запресуванням у отвір пластини; 3 – внутрішня пластини

б) слід торової поверхні з радіусом  $r_{ck}$ , який спрягає твірну зовнішньої циліндричної поверхні згортної втулки зі слідом торцевої поверхні згортної втулки у поздовжньому осьовому перерізі, дотичний у точці  $A_1$ , яка утворилася внаслідок перетину сліду плоскої торцевої поверхні внутрішньої пластини і сліду циліндричної поверхні отвору пластини;

в) дотична до сліду торової поверхні з радіусом  $r_{ck}$ , поставлена у точку  $A_1$ , утворює із слідом плоскої торцевої поверхні внутрішньої пластини кут  $\alpha_{ck}$ .

Максимально допустима величина розкриття стикового шва  $h_{ck,max}''$  на зовнішній циліндричній поверхні згортної втулки буде тоді, коли діаметр цієї поверхні втулки із закритим стиковим швом буде  $D_{em,min}''$ , а діаметр цієї ж поверхні при розкритому стиковому шву буде  $D_{em,max}''$  і діаметр отвору внутрішньої пластини буде  $d_{nl,max}$ . Тоді центральний кут  $\theta_{ck,min}''$ , який стягує дугу з хордою  $h_{ck,min}''$ , визначиться із залежності:

$$\theta_{ck,max}'' = 360^\circ(1 - D_{em,min}'' / [d_{nl,max} + 2r_{ck}(1 - \sin \alpha_{ck})]). \quad (3.30)$$

Тоді максимальна величина  $h_{ck,max}''$  розкриття стикового шва буде дорівнювати:

$$h_{ck,max}'' = [d_{nl,max} + 2r_{ck}(1 - \sin \alpha_{ck})] \sin[180^\circ(1 - \frac{D_{em,min}''}{d_{nl,max} + 2r_{ck}(1 - \sin \alpha_{ck})})]. \quad (3.31)$$

Мінімальна величина розкриття стикового шва  $h_{ck,min}''$  на зовнішній циліндричній поверхні згортної втулки буде мати місце тоді, коли діаметр цієї поверхні при розкритому шві буде  $D_{em,min}''$  і діаметр цієї ж поверхні втулки при закритому стиковому шві відповідно буде  $D_{em,max}$ , а діаметр отвору внутрішньої пластини дорівнюватиме  $d_{nl,min}$ . Визначивши мінімальне значення центрального кута  $\theta_{ck,min}''$ , який стягує дугу з хордою  $h_{ck,min}''$ ,

$$\theta_{ck,min}'' = 360^\circ(1 - (D_{em,max}) / (d_{nl,min} + 2r_{ck}(1 - \sin \alpha_{ck}))), \quad (3.32)$$

отримаємо залежність для визначення мінімальної величини розкриття стикового шва на зовнішній поверхні згортної втулки:

$$h_{ck.min}'' = [d_{nl.min} + 2r_{ck}(1 - \sin \alpha_{ck})] \times \sin[180^\circ(1 - D_{em.max} / (d_{nl.min} + 2r_{ck}(1 - \sin \alpha_{ck})))] \quad (3.33)$$

Ілюстрацію практичного застосування отриманих результатів подано на прикладі згортних втулок до ПРВЛ з кроками: 9,525 мм; 15,875 мм і 19,05 мм та відповідними параметрами: зовнішній діаметр:  $5,05^{+0,01}$  мм;  $7,17_{-0,02}$  мм;  $8,6_{0,05}$  мм; внутрішній діаметр  $3,62^{+0,01}$  мм;  $5,17^{+0,05}$  мм;  $6,06^{+0,08}$  мм.

Значення внутрішнього діаметра калібруючих фільєр визначається із залежності  $D_\phi = D'_{em.min} + (D'_{em.max} - D'_{e.min})$ , а значення калібруючих оправок будуть  $d_{opr} = d''_{em.max} - (d''_{e.max} - d''_{em.min})$ . Отримані значення конструктивних параметрів калібруючих інструментів подані у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Значення розмірних параметрів стикових швів і калібруючих інструментів

| Розмірні параметри стикового шва і калібруючих інструментів  |                | Приводні ланцюги з кроком, мм |                 |                |
|--|----------------|-------------------------------|-----------------|----------------|
|  |                | 9,525                         | 15,875          | 19,05          |
| Розкриття стикового шва на циліндричних поверхнях втулок, мм | зовнішній      | 0,251                         | 1,359           | 1,928          |
|  | внутрішній     | 0,135                         | 0,907           | 1,194          |
| Діаметри калібруючих інструментів, мм                        | оправки        | $3,71_{-0,03}$                | $5,655_{-0,07}$ | $6,77_{-0,13}$ |
|  | отвору фільєри | $5,12^{+0,01}$                | $7,65^{+0,02}$  | $9,13^{+0,05}$ |

Аналіз отриманих результатів показує, що згортні втулки до ПРВЛ з кроком 9,525 мм можна орієнтувати перед складанням внутрішніх ланок, використавши пневматичну орієнтацію [2], а згортні втулки до ПРВЛ з кроками 15,875 мм і 19,05 мм можливо орієнтувати, використавши жорсткі конічні фіксатори. Запропонована нова конструкція згортної шкворневої втулки яка подана у [100, 130].

### 3.3. Технологічне спорядження з радіусним транспортним каналом для формування згортних втулок

Згортні втулки, на виготовлення яких витрачається тисячі тонн високоякісного прокату і які масово застосовуються у виробництві ПРВЛ, виготовляються за традиційними технологіями, що передбачають згортку

втулок та їх багаторазове калібрування. Проте існуючі технологічні процеси не забезпечують належної точності форми згортних втулок [42]. Основною причиною незабезпечення заданої точності форми є недосконалість конструкції існуючого технологічного спорядження, на якому здійснюється формоутворення і калібрування згортних втулок [5], а саме наявність прямолінійного транспортного каналу, спряженого із формуючою циліндричною матрицею, і відсутність механізму повороту калібруючих фільтер. Такі конструктивні особливості технологічного спорядження призводять, по перше, до утворення прямолінійної ділянки в поперечному січенні втулки, а, по друге, до зниження стійкості калібруючих фільтер внаслідок того, що при калібруванні вони сприймають ударні навантаження завжди в одному місці. Дослідження спрацювання шарнірів приводних ланцюгів, створених згортними втулками і валиками [74], показали значну залежність між інтенсивністю зношування і точністю форми згортних втулок.

Тому створення технологічного спорядження, яке забезпечувало б необхідну точність форми згортних втулок і підвищену зносостійкість шарнірів приводних ланцюгів та стійкість твердосплавних калібруючих фільтер, є актуальною задачею.

Розроблена конструкція технологічного спорядження показана на рис. 3.14. У корпусі 1 виконаний ступінчастий циліндричний канал 2, який спряжений з радіусним транспортним каналом 3. На корпусі 1 змонтований накопичувач 7, в прямолінійний вертикальний канал якого встановлені шибер 10 і горизонтальний штовхач карточок 6. В ступінчастому циліндричному каналі 2 корпусу 1 встановлена циліндрична оправка 4, яка виконана ступінчастою з можливістю осьового переміщення і тоншим кінцем спряжена з отвором, що розміщений в опорі 23. Осесиметрично до ступінчастого циліндричного каналу 2 встановлений ступінчастий стакан 14, в якому фіксуються калібруючі фільтери 11 і 13, розділені шайбою 12, які від осьового переміщення зафіксовані одним із торців каналу, а з другого боку, через шайбу 15, - внутрішнім торцем накидної штопорної гайки 18. Пристрій оснащений



різними механізмами повороту фільєр, один з яких виконаний у вигляді храпового (рис. 3.14), а другий – рейкового (рис. 3.15). На ступінчастому стакані 14 (рис. 3.14) жорстко встановлене храпове колесо 19 і вільно посаджений важіль 20, на довшому плечі якого виконаний паз, де встановлюється камінь 31. Камінь від осьового переміщення зафіксований затискним гвинтом 32 і спряжений з підпружиненим повзуном 28, в якому виконані різеві отвори, в один із яких загвинчується гвинт 29. З іншого боку на важелі встановлена підпружинена лапка 16. Важіль 20 від осьового переміщення фіксується гайкою 21. На торці стакана 14 у вигляді пластин закріплені знімачі втулок 22. На штопорній гайці 18 закріплена фіксуюча лапка 17. Рейковий механізм повороту фільєр (рис. 3.15) має таку будову. На ступінчастому стакані 1 встановлюється муфта обгону, яка складається із зовнішньої обойми 2, що за допомогою шпонки з'єднана з стаканом 1, ролика 3 і внутрішньої обойми 4, на якій за допомогою шпонкового з'єднання встановлена шестерня 5. Шестерня 5 від осьового переміщення зафіксована гайкою 6, а муфта обгону фіксується гайкою 7. Шестерня 5 входить в зачеплення з рейкою 9, на якій запресований шток 8. Перед роботою технологічного спорядження здійснюють його налагоджування. У вихідному стані шибер 10 (рис. 3.14) знаходиться у крайньому верхньому положенні (КВП). Шибер 10 переміщують вертикально вниз на величину, яка дорівнює довжині карточки 9, і подають її у транспортний канал 3. Після цього шибер 10 піднімають у КВП. Горизонтальний подавач 6, переміщуючись вправо, подає наступну карточку у крайнє праве положення під шибер 10 і відходить у крайнє ліве положення. Шибер, переміщуючись вертикально вниз, подає наступну карточку у транспортний канал 3. Карточка, діючи на попередню, переміщує останню в каналі на певне положення. Шибер, 10 відходить у крайнє верхнє положення. Таким чином, транспортний канал 3 стає заповненим карточками 33 і 34. Налагоджується і механізм повороту фільєр, де встановлюється відповідна величина у в залежності від заданого кута повороту фільєри. Величина у визначається за відповідними формулами.

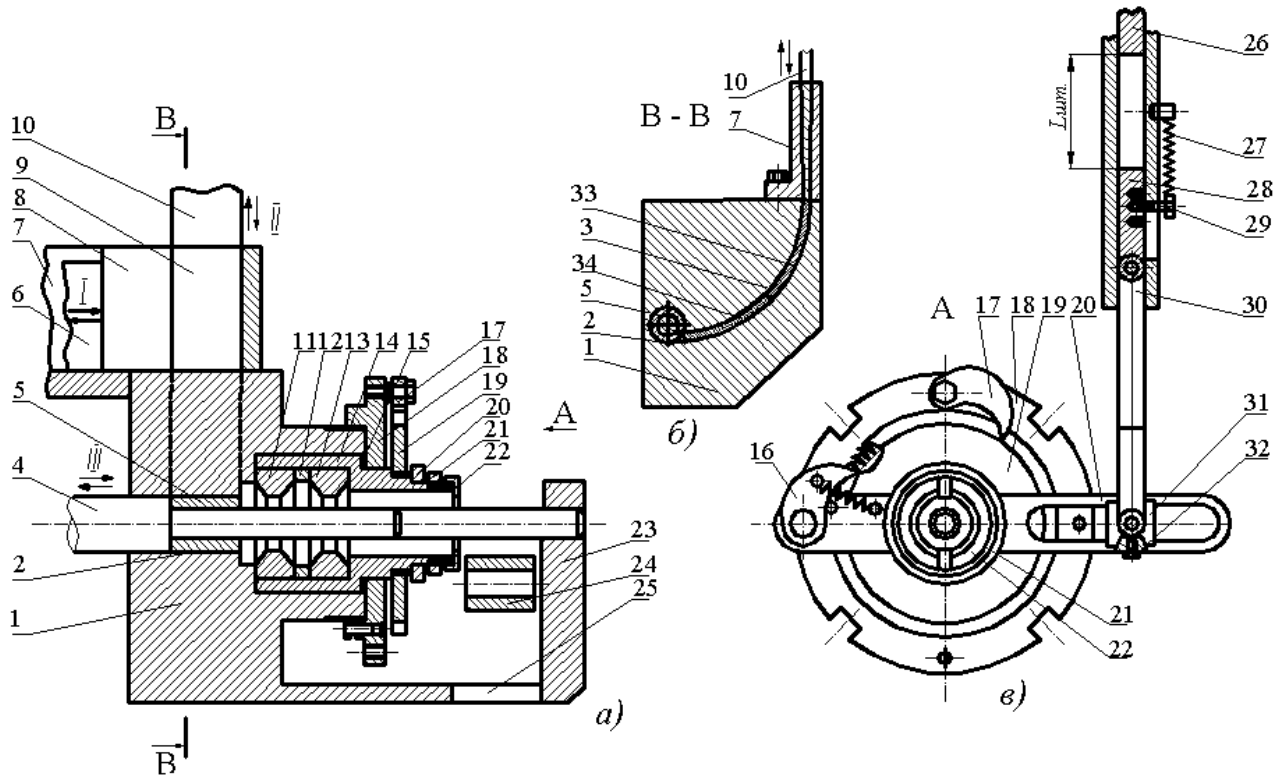


Рисунок 3.14 Пристрій для формування і калібрування згортих втулок з храповим механізмом повороту фільєр

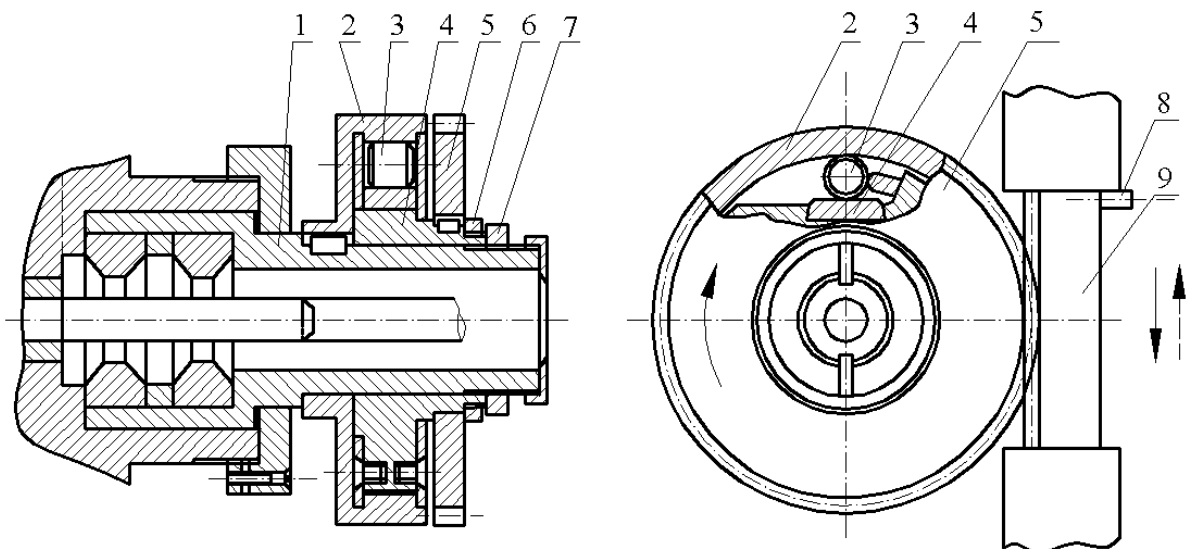


Рисунок 3.15 Конструктивна схема рейкового механізму повороту фільєр

Конструктивно-кінематичні схеми механізмів повороту калібруючих фільтер подані на рис. 3.16. Принцип роботи технологічного спорядження пояснюється рис. 3.14, 3.15 і циклограмою роботи, поданою на рис. 3.17.

Горизонтальний штовхач 6 подає карточку 8 на величину  $L_5 = H_{em}$  у праве крайнє положення під шибер 10 і відходить у крайнє ліве положення (рис.3.17а). Шибер 10, переміщуючись із КВП в КНП, подає карточку на величину  $L_4 = 2\pi r_{c.в.}$ , де  $r_{c.в.} = (D+d)/4$  вертикально вниз, яка, діючи на карточку 33, переміщує карточку 34 у циліндричний канал 2 і при цьому формує циліндричну поверхню втулки 5 (рис. 3.17, б). Одночасно з початком руху шибера 10 вниз починає рухатись із КВП вниз шток 26, який, пройшовши певну відстань  $k_{um} = y$ , починає діяти на напружений пружиною 27 повзун 28, що з'єднаний із шатуном 30, який через камінь 31 діє на довше плече важеля 22 і приводить його в обертовий рух, а через підпружинену лапку 16, що є в зачепленні з храповим колесом 19, повертає його разом із калібруючими фільтерами на певний кут  $\varphi_\phi$  (рис. 3.17, в). При цьому повороті фіксує лапка 17 проскакує по зубах храпового колеса. В процесі формування втулки ступінчаста оправка 4 знаходиться у центральному нерухомому положенні. При русі шибера 10 і штока 26 у КВП пружина 27 переміщує повзун 28 вгору і через шатун 30 приводить в обертовий рух важіль 20, при цьому фіксує лапка 17 штопорить храпове колесо 19, а лапка 16 проковзує по зубах храпового колеса і стає у попереднє положення. В момент початку переміщення шибера 10 у КВП починає рухатись вправо ступінчаста оправка 4 і переміщується на величину  $L_1$ . При цьому згортна втулка 5 проштовхується через фільтери 11 і 13, де проходить калібрування, а оправка переміщується у праве крайнє положення. Після цього здійснюється рух оправки вліво на величину  $L_2$ . Втулка 5 при переміщенні оправки 4 вліво впирається лівим своїм торцем у знімач 22, стає нерухомою щодо до знімача 22, і при переміщенні оправки у ліве крайнє положення оправка 4 виходить із контакту з каліброваною втулкою 5, яка через вікно 25 падає в тару. Оправка 4 переміщується вправо у центральноє положення на величину  $L_3$  і на певний час стає нерухомою.

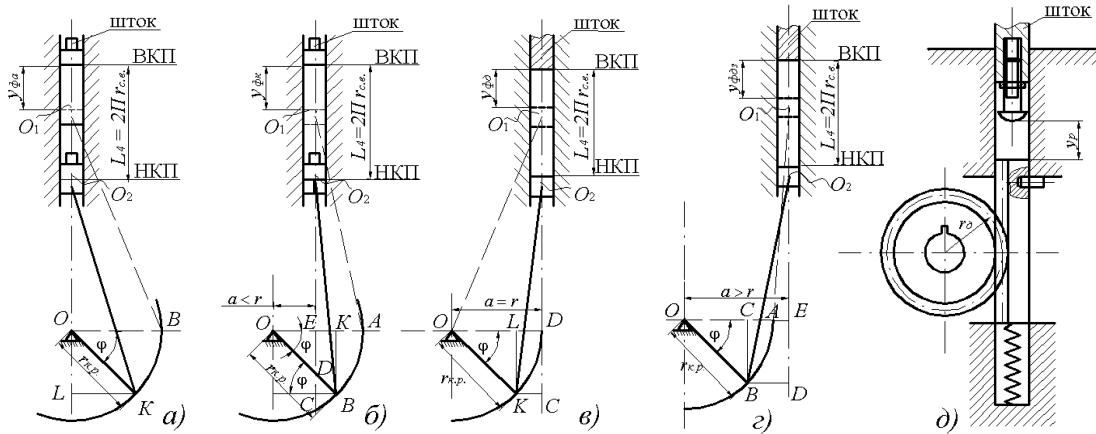


Рисунок 3.16 Розрахункові схеми для визначення налагоджуваного розміру у:

а), б), в), г) – відповідно для кривошипно-повзунних механізмів повороту фільтр при наступних співвідношеннях їх конструктивних параметрів:

$a = 0$  (аксіальний),  $a < r_{к.р.}$ ,  $a = r_{к.р.}$  і  $a > r_{к.р.}$  (дезаксіальний); д) – для рейкового механізму повороту фільтр

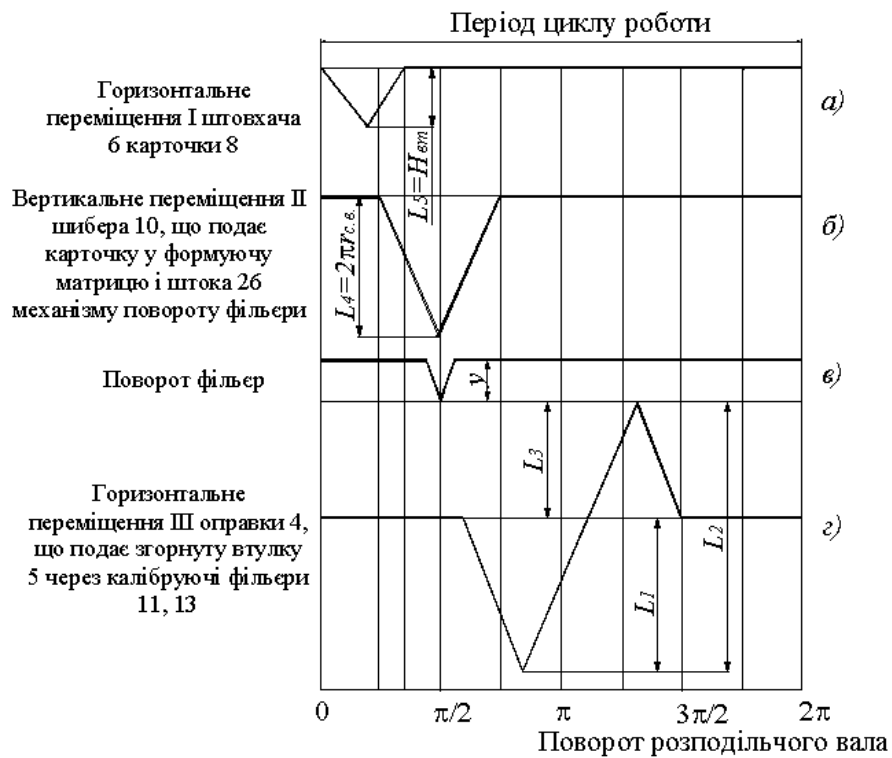


Рисунок 3.17 Циклограми роботи пристрою формування і калібрування згортих втулок

Рейковий механізм повороту калібруючих фільтер (рис. 3.15) працює наступним чином. Рейка 9, що знаходиться у зачепленні із шестернею 5, при переміщенні вниз повертає шестерню 5 і через муфту обгону повертає стакан 1 та фільтери на певний кут  $\varphi_f$ . Коли рейка 9 переміщується у верхнє положення, ролик 3 розклинає обойми 2 і 4. Внутрішня обойма 4 і шестерня 5 повертаються у зворотньому напрямку, а зовнішня обойма 2 і стакан 1 залишаються нерухомими. Далі процес повторюється.

Налагоджування пристрою, виконаного за п'ятьма варіантами на заданий кут повороту фільтер, пояснюється розрахунковими схемами, поданими на рис. 3.16 й полягає у визначенні величини  $y_\varphi$  і встановленні відповідного взаємного розміщення штока і повзуна або штока і рейки.

Для варіанту кривошипно-повзунного аксіального ( $a=0$ ) механізму повороту фільтер, що поданий розрахунковою схемою на рис. 3.16 а, налагоджувальний зазор  $y_{\varphi a}$  визначається із залежності:

$$y_{\varphi a} = 2\pi r_{c.v.} - O_1O_2. \quad (3.34)$$

Визначивши із трикутників  $O_1OB$  і  $OLK$  величини  $O_1O$ ,  $O_1L$  та ввівши співвідношення, що  $k_1 = l/r_{к.р.}$ , й наклавши умову, що  $k_1 > 1$ , після спрощення отримаємо:

$$y_{\varphi a} = 2\pi r_{c.v.} - r_{к.р.} \left( \sqrt{k_1^2 - 1} + \sin \varphi \pi / \left( 180^\circ - \sqrt{k_1^2 - \cos^2 \varphi \pi / 180^\circ} \right) \right). \quad (3.35)$$

Для варіанту кривошипно-повзунного дезаксіального ( $a < r_{к.р.}$ ) механізму повороту фільтер, що поданий розрахунковою схемою на рис. 3.16, б, налагоджувальний зазор  $y_{\varphi k}$  визначається із залежності:

$$y_{\varphi k} = 2\pi r_{c.v.} - O_1O_2. \quad (3.36)$$

Визначивши з трикутників  $OKB$  і  $O_1EA$  величини  $O_1C$ ,  $O_2C$  та ввівши співвідношення, що  $k_2 = a/r_{к.р.}$ , після спрощення будемо мати:

$$y_{\varphi k} = 2\pi r_{c.v.} - r_{к.р.} \left( \sqrt{k_1^2 - 1 + 2k_2 - k_2^2} + \sin \varphi - \sqrt{k_1^2 - k_2^2 + 2k_2 \cdot \cos \varphi - \cos^2 \varphi} \right). \quad (3.37)$$

Величину налагоджувального зазору  $y_{\phi\delta}$  для варіанту дезаксіального ( $a=r_{к.р.}$ ) механізму повороту фільтер визначимо, скориставшись розрахунковою схемою, поданою на рис. 3.16, в:

$$y_{\phi\delta} = 2\pi r_{с.в.} - O_1O_2. \quad (3.38)$$

Визначивши із трикутників  $OLK$  і  $O_2CK$  величини  $O_2C$  та  $O_1C$ , після спрощення отримаємо:

$$y_{\phi\delta} = 2\pi r_{с.в.} - r_{к.р.} (k_1 + \sin \varphi \pi / 180^0 - \sqrt{k_1^2 - (1 - \cos \varphi \pi / 180^0)^2}); \quad (3.39)$$

Величину налагоджувального зазору  $y_{\phi\deltaз}$  для варіанту дезаксіального ( $a > r_{к.р.}$ ) механізму повороту фільтер визначимо із наступних міркувань, скориставшись розрахунковою схемою, поданою на рис. 3.16г:

$$y_{\phi\deltaз} = 2\pi r_{с.в.} - O_1O_2. \quad (3.40)$$

Визначивши із трикутників  $OCB$  і  $O_1EA$  величини  $O_1Д$  та  $O_2Д$ , після спрощення отримаємо:

$$y_{\phi\deltaз} = 2\pi r_{с.в.} - r_{к.р.} (\sqrt{k_1^2 - k_2^2 + 2k_2 - 1 + \sin \varphi} - \sqrt{k_1^2 - k_2 + 2k_2 \cdot \cos \varphi - \cos^2 \varphi}); \quad (3.41)$$

Величина налагоджувального зазору  $y_\delta$  для варіанту рейкового механізму повороту фільтер, що поданий розрахунковою схемою на рис. 3.16, д, з величиною радіусу ділительного кола рейкової шестерні, яка дорівнює  $r_{р.д.}$ , визначиться за формулою:

$$y_p = 2\pi r_{с.в.} - r_{р.д.} \cdot \pi \varphi / 180^0. \quad (3.42)$$

Аналіз отриманих залежностей (3.25), (3.37), (3.39), (3.41) для визначення параметру налагоджування пристрою при невеликих значеннях кута повороту фільтер ( $\varphi < 5^0$ ), коли  $\cos \varphi \rightarrow 1$ , а  $\sin \varphi \rightarrow 0$ , показує, що величина  $y$  практично не залежить від варіантів механізму повороту.

Висновок. Таким чином, запропонована конструкція технологічного спорядження й отримані залежності для налагодження механізмів повороту фільтер дають можливість отримувати згортні втулки підвищеної точності форми і забезпечувати підвищену стійкість калібруючих фільтер та підвищену зносостійкість шарнірів приводних ланцюгів.

### 3.4. Технологічне спорядження для формування згортних втулок підвищеної точності форми

Технологічний процес [96] виготовлення згортної втулки із заготовки, показаної на рис. 3.3, схематично проілюстрований на рис. 3.18. Суть його полягає у наступному.

На *першому* переході (рис. 3.18, *а, г*) показано початкове положення формуючого пуансона 3 і подачу заготовки 2, виконаної у вигляді прямокутної карточки, до упора 4, встановленого на матриці 1, та напрям дії сили  $F_L$ . Упор 4 розміщений на певній віддалі  $L$  від осі пуансона 3, і ця віддаль дорівнює четвертій частині довжини карточки, тобто  $L_y = L_k/4$ . На *другому* переході показано (рис. 3.18, *б*) проміжне кінцеве положення пуансона 3 (рис. 3.18, *в і д*) і сформовану у матриці нерівносторонню  $U$ -подібну заготовку 5, яка складається із плоскої ділянки 6, тангенціально спряженої з частково циліндричною оболонкою 7. На *третьому* переході (рис. 3.18, *є*) показано подачу нерівносторонньої  $U$ -подібної заготовки 5 за допомогою оправки 11 у формуючу матрицю 8, яка виконана у вигляді плоскої щілини 9, що тангенціально спряжена з ВЦП 10 цієї матриці. На *четвертому* переході (рис. 3.18, *ж і з*) подано проміжне положення шибєрного пуансона 11 і нерівносторонньої  $U$ -подібної заготовки 5 у формуючій матриці 8. На *п'ятому* переході (рис. 3.18, *з*) умовно не показано шибєрного пуансона 11, а подано сформовану згортну втулку 12, яка розміщена на оправці 13 у формуючій матриці 8. На *шостому* переході (рис. 3.18, *к*) схематично показано виштовхування сформованої втулки 12 з формуючої матриці 8 шляхом переміщення оправки 13 для подальшого калібрування.

Апробація запропонованого технологічного процесу формування згортної втулки здійснена в ТНТУ ім. І. Пулюя. Предметом досліджень була згортна втулка для ПРВЛ 19,05-31,8 [29]. Матеріал згортної втулки – Сталь 65Г. Кресленням згортної втулки встановлені наступні розміри: зовнішній діаметр  $D = 8,6_{-0,02}$  мм; внутрішній діаметр  $d = 6,06^{+0,05}$  мм; висота втулки  $H = 17,75_{-0,15}$  мм.

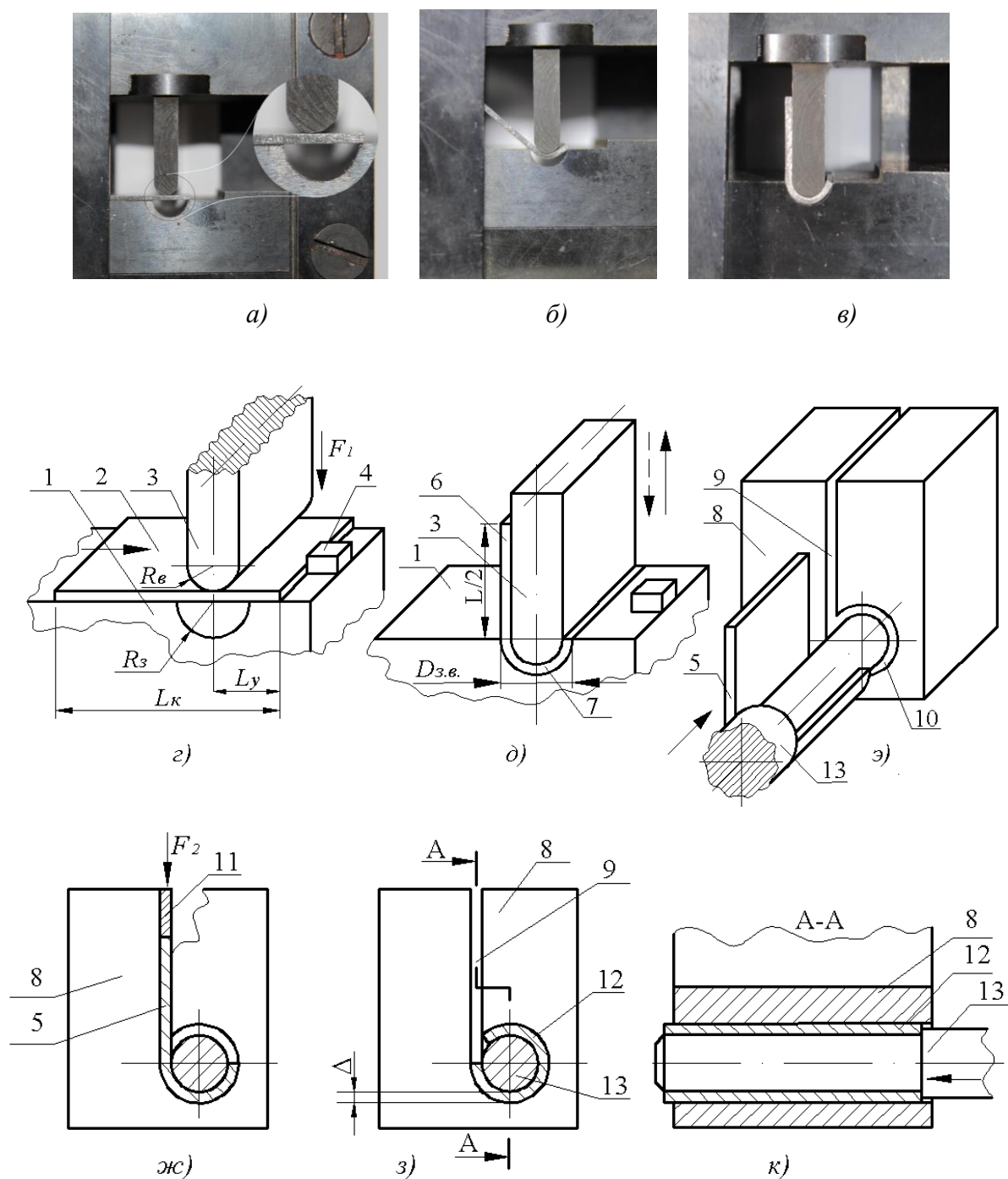


Рисунок 3.18 Фотографії та схематичне зображення переходів технологічного процесу виготовлення згортної втулки



Спочатку визначали довжину карточки  $L_k$ . Середні значення зовнішнього і внутрішнього діаметрів згортної втулки відповідно дорівнюють  $D_{cp} = 8,59$  мм і  $d_{cp} = 6,086$  мм. Радіус кривини  $r_n$  нейтрального шару згортної втулки як бруса великої кривизни ( $\rho < 7h$ ), де  $h$  – розмір поперечного перерізу у площині кривини згідно з [70] визначився із залежності  $r_n = h/\ln(R_{cp}/r_{cp})$  і у нашому випадку  $r_n = 3,629$  мм. Тоді номінальна довжина карточки як заготовки згортної втулки буде  $L_k = 22,79$  мм.

На *першому* переході упор 4 встановлювали на віддалі  $L_k = 5,7_{\pm 0,05}^0$  мм від лівого торця карточки до поздовжньої осі формуючого пуансона. На *другому* переході формуючий пуансон навантажували зусиллям  $F_1 = 4030$  Н, створюваного динамометром ДОР-0,5, який постійно переміщували вниз, в результаті чого карточку деформували і отримували нерівносторонню U-подібну заготовку з прямолінійною ділянкою номінальної довжини  $L_n = 11,395$  мм і напівциліндричною панеллю із зовнішнім номінальним діаметром  $d_n = 8,6$  мм. Після чого формуючий пуансон переміщували вгору у вихідне положення. На *третьому* переході нерівносторонню U-подібну заготовку переміщували вгору (на рис. 3.18,  $\epsilon$  не показано) до контакту її внутрішньої циліндричної ділянки з циліндричною поверхнею оправки, а потім оправку разом із нерівносторонньою U-подібною заготовкою переміщували паралельно до поздовжньої осі оправки до розміщення заготовки у плоскій прямолінійній щілині і кільцевому циліндричному каналі формуючої матриці. На *четвертому* переході при нерухомій в осьовому напрямі оправці до вільного верхнього торця прямолінійної ділянки нерівносторонньої U-подібної заготовки прикладали зусилля 860 Н і під його дією здійснювали переміщення заготовки у прямолінійно-циліндричній порожнині, формуючи при цьому згортну втулку. На *п'ятому* переході оправку переміщували зліва направо і виштовхували втулку з кільцевої порожнини формуючої матриці, після чого оправку повертали у вихідне положення.

Кожну отриману за таким технологічним процесом згортну втулку із партії обсягом 20 шт. по торцю сканували, отримували зображення, яке збільшували у масштабі, і у проекцію її внутрішньої поверхні вписували коло так, щоб воно контактувало не менше, ніж у трьох точках цієї проекції. Визначали вибіркове середнє відхилення від круглості *EFK*, яке дорівнювало 0,625 мм. Аналогічно визначали вибіркове середнє відхилення від круглості *EFK* проекції внутрішньої циліндричної поверхні згортної втулки, отриманої за існуючим технологічним процесом на НЗНА, яке дорівнювало 0,826 мм. Отримані результати свідчать, що запропонований спосіб формування згортної втулки забезпечує зменшення відхилення від круглості по відношенню до існуючого в 1,32 рази.

Таким чином реалізація запропонованого способу формування згортної втулки забезпечує: по-перше, підвищення точності форми втулки після її формування з карточки і по-друге, дасть можливість зменшити кількість дороговартісних твердосплавних калібруючих фільтер за рахунок підвищення їх стійкості (довговічності), що, безперечно, дасть певний економічний ефект.

Удосконалення існуючого на НЗНА технологічного процесу формування згортної втулки із заготовки у вигляді плоскої прямокутної карточки реалізується шляхом використання запропонованого пристрою [98], показаного на рис. 3.19. Для випадку використання заготовок інших конструкцій, поданих на рис. 3.1 і рис. 3.2, у конструкції пристрою (рис. 3.19) необхідно, щоб транспортний канал був виконаний радіусним з певною кривиною. Особливістю запропонованого пристрою, на відміну від існуючих, наприклад, на НЗНА, є те, що діаметр  $D_m$  формуючої матриці є дещо більший, ніж зовнішній діаметр згортної втулки.

В корпусі 1 (рис. 3.19, *a*), встановленому на плиті 2, виконаний центральний канал 3, який виконує роль формуючої матриці. Цей канал спряжений із плоским транспортним каналом 4, у якому розміщені листові заготовки у вигляді карточки 5 і шибер 6, з'єднаний з пуансоном 7. В циліндричному каналі співвісно з можливістю осевого переміщення

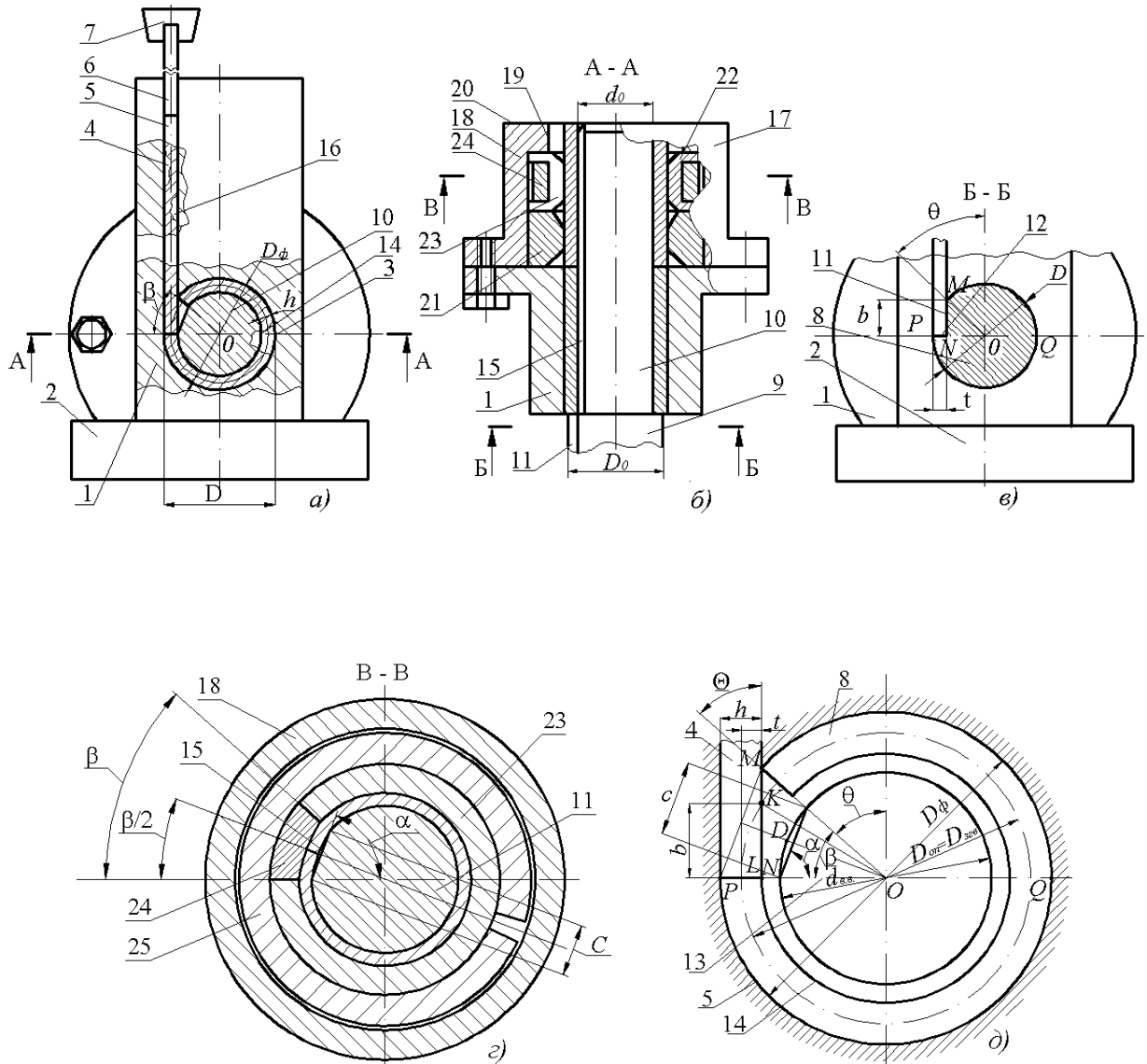


Рисунок 3.19 Пристрій для формування і калібрування згортних втулок:  
*a* – головний вигляд; *б* – переріз А-А; *в* – переріз Б-Б; *г* – переріз В-В; *д* –  
 розрахункова схема

встановлена ступінчаста циліндрична оправка 8, яка складається із ступені 9 більшого діаметра  $D_0$  і ступені 10 (рис. 3.19, б) меншого діаметра  $d_0$ . По всій довжині ступені 9 на оправці 8 виконана напівлиска 11 глибиною  $t$ , горизонтальна сторона 12 якої суміщена з горизонтальною нормаллю 13 (рис. 3.19, б) у площині, перпендикулярній до поздовжньої осі цього каналу (рис. 3.19, а, д). По всій довжині ступені 10 оправки 8 виконана лиска 15 (рис. 3.19, б, г), яка стягнута центральним кутом  $\beta$  (рис. 3.19, г), утвореним горизонтальною нормаллю 13 до кола 14 (рис. 3.19, д) і прямою, що з'єднує центр кола з точкою, утвореною перетином цього кола із слідом внутрішньої поверхні 16 прямолінійної транспортної щілини 4 (рис. 3.19, а). До корпуса 1 на протилежному від ступені 9 оправки 8 боці жорстко і співвісно з центральним каналом закріплений вузол калібрування 17 (рис. 3.19, б). Цей вузол складається із стакана 18 з центральним отвором 19, виконаним у його дні 20. В стакані встановлено суцільну деформуючу філь'єру 21 і калібруючу фільєру 22, яка виконана із двох частин: більшої 23 і меншої 24 (рис. 3.19, д). Менша частина 24 калібруючої фільєри 22 розміщена так, що вісь її симетрії у перпендикулярному до осі оправки 8 напрямку складає кут  $\beta/2$  до горизонтальної нормалі 13 кола 14.

Пристрій працює наступним чином.

При верхньому крайньому положенні пуансона 7 і закріпленого в ньому шибера 6 (на фіг. не показано) та крайньому лівому положенні ступінчастої циліндричної оправки 8 (рис. 3.19, б) у транспортну щілину 4 подають листову заготовку 5. При переміщенні пуансона 7 шибера 6 під дією зусилля формування переміщується вертикально вниз, і при цьому листову заготовку 5, переміщуючись по транспортній щілині 4, попадає у циліндричну кільцеву порожнину, утворену ВЦП каналу 3 і зовнішньою циліндричною поверхнею ступені 9 більшого діаметра  $D_0$  ступінчастої циліндричної оправки 8, й при цьому деформується, набуваючи циліндричної форми. Так як діаметр  $D$  циліндричного каналу 3 дещо більший від зовнішнього діаметра згортої втулки  $D_0$ , то при згортанні втулки передній торець листової заготовки не

увійде в контакт із кінцевим торцем цієї заготовки, і ці торці розмістяться під деяким кутом  $\beta$ , що не буде заважати й перешкоджати переміщенню шибера 5 в його крайнє нижнє положення. Після цього циліндричну оправку 8 переміщують зліва направо і торцем ступені 9 переміщують згортну втулку вздовж циліндричного каналу 3. При досягненні контакту переднього торця згортної втулки із суцільною деформуючою фільєрою 18 і при проходженні цієї втулки через цю фільєру здійснюють додаткове формування згортної втулки, а при подальшому транспортуванні та проштовхуванні її через калібруючу фільєру 19, зокрема меншої частини 24 фільєри 19, здійснюють додаткове калібрування згортної втулки, яке призводить до закриття стикового шва втулки. Після закінчення переміщення оправки 8 й виштовхування згорнутої втулки із вузла калібрування 17, оправку 8 і шибера 6 повертають у свої вихідні положення, а процес повторюється.

Для визначення основних конструкторських параметрів пристрою скористаємось рис. 3.19, *a* і рис. 3.19, *в* та розрахунковою схемою на рис. 3.19, *д*.

При цьому накладена умова, що довжина дуги  $MQP$ - $L_{M\check{Q}P}$  повинна дорівнювати довжині кола з діаметром, який дорівнює зовнішньому діаметру згортної втулки  $D_g$ , тобто

$$L_{M\check{Q}P} = \pi D_g. \quad (3.43)$$

Величину  $L_{M\check{Q}P}$  виразимо залежністю:

$$L_{M\check{Q}P} = (3\pi/2 + \theta)D_g/2. \quad (3.44)$$

Із  $\triangle OMN$  будемо мати  $ON/OM = \cos \theta$ . В свою чергу  $ON = OP - PN = D_g/2 - h$ ;  $OM = D_g/2$ ; тут  $h$  – товщина листової заготовки.

Тоді  $\cos \theta = (D_g/2 - h)/D_g/2 = 1 - 2h/D_g$ . Звідки

$$\theta = \arccos(1 - 2h/D_g) \text{ (град)}, \text{ або } \theta = 0,0174 \cdot \arccos(1 - 2h/D_g) \text{ (рад)}. \quad (3.45)$$

Підставивши (3.45) в (3.44) і отримане в (3.43) значення та спростивши, отримаємо залежність зовнішнього діаметра втулки  $D_g$  від діаметра  $D_\phi$  формуючої матриці:

$$D_{\epsilon} = D_{\phi} \left[ 1 - \left( \arccos(1 - 2h / D_{\phi}) / 2\pi \right) \right] \quad (3.46)$$

Для згортних втулок ПРВЛ та згортної шкворневої втулки ходової частини автомобілів УАЗ значення діаметрів втулок і діаметрів формуючих матриць подані у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Значення номінальних діаметрів  $D_{\phi n}$  формуючих матриць (ФМ) в залежності від номінальних зовнішніх діаметрів  $D_{\epsilon n}$  згортних втулок (ЗВ) ПРВЛ різних виробників та шкворневих згортних втулок (ШВ) для автомобілів марки УАЗ

| Параметри<br>ЗВ, ШВ, ФМ            | Згортна втулка для ПРВЛ з кроками $t$ - мм |        |        |        |        |        |        | 5<br>ШВ |
|------------------------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
|                                    | 1  | 1 *    | 1 **   | 1      | 2      | 3      | 4      |         |
| $D_{\epsilon n}$ , мм              | 9,525                                      | 12,700 | 12,700 | 15,875 | 19,050 | 25,400 | 38,100 | 31,50   |
| Товщина стінки<br>ЗВ і ШВ $h$ , мм | 0,725                                      | 0,770  | 0,932  | 1,000  | 1,270  | 1,500  | 2,860  | 1,800   |
| $D_{\phi n}$ , мм                  | 5,715                                      | 5,960  | 7,250  | 8,100  | 9,750  | 12,670 | 19,050 | 34,000  |

1, 2, 3, 4 і 5 – відповідно для виробництв: Даугавпільського (Латвія); Новосибірського (РФ); Краматорського (Україна); Барнаульського (РФ) і Тернопільського (Україна). \* і \*\* - відповідно для велосипедів і мотоциклів.

Глибина напівлиски  $t_l$  визначиться із рис. 3.19,  $\delta$  і за формулою:

$$t_l = h - (D_{\phi} - D_o) / 2, \quad (3.47)$$

тут  $D_o$  – діаметр оправки, а ширина  $b$  цієї напівлиски визначиться із  $\triangle OKN$  (рис. 3.19,  $\delta$ ), врахувавши, що  $b = KN$ ; а  $OK = D_o/2$  і  $ON = D_{\phi}/2 - h$ , за формулою

$$b = 0,5 \sqrt{D_o^2 - D_{\phi}^2 + 4D_{\phi}h - 4h^2}. \quad (3.48)$$

Величину кута  $\beta$  визначимо, скориставшись  $\triangle OMN$ :

$$\beta = \arccos(1 - 2h / D_{\phi}). \quad (3.49)$$

Ширину лиски  $c$  визначимо із прямокутного трикутника  $ONL$ :

$$c = (D_{\phi} - 2h) \sin[0,5 \arccos(1 - 2h / D_{\phi})]. \quad (3.50)$$

Кут нахилу  $\alpha$  лиски 15 до нормалі кола з діаметром  $D_{\phi}$ , яка проходить через точку  $N$  визначиться із залежності:

$$\alpha = 0,5[\pi - \arccos(1 - 2h / D_{\phi})] \text{ рад}. \quad (3.51)$$

Отримані залежності (3.46) - (3.51) і дані таблиці 3.4 дають можливість проектувати пристрої для формування згортних втулок із листової заготовки у вигляді прямокутної карточки.

### **3.5. Нова технологія виготовлення і використання згортних шкворневих втулок ходової частини деяких транспортних засобів**

Одним із найважливіших показників якості поперечних перерізів циліндричних поверхонь, у тому числі і згортних шкворневих втулок, є відхилення від круглості. Згортні шкворневі втулки знайшли широке використання у ходовій частині ряду автомобілів, зокрема автомобілів Ульяновського заводу (РФ) марок УАЗ-469 і УАЗ-452. Відхилення від круглості *EFK* як один із основних показників точності форми має суттєвий вплив на експлуатаційні властивості контактуючих поверхонь і регламентоване існуючими стандартами: ГОСТ 24642-81 (РФ і Україна); BS 308, 1253 (Великобританія); DIN 7182, B14 (Німеччина); U-14-5 (США, Канада, Чехія, Швейцарія). За існуючими технологіями такі втулки виготовляють із заготовок у вигляді прямокутних карточок певних розмірів шляхом періодичного деформування з наступним їх запресуванням у отвори інших корпусних деталей, наприклад, цапф ходової частини автомобілів, верхні отвори шатунів і корпусів коромисел газорозподілу двигунів внутрішнього згоряння з подальшим фінішним дорнуванням їх ВЦП (рис. 3.20).

При використанні у ходовій частині автомобілів, зокрема автомобілів УАЗ, згортних шкворневих втулок, які в процесі руху транспортного засобу працюють в режимі значних динамічних навантажень, точність форми ВЦП втулок і зовнішніх циліндричних поверхонь шкворнів має визначально важливе значення для забезпечення реальних допустимих тисків у шарнірах.

Дослідженню точності форми, зокрема, відхиленню від круглості присвячена значна кількість наукових праць як українських, так і закордонних [15, 38, 47, 80, 140, 149, 150] вчених.

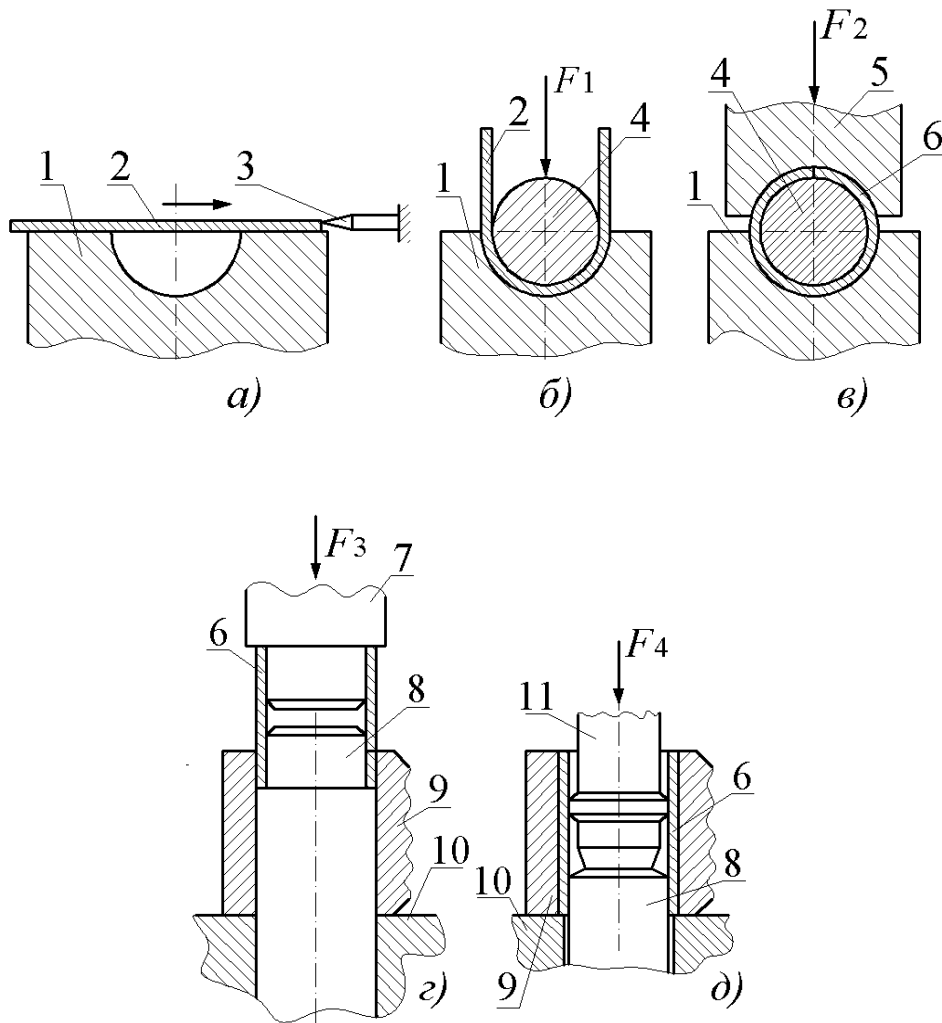


Рисунок 3.20 Технологічна схема виготовлення згортних шкворневих втулок: а) – подача карточки до упора; б) – формування U- подібної заготовки; в) – формування згортної втулки; г) –запресування згортної втулки у отвір цапфи; д) – калібрування дорном ВЦП

1 – матриця, 2 – заготовка втулка-карточка, 3 – упор, 4 – циліндрична оправка, 5 – пуансон; 6 – згортна втулка, 7 – верхній пуансон, 8 – вловлювач, 9 – корпус цапфи, 10 – підставка, 11 – дорн



Ряд дослідників [15, 47, 149, 150] відхилення від круглості на проміжку  $[0-2\pi]$  подають як стаціонарні або нестаціонарні періодичні випадкові функції з періодом  $2\pi$ . Відхилення від круглості поперечних перерізів суцільних циліндричних поверхонь, сформованих точінням або шліфуванням, волочінням у фільерах подають як стаціонарні випадкові функції. Для оцінювання цих відхилень використовують кореляційні функції та їх характеристики. Відхилення від круглості поперечних перерізів пустотілих циліндрів, наприклад, згортних втулок, формування яких здійснюють внаслідок періодичного або послідовного деформування з наступним калібруванням у фільерах і при цьому стиковий шов втулки є початком і кінцем проміжку  $[0-2\pi]$ , подають як нестаціонарні випадкові періодичні функції.

Аналіз існуючих методів оцінювання відхилень від круглості [80, 149] поперечних перерізів циліндричних поверхонь, сформованих існуючими технологіями, показав, що при цьому використовують математичний апарат тригонометричних рядів Фур'є і розглядають ці відхилення у імовірнісному аспекті. У випадках, коли відхилення від круглості на декілька порядків перевищують поля допусків на певні розміри і технічні можливості існуючих приладів для контролю цих відхилень не дозволяють їх визначити, виникає необхідність створення нової методики їх визначення і нової технології їх виготовлення.

Тому створення нової технології виготовлення згортних втулок з урахуванням значних макрогеометричних відхилень утворених після першої технологічної операції згортання карточки у втулку, а також нової методики вимірювання і оцінювання цього параметра з використанням гармонічного аналізу й теорії малої вибірки, що забезпечувало б підвищені якісні показники складальної одиниці, у яку входить шкворнева згортна втулка, є актуальною задачею.

Основні завдання такі. Створення нової методики визначення макрогеометрії форми ВЦП втулок. Використавши гармонічний аналіз і теорію малої вибірки, визначити на усередненій круглограмі ВЦП втулок зони з

максимальними відхиленнями від круглості. Удосконалити технологію калібрування цих втулок шляхом використання розроблених автором пружних фільтер. Удосконалити операцію спряження цих втулок з отворами цапф шляхом реалізації кутової орієнтації і забезпечення при цьому зони контакту ВЦП втулок з мінімальними їх відхиленнями від круглості з циліндричними поверхнями шкворнів.

Суть запропонованого технологічного рішення складається з двох етапів. На першому етапі виконується науково-дослідна робота, в результаті якої встановлюється закономірність відхилень від круглості за кутом повороту, стабільність технологічного процесу на операції згортання карточки у втулку і визначаються зони з максимальним відхиленням від круглості  $\Delta_{max}=EFK$  на секторах, обмежених центральним кутом  $\theta = 90^\circ$ . На другому етапі подані удосконаленні технологічні операції калібрування згортних шкворневих втулок у пружних роз'ємних фільтерах і складання цих втулок із цапфою з одночасним забезпеченням кутової орієнтації зони з мінімальними відхиленнями від круглості втулки в зону контакту ВЦП втулок із зовнішніми циліндричними поверхнями шворнів, а також дорнування ВЦП втулок.

Суть першого етапу полягає у наступному. За традиційною технологією виконують першу технологічну операцію - згортання втулки - і при цьому виготовляють дослідну партію таких втулок обсягом 15 штук. Внаслідок наявності при згортанні карточки відпружинювання ВЦП втулок мають значні відхилення від круглості і використання для їх вимірювання існуючих приладів є неможливим. У цьому випадку торці згортних втулок шліфують, після цього їх сканують. Отримані відбитки торців збільшують відповідно до заданого масштабу і отримують сліди ВЦП втулок у вигляді спотворених кіл, тобто круглограми. Вписують у кожну з цих круглограм прилягаюче не менше, ніж у трьох найбільш віддалених одна від одної точок профіля, коло розбивають на  $i$  ( $i=1, 2, 3 \dots 24, 36$ ) рівномірно розподілених положень та визначають у кожному з них віддалі від точок реального профілю ВЦП втулок до прилягаючого кола і отримують у кінцевому результаті значення відхилень від круглості  $\Delta_i = EFK_j$ .

У поданому прикладі конкретної реалізації запропонованої технології круглограми, які подані на рис. 3.21, розділені у нашому випадку на 24 положення, а дані про відхилення від круглості  $\Delta_i$  у кожному  $i$ -тому положенні для кожної  $j$ -ої ( $j=1, 2, 3...10$ ) втулки подані у таблиці 3.5. Отримані дані піддавали статистичному обробленню. Для кожної  $j$ -ої втулки у кожному із  $i$ -тих положень відхилення від круглості  $\Delta_{ji}$  подавали як випадкову величину. Для визначення математичного сподівання  $M(\Delta_{ji})$  і дисперсії  $D(\Delta_{ji})$  із [137] використали залежності, отримані за методом ітерацій з теорії малої вибірки для  $n = 10$  такого вигляду:

$$M(\Delta_{ji}) = \frac{a+b}{2} \prod_{k=1}^{10} C_k + \sum_{k=1}^{10} \prod_{k=1} C_k \cdot \left\{ \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \left( e^{-\frac{z_{1k}^2}{2}} - e^{-\frac{z_{2k}^2}{2}} \right) + \Delta_k [\Phi(z_{2k}) - \Phi(z_{1k})] \right\},$$

$$D(\Delta_{ji}) = \frac{a^2 + ab + b^2}{3} \prod_{k=1}^n C_k + \sum_{k=1}^n \prod_{k=1} C_k \cdot \left\{ \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} [(\sigma \cdot z_{1k} + 2\Delta_k) \cdot e^{-\frac{z_{1k}^2}{2}} - (\sigma \cdot z_{2k} + 2\Delta_k) \times \right.$$

$$\left. \times e^{-\frac{z_{2k}^2}{2}} \right] + (\sigma^2 + \Delta_k^2 [\Phi(z_{2k}) - \Phi(z_{1k})]) \left. \right\} - M^2(\Delta), \text{ де } z_{1k} = \frac{a - \Delta_k}{\sigma}, \quad z_{2k} = \frac{b - \Delta_k}{\sigma};$$

$[a, b]$  – інтервал зміни величини  $\Delta$ , вважається відомим і таким, що  $a = \Delta_{k \min}$ ,  $b = \Delta_{k \max}$  ( $\Delta_{k \min}$  і  $\Delta_{k \max}$  – відповідно найменше і найбільше значення серед відхилень від круглості окремого  $i$ -го положення кожної з  $j$ -тих втулок,  $C_k$  – нормуючі множники, які отримані із умов  $\int_a^b \Delta_k \cdot f(\Delta_k) \cdot d\Delta_k = 1$ ,  $C_k = 1 / (1 + \Phi[(a - \Delta_k) / (\sigma(\Delta_k))] - \Phi[(b - \Delta_k) / (\sigma(\Delta_k))])$ , де  $\sigma(\Delta_k) = (b - a) / 6$  – середнє квадратичне відхилення випадкової величини  $\Delta_{ji}$ ,  $\Phi(z_{1k})$ ,  $\Phi(z_{2k})$  – функції Лапласа.

Знаючи  $M(\Delta_{ij})$  і  $D(\Delta_{ij})$  для вибірки обсягом 10 втулок

$$\text{за критерієм Стьюдента } t_k = \frac{3 | M(\Delta_{i=1}, j=1,2...10) - M(\Delta_{i=2}, j=1,2...10) |}{\sqrt{D(\Delta_{i=1}, j=1,2...10) + D(\Delta_{i=2}, j=1,2...10)}} \quad i$$

$$\text{Фішера } F = \frac{D(\Delta_{i=1}, j=1,2...10)}{D(\Delta_{i=2}, j=1,2...10)}, \text{ тут } D(\Delta_{i=1}, j=1,2...10) > D(\Delta_{i=2}, j=1,2...10)$$

визначали істотність відмінностей як за математичними сподіваннями, так і за

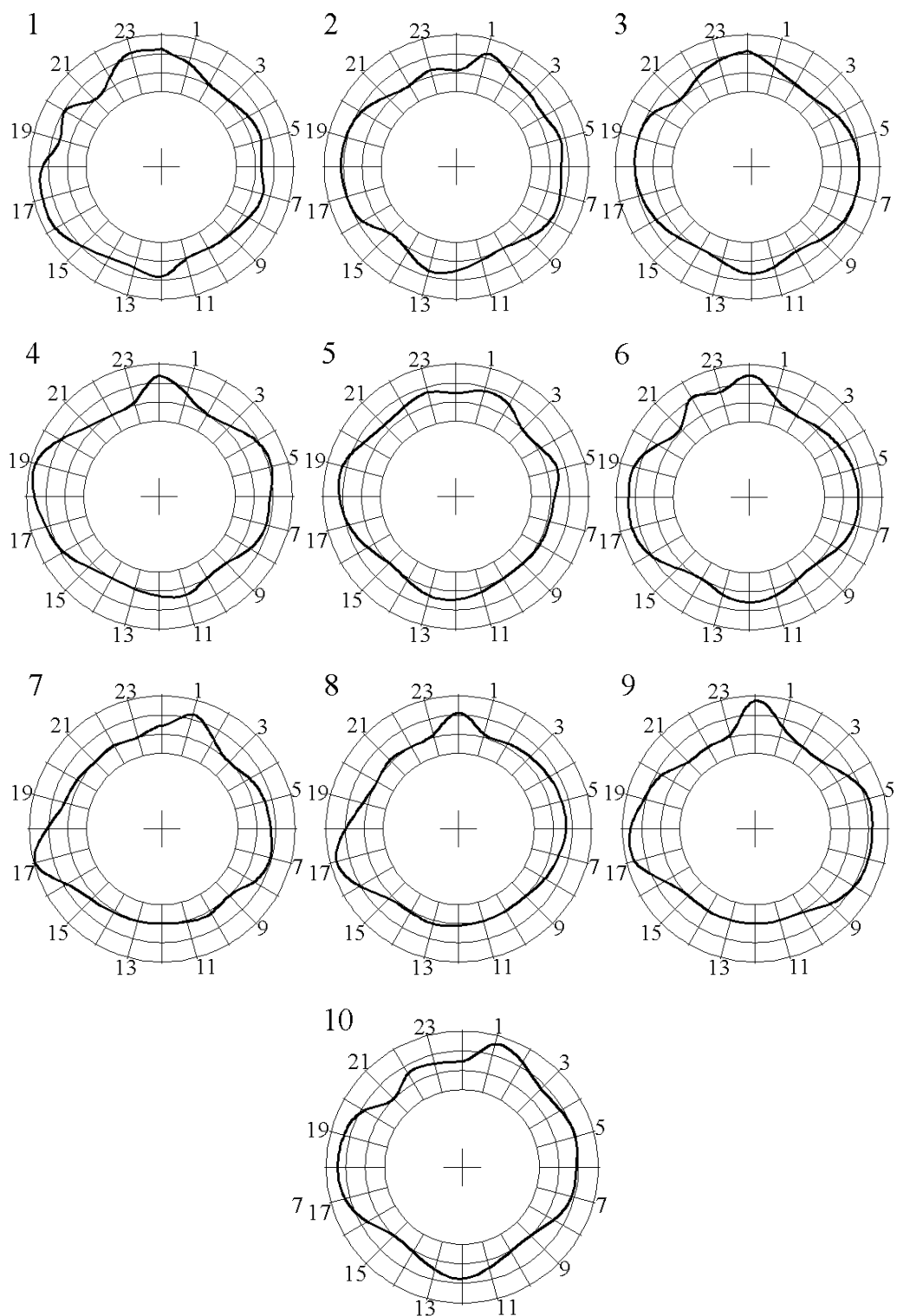


Рисунок 3.21 Круглограми відхилень від круглості ВЦП втулок отриманих після згортання заготовок – карточок для  $j$ -тих втулок ( $j=1, 2, 3...9, 10$ ).

дисперсіями, тобто визначали стабільність технологічного процесу формування відхилень від круглості, де  $M(\Delta_{i=1}, j=1,2...10)$  і  $M(\Delta_{i=2}, j=1,2...10)$  – відповідно математичні сподівання відхилень від круглості у першому і другому положеннях всіх  $j$ -тих згортних втулок;  $D(\Delta_{i=1}, j=1,2...10)$  і  $D(\Delta_{i=2}, j=1,2...10)$  – відповідно дисперсії розсіювання відхилень від круглості у першому і другому положеннях всіх  $j$ -тих згортних втулок.

Таблиця 3.5.

Значення відхилень від круглості  $EFK_{ij}$  мкм для певних  $i$ -тих положень  $j$ -тих втулок, математичні сподівання  $M(EFK_{ij})$ , мкм і дисперсії  $D(EFK_{ij})$ , мкм<sup>2</sup>

| № пол.,<br>$i$ | Кут пов.,<br>$\varphi^0$ | Порядкові номера згортних втулок $j$ |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Хар-ки розсіювання |               |
|----------------|--------------------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------|---------------|
|                |                          | 1                                    | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | $M(\Delta_i)$      | $D(\Delta_i)$ |
| 0(24)          | 0(360)                   | 626                                  | 72  | 576 | 706 | 248 | 718 | 226 | 558 | 880 | 226 | 484                | 65350         |
| 1              | 15                       | 326                                  | 614 | 238 | 298 | 390 | 226 | 622 | 90  | 316 | 792 | 391                | 42360         |
| 2              | 30                       | 140                                  | 358 | 42  | 26  | 302 | 4   | 222 | 10  | 0   | 624 | 173                | 38160         |
| 3              | 45                       | 0                                    | 252 | 32  | 136 | 0   | 102 | 0   | 182 | 0   | 370 | 107                | 14810         |
| 4              | 60                       | 152                                  | 202 | 236 | 456 | 84  | 308 | 168 | 262 | 316 | 438 | 262                | 13050         |
| 5              | 75                       | 234                                  | 364 | 408 | 572 | 280 | 356 | 310 | 316 | 600 | 526 | 397                | 14580         |
| 6              | 90                       | 144                                  | 292 | 482 | 422 | 118 | 400 | 368 | 346 | 600 | 448 | 362                | 19570         |
| 7              | 105                      | 296                                  | 362 | 490 | 416 | 66  | 382 | 456 | 236 | 602 | 432 | 374                | 19750         |
| 8              | 120                      | 198                                  | 376 | 430 | 264 | 54  | 210 | 304 | 134 | 528 | 232 | 273                | 17990         |
| 9              | 135                      | 70                                   | 170 | 244 | 0   | 6   | 2   | 0   | 8   | 302 | 0   | 80                 | 12030         |
| 10             | 150                      | 0                                    | 0   | 96  | 0   | 0   | 30  | 38  | 0   | 32  | 30  | 23                 | 837,6         |
| 11             | 165                      | 310                                  | 74  | 254 | 198 | 110 | 198 | 42  | 20  | 0   | 196 | 140                | 10060         |
| 12             | 180                      | 438                                  | 264 | 324 | 134 | 228 | 278 | 0   | 50  | 0   | 386 | 210                | 22340         |
| 13             | 195                      | 298                                  | 354 | 106 | 32  | 220 | 170 | 22  | 96  | 0   | 248 | 155                | 13590         |
| 14             | 210                      | 308                                  | 76  | 4   | 0   | 60  | 0   | 58  | 46  | 0   | 26  | 58                 | 7700          |
| 15             | 225                      | 510                                  | 0   | 132 | 148 | 0   | 164 | 146 | 110 | 0   | 0   | 121                | 21330         |
| 16             | 240                      | 774                                  | 386 | 304 | 448 | 202 | 526 | 420 | 522 | 276 | 322 | 421                | 24720         |
| 17             | 255                      | 886                                  | 522 | 426 | 606 | 434 | 700 | 978 | 844 | 800 | 636 | 684                | 33020         |
| 18             | 270                      | 784                                  | 572 | 494 | 810 | 586 | 682 | 558 | 492 | 800 | 1   | 578                | 50420         |
| 19             | 285                      | 668                                  | 544 | 500 | 892 | 606 | 646 | 176 | 126 | 544 | 662 | 536                | 47620         |
| 20             | 300                      | 290                                  | 418 | 382 | 516 | 338 | 280 | 96  | 0   | 350 | 426 | 310                | 21830         |
| 21             | 315                      | 460                                  | 136 | 34  | 132 | 178 | 66  | 8   | 64  | 0   | 0   | 108                | 17270         |
| 22             | 330                      | 0                                    | 0   | 200 | 0   | 234 | 542 | 46  | 0   | 0   | 290 | 132                | 30260         |
| 23             | 345                      | 240                                  | 158 | 426 | 78  | 354 | 384 | 0   | 84  | 98  | 270 | 209                | 19480         |

Додатково стабільність технологічного процесу на першій технологічній операції – формування із карточки згортної втулки за показником відхилення від круглості перевіряли, використавши гармонічний аналіз величини  $\Delta_{ji}$ . Для цього на основі [15, 140, 149, 150] відхилення від круглості  $\Delta_{ji}$  на інтервалі  $[0-2\pi]$  апроксимували, обмежившись 10-ма членами тригонометричного ряду

Фур'є.  $f(\Delta_{ij}) = \frac{a_{0j}}{2} + \sum_{k=1}^{k=10} (a_{kj} \cdot \cos k\Delta_{ij} + b_{kj} \cdot \sin k\Delta_{ij})$ , де  $\frac{a_{0j}}{2}$  – вільний член

розкладу;  $a_{0j} = \overline{\Delta_j}$  – середнє значення відхилень від круглості  $j$ -ої згортної втулки за 24-ма значеннями (у кожному положенні);  $a_{kj}, b_{kj}$  – коефіцієнти ряду Фур'є  $k$ -ої гармоніки  $j$ -ої згортної втулки;  $k$  - порядковий номер гармоніки.

$$a_{kj} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\Delta_{ij}) \cdot \cos k\Delta_{ij} \cdot d\Delta_{ij}; \quad b_{kj} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\Delta_{ij}) \cdot \sin k\Delta_{ij} \cdot d\Delta_{ij}.$$

Побудовано ансамбль із 10-ти реалізацій відхилень від круглості згортних втулок, отриманих після першої технологічної операції “згортання”, поданий на рис. 3.22.

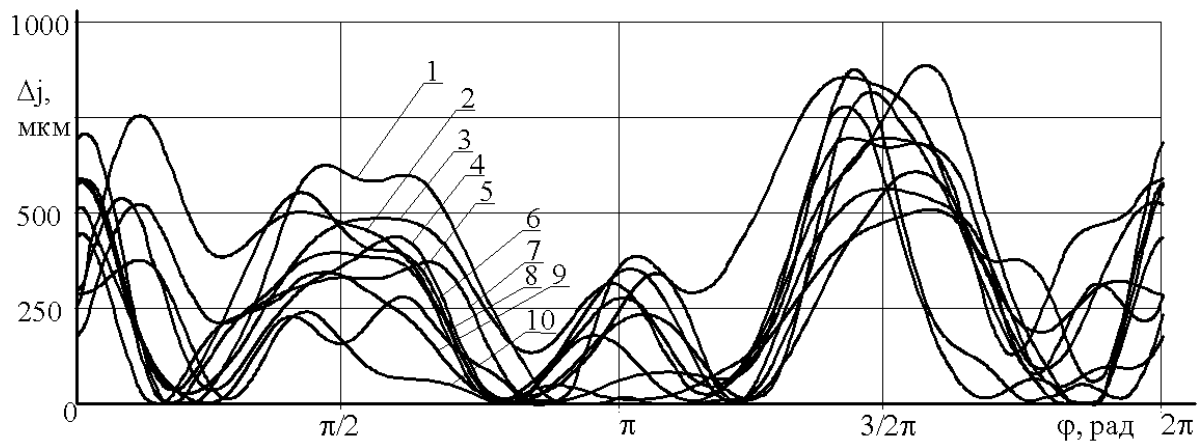


Рисунок 3.22 Ансамбль реалізацій відхилень від круглості  $\Delta_j$  згортних шкворневих втулок до ходової частини автомобілів марки УАЗ після першої технологічної операції

Отримані значення  $\overline{\Delta_j}$  подавали як випадкові величини і за критерієм Греббса перевіряли наявність у статистичних рядах значень  $\Delta'_j$ , які різко виділялись. При виявленні таких значень для певної круглограми згортної втулки її вилучали із вибірки і додатково брали круглограму іншої згортної втулки. Добившись таким чином однорідності статистичного ряду  $\overline{\Delta_j}$ , отримували значення амплітуд і характеристики розподілу, які подані у таблиці 3.6.

Використавши метод Спрега [7], знаходили координати центру:

$$X_0 = 2 \sum_{i=1}^{24} \frac{x_i}{24}, Y_0 = 2 \sum_{i=1}^{24} \frac{y_i}{24} \text{ і величину радіуса базового кола } R_0 = \sum_{i=1}^{24} \frac{r_i}{24}, \text{ де } x_i, y_i$$

і  $r_i$  – відповідно Декартові координати і радіус-вектора  $i$ -тої точки круглограми, проведений із центру координат з центром у точці О. Потім знаходили біжучі відхилення радіуса  $\Delta R_i$  від базового кола і приймали їх за відхилення від круглості та будували усереднену круглограму (рис. 3.23).

Таблиця 3.6.

Значення амплітуд  $A_k$ , апроксимованих рядом Фур'є відхилень від круглості ВЦП втулок, середніх значень  $\overline{\Delta_j}$ , мкм, дисперсій  $D(\Delta_j)$ , мкм<sup>2</sup> та коефіцієнтів варіації  $k_v(\Delta_j)$

| №<br>п/п<br>втул<br>ки | Значення амплітуд |     |     |     |    |    |    |    |    |     | Х-ки розсіювання               |                                   |                 |
|------------------------|-------------------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|-----|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
|                        | A1                | A2  | A3  | A4  | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 | $\overline{\Delta_j}$ ,<br>мкм | $D(\Delta_j)$<br>мкм <sup>2</sup> | $k_v(\Delta_j)$ |
| 1                      | 227               | 178 | 125 | 141 | 13 | 78 | 14 | 26 | 7  | 39  | 79,8                           | 6372                              | 0,25            |
| 2                      | 52                | 130 | 89  | 131 | 40 | 59 | 31 | 37 | 6  | 23  | 51,4                           | 2639                              | 0,19            |
| 3                      | 32                | 123 | 64  | 153 | 28 | 68 | 15 | 10 | 7  | 6   | 49,8                           | 2479                              | 0,17            |
| 4                      | 126               | 133 | 75  | 178 | 77 | 87 | 37 | 15 | 32 | 18  | 78,7                           | 6196                              | 0,26            |
| 5                      | 164               | 44  | 66  | 123 | 18 | 27 | 42 | 29 | 8  | 5   | 51                             | 2604                              | 0,24            |
| 6                      | 150               | 116 | 65  | 192 | 35 | 51 | 7  | 35 | 31 | 27  | 64,6                           | 4178                              | 0,21            |
| 7                      | 47                | 192 | 166 | 124 | 71 | 75 | 54 | 39 | 29 | 20  | 70,1                           | 4920                              | 0,32            |
| 8                      | 60                | 176 | 109 | 137 | 34 | 58 | 61 | 24 | 26 | 21  | 61,2                           | 3745                              | 0,32            |
| 9                      | 73                | 255 | 145 | 205 | 71 | 82 | 53 | 24 | 22 | 30  | 86,6                           | 7508                              | 0,29            |
| 10                     | 135               | 145 | 118 | 166 | 53 | 20 | 48 | 55 | 31 | 15  | 67,2                           | 4514                              | 0,21            |

У подальшому визначали зони з максимальними відхиленнями від круглості. При цьому брали до уваги зону контакту ВЦП втулки з циліндричною поверхнею шворня у спряженні із зазором, що визначається центральним кутом  $\theta = 85^\circ$  [84, 139]. Для спрощення розрахунків приймали  $\theta = 90^\circ$ . Ця задача вирішується шляхом визначення середнього значення відхилення від круглості на ділянці кругло грами, яка обмежена сектором з центральним кутом  $\theta_p$ , із наступним поворотом сектора на  $30^\circ$ , тобто у наступних проміжках, що визначені такими значеннями центральних кутів  $\theta_{pj}$ :

$[-\pi/4, \pi/4]$ ;  $[-\pi/12, 5/12\pi]$ ;  $[\pi/12, 7/12\pi]$ ;  $[\pi/4, 3/4\pi]$ ;  $[5/12\pi, 11/12\pi]$ ;  
 $[7/12\pi, 13/12\pi]$ ;  $[3/4\pi, 5/4\pi]$ ;  $[11/12\pi, 17/12\pi]$ ;  $[13/12\pi, 19/12\pi]$ ;  
 $[15/12\pi, 21/12\pi]$ ;  $[17/12\pi, 23/12\pi]$ ;  $[19/12\pi, 25/12\pi]$ ;  
 $[21/12\pi(-\pi/4), 27/12\pi(\pi/4)]$ .

У кожному з цих 12-ти ( $q=1, 2, 3 \dots 12$ ) секторів, розділених на 10 частин, маючи значення відхилень від круглості, апроксимувавши їх тригонометричним рядом Фур'є з 10-ма членами, визначали середні значення  $\bar{\Delta}_q$  і дисперсії розсіювання  $D(\Delta_q)$  за формулами  $\bar{\Delta}_q = a_{0q}$  і  $D(\Delta_q) = 0,5 \sum_{i=1}^{10} A_{kq}$ , де  $a_{0q}$  – значення вільних членів тригонометричних рядів Фур'є. За отриманими значеннями  $\bar{\Delta}_q$  і  $\sigma(\Delta_q)$  визначали розміщення максимальних значень  $\bar{\Delta}_{q \max} = \bar{\Delta}_q + 3\sigma(\Delta_q)$  і на круглограмі цих зон.

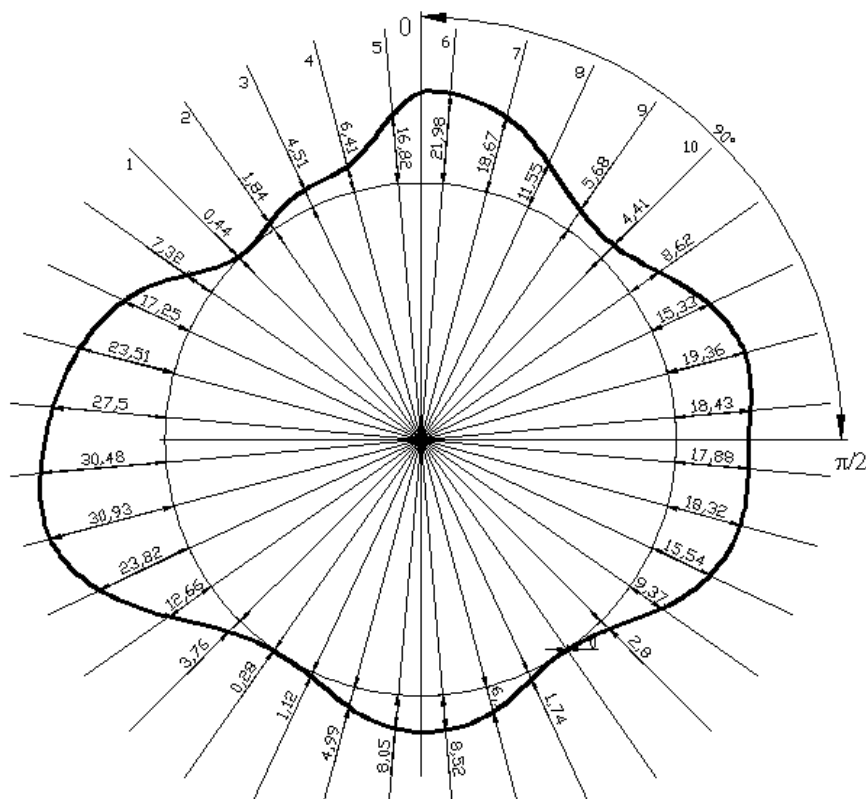


Рисунок 3.23 Усереднення круглограма відхилень від круглості ВЦП згортних шкворневих втулок,  $\mu=20$  мкм/мм

У таблиці 3.7 подані значення  $\bar{\Delta}_q$  і  $D(\Delta_q)$  та проміжки секторів  $\Delta_{q \max}$ .



Таблиця 3.7.

Проміжки секторів та секторальні середні значення  $\bar{\Delta}_q$  мкм, дисперсії  $D(\Delta_q)$  мкм, та максимальні значення відхилень від круглості  $\bar{\Delta}_{q\max} = \bar{\Delta}_q + 3\sqrt{D(\Delta_q)}$ .

| № п/п | Проміжки секторів                     | Характеристики розсіювання |                |                    |
|-------|---------------------------------------|----------------------------|----------------|--------------------|
|       |                                       | $\overline{EFK}$ , мкм     | $D(EFK)$ , мкм | $EFK_{\max}$ , мкм |
| 1     | $[-\pi/4, \pi/4]$                     | 9,982                      | 46,156         | 30,36              |
| 2     | $[-\pi/12, 5/12\pi]$                  | 12,883                     | 29,329         | 29,13              |
| 3     | $[\pi/12, 7/12\pi]$                   | 13,306                     | 27,702         | 28,09              |
| 4     | $[\pi/4, 3/4\pi]$                     | 14,051                     | 24,097         | 28,78              |
| 5     | $[5/12\pi, 11/12\pi]$                 | 10,760                     | 52,391         | 32,47              |
| 6     | $[7/12\pi, 13/12\pi]$                 | 7,089                      | 23,616         | 21,67              |
| 7     | $[3/4\pi, 5/4\pi]$                    | 3,790                      | 8,151          | 12,35              |
| 8     | $[11/12\pi, 17/12\pi]$                | 9,079                      | 64,873         | 33,24              |
| 9     | $[13/12\pi, 19/12\pi]$                | 16,089                     | 142,085        | 51,85              |
| 10    | $[15/12\pi, 21/12\pi]$                | 19,509                     | 86,404         | 47,40              |
| 11    | $[17/12\pi, 23/12\pi]$                | 14,613                     | 125,215        | 48,18              |
| 12    | $[19/12\pi, 25/12\pi]$                | 10,851                     | 57,203         | 33,54              |
| 13(1) | $[21/12\pi(-\pi/4), 27/12\pi(\pi/4)]$ | 9,982                      | 46,156         | 30,36              |

Таким чином, на усередненій круглограмі встановлено зону з мінімальними відхиленнями від круглості – положення №7  $[3/4\pi-5/4\pi]$ , у якому середнє значення  $\Delta_{q7}=3,79$  мкм, а дисперсія  $D(\Delta_{q7})=8,151$  мкм<sup>2</sup>. Максимальне значення відхилень від круглості  $\Delta_{q\max}=12,35$  мкм.

Отримавши такі дані, запропоновано згортні шкворневі втулки при складанні вузла цапфи ходової частини автомобіля орієнтувати зоною з мінімальними відхиленнями від круглості в таке положення, у якому виникають максимальні навантаження.

### 3.6. Пружні фільтри для калібрування згортних втулок

Аналіз літературних джерел [82, 88] показав, що використання пружних фільтрів для калібрування згортних втулок, забезпечує певну точність форми за параметром  $EFK$  відхилення від круглості, не формуючи при цьому на одному із кінців згортних втулок корончастої форми задирок.

### 3.6.1. Розрізна чотирисекторна пружна фільєра

Запропонована нова конструкція фільєри [102], яка призначена для калібрування згортних втулок ПРВЛ з чотиривершинним огранюванням, отриманих при згортанні плоских прямокутних карточок (рис. 3.25).

Фільєра складається (рис. 3.25) із чотирьох секторів 1, 7, 10, 16, які стягнуті сталевим кільцем 17, зовнішня поверхня якого виконана у вигляді чотирьох виступів 4, 6, 12, 14 і чотирьох впадин 5, 9, 13, 18, які обмежені центральними кутами, рівними  $\pi/4$  радіан. Сталеве кільце 17 своїми циліндричними поверхнями виступів 4, 6, 12, 14 запресоване в обойму 2 і своєю внутрішньою циліндричною поверхнею 19 напресоване на сегменти 3 ( $M_1N_1$ ), 8 ( $M_2N_2$ ), 11 ( $M_3N_3$ ) і 15 ( $M_4N_4$ ) відповідних секторів 1, 7, 10, 16. У центральній частині цих секторів виконаний ступінчастий отвір 20, у якому, наприклад, припоєм закріплене вічко 21. Діаметр  $d_\phi$  вихідного вічка 21 у стиснутому стані фільєри дорівнює найменшому допустимому зовнішньому діаметрові калібрувальної втулки.

Розрізна чотирисекторна пружна фільєра для калібрування згортних втулок працює таким чином. Спочатку виготовляють партію згортних втулок. Знімають круглограми зовнішніх циліндричних поверхонь цих втулок і будують усереднену круглограму. Нехай, наприклад, усереднена форма поперечного перерізу втулок після їх згортання, а саме слід їх усередненої зовнішньої циліндричної поверхні у цьому перерізі являє собою чотиривершинне огранювання (рис. 3.25), яке складається із чотирьох секторів  $O_1M'_1N'_1$ ,  $O_1M'_2N'_2$ ,  $O_1M'_3N'_3$ ,  $O_1M'_4N'_4$ , з якимось максимальним у кожному з цих секторів відхиленням від круглості  $\Delta_{1\max}$ ,  $\Delta_{2\max}$ ,  $\Delta_{3\max}$ ,  $\Delta_{4\max}$ . Втулки згорнуті і зорієнтовані на оправці так, що їх максимальні відхилення від круглості у кожному секторі круглограми співпадають із максимальними товщинами стягуючого кільця 17, тобто:  $O_1M'_1N'_1 \leftrightarrow O_1M_1N_1$ ;  $O_1M'_2N'_2 \leftrightarrow O_1M_2N_2$ ;  $O_1M'_3N'_3 \leftrightarrow O_1M_3N_3$ ;  $O_1M'_4N'_4 \leftrightarrow O_1M_4N_4$ . Тоді при прошовуванні згортної втулки через вічко 21 розрізної чотирисекторної пружної фільєри внаслідок

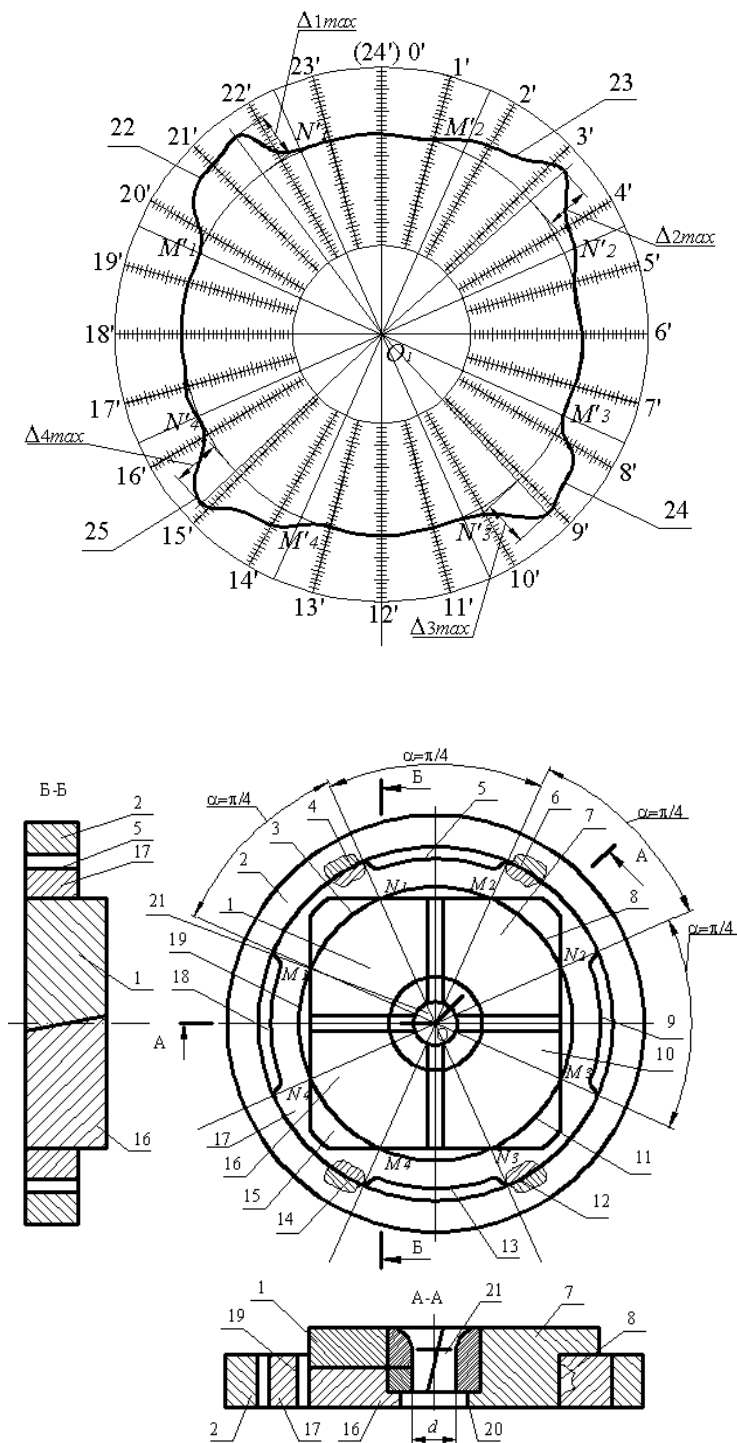


Рисунок 3.25 Нова конструкція розрізної пружної чотирисекторної фільери –  
 а), круглограма відхилень згортних втулок – б)

максимальних локальних товщин стінки стягуючого кільця 17 і його контакту з обоймою 2, у яку запресоване стягуюче кільце 17, радіальне відцентрове переміщення секторів 1, 7, 10, 16 сталевго кільця буде мінімальне і зони 22, 23, 24, 25 (рис. 3.24) втулки з максимальними відхиленнями від круглості отримають максимальні доцентрові переміщення, які при цьому отримають пластичну деформацію цих зон і тим самим забезпечиться підвищення точності форми згортної втулки при калібруванні.

Таким чином, використання запропонованої розрізної чотирисекторної пружної фільери для калібрування втулок забезпечує певний позитивний результат, який полягає в тому, що підвищується точність форми згортних втулок і не утворюються корончастої форми задирки, які було б необхідно усувати додатковою механічною операцією.

### **3.6.2. Розрізна пружна $2n$ -секторна фільєра**

Розрізна пружна  $2n$ -секторна фільєра [103] для калібрування згортних втулок з  $n$ -вершинним огранюванням складається із  $2n$  секторів, у нашому випадку при 3-х вершинах огранювання із 6 секторів 1, 3, 7, 11, 18, 19, (рис. 3.26), які стягнуті сталевим кільцем 22 відповідного перерізу, і це кільце своєю ВЦП напресоване на сегменти 4, 9, 13, 17, 23, 27 цих секторів. У товщині стінки кільця 28 виконані наскрізні пази 5, 12, 21, що симетрично розміщені відносно середньої лінії товщини кільця. Між цими наскрізними пазами сталевго кільця 22 розміщені ділянки 10, 12, 25 із суцільною стінкою. Величина цих наскрізних пазів і ділянок із суцільною стінкою сталевго кільця 22 обмежена центральним кутом  $\Theta_{\phi}=\pi/n$ , рад. Сталеве кільце 22 у кутовому положенні встановлено так, що ділянки 10, 12, 25 кільця 22 із суцільною товщиною стінок розміщені навпроти вершин огранювання. У центральній частині секторів 1, 3, 7, 11, 18, 19 виконаний ступінчастий отвір 29, у якому закріплено, наприклад, припоєм, вічко 30, що складається із 6-ти частин 6, 8, 14, 16, 20, 26. Діаметр  $d$  вихідного отвору вічка 30 у стиснутому стані фільєри дорівнює найменшому допустимому зовнішньому діаметру згортної втулки.

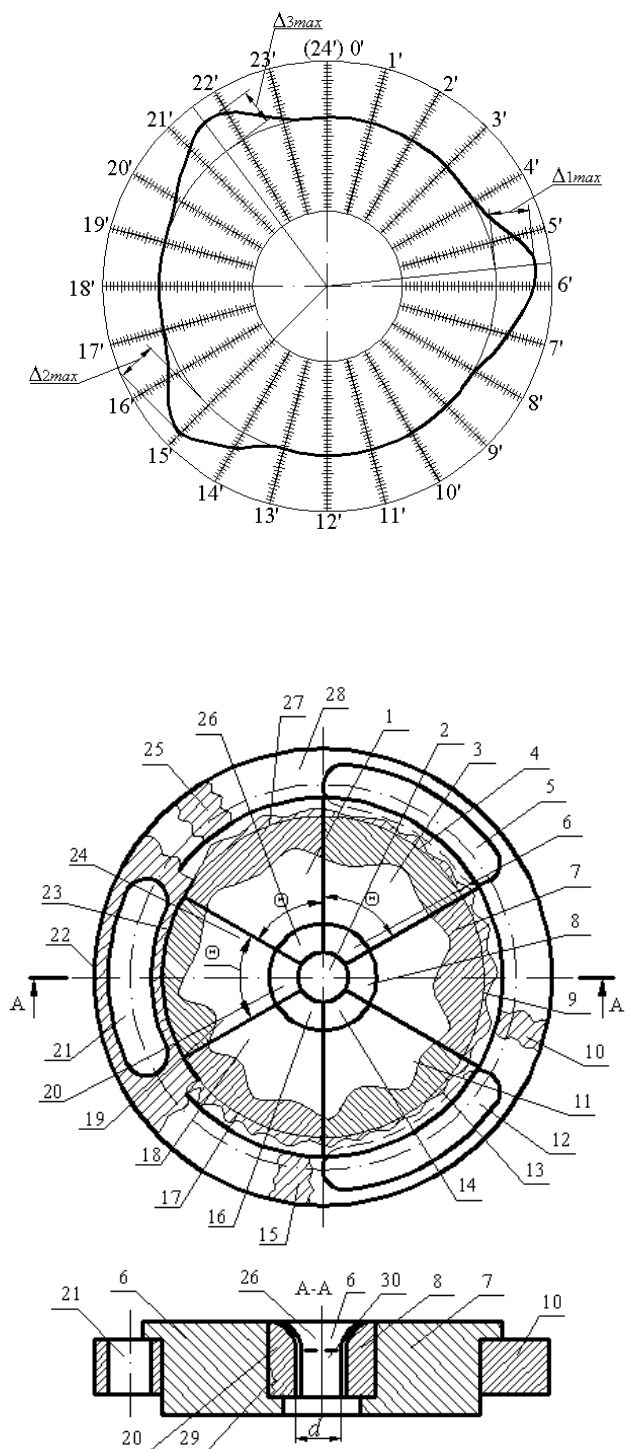


Рисунок 3.26 Запропонована нова розрізна пружня 2n-секторна фільєра – а),  
 круглограма відхилень згортних втулок – б)

Розрізна пружна фільтера для калібрування згортних втулок з  $n$ -вершинним огранюванням працює таким чином. Спочатку за традиційною технологією виготовляють партію згортних втулок з  $n$ -вершинними огранюванням. Потім знімають з кожної втулки круглограму зовнішньої циліндричної поверхні і будують усереднену круглограму (рис. 3.26). Нехай у нашому випадку це буде форма цієї поверхні у вигляді 3-вершинного огранювання, у якій на вершинах розміщені максимальні відхилення від круглості:  $\Delta_{1\max}$ ,  $\Delta_{2\max}$ ,  $\Delta_{3\max}$ . Втулки згорнуті на оправці (на рис. не показано) і по куту поворота зорієнтовані так, що максимальні відхилення від круглості  $\Delta_{1\max}$ ,  $\Delta_{2\max}$ ,  $\Delta_{3\max}$  розміщені навпроти ділянок 10, 12, 25 із суцільною товщиною стінки сталевого кільця 22. Тоді при прошовуванні згортної втулки через вічко 30 фільтери радіальне відцентрове переміщення секторів 1, 7, 18 (рис. 3.26) буде мінімальним, що призведе до максимальних радіальних доцентрових переміщень ділянок згортних втулок з максимальними відхиленнями від круглості  $\Delta_{1\max}$ ,  $\Delta_{2\max}$ ,  $\Delta_{3\max}$ , пластичної деформації цих ділянок і підвищення точності форми згортної втулки.

Таким чином, використання запропонованої розрізної пружної  $n$ -секторної фільтери для калібрування згортних втулок з  $n$ -вершинним калібруванням забезпечує певний позитивний результат, який полягає у підвищенні точності форми згортних втулок і зменшенні кратності калібрування та економії твердосплавних матеріалів.

### 3.7. Висновки

1. Запропоновано нові конструкції заготовок згортних втулок для ПРВЛ, конструктивні параметри яких обґрунтовані з урахуванням технічних обмежень відповідними залежностями. Особливостями конструкцій таких втулок є можливість зменшити зусилля формування і забезпечити підвищення точності форми.

2. Запропоновано нову конструкцію згортних втулок для ПРВЛ з комбінованим прямолінійно-стиковим швом, що забезпечує постійну довжину контакту гвинтової ділянки стикового шва з поверхнею валика і складає для ПРВЛ малих кроків 9,525 мм і 19,05 мм (0,13-0,16 Н), а для ПРВЛ з кроками 25,4 мм і 38,1 мм відповідно 0,24 Н і 0,31 Н, тут Н – висота втулки. Отримані для досліджуваних ПРВЛ значення кількості  $n_{ш}$  прямолінійних ділянок стикових швів залежності від радіального зазору при  $N_{ш}=100$  шарнірів у контурі. Показано, що зі збільшенням зазору  $n_{ш}$  зменшується. Так, при збільшенні зазору від 0,035 мм до критичного 0,797 мм для ПРВЛ з кроком 38,1 мм  $n_{ш}$  зменшується від 22 до 5, а для ПРВЛ з кроком 9,525 мм при зміні зазору від 0,037 до 0,228  $n_{ш}$  зменшується від 7 до 2 відповідно.

3. Отримані залежності для визначення допустимого розкриття стикових швів згортних втулок, яке можна використати як ключ для орієнтації згортних втулок при складанні внутрішніх ланок ПРВЛ. Так розкриття стикового шва по ВЦП для ПРВЛ з кроками 9,525 мм; 15,875 мм і 19,05 мм відповідно склало: 0,135; 0,907 і 1,194 мм. Отримані для цих ПРВЛ значення діаметрів калібруючих інструментів (мм): оправки – 3,71<sub>-0,03</sub>; 5,655<sub>-0,67</sub> і 6,77<sub>-0,13</sub> відповідно; і отвори фільтри 8,12<sub>+0,01</sub>; 7,65<sub>+0,02</sub> і 9,13<sub>+0,05</sub>.

4. Запропоноване технологічне спорядження для згортання втулок з механізмом повороту фільтри, виконаним за різними 5-ма варіантами. Отримані залежності для налагоджування кожного із цих механізмів на поворот комплексу фільтр на заданий кут.

5. Запропонований прогресивний технологічний процес і технологічне спорядження для формування згортної втулки підвищеної точності форми. Отримані номінальні значення діаметрів формуючих фільтр в залежності від номінальних зовнішніх діаметрів втулки й товщина їх стінок, а також визначені зони з мінімальним і максимальним відхиленням від круглості. Мінімальне значення  $EFK_{min}=3,79$  мм на проміжку  $[3/4\pi, 5/4\pi]$  складе 33,2% від середнього значення  $\overline{EFK}=11,9$  на проміжку  $[0, 2\pi]$  і 19,4% від максимального значення  $EFK_{max}$  на проміжку  $[15/12\pi, 21/12\pi]$ .

## РОЗДІЛ 4

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗУСИЛЛЯ ФОРМУВАННЯ ЗГОРТНИХ ВТУЛОК, ТОЧНОСТІ ЇХ ФОРМИ, ШОРСТКОСТІ ТА СТУПЕНЯ ЗМІЦНЕННЯ ВІБРООБКОЧЕНИХ ПОВЕРХОНЬ

#### 4.1. Установа і методика для експериментального дослідження зусилля формування згортних втулок

На даний час згортні втулки виготовляються в основному методом періодичного [3, 4] і послідовного [5, 72] деформування шляхом згортання прямокутної плоскої карточки.

Аналіз існуючих літературних джерел [30, 31, 33, 53, 151-155] показує, що як теоретичні, так і експериментальні дослідження силових характеристик процесу формоутворення згортних втулок відсутні. У зв'язку з цим важко, а в деяких випадках і неможливо, реалізувати прогресивні технології згортання циліндричних втулок та проектування технологічного обладнання для цього.

Тому створення установки і розробка методики для експериментального дослідження зусилля формування згортних втулок у залежності від радіуса транспортного каналу та від наявності у формуючій фільєрі оправки та способу її закріплення є актуальним завданням.

Установа створена у ТНТУ ім. І. Пулюя на базі фрезерного широкоуніверсального верстата моделі 6A75B, загальний вигляд якої показаний на рис. 4.1 *а*). На столі 6 (рис. 4.1, *б*) верстата жорстко закріплена плита 14 з трьома отворами 23, 24, 25 (рис. 4.1, *в*), у якій виконаний транспортний канал 15 заданого радіусу  $R$ . На осі 9 (рис. 4.1, *в*), розміщеній у центральному отворі 24 плити 14, вільно встановлений важіль 10, який жорстко з'єднаний із сегментом 4, а також зубчасте колесо 8. На циліндричній поверхні сегмента виконаний канал, в якому лежить трос 3, один кінець якого закріплений у верхній частині сегмента, а другий - приєднаний до динамометра розтягу 2, який, у свою чергу, зв'язаний із жорстко прикріпленою до основи



верстата планкою 1. В лівому отворі 25 плити 14 концентрично, із зазором встановлена оправка 22 (рис. 4.1, *в*), на якій з можливістю провороту розміщена спеціальна втулка 21 із круговою шкалою 7 (рис. 4.1, *б, в*). У верхньому торці спеціальної втулки 21 виконаний паз, у якому жорстко закріплений щуп 20 (рис. 4.1, *в, г, д, е*). Для фіксації положення шкали 7 встановлена нерухома стрілка 5. В правому отворі 23 плити 14 встановлена вісь 12, на якій вільно посаджена шестерня 11 із круговою шкалою 13. Шестерня 11 спряжена із зубчастим колесом 8. Положення кругової шкали 13 фіксується стрілкою 16.

Налагоджування установки і встановлення її в необхідному положенні здійснюється за допомогою ручок поздовжньої 17 та вертикальної 19 подач верстата. Використанню установки передують тарування динамометра 2 (рис. 4.1, *б*) за допомогою тарувального пристрою, загальний вигляд якого показаний на рис. 4.2 *а*). Тарувальний пристрій складається з основи 1 (рис. 4.2, *б*), на якій жорстко встановлений упор 2. Серга 3 накладена на упор 2 і за допомогою гвинта 4 з'єднана із зразковим динамометром 6 (з відомою його характеристикою), на якому встановлений індикатор 5. Тарувальний динамометр 8 із індикатором 7 одним своїм кінцем шарнірно з'єднаний із взірцевим динамометром 6, а іншим – із повзуном 10, який вільно переміщується в направляючих 9. Повзун 10 шарнірно з'єднаний із натяжним гвинтом 12, на якому встановлені ручки 11. Тарування динамометра 8 здійснюють таким чином. Повертають ручку 11 (рис. 4.2 *б*) за годинниковою стрілкою, примушуючи гвинт 12 переміщатись зліва направо і при цьому тягнути за собою повзун 9, розтягуючи динамометр 8 і взірцевий динамометр 6. Створивши взірцевим динамометром 6 задане зусилля, наприклад,  $F_1=250$  Н, визначають кількість поділок (переміщення  $\Delta$ ) стрілки індикатора 7, які відповідають зусиллю  $F_1$ . Потім поворотом ручки 11 створюють зусилля, наприклад,  $F_2=2 \cdot F_1$ , і фіксують покази індикатора 7. Повторивши аналогічно вищеписані прийоми, знаходять значення показів динамометра 7, які відповідають зусиллям  $F_3=3F_1$ ,  $F_4=4F_1$ ,  $F_5=5F_1$ . За отриманими даними будують тарувальний графік (рис. 4.3).

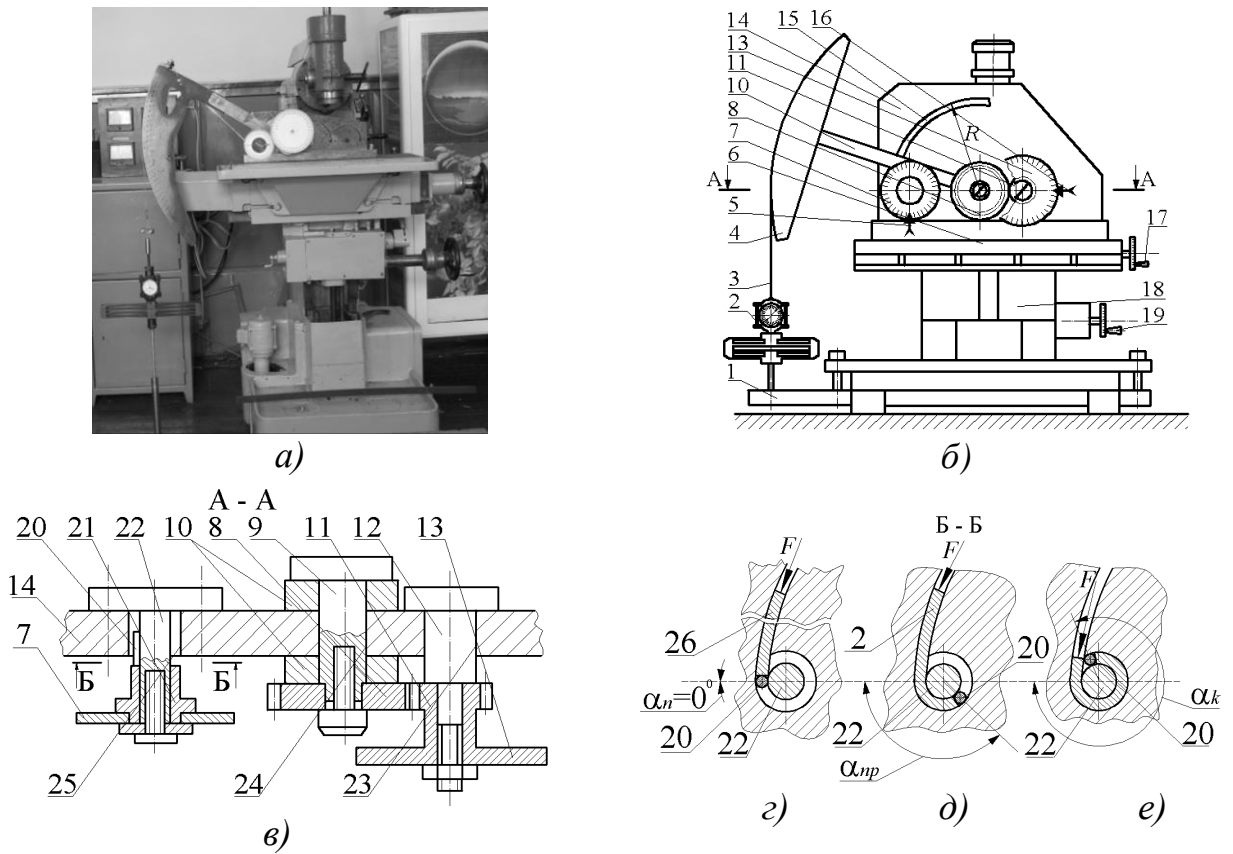


Рисунок 4.1 Експериментальна установка: *а)* – загальний вигляд; *б)* – конструктивна схема; *в)* – переріз по А-А; *г)* –, *д)* –, *е)* – переріз по Б-Б, положення картки у формуючій фільтрі, які визначаються відповідними кутами закручування:  $\alpha_n = 0^\circ$ ;  $0^\circ \leq \alpha_{np} \leq 270^\circ$  і  $\alpha_k > 270^\circ$

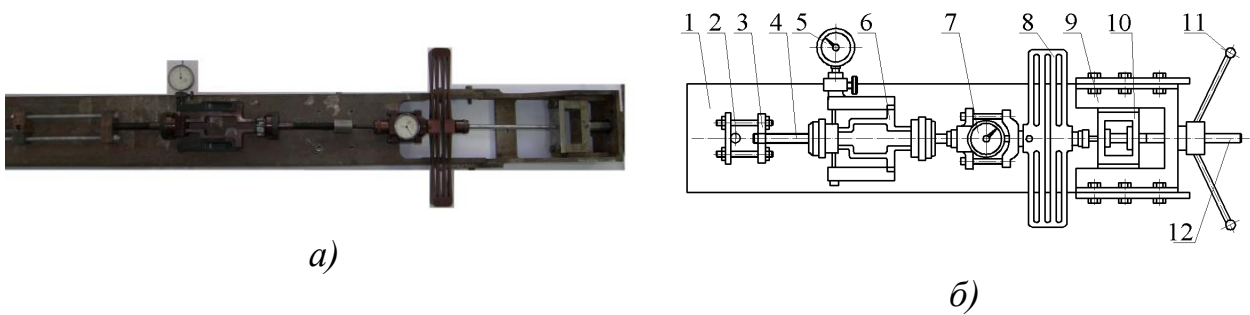


Рисунок 4.2 Тарувальний пристрій:  
*а)* – загальний вигляд; *б)* – конструктивна схема

Принцип роботи установки і методика експериментального дослідження зусилля формування згортної втулки наступні. Стіл 6 (рис. 4.1) верстата знаходиться у крайньому нижньому положенні. Трос 3 ослаблений і сегмент 4 з важелем 10 повернутий за годинниковою стрілкою в крайнє положення. Незалежно від варіанту технологічної операції і способу базування заготовки та формування згортної втулки (рис. 4.4) попередньо zdeформовану до радіуса  $R$  заготовку (карточку) встановлюють у транспортний канал в початкове положення, яке схематично зображене на рис. 4.1 *г*. Вручну, повертаючи сегмент 4 проти годинникової стрілки, доводять шибера 1 (рис. 4.4) до контакту із верхнім торцем карточки 2. Обертаючи ручку 19 (рис. 4.1, *б*) вертикальної подачі верстата, переміщують його стіл 6 вгору, вибираючи при цьому провисання троса і створюючи попередній натяг 5...10 Н. Вмикають механічну вертикальну подачу стола верстата вгору.

При вертикальному механічному переміщенні стола вгору шибера 1 (рис. 4.4) діє на карточку 2, примушуючи її переміщуватись транспортним каналом 15 (рис. 4.1, *б*) і 2 (рис. 4.4), і при переміщенні у формуючій матриці 3 карточка 2 формується у згортну втулку 4 (рис. 4.4). Шкалу 7 (рис. 4.1, *б, в*) можна встановлювати і використовувати тільки тоді, коли формування згортної втулки здійснюється на консольно закріпленій оправці 22 (рис. 4.1, *в, г, д, е*). При цьому формування згортної втулки супроводжується поворотом сегмента 4, важеля 10 (рис. 4.1, *б, в*), шибера 1 (рис. 4.4), карточки 2 проти годинникової стрілки. За рахунок контакту нижнього торця карточки зі щупом 20 здійснюється в цьому ж напрямку й поворот шкали 7 (рис. 4.1 *б, в*), який визначається кутом  $\alpha$ . У випадку, коли використовують варіанти технологічної операції формування згортної втулки і спосіб базування формуючої матриці (ФМ) без оправки або ФМ – оправка, закріплена на двох опорах (рис. 4.4, *а, в*), шкалу 7 встановити і використати неможливо. Тоді користуються круговою шкалою 13 (рис. 4.1, *б*). При повороті сегмента 4 і важеля 10 проти годинникової стрілки буде повертатися вісь 9 (рис. 4.1, *в*) із жорстко закріпленим на ній зубчастим колесом 8. Так як зубчасте колесо 8 знаходиться

у зачепленні з шестернею 11, то остання із закріпленою на ній круговою шкалою 13 буде повертатись за годинниковою стрілкою на певний кут  $\gamma$  (рис. 4.5, а).

Реєстрацію зміни величини  $F$  в залежності від кута  $\alpha$  здійснюють, використавши, наприклад, відеотехніку, зокрема цифрову відеокамеру, яка одночасно буде фіксувати покази індикатора динамометра 2 і кут повороту кругової шкали 7 у першому випадку або покази індикатора динамометра 2 та шкали 13 у другому випадку (рис. 4.1, б). Здійснивши обробку отриманих даних, можемо побудувати графічну залежність  $F = f(\alpha)$ . Якщо припустити, що в процесі згортання втулки форма карточки буде повністю відповідати формі ФМ, то кут  $\alpha$  в ній може бути визначений із розрахункової схеми, яка подана на рис. 4.5. Нехай у вихідному положенні карточка зігнута до радіуса  $R$  і займає положення  $A_0B_0$ . Довжина дуги  $L_{A_0B_0}^{\cup} = \pi d$ , де  $d$  – діаметр ФМ, який дорівнює зовнішньому діаметру втулки. Припустимо, що під дією сили  $F$  карточка переміститься із положення  $A_0B_0$  у положення  $AB$ . Тоді частина довжини карточки  $B_0B$ , відтворюючи форму ФМ діаметром  $d$ , займе положення, яке визначатиметься кутом  $\alpha$ , а довжини дуг  $A_0A$  і  $B_0B$  будуть рівні  $L_{A_0A}^{\cup} = L_{B_0B}^{\cup}$ . Виразивши ці довжини через відповідні радіуси  $d/2$  і  $R$  та центральні кути  $\alpha$  і  $\beta$  (рис. 4.5), отримаємо  $\alpha_p = 2R \cdot \beta / d$ . Врахувавши, що кругова шкала 1 (рис. 4.5) через зубчасті колеса 2 і 3 із відповідними кількостями зубів  $Z_2$  і  $Z_1$ , зв'язана з валом 4, на якому жорстко закріплений важіль 5 із шибром 6, і те, що при повороті важеля 5 на кут  $\beta$  кругова шкала 1 повернеться на кут  $\gamma$ , кут  $\alpha$  буде дорівнювати:

$$\alpha = ((2R \cdot Z_1) / (d \cdot Z_2)) \cdot \gamma. \quad (4.1)$$

Таким чином, проводячи експеримент і фіксуючи значення кута  $\gamma$ , за формулою (4.1) можемо встановлювати відповідні значення кута  $\alpha$ . Графіки залежності  $\alpha$  від  $\gamma$  для втулок різних типорозмірів ланцюгів і різних значень  $R$  подані на рис. 4.6.

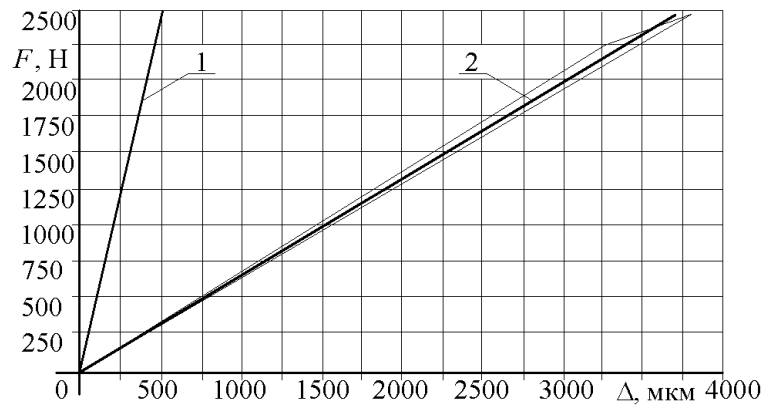


Рисунок 4.3 Тарувальні графіки: 1 і 2 – відповідно для динамометрів зразкового (ДОР-3) і досліджуваного (ДОР-0,5)

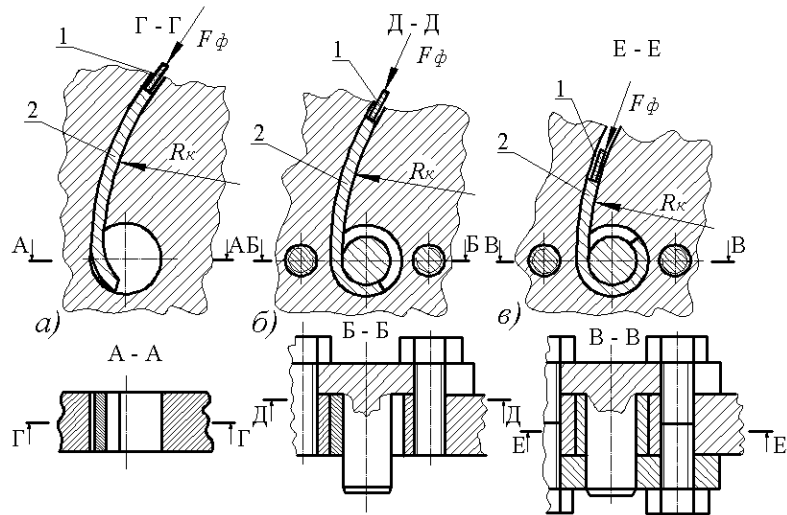


Рисунок 4.4 Варіанти технологічної операції формування згортної втулки з різними способами базування заготовки: *a* – без оправки; *б* – на консольно закріпленій оправці; *в* – на оправці, закріпленій на двох опорах

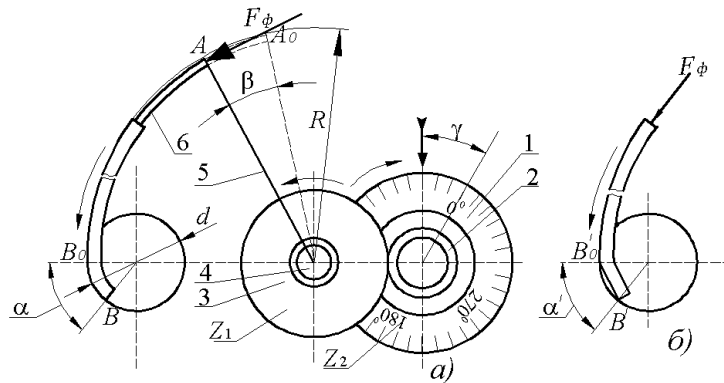


Рисунок 4.5 Розрахункова схема для визначення положення згортної карточки у формуючій фільтрі

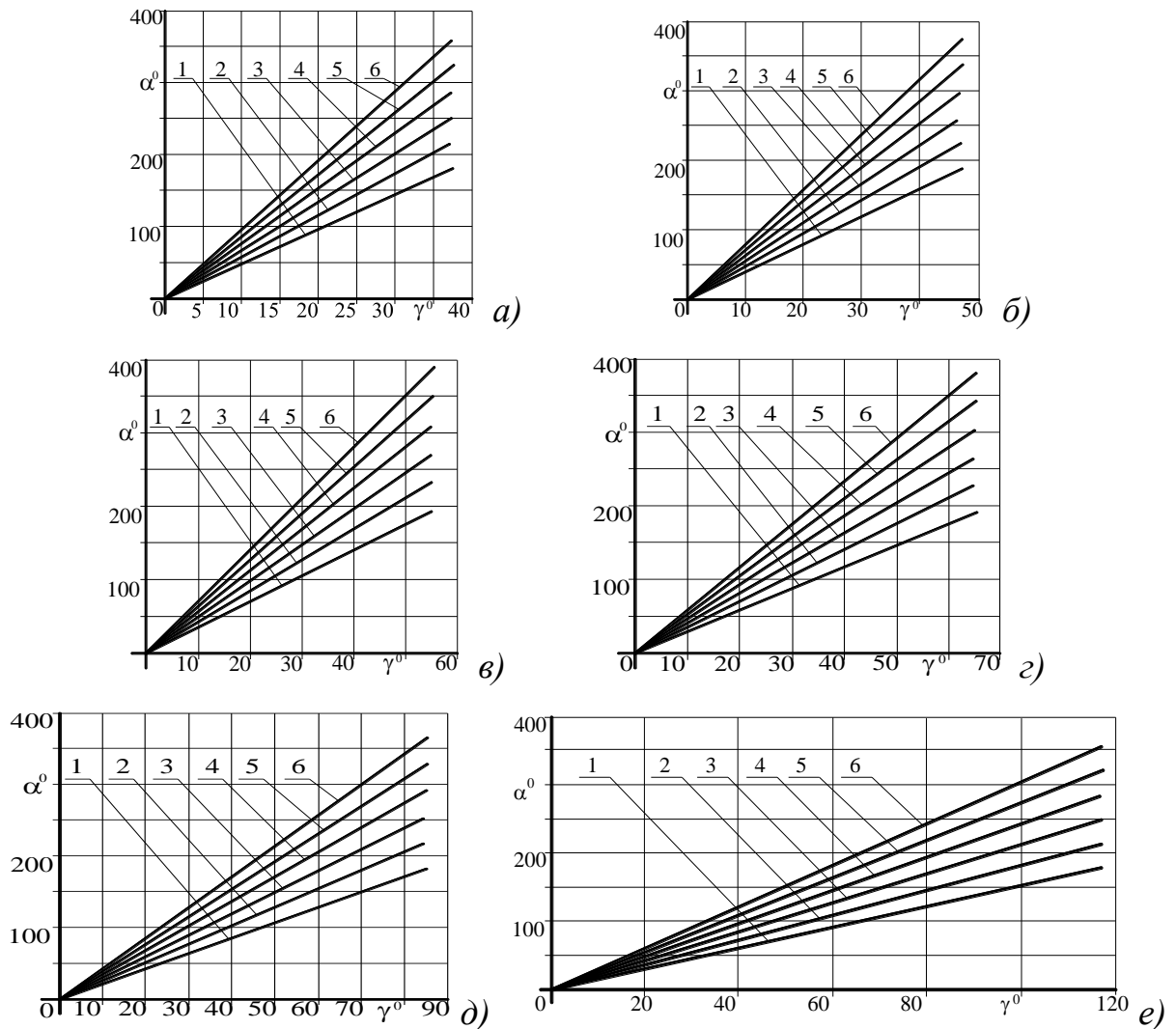


Рисунок 4.6 Графіки залежності кута  $\alpha$  повороту згортної карточки у ФМ від кута  $\gamma$  повороту кругової шкали для:

- втулок ланцюгів з кроками:  $a - 9,525$  мм.,  $b - 12,7$  мм.,  $в - 15,875$  мм.,  $г - 19,05$  мм.,  $д - 25,4$  мм.,  $e - 38,1$  мм.;
- транспортних каналів з радіусами  $R$ : 1 – 50 мм., 2 – 60 мм., 3 – 70 мм., 4 – 80 мм., 5 – 90 мм., 6 – 100 мм.

Проте аналіз точності форми втулок за параметром відхилення від круглості (*EFK*), які виготовлені за існуючими технологічними процесами і реалізуються згортанням карточок у ФМ (НЗНА, ТНТУ ім. І. Пулюя та ін.) показав, що на круглограмах поперечних перерізів втулок мають місце прямолінійні відрізки (ділянки), розміри яких обмежуються певними центральними кутами  $\alpha$  і  $\alpha'$  (рис. 4.5). Довжини цих відрізків не дорівнюють довжинам відповідних дуг  $B_0B' \neq B_0B$  (рис. 4.4). В цьому випадку залежність (4.1) буде давати результати з певною похибкою. Для встановлення величини цієї похибки розроблена методика з використанням у конструкції установки кругової шкали 7 (рис. 4.1, б, д, переріз А-А).

Суть методики визначення величини похибки  $\Delta\alpha$  полягає у наступному. В транспортному каналі з радіусом  $r$  у початкове положення встановлювали карточку (рис. 4.1, з). Повертаючи сегмент проти годинникової стрілки, забезпечували часткове формування згортної втулки із закручуванням карточки на кут  $\alpha_\delta$ , який фіксували на круговій шкалі 7. За формулою (4.1) знаходили розрахункове значення кута  $\alpha_p$  і порівнювали його із раніше отриманим по шкалі 7  $\alpha_\delta$ . В результаті обробки експериментальних даних виявили, що відносна похибка значення  $\alpha$  не перевищує 2%.

На основі отриманих результатів можна стверджувати, що для проведення експериментів цілком достатньо користуватися тільки круговою шкалою 13 і залежністю (4.1). Це значно спрощує проведення експериментальних досліджень і зменшує їх трудомісткість.

Таким чином, використання створеної установки і методики проведення експериментальних досліджень впливу кута закручування карточки у ФМ, а також способу базування заготовки закріплення на зусилля формування згортних втулок, може бути використане при проектуванні технологічного обладнання для виготовлення згортних втулок.

## 4.2. Оброблення експериментальних результатів зусилля формування згортних втулок та їх аналіз

Використавши дані показів індикаторів динамометра годинникового типу (рис. 4.7, а також рисунки, подані у додаткові Г, і розрахункові схеми, подані на рис. 4.8.

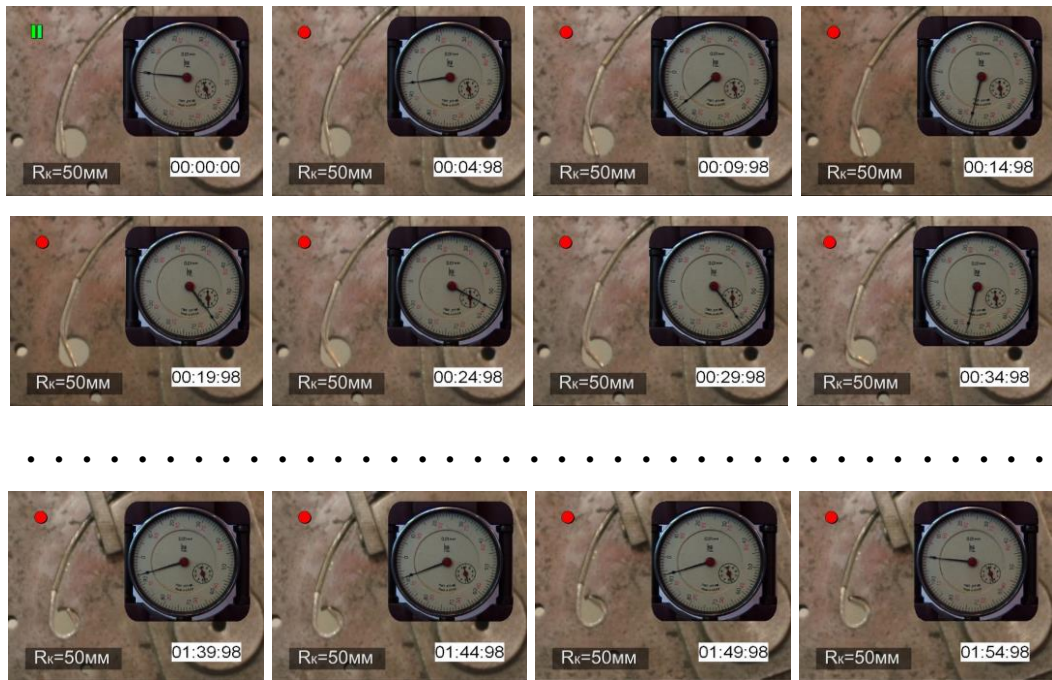


Рисунок 4.7 Фрагменти положень заготовки у ФМ і покази стрілки індикатора динамометра через певні проміжки часу при формуванні згортної втулки на пристрої з радіусом каналу 50 мм і способу базування ФМ – без оправки

Та умову рівноваги моментів  $F_{\partial R} = F_{\phi Ri} \cdot Ri$  у кожному із 24 положень при різних радіусах транспортного каналу і способах базування, визначали зусилля формування  $F_{\phi j}$ , тут  $j=1, 2, 3 \dots 23, 24$  (які подані у таблиці 4.1 з урахуванням зміни кутів  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  і  $\varphi_{n\phi}$ ). Використавши дані таблиці на рис. 4.9, зобразили графіки залежності зусилля формування  $F_{\phi}$  від положення важеля і заготовки у ФМ, а також від радіуса транспортного каналу.

Аналіз отриманих графіків показує, що зменшення радіуса транспортного каналу призводить до зменшення зусилля формування. Форма графіків  $F_{\phi} = f(\varphi_{\phi})$  вказує на складний характер навантажень заготовки в процесі її формування у згортну втулку.



Таблиця 4.1

Значення зусилля формування згортних втулок при різних радіусах  
транспортного каналу

| № положення | Значення зусиль формування $F_{\phi}$ Н, при різних радіусах $R_i$ транспортного каналу та різних кутах повороту важіля $\phi_e$ (нижнього торця втулки $\theta_e$ ) |              |           |              |            |               |            |              |
|-------------|--|--------------|-----------|--------------|------------|---------------|------------|--------------|
|             | $R=50$ мм  |              | $R=75$ мм |              | $R=100$ мм |               | традиційна |              |
|             | Н  | $\phi_{r50}$ | Н         | $\phi_{r75}$ | Н          | $\phi_{r100}$ | Н          | $\phi_{rmp}$ |
| 1           | 26,64  | 1,29         | 26,65     | 0,85         | 29,97      | 0,65          | 44,95      | 15           |
| 2           | 86,58  | 2,58         | 48,86     | 1,72         | 49,95      | 1,29          | 74,93      | 30           |
| 3           | 153,18   | 3,87         | 124,38    | 2,58         | 83,25      | 1,94          | 124,9      | 45           |
| 4           | 246,42   | 5,16         | 208,78    | 3,44         | 133,2      | 2,58          | 199,8      | 60           |
| 5           | 286,3  | 6,45         | 293,19    | 4,30         | 199,8      | 3,23          | 299,7      | 75           |
| 6           | 246,42   | 7,74         | 191,02    | 5,15         | 266,4      | 3,88          | 399,6      | 90           |
| 7           | 153,18   | 9,03         | 111,06    | 6,01         | 309,69     | 4,52          | 464,5      | 105          |
| 8           | 79,92  | 10,32        | 62,19     | 6,87         | 213,12     | 5,17          | 319,7      | 120          |
| 9           | 39,96  | 11,62        | 31,10     | 7,73         | 106,56     | 5,82          | 159,8      | 135          |
| 10          | 46,62  | 12,91        | 62,19     | 8,59         | 63,27      | 6,46          | 95,1       | 150          |
| 11          | 66,6   | 14,21        | 71,08     | 9,45         | 106,56     | 7,11          | 159,9      | 165          |
| 12          | 59,94  | 15,49        | 66,63     | 10,31        | 116,55     | 7,75          | 174,8      | 180          |
| 13          | 39,96  | 16,78        | 57,75     | 11,17        | 119,88     | 8,40          | 179,8      | 195          |
| 14          | 46,62  | 18,07        | 48,86     | 12,03        | 106,56     | 9,05          | 159,8      | 210          |
| 15          | 33,3   | 19,36        | 48,86     | 12,89        | 93,24      | 9,69          | 139,9      | 225          |
| 16          | 26,64  | 20,66        | 53,31     | 13,74        | 89,91      | 10,34         | 134,9      | 240          |
| 17          | 33,3   | 21,94        | 57,75     | 14,60        | 93,24      | 10,99         | 124,9      | 255          |
| 18          | 33,3   | 23,24        | 62,19     | 15,46        | 99,9       | 11,63         | 119,9      | 270          |
| 19          | 39,96  | 24,53        | 62,19     | 16,32        | 99,9       | 12,28         | 119,9      | 285          |
| 20          | 39,96  | 25,82        | 62,19     | 17,18        | 113,22     | 12,92         | 124,9      | 300          |
| 21          | 46,62  | 27,11        | 57,75     | 18,04        | 133,2      | 13,57         | 119,9      | 315          |
| 22          | 39,96  | 28,41        | 53,31     | 18,90        | 136,53     | 14,22         | 114,9      | 330          |
| 23          | 33,3   | 29,69        | 48,86     | 19,76        | 119,88     | 14,86         | 109,9      | 345          |
| 24(0)       | 0  | 31           | 0         | 20,62        | 0          | 15,51         | 0          | 360          |

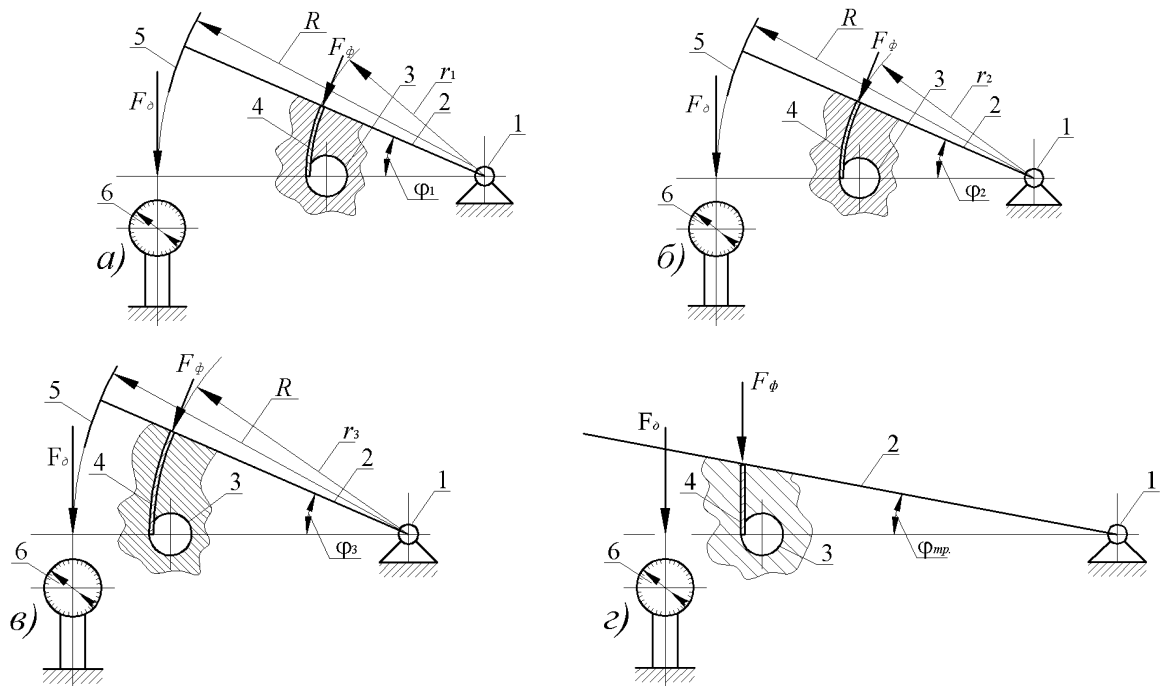


Рисунок 4.8 Розрахункові схеми для визначення зусилля формування  $F_\phi$  згортних втулок при  $R=500$  мм., та різних радіусах транспортного каналу: а) –  $r_1=50$  мм., б) –  $r_2=75$  мм., в) –  $r_3=100$  мм., г) – прямолінійний транспортний канал. 1 – шарнір, 2 – важіль, 3 – формуюча матриця, 4 – транспортний канал, 5 – обичайка з  $R=const$ , 6 – динамометр

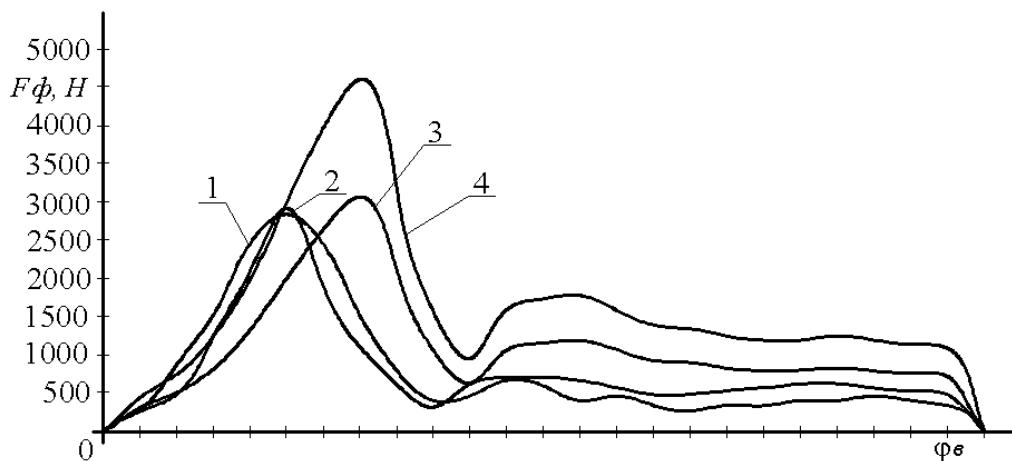


Рисунок 4.9 Графіки залежності  $F_\phi$  від  $\phi_\epsilon$  при різних радіусах; 1, 2, 3 – відповідно при  $R=50; 75; 100$  мм; 4 – традиційними технологіями (прямолінійний транспортний канал)

Максимальні значення  $F_{fmax}$  мають місце у п'ятому положенні при  $R=50$  мм;  $R=75$  мм і шостому положенні при  $R=100$  мм, які відповідно дорівнюють: 286,3 Н; 293,19 Н і 309,69 Н. Зміна радіусу каналу із 100 мм до 50 мм призводить до зменшення максимального зусилля формування згортних втулок на 8,7%, а зменшення максимального зусилля формування, отриманого при  $R=50$  мм, у порівнянні із максимальним значенням з традиційним технологічним процесом склало 1,6 рази.

Враховавши те, що процес під кривими 1, 2, 3, 4 виражає роботу, виконану при різних конструктивних варіантах пристрою для формування втулки, можна стверджувати, що запропоноване технологічне рішення формувати згортну втулку у запропонованих криволінійних (радіусних) транспортних каналах, безперечно, є ефективним.

#### **4.3. Експериментальне дослідження впливу радіуса транспортного каналу і способу базування на відхилення від круглості втулок ПРВЛ після операції згортання**

Одним із найважливіших завдань при формуванні точності відповідного конструкторського параметра (у нашому випадку – відхилень від круглості  $E_{FK}$  [28] ВЦП втулок) є забезпечення максимально можливої точності на першій операції. Враховуючи технологічну спадковість, подальші операції підвищуватимуть точність, наприклад, форми за параметром  $E_{FK}$ , але до певного граничного значення, коли  $E_{FK}$  не досягне величини границі пружності.

Для виконання поставленого завдання формувались вибірки із 10 втулок, які отримували після першої операції згортання при різних радіусах транспортного каналу ( $R=100$  мм; 50 мм) і різних способах базування: формуюча матриця (ФМ) – без оправки; ФМ – з консольно закріпленою оправкою; ФМ – із оправкою, встановленою на 2-х опорах. Окремо здійснювали згортання втулки за існуючим технологічним процесом [94]. Так як величина  $E_{FK}$  після згортання була настільки великою, що на кругломірі

ИЗВ-21 не було можливості отримати круглограми і за їх показами оцінити точність форми, то для цього використали метод проектування на ПК. Із отриманих дослідних згортних втулок формували дослідні вибірки обсягом 10 втулок, шліфували торці, які після цього піддавали скануванню.

Використавши метод проектування, збільшували у задане число разів, забезпечували необхідну точність вимірювання не менше 5 мкм. Вписували у отримані круглограми прилягаючі кола, які ділили на 24 положення, і у кожному із цих положень визначали  $EFK_{in}$  (тут  $in$  – номер положення). Відхилення від круглості  $EFK_{in}$  у кожному положенні усереднювали і отримували усереднені круглограми, одна з яких подана на рис. 4.10. Відхилення від круглості на проміжку  $[0, 2\pi]$  за усередненими круглограмами ВЦП згортних втулок апроксимували десятичленним тригонометричним рядом Фур'є і отримували середні значення  $\overline{EFK}$  та дисперсії  $A_k$   $D = \sum_{k=1}^{10} A_k$ , де  $A_k$  – амплітуда  $k$ -тих гармонік [ $k=1,10$ ]. Отримані значення характеристик відхилень від круглості подані в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Значення характеристик розсіювання відхилень від круглості при різних способах базування та радіусах каналу

| Вид базування                       | Радіус транспортного каналу $R$ , мм | Характеристики розсіювання відхилень від круглості |                                       |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|--------------------------------------|
|                                     |                                      | Середні значення $\overline{EFK}$ , мкм            | Дисперсія $D(EFK)$ , мкм <sup>2</sup> | Максимальне знач. $EFK_{\max}$ , мкм |
| ФМ – без оправки                    | 100/50                               | 254/231  | 92420/76770                           | 1338/1235                            |
| ФМ – оправка консольна              | 100/50                               | 99/79  | 21680/3683                            | 629/330                              |
| ФМ – оправка на двох опорах         | 100/50                               | 87/58  | 20240/2041                            | 589/218                              |
| На 2-х опорах за тех. проц [19, 20] | 50                                   | 24   | 1802                                  | 155                                  |

Вплив радіуса транспортного каналу  $R$  і способу базування на зменшення характеристик точності форми, а саме: на середнє значення відхилення від круглості  $\overline{EFK}$ , дисперсію  $D(EFK)$  і максимальне значення відхилення від круглості  $EFK_{\max}$  подано відповідно у табл. 4.3 і 4.4.

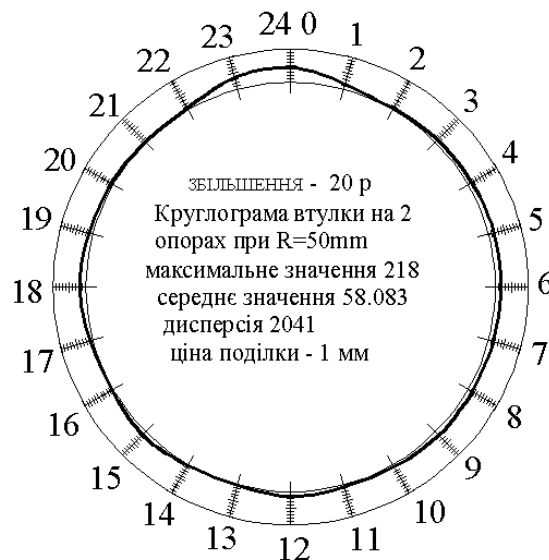


Рисунок 4.10 Усереднена круглограма згортної втулки сформованої при радіусі транспортного каналу  $R=50$  мм і способі базування ФМ – оправка на 2-х опорах

Таблиця 4.3

Зменшення характеристик  $EFK$  в залежності від радіуса транспортного каналу

| Спосіб базування        | Радіус тран. каналу $R$ , мм | Зменшення характеристик $EFK$ (у рази) |                             |                   |
|-------------------------|------------------------------|--|-----------------------------|-------------------|
|                         |                              | $\overline{EFK}$ , мкм                 | $D(EFK)$ , мкм <sup>2</sup> | $EFK_{max}$ , мкм |
| ФМ без оправки          | 100/50                       | 1,10                                   | 1,20                        | 1,08              |
| ФМ – оправка конс.      | 100/50                       | 1,25                                   | 5,88                        | 1,91              |
| ФМ – оправ на 2-х опор. | 100/50                       | 1,50                                   | 9,91                        | 2,70              |

Таблиця 4.4

Зменшення характеристик розсіювання  $EFK$  в залежності від способу базування при постійних радіусах транспортного каналу

| Спосіб базування                               | Радіус тран. каналу $R$ , мм | Зменшення параметрів (у рази) |                             |                   |
|--|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------|
|  |                              | $\overline{EFK}$ , мкм        | $D(EFK)$ , мкм <sup>2</sup> | $EFK_{max}$ , мкм |
| ФМ без оправки/ ФМ – оправка конс.             | 100/50                       | 2,56/2,92                     | 4,26/20,84                  | 2,13/3,74         |
| ФМ без оправки/ ФМ – опр. на 2-х опорах        | 100/50                       | 2,92/3,98                     | 4,57/37,61                  | 2,27/5,66         |
| ФМ – оправка конс./ ФМ – оправ. на 2-х опор.   | 100/50                       | 1,14/1,36                     | 1,07/1,80                   | 1,07/1,51         |
| ФМ – без оправки – на 2-х опорах за [19, 20]   | 50                           | 9,62                          | 42,60                       | 8,63              |
| ФМ – оправка конс. – на 2-х опорах за [19, 20] |                              | 3,29                          | 4,26                        | 7,97              |
| ФМ – оправка на 2 опорах за [19, 20]           |                              | 2,40                          | 1,13                        | 1,41              |

Аналіз отриманих даних показує, що спосіб базування більше впливає на характеристики відхилення від круглості, ніж радіус транспортного каналу. Найбільш ефективним щодо забезпечення точності форми згорнутої втулки за параметром відхилення від круглості *EFK* виявився технологічний процес формування згортних втулок за запропонованим технологічним процесом [94]. Середні значення відхилень від круглості згортних втулок, сформованих за цим процесом, порівняно із таким же параметром, сформованим на радіусі 50 мм і однаковим способом базування, зменшились у 2,4 рази. Дисперсія розсіювання *EFK* зменшилась у 1,13 разів.

Ефективність запропонованого технологічного процесу формування згортних втулок підтверджено критеріями Стьюдента і Фішера.

#### **4.4. Імовірно-статистичний метод оцінювання точності форми ВЦП згортних втулок у внутрішніх ланках ПРВЛ**

Аналіз існуючих літературних джерел [15, 33, 105], присвячених дослідженню точності форми згортних втулок, показав, що оцінка відхилень від круглості ВЦП за параметром відхилення від круглості – *EFK* [21] згортних втулок у внутрішніх ланках ПРВЛ здійснювалась без врахування суттєвості впливу технологічного процесу певного виробника на точність форми ВЦП, а також без елементів дисперсійного аналізу, що значно знизило практичну цінність результатів відомих досліджень. Тому здійснення гармонічно-дисперсійного аналізу відхилень від круглості ВЦП згортних втулок ПРВЛ на основі статистичних даних, в результаті якого будуть виявлені зони контакту валиків із ВЦП втулок із їх екстремальними показниками точності, форми за параметром *EFK* забезпечить значне підвищення зносостійкості ПРВЛ, є актуальною задачею.

Дослідження відхилення від круглості ВЦП втулок, запресованих своїми кінцями у внутрішні пластини ПРВЛ, здійснювали на втулках, якими комплектуються ПРВЛ з кроками 9,525 мм, 12,7 мм, 15,875 мм фірми DITTON, а також на втулках з кроками 19,05 мм, 25,4 мм відповідно Тульського (РФ) і

Бішкекського (Киргизія) виробництв. З метою отримання оціночних характеристик круглості відповідно до вимог існуючих стандартів утворювали вибірки величиною  $N=30$  шт. На кругломірі БЕ-20А знімали круглограми ВЦП згортних втулок, запресованих у пластини внутрішніх ланок ПРВЛ. Для кожної круглограми як окремої реалізації з використанням прозорого шаблона визначали відхилення від прилягаючого кола у 48-и фіксованих положеннях. За точку відліку прийняли положення стикового шва. Відхилення від круглості ВЦП – *EFK* втулок певного типорозміру ПРВЛ подавали як ансамбль реалізацій. Стабільність технологічного процесу виготовлення втулок та достовірність статистичних оцінок за гіпотезами: постійності миттєвого розсіювання відхилення від круглості – *EFK* і відсутності систематичних похибок перевіряли за критерієм  $\lambda_0$  [59]. При однакових об'ємах вибірок  $N=const$  величину критерію  $\lambda_0$  визначали за формулою:

$$\lambda_0 = S^2 / (S_{M_1}^2 \cdot S_{M_2}^2 \dots S_{M_m}^2)^{1/m}, \quad (4.2)$$

де  $S^2 = \left( \sum_{i=1}^m S_{M_i} + \sum_{i=1}^m (\bar{\Delta}_{M_i} - \bar{\Delta})^2 \right) / m$  – дисперсія вибірки об'ємом  $N$ ;

$\bar{\Delta}_{M_i}$  – середнє значення відхилення від круглості малої  $i$ -тої вибірки;

$\bar{\Delta} = \left( \sum_{i=1}^m n \cdot \bar{\Delta}_{M_i} \right) / (m \cdot n)$  – вибіркове середнє значення відхилення від круглості

при обсязі вибірки  $N$ ;  $S_{M_i}^2$  – дисперсія  $i$ -ої малої вибірки;  $m$  – кількість малих вибірок;  $n$  – об'єм малої вибірки.

В результаті розрахунків встановили, що для всіх досліджуваних типорозмірів втулок виконувалась умова  $\lambda_{om} < \lambda_o$ , яка означає те, що гіпотеза однорідності приймається і свідчить про стабільність технологічного процесу за критерієм величини відхилення від круглості ВЦП згортних втулок. Отримані за 30-ма круглограмами результати табулювали та усереднювали для кожного із 48-и положень і отримували усередненні круглограми. Для кожної із цих круглограм за методом Р.С. Спрега [80] визначали координати центра

$X_0 = 2 \sum_{i=1}^{N_n} X_i$ ,  $Y_0 = 2 \sum_{i=1}^{N_n} Y_i$  та величину радіуса базового кола  $R_0 = \sum_{i=1}^N r_i / N_n$ , де  $X_i$ ,

$Y_i$  і  $r_i$  – відповідно декартові координати і радіус-вектор  $i$ -тої точки усередненої круглограми;  $N_n = 48$  – кількість фіксованих положень. Потім на приведених круглограмах, показаних на рис. 4.11, знаходили біжучі відхилення радіуса-вектора  $R_i$ , які мають характер випадкових похибок і являють собою періодичну функцію з періодом  $2\pi$ , аргументом якої будемо вважати кут повороту  $\varphi$ .

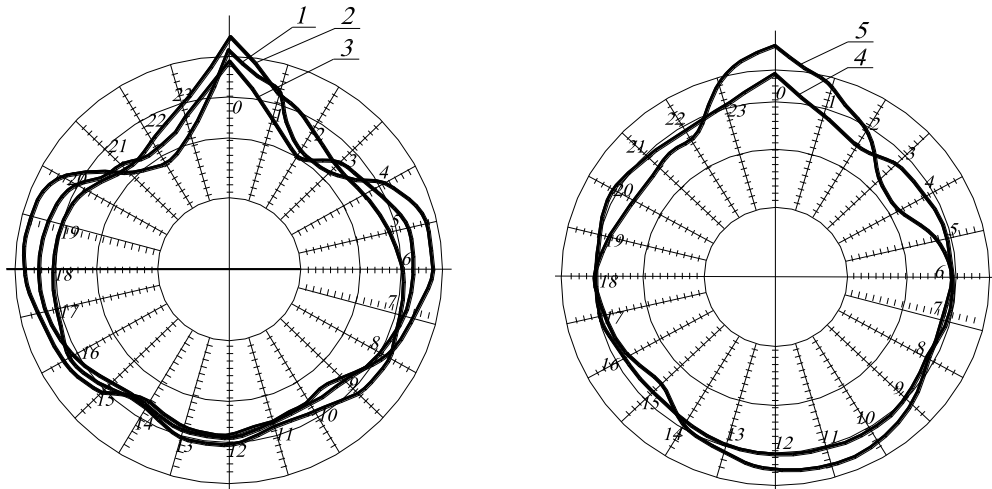


Рисунок 4.11 Приведені круглограми ВЦП згортних втулок: 1, 2, 3, 4, 5 – відповідно для втулок до ланцюгів з кроками: 9,525 мм; 12,7 мм; 15,875 мм; 19,05 мм; 25,4 мм. Масштабний коефіцієнт  $\mu_{\Delta} = 3,75$  мкм/мм

Реалізація відхилення від круглості приведеної круглограми в цьому випадку може бути подана тригонометричним рядом Фур'є [123]:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cdot \cos kx + b_k \cdot \sin kx), \text{ де } a_0 - \text{ вільний член; } a_k \text{ і } b_k -$$

тригонометричні коефіцієнти Фур'є:

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos kx \cdot dx; \quad b_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin kx \cdot dx.$$

Здійснюючи чисельне інтегрування випадкової функції  $f(x)$  для 48-ми значень аргумента (через  $7,5^\circ$ ), визначали коефіцієнти тригонометричного полінома Фур'є для гармонік 10-го порядку за формулами:



$$a_k = \frac{1}{24} \sum_{i=0}^{48} f(x_i) \cdot \cos \frac{ik\pi}{24}; \quad b_k = \frac{1}{24} \sum_{i=0}^{48} f(x_i) \cdot \sin \frac{ik\pi}{24}.$$

Для визначення коефіцієнтів тригонометричного полінома Фур'є для 24 значень аргумента в зоні згортного шва ( $-\pi/4 \leq \varphi \leq \pi/4$ ); і у зоні, яка протилежна до згортного шва ( $3\pi/4 \leq \varphi \leq 5\pi/4$ ), тобто коли період  $2l \neq 2\pi$ , де  $l$  – півперіод, і врахувавши, що  $l = \pi/4$ , отримуємо:

$$a_k = \frac{1}{12} \sum_{i=0}^{24} f(x_i) \cdot \cos \frac{ik\pi}{12}; \quad b_k = \frac{1}{12} \sum_{i=0}^{24} f(x_i) \cdot \sin \frac{ik\pi}{12}.$$

Значення сумарних амплітуд  $A_k$  гармонік ряду Фур'є дорівнюють  $A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$ . Так як складові спектра амплітуд не корельовані між собою, то дисперсія відхилень від круглості ВЦП втулок визначиться за формулою  $D(A_k) = \sum_{i=1}^{\infty} A_k^2 / 2$  [140]. Значення  $D(A_k)$  для різних зон ВЦП втулок подані в таблиці 4.5. Розрахунки значень амплітуд і початкових фаз для 10 гармонік складових (з 1-ої по 10-у), дисперсії відхилень від круглості, а також питомої ваги кожної гармоніки в результуючій дисперсії  $D(A_k)$  здійснені за розробленою програмою з використанням комп'ютерної техніки. Спектри амплітуд відхилення від круглості ВЦП згортних втулок подані на рис. 4.12. На основі результатів гармонічного аналізу встановлено наступне.

Таблиця 4.5

Дисперсії  $D(A_k)$  мкм<sup>2</sup> відхилень від круглості ВЦП згортних втулок для різних типорозмірів приводних ланцюгів і різних областей зміни аргумента  $\varphi$

| № п/п | Втулки для приводних ланцюгів    | Область зміни аргумента $\varphi$ , рад |                                  |                                   |
|-------|----------------------------------|---|----------------------------------|-----------------------------------|
|       |                                  | $0 \leq \varphi \leq 2\pi$              | $-\pi/4 \leq \varphi \leq \pi/4$ | $3\pi/4 \leq \varphi \leq 5\pi/4$ |
| 1.    | Дворядний з кроком 9,525 мм [29] | 100,3                                   | 200,2                            | 3,4                               |
| 2.    | ПР-12,7-1820-2 [29]              | 71,3                                    | 216,0                            | 7,1                               |
| 3.    | ПР-15,875-2270-2 [29]            | 159,7                                   | 270,4                            | 3,7                               |
| 4.    | ПР-19,05-3180 [29]               | 22,2                                    | 35,1                             | 5,9                               |
| 5.    | ПР-25,4-5670 [29]                | 191,8                                   | 196,1                            | 14,2                              |

Основна частка в результуючих похибках відхилення від круглості ВЦП згортних втулок належить гармонікам 2, 3 і 4 порядків, їх частка в загальній дисперсії відхилень від круглості  $EFK$  складає 67,6...89,2%. Для оцінки відхилень від круглості  $EFK$  ВЦП згортних втулок в інтервалі  $0 - 2\pi$  необхідно врахувати не менше 6-ти гармонік. Оцінка суттєвості відхилень від круглості –  $EFK$  ВЦП за критерієм Стюдента  $t_k$  згортних втулок ПРВЛ раніше зазначених виробників вказує на наявність суттєвих відмінностей. Найбільшу точність форми згортних втулок забезпечує технологічний процес, реалізований Тульським виробництвом (РФ). Відхилення від круглості –  $EFK$  ВЦП згортних втулок в зоні шва  $(-\pi/4 \leq \varphi \leq \pi/4)$  і діаметрально протилежній  $(3\pi/4 \leq \varphi \leq 5\pi/4)$  може бути оцінена за амплітудами перших двох гармонік, так як  $(A_1^2 + A_2^2)/2 = (0.9...0.95) \sum_{k=1}^{10} A_k^2/2$ .

Дисперсії відхилень від круглості ВЦП в зоні, яка протилежна до зони стикового шва  $(3\pi/4 \leq \varphi \leq 5\pi/4)$ , мають мінімальні значення незалежно від типорозміру ланцюга і на порядок менші, ніж дисперсії відхилень в зоні стикового шва  $(-\pi/4 \leq \varphi \leq \pi/4)$ . Півсума квадратів двох перших гармонік відхилень від круглості ВЦП згортних втулок для зони, яка розміщена протилежно до зони шва, складає 3...5% від відповідної півсуми аналогічних гармонік і відхилень від круглості для зони шва. Відхилення від круглості –  $EFK$  ВЦП згортних втулок по всьому периметру  $(0 \leq \varphi \leq 2\pi)$  характеризується деякими середніми значеннями порівняно із розглянутими в інших зонах. Для їх оцінки необхідно врахувати більшу кількість гармонік. Відхилення від круглості ВЦП втулок різних типорозмірів ланцюгів залежить від багатьох конструктивних і технологічних факторів (технологічні процеси згортання, умови запресування втулок, діаметри й товщини стінок втулок).

Встановлено, що у згортних, запресованих у пластини внутрішніх ланок ПРВЛ втулок, є розміщена навпроти стикового шва зона, яка має найвищі якісні показники точності форми по відношенню до інших ділянок ВЦП.

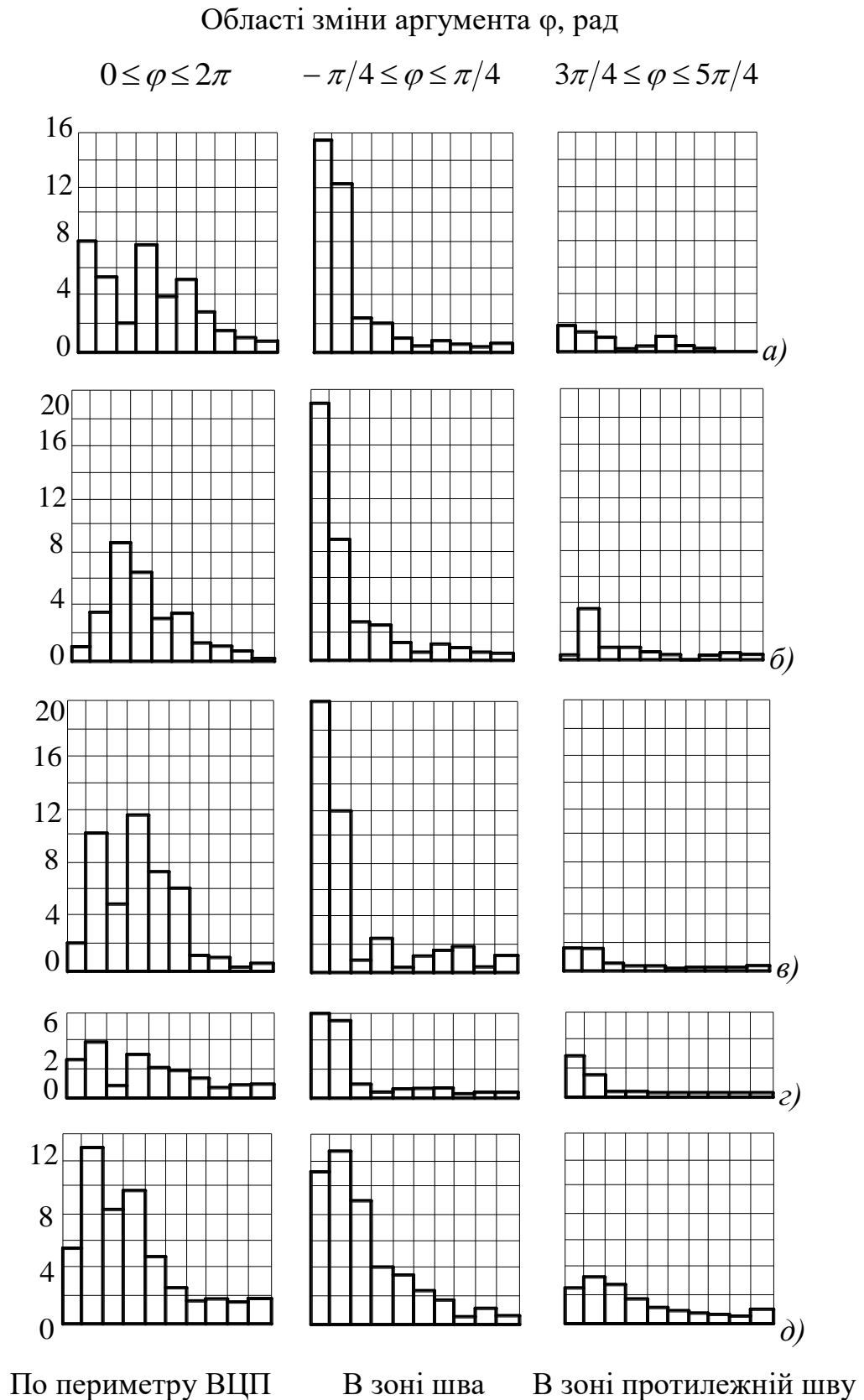


Рисунок 4.12 Експериментальні лінійчасті спектри амплітуд відхилень від круглості ВЦП втулок для приводних ланцюгів з кроками відповідно:

*а, б, в, г, д* – 9,525 мм; 12,7 мм; 15,875 мм; 19,05 мм; 25,4 мм.

На основі вищенаведеного доцільно при складанні внутрішніх ланок ПРВЛ орієнтувати втулки згортним швом всередину ланки, забезпечуючи тим самим виведення із контакту втулка-валик ділянки ВЦП із погіршеними якісними показниками, що призведе до покращення умов контактування робочих поверхонь шарнірів ПРВЛ та підвищення їх зносостійкості.

#### **4.5. Методика визначення впливу кратності калібрування на відхилення від круглості згортних втулок**

Забезпечення оптимальної кратності калібрування згортних втулок за критеріями допустимого відхилення від круглості і з мінімальною кількістю фільтер є актуальною задачею, розв'язання якої забезпечить необхідну точність форми виготовлюваних деталей, а також – зменшить їх собівартість.

Розв'язання поставленої задачі полягає у наступному. Здійснюють згортку карточок і отримують втулки з макровідхиленнями від круглості. Використовуючи комп'ютерну техніку, будують ансамбль реалізації відхилень від круглості ВЦП згортних втулок. За методом Спрега [80] знаходять серединне коло і відхилення некруглості при певних значеннях кута повороту. Здійснивши гармонічний аналіз на основі тригонометричних рядів Фур'є, знаходять середнє значення відхилень від круглості –  $\overline{EFK}$  і дисперсію  $D_0$  макровідхилень від круглості в інтервалі від 0 до  $2\pi$ . Здійснюють перше калібрування втулок і, повторивши вищенаведені прийоми оцінки некруглості, визначають її дисперсію  $D_1$  і середнє значення відхилень від круглості –  $\overline{EFK}_1$ . За критеріями Стюдента  $t_k$  і Фішера  $F$  встановлюють суттєвість впливу одноразового калібрування на точність форми згортних втулок. В подальшому здійснюють друге калібрування у двох фільтерах і знову визначають  $\overline{EFK}_2$  дисперсію  $D_2$  та оцінюють ефективність другого калібрування за вищезгаданими критеріями. При необхідності здійснюють три або чотири калібрування згортних втулок і після кожного визначають середні значення  $\overline{EFK}_3$  і  $\overline{EFK}_4$  та дисперсії  $D_3$  і  $D_4$  відповідно й оцінюють суттєвість

відмінностей цих параметрів за критеріями  $t_k$  і  $F$ . Якщо, після  $n$ -го калібрування за критерієм Стюдента встановлена неефективність впливу цього технологічного прийому на точність форми ВЦП втулок за параметрами –  $\overline{EFK}_n$  і  $D_n$ , то можна стверджувати про доцільність тільки  $n-1$ -го калібрування.

Таким чином, запропонована методика визначення впливу кратності калібрування згортних втулок на їх точнісні параметри дає можливість встановити мінімальну кількість калібруючих фільтер і забезпечити при цьому задану точність форми ВЦП втулок.

#### **4.6. Методика оцінювання відхилень від круглості згортних втулок за параметром «коефіцієнт наповнення форми»**

Зносостійкість і довговічність вузлів машин та їх надійність, оснащених шарнірами із згортними втулками в значній мірі залежать від точності форми їх ВЦП. Точність форми ВЦП рекомендовано [28, 148] оцінювати таким параметром як відхилення від круглості  $EFK$  за [28] за  $\Delta$  за [148], який визначають як найбільшу віддаль від точок реального профілю до прилягаючого кола. Відповідно до [28] регламентований додатковий параметр точності форми, а саме: середнє арифметичне відхилення від круглості  $EFK_a = \bar{\Delta}$ , яке дорівнює середньому арифметичному відхиленню абсолютних значень віддалей  $h(\varphi)$ , або  $h_i$  між реальним профілем та середнім колом і визначається формулами:

$$EFK_a = \Delta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |h_\varphi| d_\varphi, \quad \text{або} \quad EFK_a = \Delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |h_i|, \quad (4.3)$$

де  $h_i = h(\psi_i)$ ,  $N$  – кількість вимірювань,  $i$  – порядковий номер вимірювань.

Слід зауважити, що параметри точності форми  $EFK = \Delta$  і  $EFK_a = \bar{\Delta}$  не повністю характеризують форму, яка б забезпечувала однакові умови контактування спряжених циліндричних поверхонь. Так при одному і тому ж за величиною значенні, наприклад  $EFK=15$  мкм, форма поперечного перерізу циліндричної поверхні може бути овальною, з трьох-, чотирьох- і більше

вершинним огранюванням або якоюсь іншою випадковою формою, і це створює зовсім різні умови контактування. Окрім цього параметр точності форми  $EFK_a = \bar{\Delta}$ , який визначається абсолютними значеннями віддалей  $h(\varphi)$  або  $h_i$  (4.3) характеризує неіснуючий реальний, а віртуальний профіль, що не може бути адекватною оцінкою спряжених деталей і не розкриває фізичного змісту їх контакту.

Таким чином, на основі вищевикладеного можна стверджувати, що параметри  $EFK$   $EFK_a$  не можуть повністю оцінювати точність форми і тому є недостатніми. При формуванні циліндричної поверхні карточки використовують інструменти з певними постійними конструктивними формуючими профілями, які практично забезпечують постійну форму поперечних перерізів згортних втулок по всій її висоті. Тому на проміжку  $[0 - 2\pi]$  відхилення радіус-вектора по куту повороту  $\Delta\varphi$  і відхилення від круглості  $EFK=\Delta$  будуть мати приблизно однакову закономірність. В такому випадку правомірно подавати залежність  $\Delta = EFK = f(\varphi)$  як випадкову нестационарну функцію [20]. Рекомендовано за теорією малої вибірки, методом ітерацій [137] отримувати залежності для визначення математичного сподівання  $M(\Delta)$ , дисперсії  $D(\Delta)$  та значень  $EFK_q$  у кожному із  $q$  положень, на проміжку  $[0-2\pi]$ . При цьому мінімальні значення у кожному  $q$ -му положенні за формулою  $\Delta_{\min q} = \bar{\Delta}_q - 3\sqrt{D(\Delta_q)}$ . Апроксимацією отриманих значень  $\Delta_{\min q}$  тригонометричним рядом Фур'є [149] при  $k=10$ -ти і 3-ма членами ряду, отримують вибірккові середні значення  $\bar{\Delta}_{010} = a_{010}/2$ ;  $\bar{\Delta}_{03} = a_{03}/2$  та дисперсії  $D(\Delta_{10})$  і  $D(\Delta_{03})$ . Встановлено наявність істотності відмінності між  $\bar{\Delta}_{010}$  і  $\bar{\Delta}_{03}$  та  $D(\Delta_{10})$  і  $D(\Delta_{03})$ . При неістотності відмінностей між дисперсіями і середніми значеннями функцію  $\Delta_{\min} = f(x)$  рекомендовано подавати у вигляді:

$$\Delta_{\min} = f(x) = \frac{a_{03}}{2} + \sum_{i=1}^3 (a_k \cdot \cos kx + b_k \cdot \sin kx) \quad (4.4)$$

Рекомендовано визначати площу  $S$  під кривою (рис. 4.13) апроксимованою залежністю (4.4).

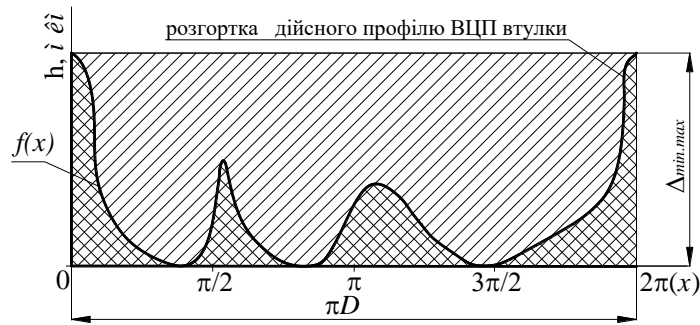


Рисунок 4.13 Схематичне зображення усередненої кривої відхилень від круглості  $h$  шкворневих втулок автомобіля УАЗ

Використавши максимальне із максимальних значень  $h_{minmax}$  на проміжку  $[0-2\pi]$ , та довжину кола  $\pi D$  визначили як головний параметр відхилення від круглості коефіцієнт наповнення профілю  $K_{np}$ , який однозначно представляє форму циліндричної поверхні.

$$K_{np} = (S \cdot 100\%) / (h_{min..max} \cdot \pi D), \quad (4.5)$$

Для відхилень від круглості поперечних перерізів циліндричних поверхонь згортних втулок, які описуються нестационарними випадковими функціями, запропоновано методику оцінювання точності форми за коефіцієнтом наповнення профілю, який є адекватною оцінкою його форми і однозначно визначає закономірність зміни площі між прилягаючим колом і функцією відхилень від круглості.

#### 4.7. Експериментальне дослідження одиничних показників якості ВЦП згортних втулок

##### 4.7.1. Експериментальне дослідження шорсткості поверхні сформованою прокатною і обкочуваною кулькою

Експериментальне дослідження шорсткості поверхні, сформованої прокаткою на прокатних станах і обкочуванням кулькою, яке моделювало вібраційне обкочування, здійснювали за наступною методикою. Для цього використали спеціальний пристрій для вібраційного обкочування плоских

поверхонь, загальний вигляд якого подано на рис. 4.14 а, а його конструктивно-кінематичну схему зображено на рис. 4.14 б.

Спочатку на заготовці 2 у вигляді плоскої прямокутної карточки формували радіусну блискучу стрічку. Від'єднували шатун 10 від кривошипа 11 і тим самим позбавляли пристрій можливості здійснювати осциляційний рух. Заготовку 2 встановлювали на столі 1 фрезерного верстата мод. 6А75В і закріплювали. Переміщаючи стіл 1 верстата вгору до контакту віброобкатника (кульки діаметром 8 мм.) 3, встановленого у повзуні 4, з поверхнею заготовки 2, і при цьому стискували пружину 6 й створювали задане, наприклад, 200 Н зусилля обкочування. Для забезпечення фіксації верхнього торця пружини 6 використали гвинт 7, спряжений із корпусом 5 і зафіксований контргайкою 8. Не надаючи через роз'єднання кривошипа 11 і шатуна 10 віброобкатнику 3 осциляційного руху, включали поздовжню подачу і, переміщаючи стіл 1 горизонтально, забезпечували відповідну подачу  $S_{nz}$  та отримували на поверхні заготовки 2 блискучу прямолінійну стрічку (канавку).

Змінивши зусилля обкочування додатковим переміщенням вгору стола верстата, наприклад, до 250 Н, повторювали вищеописані прийоми і отримували нову блискучу прямолінійну стрічку. Повторивши ці операції при зусиллях обкочування 300 і 350 Н, отримали 4 блискучі прямолінійні стрічки. Використавши профілометр моделі 253, виготовлений заводом “Калібр” (РФ), вздовж кожної стрічки і вздовж траси, розміщеної поза стрічками, визначали не менше 10 значень шорсткості, які приймали як випадкові величини з нормальним законом розподілу [20]. Отримані статистичні ряди значень шорсткості за параметром  $R_a$  і характеристики їх розсіювання, математичне сподівання і дисперсії, визначені за методом ітерацій [20], подані у таблиці 4.6, а теоретичні криві Гауса розсіювання параметра шорсткості  $R_a$  при різних значеннях  $F_{об}$  зображенні на рис. 4.15. Ефективність впливу зусилля обкочування  $F_{об}$  на параметр шорсткості  $R_a$  визначили за критеріями Стьюдента  $t_k = |M(R_{ai}) - M(R_{ai+1})| \cdot 9,48 / 3,16 \sqrt{D(R_{ai}) - D(R_{ai+1})}$  і Фішера  $F = D(R_{ai}) / D(R_{ai+1})$ , тут  $D(R_{ai}) > D(R_{ai+1})$ .



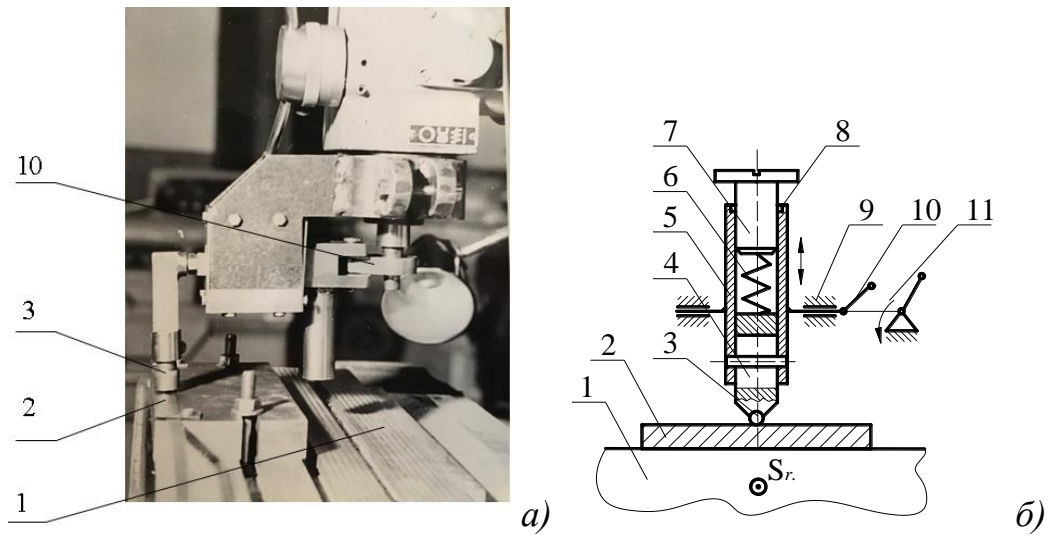


Рисунок 4.14 Загальний вигляд – а) і кінематична схема – б) пристрою для вібраційного обкочування плоских поверхонь змонтованого на пінолі широкоуніверсального верстата мод. 6А75В

Таблиця 4.6

Значення параметра шорсткості,  $R_a$  мкм, і його характеристик розсіювання, математ. сподівання  $M(R_a)$  та дисперсії  $D(R_a)$  при різних зусиллях обкочування.  $F_{об}$

| Стан поверхні             | $F_{об}$ , Н | Значення $R_a$ , мкм |      |      |      |      |      |      |      |      |      | $M(R_a)$ , мкм | $D(R_a)$ , мкм <sup>2</sup> |
|---------------------------|--------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|-----------------------------|
|                           |              | 1                    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |                |                             |
| Після прокатки            |              | 0,79                 | 0,67 | 0,65 | 0,71 | 0,62 | 0,77 | 0,75 | 0,68 | 0,74 | 0,54 | 0,69           | $5,24 \times 10^{-3}$       |
| Після обкочування кулькою | 200          | 0,69                 | 0,52 | 0,50 | 0,57 | 0,48 | 0,61 | 0,57 | 0,59 | 0,42 | 0,55 | 0,55           | $5,08 \times 10^{-3}$       |
|                           | 250          | 0,44                 | 0,41 | 0,38 | 0,39 | 0,41 | 0,39 | 0,42 | 0,40 | 0,37 | 0,41 | 0,40           | $3,76 \times 10^{-4}$       |
|                           | 300          | 0,26                 | 0,22 | 0,32 | 0,25 | 0,26 | 0,31 | 0,27 | 0,30 | 0,28 | 0,29 | 0,28           | $8,24 \times 10^{-4}$       |
|                           | 350          | 0,21                 | 0,19 | 0,27 | 0,21 | 0,22 | 0,28 | 0,23 | 0,26 | 0,25 | 0,26 | 0,24           | $8,16 \times 10^{-4}$       |

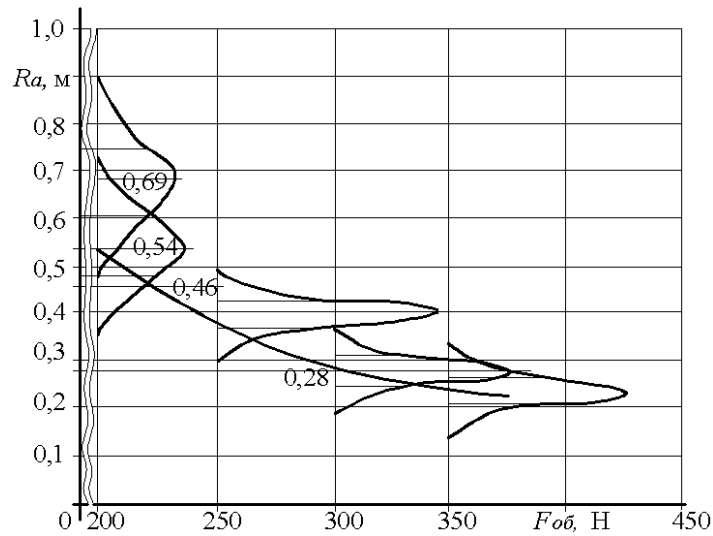


Рисунок 4.15 Теоретичні криві Гауса розподілу параметра шорсткості  $R_a$  при різних значеннях зусилля обкочування  $F_{об}$

Таблиця 4.7

Результати оцінювання впливу зусилля обкочування  $F_{об}$  на середнє арифметичне відхилення профіллю  $R_a$

| Значення параметрів                | Стан досліджуваної поверхні |                                   |       |       |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------|-------|
|                                    | Після прокатки              | Після обкочування кулькою         |       |       |
|                                    |                             | Зусилля обкочування, $F_{об}$ , Н |       |       |
|                                    | 0                           | 200                               | 250   | 300   |
| $t_k$                              | 4,13                        | 6,10                              | 10,43 | 2,96  |
| $P_{tk}$                           | 0,001                       | 0,000                             | 0,000 | 0,012 |
| Вплив: суттєвий +<br>не суттєвий - | +                           | +                                 | +     | +     |
| $F$                                | 1,03                        | 13,47                             | 2,13  | 1,06  |
| $F_{табл.}$                        | 3,20                        |                                   |       |       |
| Вплив: суттєвий +<br>не суттєвий - | -                           | +                                 | -     | -     |

Аналіз отриманих даних показує, що при зусиллі обкочування 200 Н, а потім при його зростанні на 50 Н стабільно суттєво впливає за критерієм Стюдента на зменшення математичного сподівання величини  $R_a$ .

Оцінювання суттєвостей відмінностей за дисперсіями (критерій Фішера) показано, що дисперсії величини  $R_a$ , отримані при навантаженні 250 Н і 200 Н, суттєво відрізняються. В останніх випадках така відмінність несуттєва.

#### **4.7.2. Експериментальне дослідження ступеня зміцнення ВЦП згортних втулок сформованих поверхнево-пластичним деформуванням**

Особливо важливим є зміцнення поверхні згортних втулок як ЕПК, які виготовляються із сплавів міді (бронз і латуней) і які не піддаються термічній обробці. Використавши мікротвердомір ПМТ-3 за схемою, поданою на рис. 4.6, визначали в десятих точках заготовки і у десятих точках блискучої стрічки значення мікротвердості відповідно  $H_3$  і  $H_{\delta.c.}$ , які подані в таблиці 4.8 і на рис. 4.16. Використавши метод ітерацій [75], отримали математичні сподівання мікротвердостей  $M(H_3)=16,40$  кг/мм<sup>2</sup> і  $M(H_{\delta.c.})=18,97$  кг/мм<sup>2</sup> та дисперсій  $D(H_3)=0,875$  кг/мм<sup>2</sup> і  $D(H_{\delta.c.})=0,643$  кг/мм<sup>2</sup>. Криві розподілу Гауса мікротвердості подані на рис. 4.17.

За критерієм Стюдента  $t_k = 3,62$  при величині вибірок  $n_1=n_2=10$  встановили, що відмінність між  $M(H_{\delta.c.})$  і  $M(H_3)$  суттєва, тобто поверхневе пластичне деформування ефективне. За критерієм Фішера  $F = 1,31$  для  $n_1=n_2=10$  встановлено, що відмінність дисперсій не суттєва.

Ступінь зміцнення в даному разі дорівнює:

$$\Delta H = (M(H_{\delta.c.}) - M(H_3) \cdot 100\%) / M(H_3) = ((18,97 - 16,40) \cdot 100\%) / 16,40 = 15,6\% .$$

Таким чином, якщо зміцнену плоску поверхню заготовки згорнути у циліндричну оболонку, де віброобкочена із своїм ступенем зміцнення поверхня сформує ВЦП, то в кінцевому результаті отримаємо суттєвий позитивний результат, який сприятиме підвищенню зносостійкості ВЦП згортної втулки без термообробки, що і практикує відома німецька фірма Wipacman.

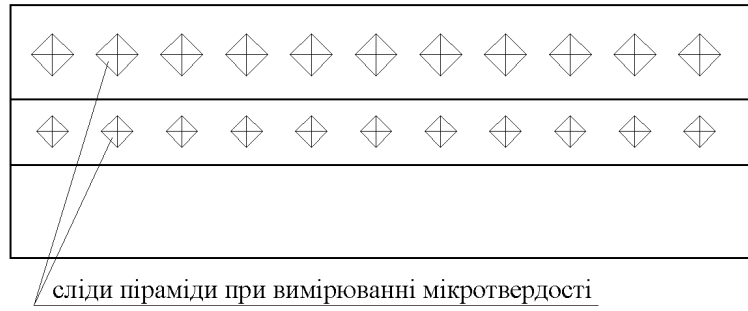


Рисунок 4.16 Схематичне розміщення слідів піраміди мікротвердоміра при визначенні мікротвердості на поверхні заготовки і поверхні блискучої стрічки

Таблиця 4.8

Статистичні ряди значення  $H_z$  і  $H_{б.с.}$

| Порядковий № п/п                             |              | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | $mt$   | $D$   |
|--|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Значення мікротвердості, кгс/мм <sup>2</sup> | $H_z$        | 13,62 | 11,32 | 12,11 | 10,27 | 11,54 | 14,67 | 13,62 | 14,67 | 11,65 | 12,33 | 12,58  | 2,005 |
|  | $H_{б.с.20}$ | 15,70 | 16,14 | 17,88 | 16,00 | 17,40 | 15,20 | 17,20 | 16,92 | 16,66 | 17,40 | 16,65  | 0,67  |
|  | $H_{б.с.25}$ | 18,92 | 17,88 | 17,9  | 18,06 | 17,88 | 16,26 | 17,64 | 19,47 | 17,64 | 19,47 | 18,112 | 0,837 |
|  | $H_{б.с.30}$ | 17,9  | 18,65 | 18,8  | 19,5  | 19,33 | 20,19 | 18,92 | 21,3  | 19,67 | 20,53 | 19,479 | 0,894 |
|  | $H_{б.с.30}$ | 18,74 | 20,56 | 21,3  | 19,62 | 20,48 | 21,29 | 22,14 | 20,28 | 21,37 | 20,76 | 20,654 | 0,847 |

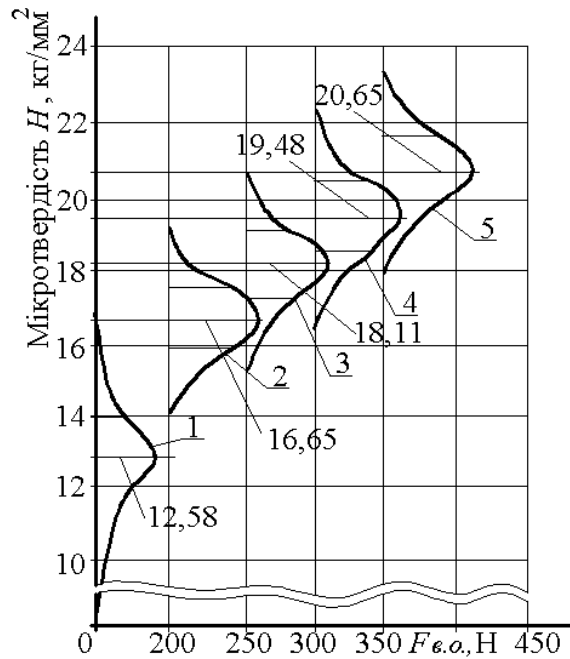


Рисунок 4.17 Теоретичні криві Гауса розподілу параметра мікротвердості при різних значеннях зусилля обкочування  $F_{во}$

#### 4.8. Висновки

1. Запропоновано експериментальне обладнання і методика експериментальних досліджень впливу кута закручування карточки у ФМ, а також способу базування заготовки на зусилля формування згортних втулок, які можуть бути використані при проектуванні технологічного обладнання для виготовлення згортних втулок.

2. В результаті експериментальних досліджень зусилля формування згортних втулок з різними радіусами транспортного каналу і способами базування заготовки у ФМ встановлено, що зусилля формування є змінним по куту закручування карточки і його максимальні значення 246,42 – 309,69 Н мають місце на проміжку  $[\pi/3 \dots \pi/2]$ .

Запропонований технологічний процес згортання втулок ПРВЛ, при якому максимальне зусилля формування в 1,4 рази менше, ніж у традиційному.

3. Встановлено, що найефективнішим щодо забезпечення точності форми згорнутої втулки за параметром відхилення від круглості  $\overline{EFK}_{m.n}$  згортних втулок, сформованих за цим процесом при  $R=50$  мм і однаковим способом базування, зменшились у 2,4 – 5,6 разів порівняно з таким же параметром при формуванні заготовки за традиційним технологічним процесом.

4. Дослідження відхилень від круглості ВЦП згортних втулок ПРВЛ з кроками 9,525; 12,7; 15,875 мм після калібрування і запресування у отвори внутрішніх пластин показало, що у проміжку  $[3\pi/4 \dots 5\pi/4]$  в зоні, діаметрально протилежній до стикового шва, середні значення ЕФК і дисперсії розсіювання на порядок менші, ніж у зоні стикового шва, і можуть бути оцінені амплітудами

перших двох гармонік, так як  $0,5(A_1^2 + A^2) = (0,9 - 0,95) \sum_{i=1}^{10} A_i / 2$ .

5. Встановлено, що спосіб базування при згортанні втулок має суттєвий вплив на точність форми. Використано за теорією малої вибірки метод ітерацій і отримано характеристики розсіювання відхилень від круглості – математичне сподівання  $M(EFK)$  і дисперсію  $D(EFK)$ . Відзначено, що найвища точність

форми забезпечується запропонованим і запатентованим технологічним процесом, при якому формування втулки здійснюється із наступними параметрами точності:  $M_3(EFK)=23,9$  мкм;  $D(EFK)=1802$  мкм<sup>2</sup> і  $M_{max}(EFK)=155$  мкм. Ефективність запропонованих технологічних рішень підтверджено критеріями Стюдента і Фішера.

6. Виявлено, що на даний час відсутнє науково-технічне обґрунтування кратності калібрування згортних втулок у деформуючих і калібруючих фільєрах. Запропонована методика визначення впливу кратності калібрування, яка обґрунтовано встановила достатню кількість фільєр.

7. Запропонована методика оцінювання точності форми за відхиленням від круглості коефіцієнтом наповнення форми.

8. Встановлено значний вплив зусилля обкочування на шорсткість поверхні, сформованої за запропонованим методом. Так при зміні зусиль обкочування в межах 0 (після прокатування), 200, 250, 300, 350 Н отримали наступні математичні сподівання параметра шорсткості  $R_a$ , відповідно: 0,60; 0,55; 0,40; 0,28 і 0,24 мкм. Сутєвість зміни або ефективність такого технологічного прийому підтверджено критерієм Стюдента.

9. Встановлено, що поверхнево-пластичне деформування при вібраційному обкочуванні із зусиллями 200; 250; 300 і 350 Н забезпечило збільшення мікротвердості порівняно із мікротвердістю поверхні заготовки відповідно у 1,32; 1,43; 1,55 і 1,64 разів.

## РОЗДІЛ 5

**ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНОГО  
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗГОРТНИХ  
ВТУЛОК ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ ФОРМИ І ЯКОСТІ НА ПРИКЛАДІ  
ВТУЛОК ДЛЯ ПР 19,05-3800**

Економічну ефективність як результативність виробництва і співвідношення між результатами господарської діяльності й затратами праці визначимо на основі існуючих методик [87, 89, 127]. При цьому врахуємо, що частковими показниками економічної ефективності є: продуктивність праці, фондівдача і матеріаломісткість продукції. Економічну ефективність визначимо для випадку виготовлення згортних втулок для ПР 19,05-3800 Новосибірського виробництва, при якому було модернізовано і удосконалено існуючий прогресивний технологічний процес виготовлення згортних втулок.

Передбачувана економічна ефективність від впровадження у виробництво запропонованих технологічних рішень буде мати місце безпосередньо у виробництві згортних втулок та сфері експлуатації ПРВЛ. Економічний ефект  $E_e$  у виробництві (грн.) буде складатись із наступних складових:

$$E_e = E_N + E_{c.m.} + E_{o.ф.} - Ц_{з.в.}, \quad (5.1)$$

де  $E_N$  – економія електроенергії, отримана внаслідок зменшення потужності, затраченої на згортання втулки із карточки;  $E_{c.m.}$  – економія коштів від підвищення стійкості деформуючих фільтер і зменшення їх кількості, внаслідок зменшення зусиль деформування  $E_{m.ф.}$  за рахунок підвищення точності форми згортної втулки на позиції згортання та рівномірного (на проміжку  $[0; 2\pi]$ ) розподілу ударної дії зусиль формування на деформуючих фільтерах;  $E_{o.ф.}$  – економія коштів від підвищення ефективності використання основних фондів (верстатів для формування згортних втулок) за рахунок зменшення простою цих верстатів, який виникає внаслідок збільшення стійкості комплекту фільтер і продуктивності за виробничу зміну при формуванні згортних втулок;  $Ц_{з.в.}$  – додаткові витрати коштів на формування із заготовки у вигляді плоскої

карточки циліндричної панелі з радіусом  $r=50$  мм. Економічна ефективність у сфері експлуатації  $E_e$  ПРВЛ буде забезпечена за рахунок підвищення точності форми за параметрами відхилення від круглості внутрішньої циліндричної поверхні згортних втулок та зменшення бочкоподібності [74, 134, 146] цих поверхонь, що спричинить покращення умов контактування поверхонь у шарнірах ПРВЛ і тим самим забезпечить підвищену їх зносостійкість і довговічність. Вихідні дані для визначення економічної ефективності подані у табл. 5.1 і табл. 5.2.

Таблиця 5.1

Річні програми випуску одно- і багаторядних ПРВЛ з кроком 19,05 мм і згортних втулок на прикладі НЗНА

| №№ з/п                              | Тип ПРВЛ       | Річна програма випуску ПРВЛ – тис.пог.м | Кількість згортних втулок $N_{з.в.}$ в 1 пог.м. ПРВЛ, штук | Кількість згортних втулок $Q_{з.в.}$ на програму, млн.шт. |
|-------------------------------------|----------------|---|--|---|
| 1.                                  | ПР19,05-3800   | 46                                      | 52,5   | 2,415   |
| 2.                                  | 2ПР19,05-3800  | 12                                      | 105,0  | 1,260   |
| 3.                                  | 3 ПР19,05-3800 | 8                                       | 157,5  | 1,260   |
| 4.                                  | 4ПР 19,05-3800 | 6                                       | 210,0  | 1,260   |
| Всього в переліку на однорядні ПРВЛ |                | 118                                     | 525,0  | 6,195   |

Таблиця 5.2

Деякі технічні і вартісні характеристики верстата та фільтер для формування згортних втулок, що використовується на НЗНА

| №№ з/п | Параметри   |                               | Значення параметрів |
|--------|---|-------------------------------|---------------------|
| 1.     | Потужність головного електродвигуна, кВт                      |                               | 2,7                 |
| 2.     | Кількість подвійних ходів шибєрного пуансона, $n_{дв.х.}/хв.$ |                               | 80,0                |
| 3.     | Кількість позицій одночасного формування втулок, шт.          |                               | 2,0                 |
| 4.     | Довжина подвійного ходу шибєрного пуансона, мм                | шибєрного пуансона            | 27                  |
|        |   | консольно закріпленої оправки | 75                  |
| 5.     | Час дії зусилля згортання заготовки, сек                      |                               | 0,375               |
| 6.     | Кількість фільтер у комплекті, шт                             | деформувальних                | 1                   |
|        |   | калібрувальних                | 2                   |
| 7.     | Вартість комплекту фільтер, грн                               |                               | 1800                |



### 5.1. Визначення економічної ефективності від економії електроенергії

Як встановлено експериментальними дослідженнями зусилля, затрачене на згортання втулки із запропонованої заготовки у вигляді циліндричної оболонки на проміжку  $[0; 1,8\pi]$ , значно менше від зусилля, затраченого на згортання втулки із заготовки у вигляді плоскої прямокутної карточки (рис. 5.1). Економія електроенергії, отриманої при формуванні однієї втулки, виразиться як різниця потужності, виражена в кВт, затрачених на формування однієї втулки за традиційною і запропонованою технологією відповідно при однаковому часі дії зусиль на формування втулки, виразиться із залежності:

$$\Delta N_{el} = \frac{1}{102 \cdot t_{\partial}} (A_{mp} - A_{zn}) = \frac{1}{102 \cdot t_{\partial}} \left[ \int_0^L f(F_{mp}) dF_{nh} - \int_0^L f(F_3) dF_3 \right], \text{ (кВт)} \quad (5.2)$$

де  $t_{\partial} = (60\pi D_{em}) / (l_{n.x} \cdot n_{n.x})$  – час дії зусилля формування згортної втулки, сек.; тут  $l_{n.x} = 150$  мм. – шлях, що проходить шибберний пуансон за 1 подвійний хід;  $n_{n.x}$  – кількість подвійних ходів шибберного пуансона за 1 хв.;  $L$  – довжина шляху шибберного пуансона, на якому діє зусилля формування згортної втулки, яка дорівнює довжині карточки (заготовки), тобто  $L = l_k = \pi D_{em}$ ;  $D_{em}$  – зовнішній діаметр згортної втулки. У нашому випадку  $t_{\partial} = (60 \cdot 3,14 \cdot 8,06) / (60 \cdot 80) = 0,31$  сек.;  $f(F_{mp})$  і  $f(F_3)$  – функції зміни зусиль формування згортної втулки за традиційною і запропонованою технологіями відповідно. Використавши експериментально отримані функції  $f(F_{\phi.mp})$  і  $f(F_{\phi.z})$  (рис. 5.1) для визначення величини робіт  $A_{mp}$  і  $A_{zn}$ , які виражаться відповідно площами під кривими 1 і 2, а також дані, подані у таблицях 5.1 і 5.2, отримаємо економію електроенергії при згортанні однієї втулки. Економія електроенергії  $E_n$  при формуванні згортних втулок, загальна кількість яких визначається річною програмою випуску  $Q_{з.в.н.} = 6,195 \cdot 10^6$  та кількістю сформованих згортних втулок, виготовлених за час зменшення простоїв верстатів  $N_{д.з.в.} = 8,87 \cdot 10^5$ , визначиться за формулою:  $E_n = \Delta N_{el} (Q_{з.в.н.} + N_{д.з.в.}) \cdot C_n$ , де  $N_{el} = 0,059$  кВт – зменшення потужності, затраченої на формування однієї втулки;  $C_n = 2,25$  грн., - вартість однієї кВт.год електроенергії.  $E_n = 0,059(6,195 \cdot 10^6 + 8,87 \cdot 10^5) \cdot 2,25 \approx 940135$  (грн.)

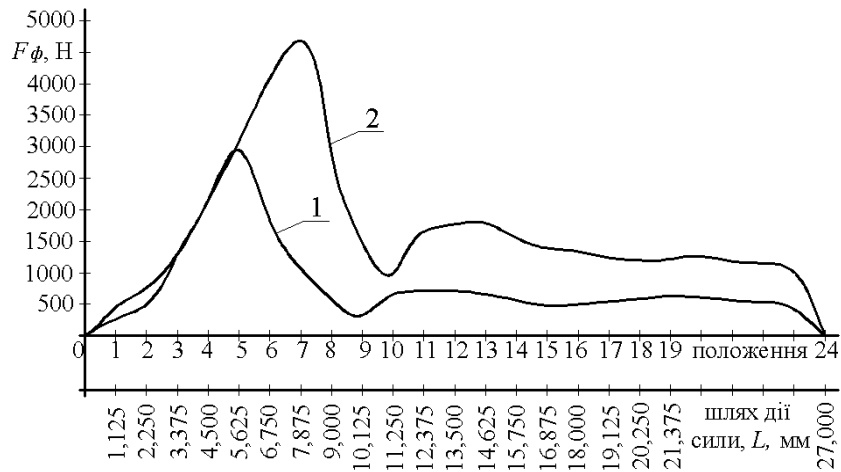


Рисунок 5.1 Графіки зміни сили формування втулки  $F_{\phi}$  в процесі її згортання:

1 – у запропонованому радіусному каналі з  $r=50$  мм; 2 –  $f(F_{\phi,mp})$  у традиційному прямолінійному транспортному каналі

Разом з тим, для визначення загального економічного ефекту необхідно врахувати додаткові затрати електроенергії для формування із заготовки у вигляді плоскої прямокутної карточки циліндричної панелі з радіусом  $r=50$  мм.

Зусилля формування при цьому визначиться із залежності  $F_{\phi}=(4bh^2[\sigma_T])/(6l_3)$ , де  $b=17$  мм і  $h=1,44$  мм – відповідно ширина і висота поперечного перерізу заготовки;  $[\sigma_T]=44$  кгс/мм<sup>2</sup> – границя текучості сталі 65Г;  $l_3=27$  мм – довжина заготовки. Визначивши роботу  $A_{\phi}$ , виконану силою  $F_{\phi}$  на віддалі дії  $l_{\delta}=3,8$  мм (висота сегмента дуги довжиною  $L=27$  мм і радіусом 50 мм з центральним кутом  $\theta_u=31^{\circ}$ ), та необхідну при цьому потужність за час  $t_{\phi}=0,5$  сек. і врахувавши, що за 1 годину на виготовлення 116113 штук згортних втулок затрачено енергії 461 кВт/год., отримаємо загальну кількість енергії, затрачену на виготовлення  $Q_{з.в.н.}+N_{\delta.з.в.}(7,082 \cdot 10^6$  шт.) втулок, яка складе  $E_1=171396$  кВт.год. Вартість  $Ц_{з.з.}$  цієї енергії визначиться із формули  $Ц_{з.з.}=E_1C_n$  і складе  $Ц_{з.з.}=385625$  грн. Остаточний економічний ефект від економії електроенергії  $E_{з.в.}$ , на одну втулку у гривнях на річну програму випуску згортних втулок  $Q_{з.в.пр.}=7082000$  шт. або 134895 пог.м. ПРВЛ визначимо за формулою  $E_{з.в.}=E_n-Ц_{з.з.}=940135-478700=461435$  (грн.)

## 5.2. Визначення економії коштів від зменшення кількості калібруючих комплектів фільєр

Запропоноване технічне рішення технологічного спорядження згортання і калібрування згортних втулок, при якому за кожний хід шибєрного пуансона комплект фільєр повертається на певний кут, призводить до підвищення границі втоми і збільшення стійкості комплекту фільєр, що, в свою чергу, веде до зменшення необхідної кількості таких комплектів.

За існуючою технологією виготовлення згортних втулок витрати фільєр склали 24 комплекти на 10000 пог.метрів ПРВЛ або на виготовлення 525000 згортних втулок. На виготовлення річної програми в перерахунку на однорядні ланцюги, тобто для виготовлення 136192 погонних метрів ПР19,05 або  $7,08 \cdot 10^7$  згортних втулок необхідно  $N_{к.пр.} = 326,86$  комплектів. Прийmemo  $N_{к.пр.д.} = 327$  штук комплектів. Врахувавши (за заводськими даними), що стійкість комплекту фільєр підвищилась на  $\Delta T = 14,6\%$ , необхідна кількість комплектів зменшиться на величину  $\Delta N_{к.н.т.} = \Delta T \cdot N_{к.н.} = 0,146 \cdot 327 = 47,74$  шт. Прийmemo 48 комплектів.

Тоді економія коштів складе:  $E_{\Delta T} = \Delta N_{к.н.т.} \cdot C_{комп.}$ , де  $\Delta N_{к.н.т.}$  – зменшення кількості комплектів фільєр за рахунок введення нового технологічного процесу;  $C_{комп.}$  – ціна комплекту фільєр із твердого сплаву ВК20.

За даними заводу DITTON (Латвія) і НВ ПМП «Промтехконструкція» (Україна), вартість одного комплекту фільєр складе  $C_{комп.} = 62 \text{ €} = 1860 \text{ (грн)}$ .

Тоді  $E_{\Delta T} = 48 \cdot 1860 = 89280 \text{ (грн)}$ .

## 5.3. Економічна ефективність від підвищення ефективності використання основних фондів $E_{о.ф.}$ – верстатів для формування втулок

Збільшення машинного часу  $\Delta T_{об}$  основного технологічного обладнання визначимо як добуток зекономленої кількості комплектів фільєр на час,

необхідний для переналагодження верстата, його технічного огляду і випробування  $T_{н.т.о.}$ , тобто:  $T_{об} = \Delta N_{к.н.т.} \cdot T_{н.т.о.}$  (год.)

Взявши до уваги, що за нормативами НЗНА  $T_{н.т.о.} = 1,92$  год., отримаємо:

$$\Delta T_{об} = 48 \cdot 1,92 = 92,4 \text{ (год.)}$$

За цей час додатково буде виготовлено згортних втулок  $N_{д.з.з.} = \Delta T_{об} \cdot P_{пр.т.}$ , де  $P_{пр.т.}$  – продуктивність верстата на двох позиціях за 1 годину машинного часу, тобто  $P_{пр.т.} = 9600$  шт. згортних втулок.

$$N_{д.з.з.} = 92,4 \cdot 9600 = 887040 \text{ (шт.) згортних втулок.}$$

Цими втулками можна оснастити додатково  $Q_{д.п.м.}$  ланцюгів:

$$Q_{д.п.м.} = N_{д.з.з.} / N_{з.в.} = 887040 / 52,5 = 16896 \text{ (пог.метрів).}$$

Врахувавши, що ціна 1 п.м ПР19,05-3800 за даними НВ ПМП «Промтехконструкція» (див. додаток) складає  $C_{п.м.} = 106,4$  грн., а його маса дорівнює  $m_l = 1,8$  кг і в одному погонному метрі ПРВЛ є 52,5 втулки, а маса  $m_{зв}$  кожної з них 0,0038 кг, то на частку  $N_{д.зз}$  припадає економічна ефективність, величину якої можна визначити, як частку вартості цих додатково вироблених згортних втулок у вартості  $Q_{д.п.м.}$  погонних метрів за формулою:

$$E_{д.к.} = (m_{п.м.} \cdot Q_{д.п.м.} \cdot C_{п.м.}) / m_l = (0,0038 \cdot 16896 \cdot 106,4) / 1,8 = 3795 \text{ (грн.)}$$

Загальний очікуваний річний економічний ефект на основі (5.1) у виробництві складе

$$E_{в} = E_N + E_{с.т.} + E_{о.ф.} - C_{з.в.} = 940135 + 89280 + 3795 - 478700 = 554510 \text{ (грн.)}$$

#### **5.4. Визначення економічного ефекту у сфері експлуатації ПРВЛ за рахунок підвищення точності форми ВЦП згортних втулок і зносостійкості шарнірів ПРВЛ**

Підвищення точності форми на проміжку  $[0; 2\pi]$  за параметром ЕФК [28] згортних втулок, виготовлених за запропонованою технологією, як показали дослідження, складає 1,25 – 1,35 від ЕФК в зоні, розміщеній протилежно до стикового шва. На основі досліджень [42, 74, 134, 146, 150] встановлено, що ПРВЛ з орієнтованим стиковим швом всередину внутрішніх ланок втулками

мають підвищену на 18-24% зносостійкість. З урахуванням цього можна прийняти припущення, що ПРВЛ із згортними втулками з підвищеною точністю форми, меншою шорсткістю і підвищеною мікротвердістю ВЦП будуть мати зносостійкість в середньому на 16,1% вищу, ніж серійні. Це означає, що ПРВЛ з такою зносостійкістю будуть в 1,161 разів довше працювати, ніж серійні, тобто у сфері експлуатації потрібно в 1,161 разів менше ПРВЛ. Для прикладу, при річній програмі випуску обсягом  $P_{p.v.}$  118000 пог. метрів (табл. 5.1) однорядних ПРВЛ ПР19,05-3800 за запропонованою технологією, що забезпечує збільшення зносостійкості шарнірів на 16,1%, економічний ефект у сфері експлуатації визначиться за формулою:

$$E_{ек.еф.} = P_{p.v.} \cdot \Delta I \cdot C_{n.m.} = 118000 \cdot 0,161 \cdot 250 = 4,75 \text{ млн.грн.}$$

Отримані результати економічно підтверджують доцільність і ефективність запропонованих технічних рішень.

## 5.5. Висновки

Отримані залежності для визначення економічної ефективності, як співвідношення між результатами господарської діяльності і затратами праці від запропонованих технологічних рішень. Встановлено, що економічна ефективність від економії електроенергії, отриманої за рахунок удосконалення конструкції заготовок і технологічного процесу виготовлення згортних втулок ПРВЛ з кроком 19,05 мм, на програму 134900 пог. метрів склала 461435 грн.

Річна економія коштів від зменшення кількості комплектів калібруючих фільтер склала 89280 грн. Економічний ефект від підвищення ефективності основних фондів (зменшення кількості переналагодження верстатного обладнання) склала 3795 грн. В загальному очікуваний річний економічний ефект при програмі випуску 134900 пог. метрів ПРВЛ склав 554,51 тис. грн.

У сфері експлуатації за рахунок збільшення зносостійкості шарнірів ПРВЛ завдяки підвищенню точності форми згортних втулок склав 4,75 млн. грн.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі подано нове технічне вирішення науково-технічної задачі, яке полягає у підвищенні якості згортних втулок шляхом технологічного забезпечення підвищеної точності їх форми та якості за показниками: відхилення від круглості; зниження шорсткості і підвищення мікротвердості їх ВЦП, а саме:

1. Отримані залежності для визначення величини відпружинювання заготовки в процесі формування шкворневих згортних втулок, які дають можливість здійснити корекцію профілів деформуючих елементів технологічного спорядження і забезпечити підвищення точності форми втулки при її згортанні.

2. Запропонований технологічний процес згортання втулок ПРВЛ, при якому максимальне зусилля формування в 1,4 рази менше, ніж у традиційному.

3. Запропоновані технологічні процеси формування згортних втулок ПРВЛ і шкворневих згортних втулок, які забезпечують у 2,4-5,6 разів менші відхилення від круглості порівняно із традиційними.

4. Встановлено, що спосіб базування при згортанні втулок має суттєвий вплив на точність форми. Використано за теорією малої вибірки метод ітерацій і отримано характеристики розсіювання відхилень від круглості – математичне сподівання  $M(EFK)$  і дисперсію  $D(EFK)$ . Відзначено, що найвища точність форми забезпечується запропонованим і запатентованим технологічним процесом, при якому формування втулки здійснюється із такими параметрами точності:  $M_3(EFK)=23,9$  мкм;  $D(EFK)=1802$  мкм<sup>2</sup> і  $M_{max}(EFK)=155$  мкм. Ефективність запропонованих технологічних рішень підтверджено критеріями Стьюдента і Фішера.

5. Встановлено на основі гармонічного аналізу, що дисперсія  $EFK$  ВЦП виготовлених згортних втулок досліджуваних ПРВЛ в зоні стикового шва, обмеженій кутом  $\pi/2$  і діаметрально протилежній цій зоні може бути оцінена за амплітудами перших двох гармонік, так як  $(A_1^2 + A_2^2)/2 = (0,9-0,95) \sum_{i=1}^{10} A_i / 2$ .

6. Встановлено, що при згортанні втулок із заготовки, запропонованої у вигляді циліндричної панелі, максимальні зусилля при відповідних радіусах

каналів 100, 75 і 50 мм становлять 3097, 2932 і 2868 Н, що відповідно менше на 33,3; 36,9 і 38,3% від максимального зусилля 4645 Н, що створюється при традиційному технологічному процесі.

7. Використання імовірісно-статистичного методу оцінювання відхилень від круглості на основі гармонічного аналізу показали, що у зоні, розміщеній навпроти стикового шва ( $3/4\pi$ ,  $3/2\pi$ ), відхилення від круглості мінімальні і у декілька разів менші, ніж на проміжку  $(0, 2\pi)$ .

8. Встановлено, що вібраційне обкочування поверхні заготовок згортних втулок суттєво зміцнює поверхню, яка формуватиме ВЦП втулок. Математичне сподівання мікротвердості зміцненої поверхні шляхом обкочування кулькою із зусиллям 0; 200; 250; 300 і 350 Н відповідно склало 12,58; 16,65; 18,11; 19,48 і 20,65 (кгс/мм<sup>2</sup>), а ефективність такого технологічного прийому підтверджена критерієм Стюдента. Мікротвердість від зусиль обкочування 200; 250; 300 і 350 Н збільшилась порівняно із мікротвердістю після прокатки відповідно у 1,32; 1,43; 1,55; 1,64 разів.

9. Встановлено значний вплив зусилля обкочування на шорсткість поверхні, сформованої запропонованим методом. Так при зміні зусиль обкочування в межах 0 (після прокатування), 200, 250, 300, 350 Н отримали наступні математичні сподівання параметра шорсткості  $R_a$ , відповідно: 0,60; 0,55; 0,40; 0,28 і 0,24 мкм. Сутєвість зміни або ефективність такого технологічного прийому підтверджено критерієм Стюдента.

10. Розроблено імовірісно-статистичний метод визначення зусилля дорнування ВЦП згортних втулок. За істинне значення рекомендовано приймати макимальне  $F_{op.max.}$ , яке на 18-24% більше, ніж зусилля, визначене за традиційною методикою.

11. Узагальнений очікуваний річний економічний ефект при програмі випуску 134900 пог. м ПРВЛ складе у сфері виробництва 554,51 тис. грн., та у сфері експлуатації за рахунок збільшення зносостійкості шарнірів ПРВЛ – 4,75млн. грн. Результати роботи впровадженно у виробництво з річним економічним ефектом 19220 грн., в тому числі на ПП “Кам’янець-Подільськагрегат” – 5370 грн; на ТОВ “БІГМА” м. Тернопіль – 7150 грн, та ТОВ “Кабельний завод” м. Кам’янець-Подільськ – 6700 грн.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. А.с. № 410852 СССР, МКИ В21D 5/12. Устройство для отрезки полосы и свертки втулок / В.Б. Любушин. – №1734859/25-27; Заявлено 06.1.72; Опубл. 15.1.74. Бюл. № 2.
2. А.с. № 462694 СССР, МКИ В23Р 19/02, В21L 9/02. Пневматическое устройство для ориентации деталей при сборке / И.И. Зубченко, С.А. Дубиняк, И.Д. Мокрицкий, П.Д. Кривый. – № 1858904/2527, заявл. 12.12.72; Опубл. 19.05.75. Бюл. № 9.
3. А.с. № 517357 СССР, МКИ В21D 11/02, В21D 25/00. Способ изготовления втулок / И.А. Червинский, А.Г. Кузьмичев, Н.А. Черчинцев, И.К. Бережной, В.И. Собакин и Л.П. Зайцев. – № 2005106/25-27; Заявлено 18.03.74; Опубл. 15.06.76. Бюл. № 22.
4. А.с. № 589484 СССР, МКИ F16G 13/08. Способ изготовления свертной втулки из ленты / С.А. Дубиняк, П.Д. Кривый, Н.И. Кузьмин, А.В. Куцевич. – № 2364943/25-27; Заявлено 24.05.76; Опубл. 25.01.78, Бюл. № 3.
5. А.с. № 615987 СССР, МКИ В21D 5/10. Устройство для изготовления втулок из листовых заготовок / Б.И. Марасин, Н.Ф. Еременко и В.М. Егоров – № 2422679/25-27; Заявлено 23.11.76; Опубл. 25.07.78, Бюл. № 27.
6. А.с. № 659370 СССР, МКИ В24В 39/00. Устройство для обработки виброобкатыванием плоских поверхностей / П.Д. Кривый. – № 2486606/25-27; Заявлено 12.05.77; Опубл. 30.04.79, Бюл. № 16.
7. А.с. № 927388 СССР, МКИ В21D 53/10. Гибочный узел устройства для изготовления пустотелых деталей типа втулок из листовых заготовок / А.Н. Муравьев, А.Р. Прейс, Э.Я. Руллинков и В.С. Бражевский. – № 2938719/25-27; Заявлено 29.05.80; Опубл. 15.05.82. Бюл. № 18.
8. А.с. № 978989 СССР, МКИ В21D 53/10; В21D 43/14; В21D 22/02. Штамп для изготовления свертных втулок из плоских заготовок / Б.А. Петухов, В.С. Тихонов и В.И. Кириллов. – № 2944839/25-27; Заявлено 24.06.80; Опубл. 07.12.82. Бюл. № 45.



9. А.с. № 1011300 А СССР, МКИ В21D 11/20, В21D 37/12, В21D 53/16. Штамп для изготовления деталей типа втулок / В.М. Куляхтин, Ю.В. Тулин, Р.Я. Шмидт, О.Б. Миндрул. – № 3322308/25-27; Заявлено 27.07.81; Опубл. 15.04.83. Бюл. № 14.
10. А.с. № 1428495 СССР, МКИ В21D 22/02. Гибочный штамп для изготовления деталей типа втулок / В.В. Дробинин, Л.Г. Ейкалис, А.А. Бугаев, А.Л. Абугов, и М.И. Жих. – № 4053756/30-27; Заявлено 14.04.86; Опубл. 07.10.88. Бюл. № 37.
11. Абрамов С.К. Пружинение при гибке по большому радиусу. Сб. НТО Машпрома. Кн.40. Машгиз, 1956.
12. Авдулов А.Н. Контроль и оценка круглости деталей машин. – : Изд-во стандартов, 1974. – 176 с.
13. Азнаурян Р.В. Исследование работоспособности роликовых цепных передач при обедненной смазке: Автореферат дисер. канд. техн. наук Краснодарский политехнический институт. Спец. 05.02.02. – «Машиноведение и детали машин». / Р.В. Азнаурян – Краснодар, 1964. – 18 с.
14. Балцер Е.А. Статистический анализ и повышение качества и надежности приводных цепей. Автореферат дисер. канд. техн. наук. Спец. 05.02.02. «Машиноведение и детали машин». / Балцер Е.А. –
15. Билик Ш.М. Макрогеометрия деталей машин. Изд.2-е. М. : Машиностроение, 1972. – 344 с.
16. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М. : Машгиз, 1963. – 232 с.
17. Богоявленский К.Н., Кашнев П.В. Изготовление деталей пластическим деформированием. – Л. : Машиностроение, 1975. – 386 с.
18. Брондз Л.Д. Технология и обеспечение ресурса самолетов. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
19. Вайнтрауб Д.А. Повышение точности штампуемых деталей при вырубке и гибке. Машгиз, 1955.
20. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для втузов, 4-е изд. стер. – М. : Наука, 1969, 576 с. ил.

21. Відхилення від круглості внутрішніх циліндричних поверхонь згортних втулок приводних роликів і втулкових ланцюгів / П. Кривий, М. Михайлишин, О. Бондаренко, А. Сенік // Матеріали Х наукової конф. Терноп. держ. техн. університету ім. Івана Пулюя: 17–18 травня 2006 р.: тези доп. – Тернопіль: ТДТУ, 2006 р. – С. 19.
22. Вишняков Я.Д., Пискарев В.Д. Управление остаточными напряжениями в металлах и сплавах. – М.: Металлургия, 1989. – 254 с.
23. Волков Ю.В., Волкова З.А., Кайгородцев Л.М. Долговечность машин работающих в абразивной среде. – М. : Машиностроение, 1964. – 116 с.
24. Воробьев Н.В., Филимонов Б.Н. О качестве приводных втулочно-роликовых цепей отечественного и зарубежного производства / Механические передачи. – Ижевск: Удмуртия, 1967. – С. 13 – 16.
25. Воробьев Н.В. Цепные передачи. – М. : Машиностроение, 1968. – 252 с.
26. Воронин Ю.В. Изменение формы внутренней и цилиндрической поверхности бронзовой втулки при запрессовке в корпус. – Изв. вузов: Машиностроение, 1969. – № 1. – С. 97 – 99.
27. ГОСТ 21834-87. Цепи приводные роликотые повышенной прочности и точности. Технические условия. – Введ. 1989-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 16 с.
28. ГОСТ 24642-81 (СТ СЭВ 30188). Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения. Основные нормы взаимозаменяемости. [Текст], Введен 01.07.81. М. : Госком СССР по стандартам, 1990. 68 с.
29. ДСТУ ГОСТ 13568:2006 (ISO 606:1994). Ланцюги приводні роликоті та втулкоті. Загальні технічні умови (ГОСТ 13568-97 (ИСО 606-94), ИДТ; ISO 606:1994, NEQ) – Чинний з 2007-10-01. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 31 с.
30. Глушченко И.П. Основы проектирования цепных передач с втулочно-роликовыми цепями. – Львов: ЛГУ, 1964. – 226 с.

31. Глущенко И.П., Петрик А.А. Цепные передачи. – Киев: Техніка, 1973. – 104 с.
32. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов, 10-е изд. стер. – М. : Высш. шк., 2004. – 479 с. ил.
33. Готовцев А.А., Котенок И.П. Проектирования цепных передач : Справочник. – М. : Машиностроение, 1982. – 336 с.
34. Гречищев Е.С., Ильященко А.А. Соединения с натягом: Расчеты, проектирование, изготовление. – М. : Машиностроение, 1981. – 247 с.
35. Гусева А.И. Автоматизация запрессовки подшипников скольжения при сборке изделий // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2001, № 3. – С. 8 – 10.
36. Давыдов Ю.П., Покровский Г.В. Листовая штамповка легированных сталей и сплавов. Оборонгиз, 1962.
37. Дальский А.М. Изменение размеров тонкостенных втулок при сборке с натягом / А.М. Дальский, В.А. Серенко // Вестник машиностроения, 1976, №4. – С. 71 – 73.
38. Допуски и посадки. Справочник. В 2-х ч./ В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, Б.А. Брагинский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение. Ленингр.отд-ние, 1982. – 1982. – ч. 1. – 543 с.
39. Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань. Навч. посібник. – Львів: Видавництво Національного ун-ту «Львівська політехніка», 2007. – 624 с.
40. До питання точності форми згортних втулок за параметром відхилення від круглості / Кривий П.Д., Дзюра В.О., Тимошенко Н.М., Сенік А.А. // Збірник тез доповідей 8-мої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування»: 28–29 вересня 2017 р. : тези доп. – Херсонська державна морська академія, 2017. – С. 434 – 435.
41. Дослідження макрогеометрії поперечних перерізів циліндричних поверхонь на прикладі шкворневих втулок / Кривий П.Д., Сенік А.А., Дзюра В.О., Кобельник В.Р. // Збірник тез доповідей 7-мої Міжнародної науково-

технічної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування»: 22–23 вересня 2016 р.: тези доп. – Херсонська державна морська академія, 2016. – С. 188 – 189.

42. Дубиняк С.А., Кривый П.Д., Куцевич А.В. Исследование макрогеометрии свертных втулок и ее влияние на износостойкость приводных цепей // Цепные передачи и приводы. Сб. науч. трудов. – Краснодар: изд. КПИ, 1988. – С. 57 – 68.

43. Дубиняк С.А., Кривый П.Д., Куцевич А.В. Новая технология изготовления свертных втулок и сборки приводных цепей // Материалы 7-й науч.-техн. конф. молодых ученых «Теоретические и экспериментальные исследования в области с/х машиностроения», ВИСХОМ, М., 1979. – С. 91 – 94.

44. Дяхтер Б.А. Отклонение формы расположения и проектирование автомобильных узлов. Контроль отклонений формы. М. : МДНТП, 1970. – 43 с.

45. Экспериментальная оценка остаточных напряжений, формирующихся в толстостенных заготовках при одноцикловом дорновании с большими натягами / В.Ф. Скворцов, М.Г. Гольдшмидт, М.М. Шульгин, В.С. Федотов // Современные проблемы машиностроения: сб. науч. тр. VII Междунар. науч.-техн. конф., Томск, 11–15 нояб. 2013 г. – Томск : Изд-во ТПУ, 2013. – С. 357 – 361.

46. Эффективные технологии дорнования, протягивания и деформирующе-режущей обработки / С.К. Амбросимов, А.Н. Афонин, А.Р. Ингеманссон, А.Н. Исаев, А.В. Киричек, Д.В. Крайнев, А.Р. Лебедев, В.Ф. Макаров, А.В. Морозова, П.А. Норченко, Ю.Н. Полянчиков, Д.Л. Соловьев; под ред. А.В. Киричека. – М. : Спектр, 2011. – 328 с.

47. Жебровская-Луцик С. Методы определения формы цилиндрических деталей // Вестник машиностроения, 1980. № 12. – С. 41 – 49.

48. Жлуктенко В.І., Наконечний С.І. Теорія ймовірностей і математична статистика : Навч.-метод. посібник. У 2 ч. – Ч. 1. Теорія ймовірностей. – К.: КНЕУ, 2000. – 304 с.

49. Жуков К.П. К вопросу об усовершенствовании технологи изготовления роликовых цепей с целью повышения их работоспособности // Механические

передачи (цепным и зубчастым ремнем) / Под ред. Г.Б. Столбина. – М. : НИИАМШ, 1971. – С. 6 – 15.

50. Жуков К.П. Пути повышения работоспособности и точности приводных цепей // Волновые и цепные передачи. – М. : Станкин, 1967. – С. 257 – 279.

51. Згортна втулка для приводних роликів і втулкових ланцюгів / О.Л. Бондаренко, В.Р. Кобельник, П.Д. Кривий, П.П. Кривінський, А.А. Сенік // Збірник наукових праць “Процеси механічної обробки в машинобудуванні” ЖДТУ. – Житомир, 2009. – Вип. 6. – С. 68-81.

52. Иванов М.Н. Детали машин. 4-е изд., перераб. – М. : Высшая шк., 1984. – 336 с.

53. Ивашков И.И. Пластинчатые цепи. – М. : Машгиз, 1960. – 357 с.

54. Імовірно-статистичне обґрунтування удосконалення технології калібрування згортних втулок приводних роликів і втулкових ланцюгів / П.Д. Кривий, М.Г. Дичковський, А.А. Сенік, О.І. Яловий // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Обладнання і технології сучасного машинобудування»: 11–12 травня 2017 р. : тези доп. – Тернопіль : ТНТУ, 2017 р. – С. 95 – 96.

55. Искандеров И.И. Исследование прочности соединений приводных роликных цепей буровых установок. Автореферат канд. дис. М.: Московский институт нефти и газа, 1974. – 14 с.

56. Исследования и совершенствование конструкций пластинчатых цепей / Доклад П.Д. Кривого, В.А. Дзюры, А.А. Сенька и Н.М. Тимошенко // Приводы и компоненты машин: тезисы док. – ООО НПП «Подъемтранссервис»: 1.2013(06). – С. 18 – 19.

57. Кашуба Н.П. Математичні моделі частково регулярних зигзагоподібних мікрорельєфів на плоских поверхнях / Н.П. Кашуба., А.А. Сенік, В.В. Шпитко // Десятий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові (Україна, м. Львів 25–27 травня 2011 р.). – Львів : КІНПАТРИ ЛТД. – 2011. – С. 228 – 230.

58. Колев К.С. Технология машиностроения. Учебное пособие для вузов. М. : «Высш. Школа», 1977. – 256 с.
59. Колкер Я.Д. Математический анализ точности механической обработки деталей. К. : «Техніка», 1976. – 200 с.
60. Комаров А.Д. Упругая отдача листовых металлов при гибке в штампах/ Кузнечно-штамповое производство. – 1965. № 11. – С. 15 – 19.
61. Конструкторсько-технологічне забезпечення формування згортних втулок підвищеної точності форми / П. Кривий, А. Сенік, П. Кривінський, Р. Чорний // Збірник тез доповідей наукової конференції МТФ «Прогресивні матеріали та технології в машинобудуванні, будівництві та транспорті» : 16 травня 2011 р. : тези доп. – Тернопіль: ТНТУ, 2011р. – С. 101 – 102.
62. Кривий П.Д. Вплив кратності калібрування на відхилення від круглості згортних втулок / Кривий П.Д., Горлій Є.І., Сенік А.А. // Тези доповідей на 6-му міжнарод. симпозіумі українських інженерів-механіків у Львові: 21–23 травня 2003 р. : тези доп. – Львів : КІНПАРІ ЛТД. – 2003 – С. 103.
63. Кривий П., Гармонічний аналіз точності форми згортних втулок приводних роликів і втулкових ланцюгів/ Кривий П., Бондаренко Л., Сенік А. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ – Київ, вип. № 19, 2006. – С. 196 – 202.
64. Кривий П.Д. Гармонічний аналіз точності форми згортних втулок приводних роликів і втулкових ланцюгів / Кривий П.Д., Бондаренко О.Л., Сенік А.А. // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції: 5–8 червня 2006 року / Під заг. ред. В.Д. Ковальова : тези доп. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – С. 52.
65. Кривий П. Дослідження точності функціональних розмірів втулок і роликів приводних роликів і втулкових ланцюгів / П. Кривий, А. Сенік, О. Бондаренко // Матеріали XI наукової конф. ТДТУ ім. Івана Пулюя:16–17 травня 2007 р.: тези доп. – Тернопіль: ТДТУ, 2007 р. – С. 43.

66. Кривий П.Д. Дослідження форми згортних втулок внутрішніх ланок приводних роликів і втулкових ланцюгів / П.Д. Кривий, І.С. Муха // Вісник ТДТУ, – Т. : ТДТУ, 1999 – Том 4. – № 3. – С. 78 – 87.

67. Кривий П. Заготовка для згортних втулок підвищеної точності форми / П. Кривий, А. Сенік, О. Бондаренко // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми сучасних технологій виготовлення та надійності передач з гнучким зв'язком» : 19–21 грудня 2011 р. : тези доп. – Тернопіль: ТНТУ, 2011 р. – С. 44 – 46.

68. Кривий П. Новий метод контролю відхилень від круглості згортних втулок / П. Кривий, А. Сенік, В. Лазарюк // Матеріали VI наукової конф. ТДТУ ім. Івана Пулюя: 24–26 квітня 2002 р.: тези доп. – Тернопіль: ТДТУ, 2002 р. – С. 46.

69. Кривий П. Оптимізація кута нахилу стикового шва втулок приводних роликів і втулкових ланцюгів / П. Кривий, А. Сенік, В. Кобельник // Матеріали VIII наукової конференції ТДТУ ім. Івана Пулюя : 11–12 травня 2004 р. : тези доп. – Тернопіль: ТДТУ, 2004р. – С. 24.

70. Кривий П.Д. Приведена сила тертя і величина відпружинення при переміщенні прямокутної карточки в криволінійному каналі / П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник, А.А. Сенік // Міжвузівський збірник “Наукові нотатки” ЛДТУ. – Луцьк, 2005. – №17. – С. 192-198.

71. Кривий П. Методика експериментального дослідження зусилля формування згортних втулок / П. Кривий, А. Сенік // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2007. – Том 12. – №1. – С. 53-59.

72. Кривий П.Д. Технологічне спорядження для формування згортних втулок / Кривий П.Д., Сенік А.А. // Вісник ТДТУ. – Тернопіль. ТДТУ. – 2003. Том 8. № 2. – С. 29 – 34.

73. Кривий П.Д. Технологічне спорядження для формування згортних втулок / Кривий П.Д., Сенік А.А. // Тези доповідей Другої всеукраїнської наук.-техн. конф. «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука

– виробництво» : 30 жовтня – 2 листопада 2002 р. : тези доп. – Суми: СумДУ, 2002. – С. 88 – 89.

74. Кривой П.Д. Работоспособность приводных роликовых и втулочных цепей с ориентированными втулками: Автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец 05.02.02. «Машиноведение и детали машин.» / П.Д. Кривый – Львов: 1990. – 18 с.

75. Кривий П.Д. Статистичне оцінювання міцності пресових з'єднань приводних роликових ланцюгів закордонних фірм на основі теорії малих вибірок / П. Кривий, Н. Тимошенко, В. Коломієць, Р. Чорний // Вісник ТНТУ. – 2013. – Том 70. – № 2. – С. 121 – 129.

76. Кривый П.Д. Технологическое обеспечение точности формы свертных втулок приводных роликовых и втулочных цепей / Кривый П.Д., Кривый П.П., Сеньк А.А. // Материалы международной юбилейной научно-практической конф. «Учебная, научно-практическая и инновационная деятельность высшей школы в современных условиях». Направление научно-производственная и инновационная деятельность высшей школы в современных условиях: тезисы док. – Оренбург: ОГУ. 2001. – С. 218 – 219.

77. Кривий П.Д. Технологія і технологічне спорядження для формування згортних втулок підвищеної точності / Кривий П.Д., Горлій Є.І., Сеник А.А. // Матеріали V наукової конф. Терноп. держ. техн. університету ім. Івана Пулюя: 24–26 квітня 2001 р.: тези доп. – Тернопіль: ТДТУ, 2001р. – С. 52.

78. Кривий П. Формування віброобкочуванням регулярного мікрорельєфу з підвищеним ступенем перекриття / П. Кривий, А. Сеник, В. Ступка // Матеріали VII Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» / Під ред. Копитчука М.Б. та ін. – Одеса: ОНПУ, 2007. – С. 18.

79. Лысов М.И. Исследование процесса гибки деталей из листового материала. Труды КАИ. Вып. XXXI, 1956.

80. Ляндон Ю.Н. Функциональная взаимозаменяемость в машиностроении. – М. : Машиностроение, 1967. – 178 с.



81. Малов А.Н. Технология холодной штамповки, М., 1969, с. 185.
82. Медвидь М.В. Автоматизация производства втулок втулочно-роликовых цепей. Сб. «Автоматизация холодно-штамповочного производства», М., 1961.
83. Мейстер Р.Р., Темиркиев Д.Х. Прогрессивные методы сборки соединений с гарантированным натягом. Обзор. Серия «Технология и автоматизация производственных процессов в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении». – Москва, 1977. – 37 с., ил.
84. Милов А.Б. О вычислении контактной жесткости цилиндрических соединений. / Проблемы прочности. 1973. № 1. С. 70 – 72.
85. Миндрул О.Б., Куксов П.Н, Данилов В.А., Шелковников В.А. Улучшение качества стыка свертных втулок. Труды Алтайского научно-исследовательского института технологии машиностроения. Вып. 8. Барнаул : Изд-во АНИИТМ, 1973. – С. 170 – 173.
86. Монченко В.П. Эффективная технология производства полых цилиндров. – М. : Машиностроение, 1980. – 248 с.
87. Нова технологія виготовлення згортних втулок приводних роликових ланцюгів на основі імовірнісного підходу / П.Д. Кривий, А.А. Сеник, Н.М. Тимошенко, О.І. Яловий // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Обладнання і технології сучасного машинобудування»: 11–12 травня 2017 р. : тези доп. – Тернопіль: ТНТУ, 2017 р. – С. 92 – 93.
88. Огнивець В.А. Исследование процесса изготовления втулок роликовых цепей с применением упругой калибровки. Диссертация на соиск. уч.степени канд.техн.наук. Специальность 05.02.08 Технология машиностроения. Львовский политехнический институт. – Львов, 1968. – 179 с.
89. Орлов П.И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие в 3-х книгах. Кн. 1. Изд. 2-е перераб. и доп. – М. :Машиностроение, 1977. – 623с .

90. Орлов П.И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие в 3-х книгах. Кн. 2. Изд. 2-е перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1977. – С. 574.

91. Осипов Ю.К. Повышение качества прессовых соединений типа «Тонкостенная свертная втулка-орпус» с использованием метода упрочняюще-калибрующей обработки дорнованием. Диссер. канд. техн. наук. Специальность 05.03.01 – Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул – 2007. – 129 с.

92. Охотин И.С., Скворцов В.Ф. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра с большими натягами. – Германия: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2011. – 170 с.

93. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штампового производства: Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1976. – 560 с.

94. Пат. 55106А Україна, МПК В21D 05/10. Пристрій для формування згортних втулок / Кривий П.Д., Сенник А.А.; заявник і патентотримувач ТДТУ ім. І. Пулюя. – № 2002 075349; заявл. 01.07.2002; опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3.

95. Пат. 81025 Україна, МПК В24В 39/00 (2013.01). Пристрій для обробки плоских поверхонь віброобробочуванням / Кривий П.Д., Кашуба Н.П., Сенник А.А., Кривінський П.П.; заявник і патентотримувач Кривий П.Д., Кашуба Н.П., Сенник А.А., Кривінський П.П.. – № а2012 13722; заявл. 30.11.2012; опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12.

96. Пат. 78307 Україна, МПК В21D 5/00 (2013.01). Спосіб виготовлення згортної втулки / Сенник А.А., Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Бондаренко О.Л., Кривінський П.П.; заявник і патентотримувач ТНТУ ім. І. Пулюя. – № U2012 11625; заявл. 08.10.2012; опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5.

97. Пат. 78947 Україна, МПК В21J 1/02 (2006.01). Заготовка для згортної втулки / Кривий П.Д., Сенник А.А., Бондаренко О.Л., Кривінський П.П.; заявник і патентотримувач Кривий П.Д., Сенник А.А., Бондаренко О.Л., Кривінський П.П. – № U2012 09702; заявл. 10.08.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7.

98. Пат. 90980 Україна, МПК В21D 5/10 (2006.01). Пристрій для виготовлення згортних втулок із листових заготовок / Бондаренко О.Л., Кривінський П.П.; Кривий П.Д., Сенник А.А., Шпак Р.І.; заявник і патентоотримувач Бондаренко О.Л., Кривінський П.П.; Кривий П.Д., Сенник А.А., Шпак Р.І. – № U2014 02250; заявл. 05.03.2014; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11.

99. Пат. UA 92285, МПК В21J 1/00 (2014.01). Заготовка для згортної втулки / Кривий П.Д., Сенник А.А., Кривінський П.П, Бондаренко О.Л.; заявник і патентоотримувач Кривий П.Д., Сенник А.А., Кривінський П.П, Бондаренко О.Л. – № u 2014 02253; заявл. 05.03.14; опубл. 11.08.14, Бюл. № 15.

100. Пат. UA 92908, МПК В21L 19/00 (2014.01). Згортна втулка / Сенник А.А., Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Кривінський П.П, Бондаренко О.Л.; заявник і патентоотримувач Сенник А.А., Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Кривінський П.П, Бондаренко О.Л. – № u 2014 03385; заявл. 02.04.14; опубл. 10.09.14, Бюл. № 17.

101. Пат. 112745 Україна, МПК (2016.01) В21J 1/00 F16G 13/18 (2006.01). Згортна втулка / Сенник А.А.; заявник і патентоотримувач ТНТУ ім. І. Пулюя. – № U 2016 07262; заявл. 04.07.2016; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24.

102. Пат. 115787 Україна, МПК В29С 47/12 (2006.01). Розрізна пружна фільера для калібрування згортних втулок / Сенник А.А.; заявник і патентоотримувач ТНТУ ім. І. Пулюя. – № U 2016 11727; заявл. 21.11.2016; опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8.

103. Пат. 116144 Україна, МПК В29С 47/12 (2006.01). Розрізна пружна фільера для калібрування згортних втулок з п-вершинним огранюванням / Кривий П.Д., Сенник А.А., Тимошенко Н.М.; заявник і патентоотримувач ТНТУ ім. І. Пулюя. – № U 2016 11723; заявл. 21.11.2016; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9.

104. Повышение качества прессовых соединений вузлах дизельных двигателей дорнованием. Роговой В.М., Осхолков А.М. Информ листок, №34 35-70. Алтайский УНТИ.

105. Полей М.А. Отклонение формы и расположения поверхностей. М. : Изд-во стандартов, 1965. – 116 с.

106. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки: Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1977.

107. Постников В.И. Эффективность исследований и разработок в машиностроении: анализ и методы оценки / В.И. Постников, Ю.Н. Мымрин. – М. : Машностроение, 1980. – 199 с.

108. Права на об'єкти інтелектуальної власності та економічна ефективність їх використання. Інформаційні матеріали. – К. : В-во УкрІНТІ, держстандарт України, 1998. – 65 с.

109. Прессовые соединения. Технология изготовления и ремонт / Ю.Г. Проскуряков, А.И. Осколков, В.М. Роговой и др. – Барнаул : Алт. кн. изд-во, 1977. – 112 с. ил.

110. Проскуряков Ю.Г. Дорнование отверстий. – Свердловск: Машгиз, 1961. – 192 с.

111. Проскуряков Ю.Г. Дорнование цилиндрических отверстий с большими натягами / Ю.Г. Проскуряков, Г.И. Шельвинский. Ростов-на-Дону: РГУ, 1982. 166 с.

112. Проскуряков Ю.Г. Эксплуатационные свойства свернутых втулок, обработанных дорнованием Текст. / Ю.Г. Проскуряков, М.А. Миканадзе // Вестник машиностроения. 1983. – № 7. – С. 44 – 46.

113. Проскуряков Ю.Г. Объемное дорнование отверстий Текст. / Ю.Г. Проскуряков, В.Н. Романов, А.Н. Исаев. Москва: Машиностроение, 1984. – С. 224.

114. Проскуряков Ю.Г. Остаточные напряжения в деталях, обработанных дорнованием Текст. / Ю.Г. Проскуряков, И.В. Позднякова // сб. статей. Челябинск. – 1962. – С. 142 – 150.

115. Проскуряков Ю.Г. Остаточные напряжения и точность деталей, обработанных дорнованием / Ю.Г. Проскуряков, А.Н. Исаев, Л.В. Попов, Ф.Ф. Валяев // Вестник машиностроения. – 1973. – № 7. – С. 57 – 60.

116. Проскуряков Ю.Г. Прессовые соединения. Технология и ремонт / Ю.Г. Проскуряков, А.Н. Осколков, А.С. Торхов и др. – Барнаул: Алтайское кн. из-ние, 1972. – С. 126.

117. Проскуряков Ю.Г. Технология упрочняюще-калибрующей и формообразующей обработки металлов. – М. : Машиностроение, 1971. – 208 с.

118. Проскуряков, Ю.Г. Упрочняюще-калибрующие методы обработки [Текст]. / Ю.Г. Проскуряков. М. : Машиностроение, 1965. – 208 с.

119. Решетов Д.Н. Детали машин. 4-е изд. перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1989. – 496 с.

120. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. – Киев: Наукова думка, 1990. – 320 с.

121. Розенберг А.М. Качество поверхности, обработанной деформирующим протягиванием / А.М. Розенберг, О.А. Розенберг, Э.И. Гриценко, Э.К. Посвятенко. – Киев: Наукова думка, 1977. – 187 с.

122. Романовский Б.В., Столбин Г.Б. Фреттинг как причина снижения работоспособности роликовых цепей // Механические передачи (цепным и зубчатым ремнем) / Под ред. Г.Б. Столбина. – М. : НИАМАШ, 1971. – С. 66 – 81.

123. Ряды Фурье. Теория поля. Аналитические и специальные функции. Преобразование Лапласа. Романовский П.И. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 336 с.

124. Салениекс Н.К., Балцер Э.А., Кордонский Х.Б., Пипер В., Тигде Ю. Ускоренные испытания приводных цепей на изнашивание // Трение, знос и смазочные материалы: Тр. междунар. науч.-техн. конф., Ташкент, 1985. – М. : 1985. – Т.1. – С. 419 – 422.

125. Сборка и монтаж изделий машиностроения: Справочник в 2-х томах / Под ред. Корсакова В.С. и др. – М.: Машиностроение, 1983. – Т. 1 Сборка изделий машиностроения / Под ред. Корсакова В.С., Замятина В.К., 1983. – 480 с., ил.

126. Сенник А.А. Визначення зусилля при транспортуванні прямокутних карточок в криволінійному коловому каналі / А.А. Сенник, П.Д. Кривий //

Прогресивні напрями розвитку машино-приладобудування та транспорту : Матер. міжнар. наук.-техн. конф. студ., асп. та молодих вчених: 17–20 мая 2004 р. : тези доп. – Севастополь : Вид-во Сев НТУ, 2004. – Т. 1 – С. 76 – 78.

127. Сенік А. Економічна ефективність прогресивного технологічного процесу виготовлення згортних втулок для приводних роликово-втулкових ланцюгів / А. Сенік // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» присвяченої 100-річчю з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті І. Пулюя (100 річчя з дня смерті) : 22–24 травня 2018 р.: тези доп. – Тернопіль: ТНТУ, 2018 р. – С. 159 – 160.

128. Сенік А.А. Конструкторсько-технологічне забезпечення підвищення точності форми згортних втулок / Сенік А.А. // Збірник наукових праць «Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем» ДДМА. – Краматорськ, 2017. – Вип. № 41, – С. 46 – 55.

129. Сенік А.А. Нова технологія формування згортної втулки підвищеної точності форми / Сенік А.А. // Збірник тез доповідей 5-тої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування»: 1–3 жовтня 2014 р.: тези доп. – Херсонська державна морська академія, 2014. – С. 225 – 226.

130. Сенік А.А. Статистичне оцінювання відхилень від круглості згортних шкворневих втулок автомобілів / А.А. Сенік // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» : 11–12 грудня 2013 р. : тези доп. – Тернопіль: ТНТУ, 2013 р. – С. 136.

131. Сенік А.А. Технологія виготовлення згортних шкворневих втулок та їх використання у ходовій частині деяких автомобілів / А.А. Сенік // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»: 26–29 квітня 2016 р. : тези доп. – Чернігів : ЧНТУ, 2016. – С. 50 – 51.

132. Сивцов Н.С. Сборка прессовых соединений применением дорнования // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2001, № 12. – С. 14 – 20.

133. Синтез свертных втулок с раскрытым стыковым швом для приводных роликовых и втулочных цепей / П.Д. Кривый, А.А. Сенок, В.Р. Кобельник, П.П. Кривинский // Международный инженерный журнал “Приводы и компоненты машин” ООО НПП “Подъемтранссервис”. – Москва, 2016. - №1-2 (19). – С.12-17.

134. Скрипкин С.П., Афанасьев Е.Н., Ровнова Э.Л. Исследования влияния ориентации стыка свертных втулок на износостойкость приводных роликовых цепей // Вестник машиностроения. – 1987. – № 3. – С. 36 – 38.

135. Стандарт ИСО 1101 «Допуски формы и расположения поверхностей. Общие положения, символы, обозначения на чертежах».

136. Статистична оцінка відхилень від круглості циліндричних поверхонь втулок приводних роликових ланцюгів Краматорського виробництва / П. Кривий, Н. Тимошенко, А. Сеник, О. Ляшук // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»: 19–20 грудня 2012 р. : тези доп. – Тернопіль: ТНТУ, 2012 р. – С. 134 – 135.

137. Статистичне оцінювання міцності пресових з'єднань приводних роликових ланцюгів закордонних фірм на основі теорії малих вибірок / П. Кривий, Н. Тимошенко, В. Коломієць, Р. Чорний // Вісник ТНТУ. – 2013. – Том 70. – № 2. – С. 121 – 129.

138. Статистические методы обеспечения качества / Х.-Й. Миттаг, Х. Ринне : Пер. с нем. : Машиностроение, 1985. – 615 с.

139. Сухарев, И.П. Прочность шарнирных узлов машин [Текст] : справ. пособие / И.П. Сухарев. – М. : Машиностроение, 1977. – 168 с.

140. Сухов М.Ф. Статистическая оценка точности опорных валиков станков холодной прокатки на основе гармонического анализа/ Изв. Вузов : Машиностроение, 1973. – № 3. – С. 145 – 149.

141. Точность производства в машиностроении / Под ред. А.Н. Гаврилова. – М. : Машиностроение, 1973. – 567 с.

142. Тулин Ю.В. Технология изготовления свертных втулок. Тез. докл. К отраслевой науч.-техн. конф. «Пути совершенствования прогрессивных процессов

и оборудования, применяемых при обработке давлением. – Барнаул, 18–19 июня 1981. – С. 60 – 61.

143. Фізико-хімічні основи створення жаростійких та ливарних сплавів на багатокарбідній основі та прогресивних технологій металообробки: Звіт по НДР (заключний) / Тернопільський державний технічний університет. – Укр. ІНТЕІ; № ДР 0199U003998; Інв. № 0202U006196. – Тернопіль, 2002. – 149 с.

144. Формування на плоских поверхнях віброобточуванням регулярного мікрорельєфа з підвищеним ступенем перекриття / П.Д. Кривий, Н.П. Кашуба, А.А. Сенік, П.П. Кривінський // Збірник наукових праць “Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем” ДДМА. – Краматорськ, 2011. - Вип. №29. – С.138-145.

145. Цой И.М. К вопросу об оценке макроотклонений коленчатых валов. М. : Изд-во МДНТП, 1970. – 127 с.

146. Шведов И.А. Повышение работоспособности цепных передач конструкторскими и технологическими методами. Диссертация на соиск. уч.степени канд.техн.наук. Специальность 05.02.02. Машиноведение, системы приводов и детали машин. Краснодарский государств. Технологический университет. – Краснодар, 2004. – 160 с.

147. Шнейдер Ю.Т. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом (2-е изд. перераб. и доп.). – Л. : Машиностроение, Ленинградское отделение, 1982. – 248 с.

148. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник. – 5-е изд. перераб. и доп. / А.И. Якушев – М. : Машиностроение, 1979. – 343 с.

149. Kryvyi P. Technological heredity and accuracy of the cross-section shapes of the hydro-cylinder cylindrical surfaces / P. Kryvyi, V. Dzyura, N. Tymoshenko, V. Krupa // Canadian Journal of Science, Education and Culture / “Toronto Press”. – Toronto, 2014. – No. 2. (6), (July – December). Volume I. – P. 301 – 310.

150. Kryvyu P. Theoretical and Experimental Substantiation of Angle Orientation of Rolling Bushings of Roller and Bushing Chains / P. Kryvyu, P. Kryvinskyu,



V. Bodnar, I. Sotnyk, A. Senuk // Paper no. MSEC 2007-31211 International Manufacturing Science and Engineering conference. October 15–18, 2007, Atlanta, Georgia, USA, pp. 623 – 627.

151. Kuntzman P. Les transmissionn per chainss a rouleaux. Dunod: Paris; 1961. P. 220.

152. Patent №1.381.343. Francaise. Perfectionnements apportees aux garnitures de roulement notamment pour chaines a rouleaux. F 06 g, Gerhard Harder. – № 35.772. Опубли. 19.09.1963.

153. Schudel G. Stahlgelenkketten, ihre Herstellung, Anwendung Frufung und Berechnung. “Industrie-Anzeiger”, №6, 1959.

154. Rachner H.G. Die Dreschwingunder des Zweiradkettentriebes bei inner Friegyng. Koln-Opladen, Westdeutsch, Verlag, 1961.

155. Rachner H.G. Stahlgelenkketten und Kettentriebe / H. G. Rachner. – Berlin, 1962. – 221 p.

# ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

## Види браку в технологічному процесі виготовлення згортних втулок

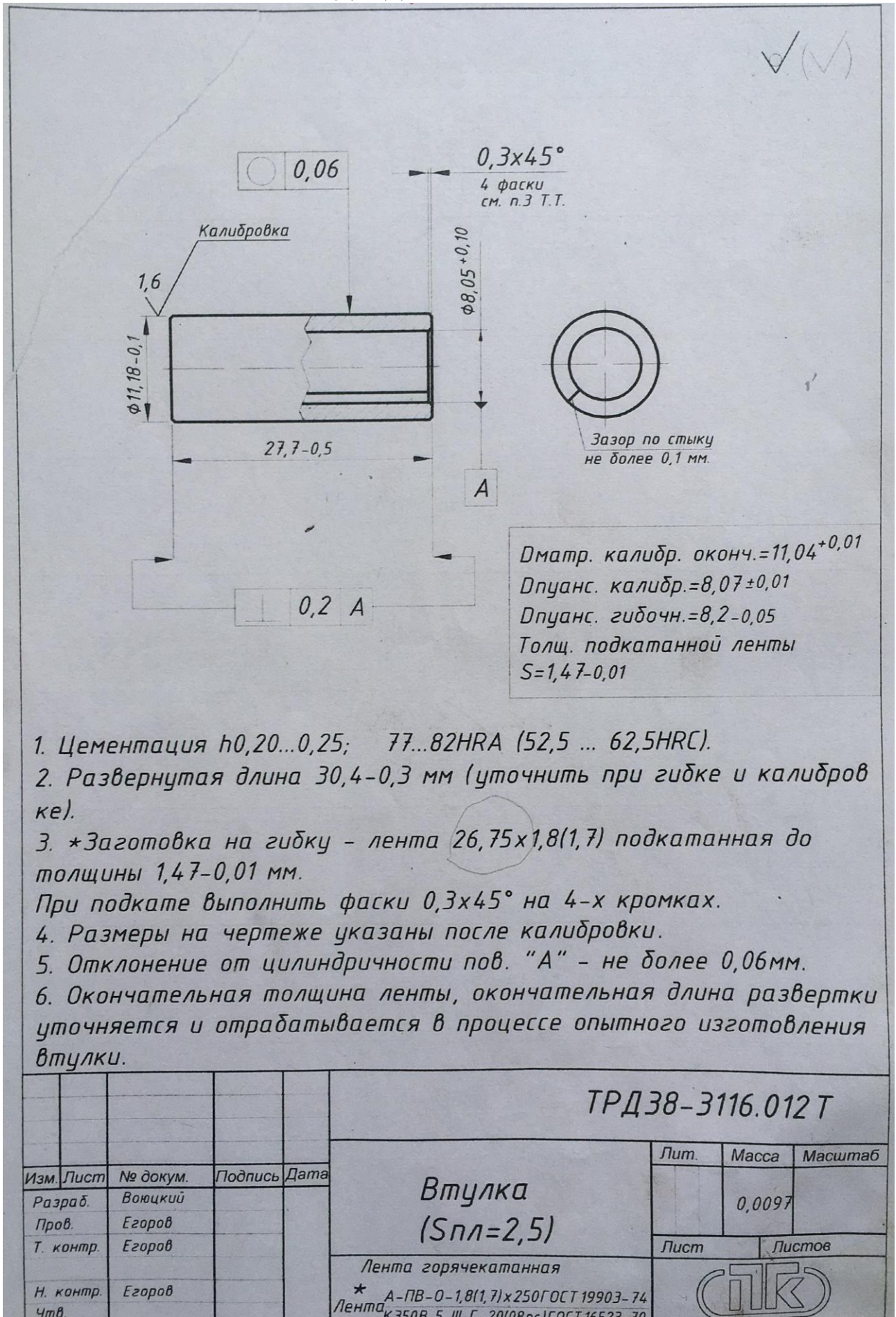
Таблиця А – Види браку при розрізанні стрічки дисковими ножицями

| Найменування факту<br>1  | Вид браку<br>2   |
|--|--|
| 1. Притуплення різальних кромок ножів, збільшена зона округлення.            | 2. Задирки на торцях стрічки, що може призвести до короб частоті стрічки, а блискучий поясок майже відсутній, сколювання здійснюється під великим кутом.               |
| 2. Забоїни, наявність викреслених ділянок на різальних кромках.              | 1. Вм'ятини на торцях стрічки.<br>2. Вирви на торцях стрічки.  |
| 3. Наявність на бічних (передніх) поверхнях ножів налипання металу на тоцях. | 1. Задирки на торцях стрічки, відсутність чіткого розмежування зон розділення металу на торцях.<br>2. Реброва кривизна.<br>3. Неплощинність поверхні стрічки.          |
| 4. Зменшений зазор між ножами.   | Задирки на торцях стрічки на розрізі, відсутність розділу зон блискучого пояса і скору в результаті зміщення металу із зони блискучого пояса в зону сколювання.        |
| 5. Збільшений зазор між ножами.  | Задирки на торцях стрічки, збільшена зона округлення, що може призвести до короблення стрічки; блискучий поясок практично відсутній, поверхня сколу має рваний вигляд. |
| 6. Торцьове биття дискових ножів.  | 1. Реброва кривизна різнонаправлена.<br>2. Перервно повторювані задирки на торцях стрічки.   |
| 7. Нерівномірний розподіл зазорів між дисковими ножами.                      | 1. Одностороння реброва кривизна (шаблеподібність).<br>2. Задирки на одному із торців стрічки.   |
| 8. Занижена величина заглиблення ножів.                                      | 1. Метал не розділяється на стрічки.<br>2. Метал розділяється, але в результаті неповного розвитку тріщин, сколювання утворюється прямолінійна стружка.                |
| 9. Завищена величина заглиблення ножів.                                      | 1. Задирки на торцях стрічки.<br>2. Відсутність меж зон розділу металу.  |
| 10. Відхилення по висоті підкладок в одному наборі більше 0,02 мм.           | Відхилення стрічки по ширині більше 0,1 мм.  |

Продовження табл. А

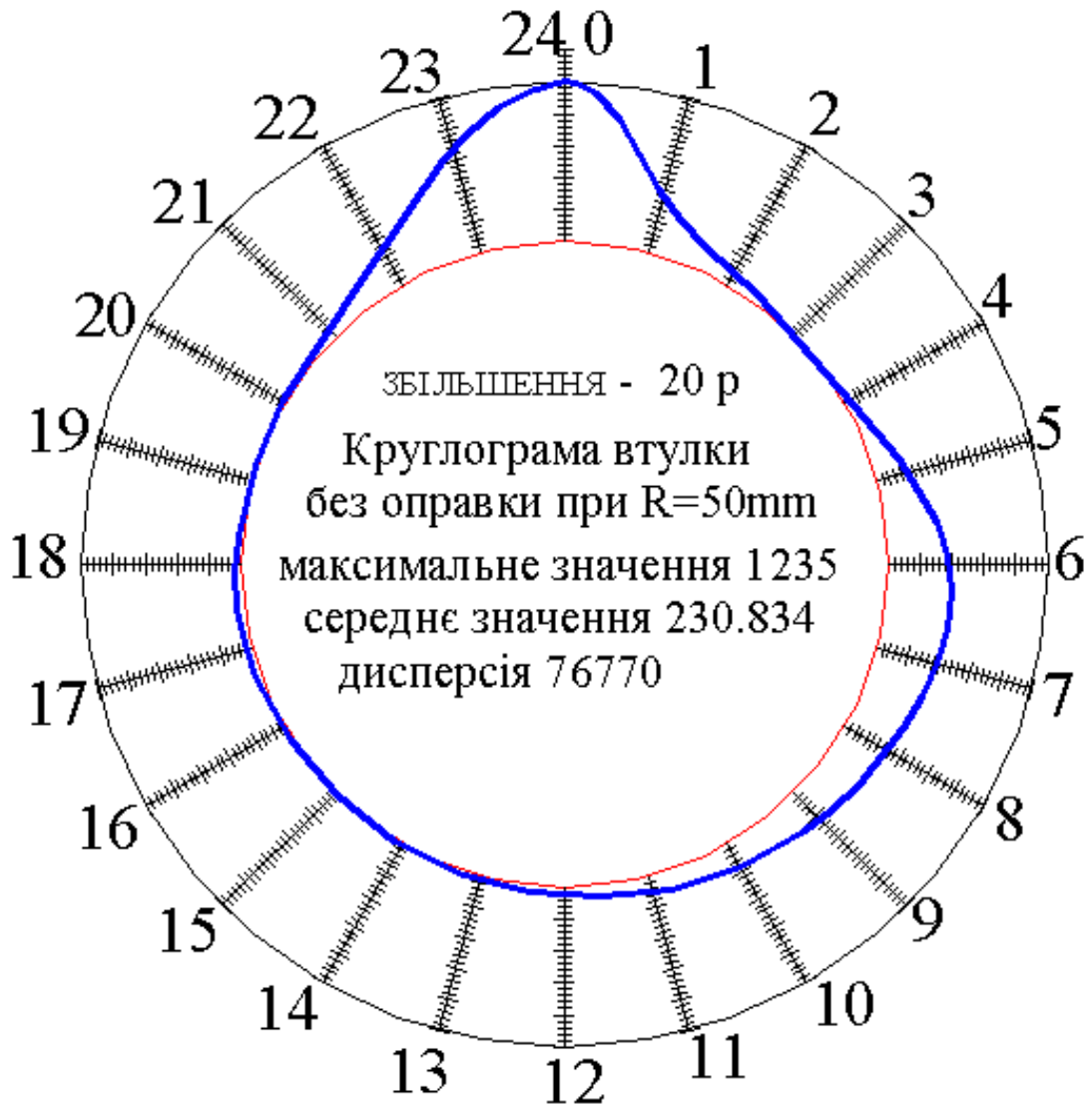
| 1  | 2  |
|--|--|
| 11. Люфт притискного болта.  | Розмір стрічки по товщині виходить за межі допуску на довжині стрічки, яка дорівнює довжині кола, утвореного поперечним перерізом валка.   |
| 12. Поломка тарілчастої пружини притискного механізму прокатного стану.              | Недотримання розміру (допуску) по товщині стрічки.   |
| 13. Стан напрямних пластин   |  |
| 13.1. Наявність на поверхні пластин задирів, забоїн, налипання металу.               | Утворення на поверхні стрічки поздовжніх рисок.  |
| 13.2. Зношування підшипників у поводках.   | Реброва кривизна стрічки.  |
| 13.3. Напрямні пластини при встановленні зміщені по горизонталі одна відносно одної. | Реброва кривизна стрічки (шабельність).  |
| 13.4. Напрямні пластини при встановленні зміщені по вертикалі.                       | Утворення на поверхні стрічки рисок.   |
| 14. Зношування робочих поверхонь дискових ножів і накатних роликів.                  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Спотворення геометрії накатаних фасок.</li> <li>2. Утворення на торцях стрічки задирок.</li> <li>3. Реброва кривизна стрічки.</li> <li>4. Недотримання точності ширини стрічки.</li> </ol> |
| 15. Осьове биття роликів більше від допустимого.                                     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Не забезпечуються розміри фасок.</li> <li>Не дотримується точність ширини стрічки.</li> </ol>  |
| 16. Торцеве биття формуючих фасок роликів більше від допустимого.                    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Не дотримуються розміри фасок, обумовлені кресленням.</li> <li>2. Реброва кривизна стрічки.</li> </ol>   |
| 17. Ролики зміщені відносно осі напрямних пластинок вправо або вліво.                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Фаски по боках різновеликі.</li> <li>2. Реброва кривизна (шабельність).</li> </ol>   |

## ДОДАТОК Б

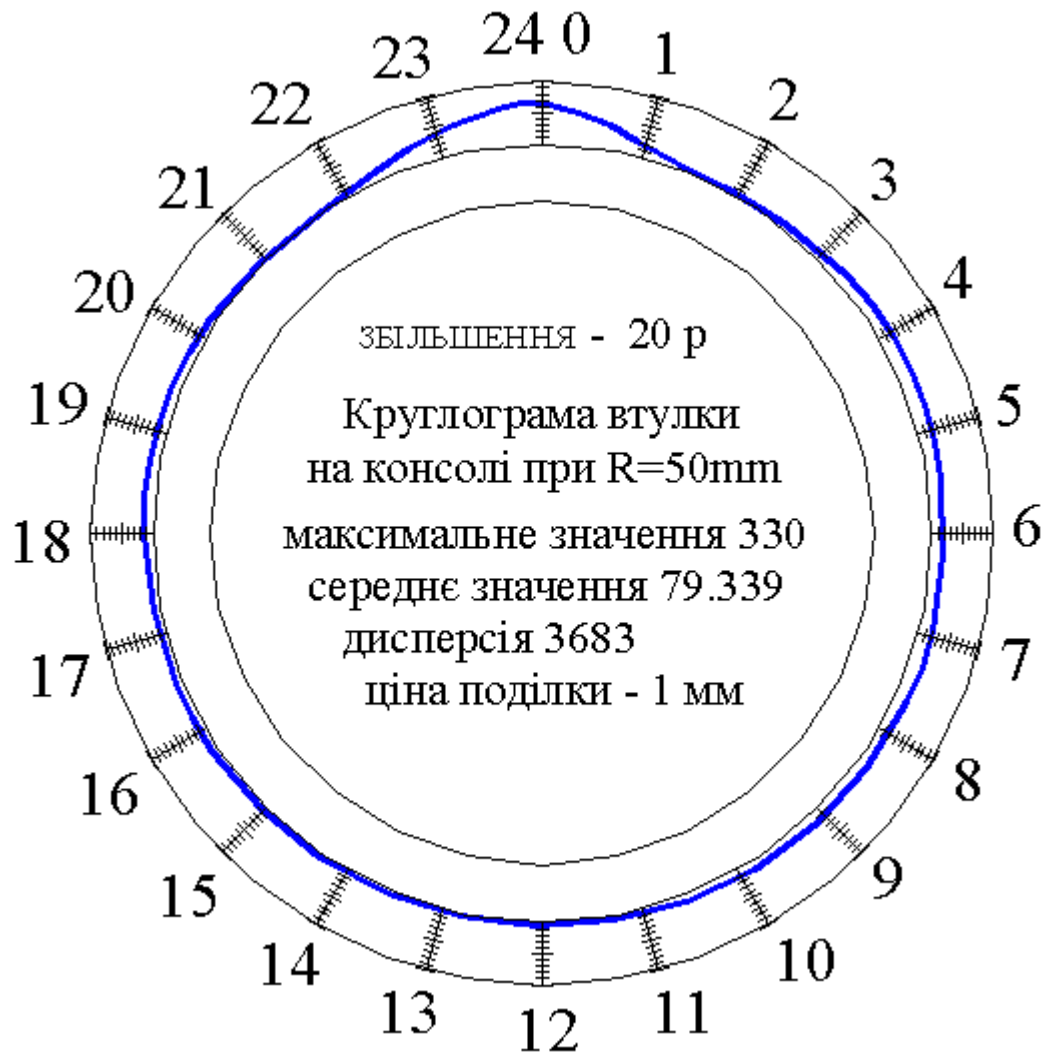


## ДОДАТОК В

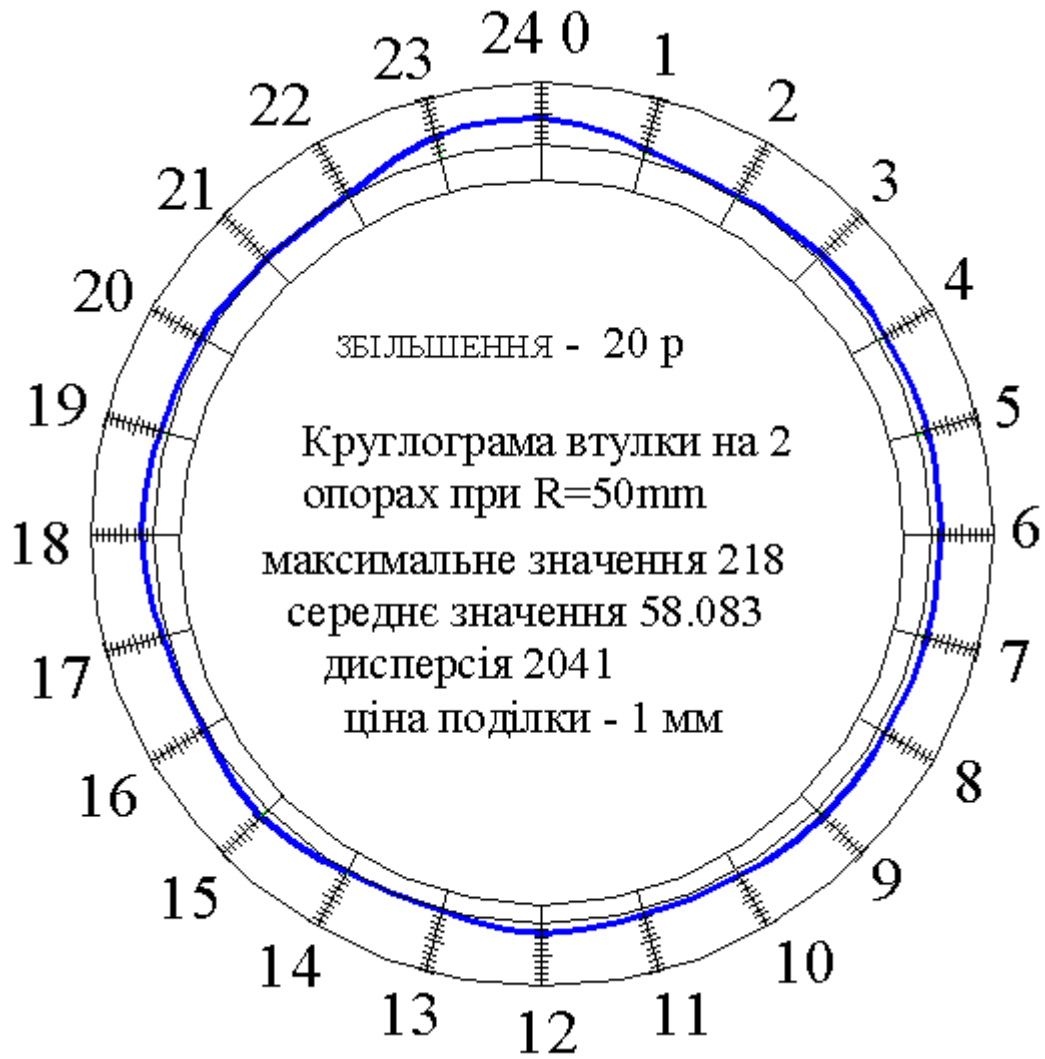
Експериментальні дані визначення некруглості згортних втулок виготовлених на експериментальній установці при радіусі транспортного каналу 50 мм.



Експериментальні дані визначення некруглості згортних втулок виготовлених на експериментальній установці при радіусі транспортного каналу 50 мм.



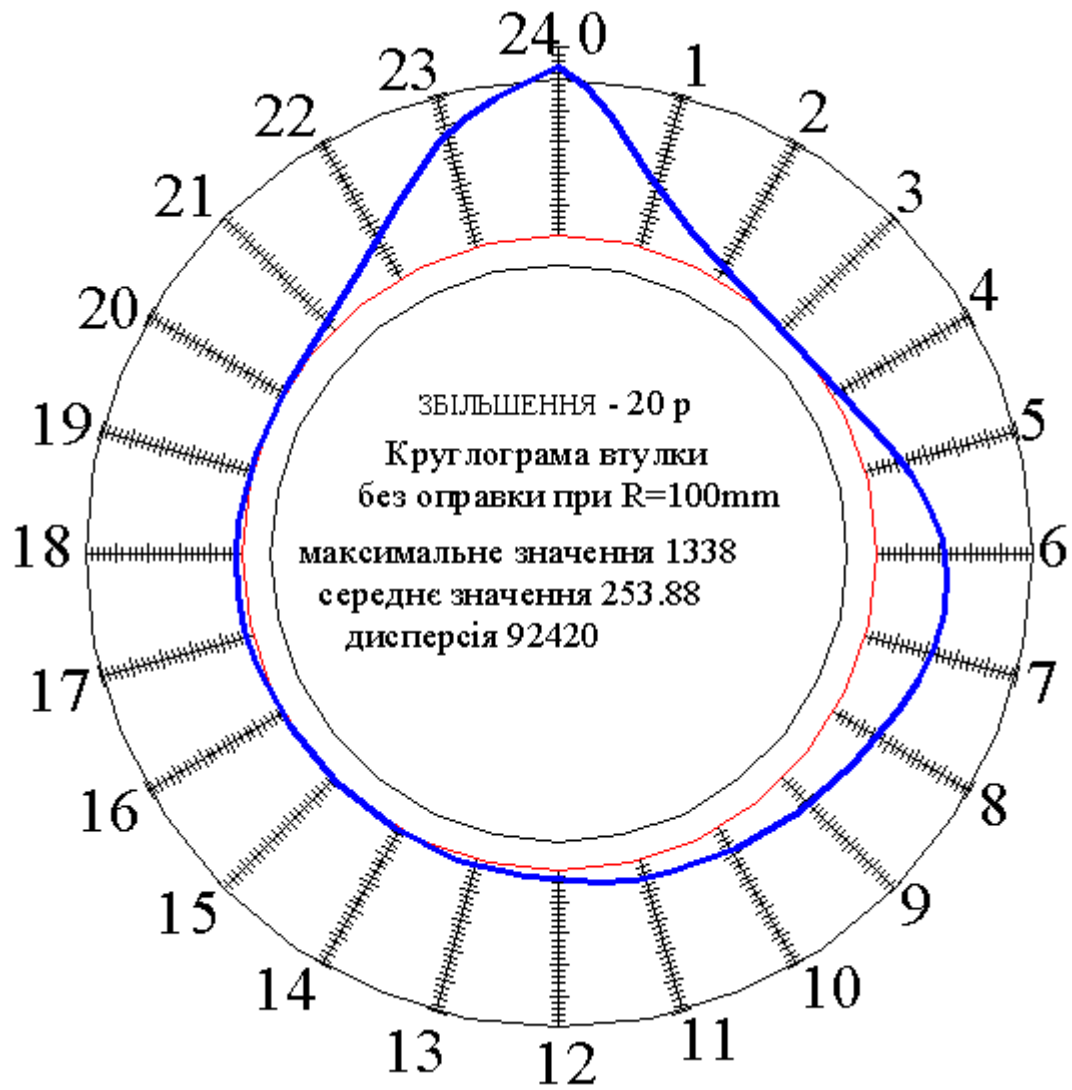
Експериментальні дані визначення некруглості згортних втулок виготовлених на експериментальній установці при радіусі транспортного каналу 50 мм.



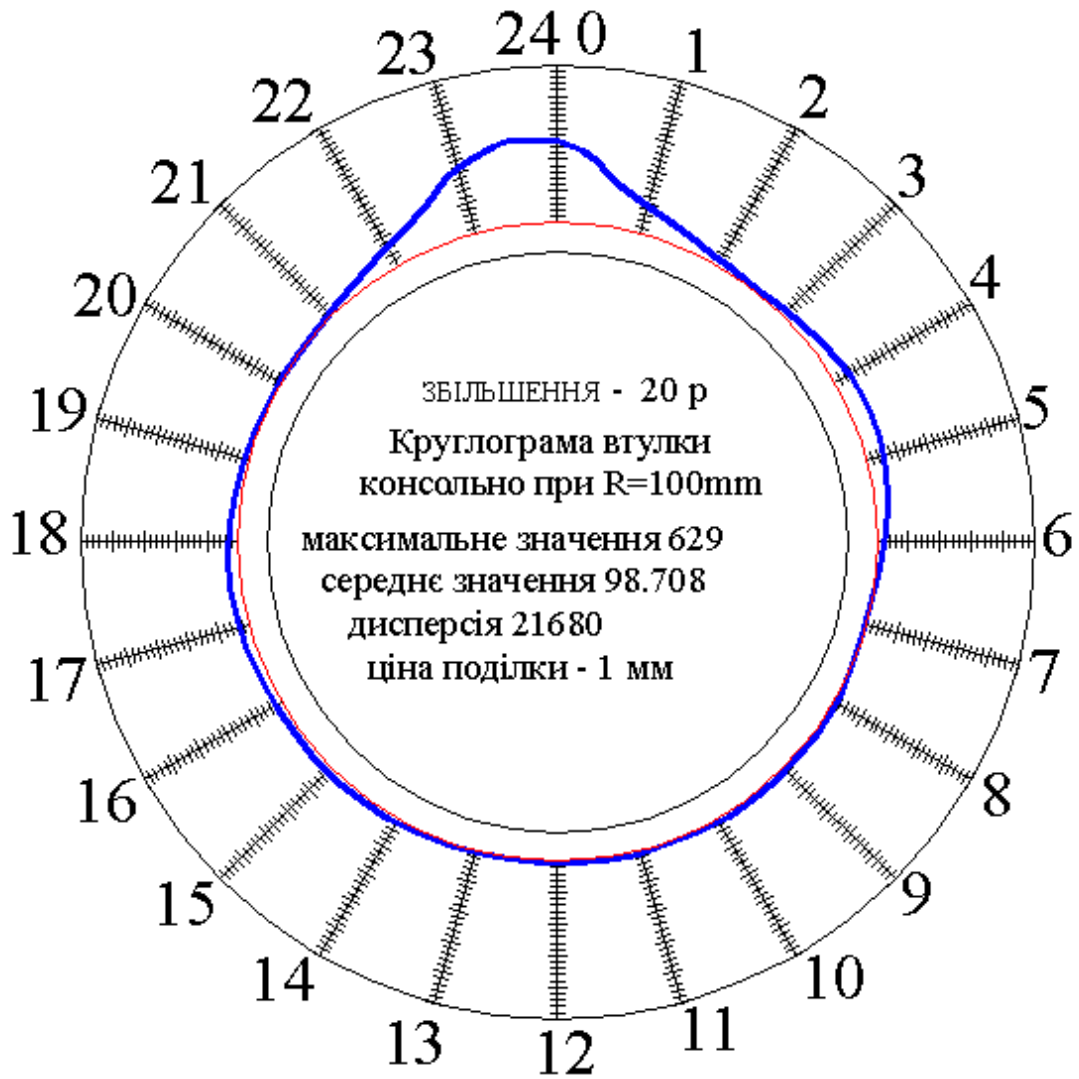


| без оправки      |       | Значення отримані при формуванні згортних втулок на експериментальній установці при радіусі каналу 50мм. |     |      |      |       |       |       |       |       |      |       |      |      |      |      |     |     |      |      |     |      |       |       |       |
|------------------|-------|--|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|------|-------|-------|-------|
|                  | 1     | 2  | 3   | 4    | 5    | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11   | 12    | 13   | 14   | 15   | 16   | 17  | 18  | 19   | 20   | 21  | 22   | 23    | 24    |       |
| 1                | 1250  | 375  | 55  | 0    | 45   | 250   | 410   | 380   | 300   | 255   | 190  | 90    | 30   | 10   | 0    | 10   | 15  | 50  | 50   | 0    | 10  | 75   | 230   | 825   |       |
| 2                | 1175  | 500  | 215 | 0    | 0    | 140   | 345   | 350   | 270   | 200   | 125  | 46    | 10   | 0    | 0    | 0    | 0   | 15  | 46   | 25   | 10  | 55   | 300   | 820   |       |
| 3                | 1425  | 570  | 180 | 25   | 40   | 205   | 425   | 450   | 290   | 190   | 110  | 90    | 10   | 0    | 0    | 0    | 46  | 60  | 40   | 0    | 0   | 55   | 325   | 900   |       |
| 4                | 1150  | 480  | 110 | 0    | 75   | 280   | 525   | 545   | 460   | 410   | 310  | 280   | 150  | 90   | 50   | 10   | 40  | 75  | 40   | 20   | 30  | 105  | 325   | 825   |       |
| 5                | 1575  | 510  | 110 | 0    | 10   | 180   | 360   | 440   | 360   | 225   | 150  | 50    | 25   | 0    | 0    | 0    | 25  | 75  | 40   | 0    | 10  | 90   | 315   | 825   |       |
| 6                | 1125  | 350  | 60  | 0    | 40   | 250   | 410   | 460   | 300   | 235   | 150  | 65    | 25   | 0    | 0    | 0    | 25  | 50  | 40   | 0    | 25  | 110  | 340   | 890   |       |
| 8                | 1075  | 375  | 65  | 0    | 50   | 300   | 500   | 470   | 320   | 180   | 140  | 100   | 55   | 30   | 10   | 10   | 30  | 80  | 60   | 25   | 20  | 100  | 340   | 870   |       |
| 9                | 1175  | 425  | 100 | 0    | 50   | 290   | 580   | 590   | 460   | 340   | 255  | 160   | 60   | 15   | 0    | 0    | 30  | 30  | 25   | 0    | 15  | 100  | 370   | 875   |       |
| 10               | 1250  | 475  | 110 | 0    | 90   | 330   | 620   | 660   | 575   | 470   | 370  | 300   | 225  | 200  | 105  | 0    | 0   | 40  | 0    | 0    | 50  | 60   | 280   | 720   |       |
| середнє          | 1235  | 451  | 111 | 2,5  | 47,5 | 250,5 | 472,5 | 481,5 | 377,5 | 291,5 | 200  | 128,5 | 66,5 | 37   | 15,5 | 3    | 21  | 46  | 41,5 | 9,5  | 17  | 80   | 314,5 | 832,5 |       |
| консолічно       |       |  |     |      |      |       |       |       |       |       |      |       |      |      |      |      |     |     |      |      |     |      |       |       |       |
| 1                | 300   | 40   | 0   | 90   | 160  | 190   | 200   | 220   | 225   | 180   | 160  | 140   | 110  | 50   | 40   | 15   | 0   | 25  | 40   | 85   | 20  | 21   | 22    | 23    | 24    |
| 2                | 150   | 110  | 0   | 60   | 125  | 80    | 70    | 90    | 70    | 50    | 40   | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 25  | 50   | 40   | 0   | 0    | 0     | 0     | 50    |
| 3                | 380   | 90   | 0   | 60   | 135  | 190   | 180   | 140   | 110   | 90    | 60   | 40    | 0    | 20   | 0    | 50   | 60  | 50  | 50   | 50   | 40  | 0    | 0     | 0     | 180   |
| 4                | 310   | 50   | 0   | 40   | 55   | 80    | 75    | 150   | 150   | 110   | 50   | 50    | 0    | 20   | 40   | 90   | 140 | 150 | 160  | 150  | 110 | 75   | 40    | 0     | 180   |
| 5                | 360   | 140  | 0   | 40   | 125  | 160   | 110   | 90    | 60    | 40    | 35   | 15    | 0    | 0    | 40   | 60   | 70  | 100 | 75   | 100  | 70  | 20   | 30    | 0     | 225   |
| 6                | 350   | 90   | 30  | 50   | 100  | 75    | 60    | 90    | 100   | 75    | 75   | 60    | 40   | 0    | 40   | 80   | 60  | 80  | 110  | 100  | 40  | 0    | 60    | 0     | 180   |
| 7                | 260   | 40   | 40  | 150  | 275  | 300   | 240   | 240   | 180   | 180   | 125  | 40    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 10  | 50   | 60   | 50  | 0    | 20    | 0     | 180   |
| 8                | 300   | 75   | 40  | 90   | 100  | 100   | 50    | 60    | 50    | 60    | 40   | 20    | 0    | 0    | 0    | 0    | 40  | 60  | 110  | 100  | 90  | 0    | 50    | 0     | 200   |
| 9                | 460   | 180  | 40  | 0    | 0    | 0     | 25    | 50    | 50    | 40    | 0    | 0     | 0    | 20   | 40   | 40   | 60  | 80  | 60   | 75   | 60  | 0    | 50    | 0     | 300   |
| 10               | 425   | 110  | 0   | 0    | 25   | 40    | 25    | 0     | 40    | 50    | 75   | 80    | 75   | 75   | 50   | 0    | 0   | 0   | 10   | 50   | 40  | 10   | 50    | 0     | 260   |
| середнє значення | 329,5 | 92,5   | 15  | 58   | 110  | 119,5 | 101,5 | 113   | 103,5 | 87,5  | 66   | 44,5  | 22,5 | 18,5 | 25   | 33,5 | 43  | 58  | 71,5 | 81   | 55  | 10,5 | 40    | 198,5 |       |
| дві опори        |       |  |     |      |      |       |       |       |       |       |      |       |      |      |      |      |     |     |      |      |     |      |       |       |       |
| 1                | 140   | 50   | 0   | 75   | 75   | 145   | 120   | 170   | 180   | 150   | 125  | 110   | 90   | 40   | 20   | 0    | 0   | 15  | 25   | 65   | 20  | 21   | 22    | 23    | 24    |
| 2                | 130   | 90   | 10  | 55   | 90   | 70    | 50    | 50    | 45    | 60    | 20   | 10    | 10   | 0    | 0    | 0    | 10  | 20  | 30   | 40   | 0   | 10   | 60    | 0     | 125   |
| 3                | 260   | 55   | 0   | 50   | 110  | 135   | 140   | 90    | 70    | 90    | 46   | 30    | 0    | 10   | 0    | 25   | 30  | 30  | 25   | 35   | 25  | 0    | 10    | 0     | 115   |
| 4                | 180   | 35   | 0   | 35   | 40   | 60    | 45    | 120   | 90    | 100   | 35   | 50    | 0    | 20   | 20   | 50   | 70  | 125 | 90   | 135  | 90  | 45   | 30    | 0     | 220   |
| 5                | 290   | 120  | 15  | 30   | 75   | 90    | 90    | 75    | 45    | 35    | 15   | 25    | 10   | 0    | 40   | 35   | 35  | 65  | 45   | 85   | 55  | 10   | 30    | 0     | 150   |
| 6                | 320   | 70   | 25  | 40   | 65   | 75    | 60    | 65    | 65    | 65    | 46   | 46    | 25   | 0    | 10   | 40   | 25  | 60  | 75   | 85   | 35  | 0    | 45    | 0     | 180   |
| 7                | 150   | 30   | 30  | 135  | 180  | 200   | 180   | 150   | 130   | 160   | 95   | 30    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 25   | 45   | 25  | 0    | 20    | 0     | 125   |
| 8                | 260   | 65   | 45  | 70   | 60   | 100   | 45    | 40    | 30    | 35    | 20   | 20    | 10   | 0    | 0    | 0    | 15  | 50  | 80   | 70   | 75  | 0    | 25    | 0     | 220   |
| 9                | 210   | 130  | 20  | 15   | 0    | 0     | 15    | 35    | 40    | 25    | 0    | 0     | 0    | 10   | 25   | 20   | 25  | 45  | 45   | 45   | 45  | 0    | 20    | 0     | 185   |
| 10               | 240   | 95   | 15  | 0    | 15   | 40    | 30    | 15    | 20    | 30    | 45   | 50    | 45   | 45   | 45   | 0    | 10  | 0   | 0    | 20   | 20  | 0    | 10    | 0     | 215   |
| середнє значення | 218   | 74   | 16  | 50,5 | 71   | 91,5  | 77,5  | 81    | 71,5  | 74,5  | 44,5 | 37    | 19   | 12,5 | 16   | 17   | 22  | 40  | 44   | 62,5 | 39  | 6,5  | 25    | 0     | 178,5 |

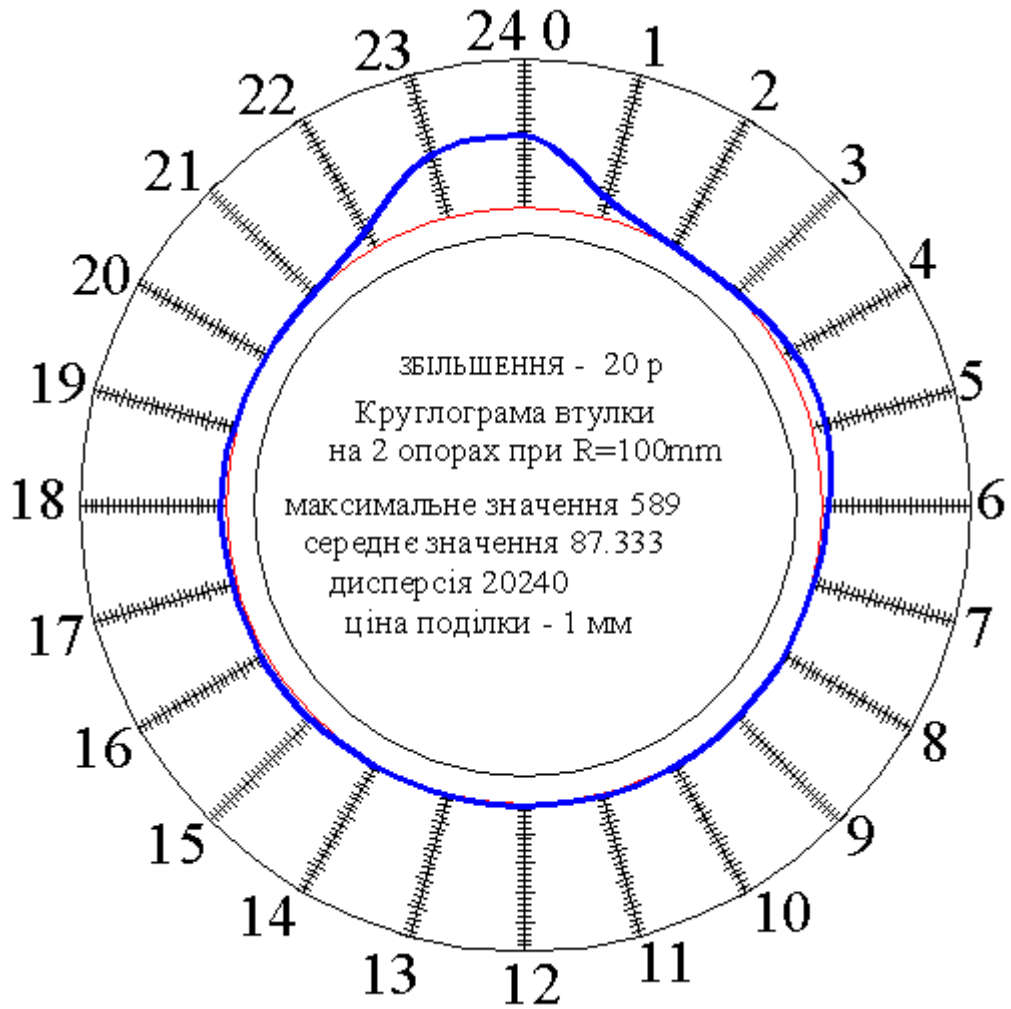
Експериментальні дані визначення некруглості згортних втулок виготовлених на експериментальній установці при радіусі транспортного каналу 100 мм.



Експериментальні дані визначення некруглості згортних втулок виготовлених на експериментальній установці при радіусі транспортного каналу 100 мм.



Експериментальні дані визначення некруглості згортних втулок виготовлених на експериментальній установці при радіусі транспортного каналу 100 мм.



| 100         |        | Значення отримані при формуванні зортник втулок на експериментальній установці при радіусі каналу 100мм. |       |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-------------|--------|--|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| без оправки |        | 1  | 2     | 3    | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23    | 24    |
| 1           | 1398   | 388  | 388   | 56   | 277   | 444   | 388   | 333   | 333   | 277   | 222   | 111  | 55   | 0    | 0    | 27   | 55   | 55   | 55   | 55   | 0    | 0    | 83   | 333   | 916   |
| 2           | 1305   | 555  | 122   | 0    | 166   | 388   | 388   | 306   | 306   | 222   | 122   | 55   | 0    | 0    | 0    | 0    | 27   | 55   | 55   | 55   | 27   | 0    | 55   | 333   | 888   |
| 3           | 1555   | 638  | 166   | 0    | 55    | 222   | 500   | 500   | 333   | 222   | 122   | 100  | 13   | 0    | 0    | 13   | 55   | 55   | 55   | 27   | 0    | 0    | 55   | 361   | 972   |
| 4           | 1277   | 555  | 111   | 0    | 83    | 305   | 583   | 611   | 513   | 444   | 347   | 277  | 166  | 103  | 55   | 13   | 0    | 27   | 59   | 50   | 50   | 111  | 361  | 944   |       |
| 5           | 1472   | 555  | 125   | 0    | 0     | 177   | 403   | 492   | 400   | 250   | 166   | 55   | 27   | 0    | 0    | 0    | 27   | 83   | 55   | 0    | 27   | 111  | 361  | 944   |       |
| 6           | 1277   | 500  | 128   | 0    | 97    | 333   | 611   | 555   | 430   | 403   | 222   | 138  | 97   | 14   | 0    | 0    | 0    | 19   | 42   | 28   | 0    | 55   | 283  | 861   |       |
| 7           | 1250   | 388  | 66    | 0    | 42    | 277   | 472   | 500   | 333   | 250   | 167   | 83   | 14   | 0    | 0    | 0    | 14   | 55   | 42   | 0    | 28   | 111  | 377  | 972   |       |
| 8           | 1166   | 417  | 69    | 0    | 44    | 333   | 569   | 514   | 348   | 208   | 139   | 111  | 55   | 28   | 0    | 0    | 42   | 97   | 69   | 28   | 0    | 111  | 389  | 972   |       |
| 9           | 1305   | 472  | 111   | 0    | 55    | 319   | 653   | 667   | 511   | 389   | 278   | 167  | 55   | 0    | 0    | 0    | 28   | 28   | 28   | 0    | 28   | 111  | 417  | 972   |       |
| 10          | 1398   | 528  | 138   | 0    | 111   | 361   | 678   | 728   | 639   | 528   | 417   | 333  | 250  | 222  | 111  | 0    | 28   | 66   | 83   | 55   | 0    | 69   | 319  | 806   |       |
| середнє     | 1338,4 | 499,6  | 109,1 | 0    | 54,2  | 277   | 530,1 | 534,3 | 414,5 | 319,3 | 220,2 | 143  | 73,2 | 36,7 | 5,3  | 16,6 | 5,3  | 22,1 | 52,3 | 49,7 | 18,8 | 13,3 | 88,3 | 353,4 | 924,7 |
| консольно   |        | 1  | 2     | 3    | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23    | 24    |
| 1           | 725    | 175  | 25    | 46   | 180   | 125   | 30    | 0     | 25    | 30    | 40    | 15   | 0    | 35   | 0    | 80   | 110  | 105  | 95   | 90   | 30   | 0    | 50   | 255   | 700   |
| 2           | 650    | 250  | 90    | 50   | 110   | 95    | 0     | 0     | 0     | 0     | 25    | 20   | 15   | 0    | 50   | 80   | 110  | 110  | 95   | 75   | 60   | 0    | 25   | 175   | 525   |
| 3           | 750    | 315  | 110   | 50   | 100   | 190   | 105   | 55    | 10    | 75    | 80    | 70   | 30   | 0    | 15   | 35   | 45   | 45   | 55   | 50   | 25   | 0    | 50   | 225   | 600   |
| 4           | 475    | 100  | 0     | 35   | 155   | 180   | 75    | 25    | 0     | 40    | 55    | 10   | 0    | 10   | 25   | 10   | 25   | 10   | 25   | 25   | 35   | 35   | 55   | 145   | 425   |
| 5           | 550    | 200  | 25    | 0    | 80    | 100   | 30    | 25    | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 35   | 45   | 55   | 100  | 75   | 25   | 0    | 10   | 155   | 500   |
| 6           | 500    | 260  | 110   | 120  | 190   | 165   | 75    | 15    | 0     | 0     | 40    | 20   | 0    | 0    | 25   | 40   | 0    | 0    | 35   | 15   | 0    | 0    | 25   | 150   | 460   |
| 7           | 712    | 175  | 25    | 20   | 90    | 90    | 25    | 0     | 10    | 10    | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 50   | 55   | 105  | 125  | 100  | 25   | 0    | 25   | 200   | 625   |
| 8           | 625    | 220  | 80    | 55   | 140   | 150   | 50    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 25   | 25   | 0    | 20   | 20   | 25   | 50   | 25   | 0    | 0    | 25   | 155   | 575   |
| 9           | 725    | 240  | 30    | 55   | 155   | 145   | 45    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 10   | 70   | 75   | 45   | 0    | 15   | 200   | 525   |
| 10          | 680    | 125  | 0     | 0    | 75    | 105   | 45    | 10    | 46    | 30    | 15    | 15   | 20   | 0    | 20   | 40   | 40   | 40   | 50   | 30   | 0    | 30   | 145  | 460   |       |
| едні знач.  | 629,2  | 206  | 49,5  | 43   | 127,5 | 134,5 | 48    | 13    | 9     | 18,5  | 25,5  | 15   | 9    | 9,5  | 31,5 | 39,5 | 50,5 | 50,5 | 70   | 56   | 24,5 | 3,5  | 31   | 180,5 | 538,5 |
| дві опорні  |        | 1  | 2     | 3    | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23    | 24    |
| 1           | 725    | 225  | 37    | 25   | 125   | 150   | 50    | 5     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 25   | 12   | 10   | 0    | 10   | 45   | 45   | 10   | 0    | 45   | 200   | 650   |
| 2           | 510    | 187  | 0     | 0    | 75    | 105   | 60    | 0     | 25    | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 30   | 40   | 40   | 50   | 55   | 37   | 0    | 0    | 113   | 462   |
| 3           | 562    | 50   | 0     | 25   | 50    | 43    | 0     | 0     | 10    | 25    | 10    | 0    | 0    | 25   | 45   | 55   | 63   | 88   | 88   | 55   | 10   | 0    | 10   | 213   | 550   |
| 4           | 500    | 188  | 0     | 0    | 50    | 100   | 50    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 10   | 25   | 37   | 45   | 37   | 0    | 0    | 100  | 437   |       |
| 5           | 588    | 125  | 0     | 25   | 155   | 175   | 100   | 50    | 0     | 0     | 0     | 50   | 75   | 55   | 45   | 50   | 75   | 113  | 105  | 62   | 13   | 0    | 0    | 125   | 550   |
| 6           | 650    | 62   | 0     | 62   | 112   | 87    | 0     | 0     | 25    | 55    | 50    | 37   | 12   | 0    | 0    | 12   | 37   | 55   | 75   | 50   | 0    | 0    | 45   | 212   | 612   |
| 7           | 575    | 175  | 12    | 25   | 115   | 170   | 100   | 48    | 40    | 50    | 50    | 12   | 12   | 0    | 25   | 60   | 80   | 100  | 100  | 70   | 40   | 0    | 40   | 200   | 550   |
| 8           | 675    | 200  | 12    | 12   | 110   | 125   | 35    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 25   | 25   | 0    | 0    | 25   | 175   | 550   |
| 9           | 600    | 150  | 0     | 25   | 125   | 110   | 40    | 0     | 0     | 30    | 40    | 40   | 20   | 0    | 20   | 40   | 40   | 40   | 45   | 45   | 15   | 0    | 45   | 225   | 550   |
| 10          | 500    | 200  | 0     | 0    | 60    | 110   | 80    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 15   | 40   | 45   | 50   | 55   | 45   | 0    | 0    | 100  | 460   |       |
| середнє     | 588,5  | 156,2  | 6,1   | 19,9 | 97,7  | 117,5 | 49,5  | 10,3  | 10    | 16    | 20    | 16,4 | 12,4 | 8,2  | 32,2 | 16,5 | 32,2 | 45,3 | 60,5 | 53,2 | 25,7 | 0    | 21   | 166,3 | 546,1 |

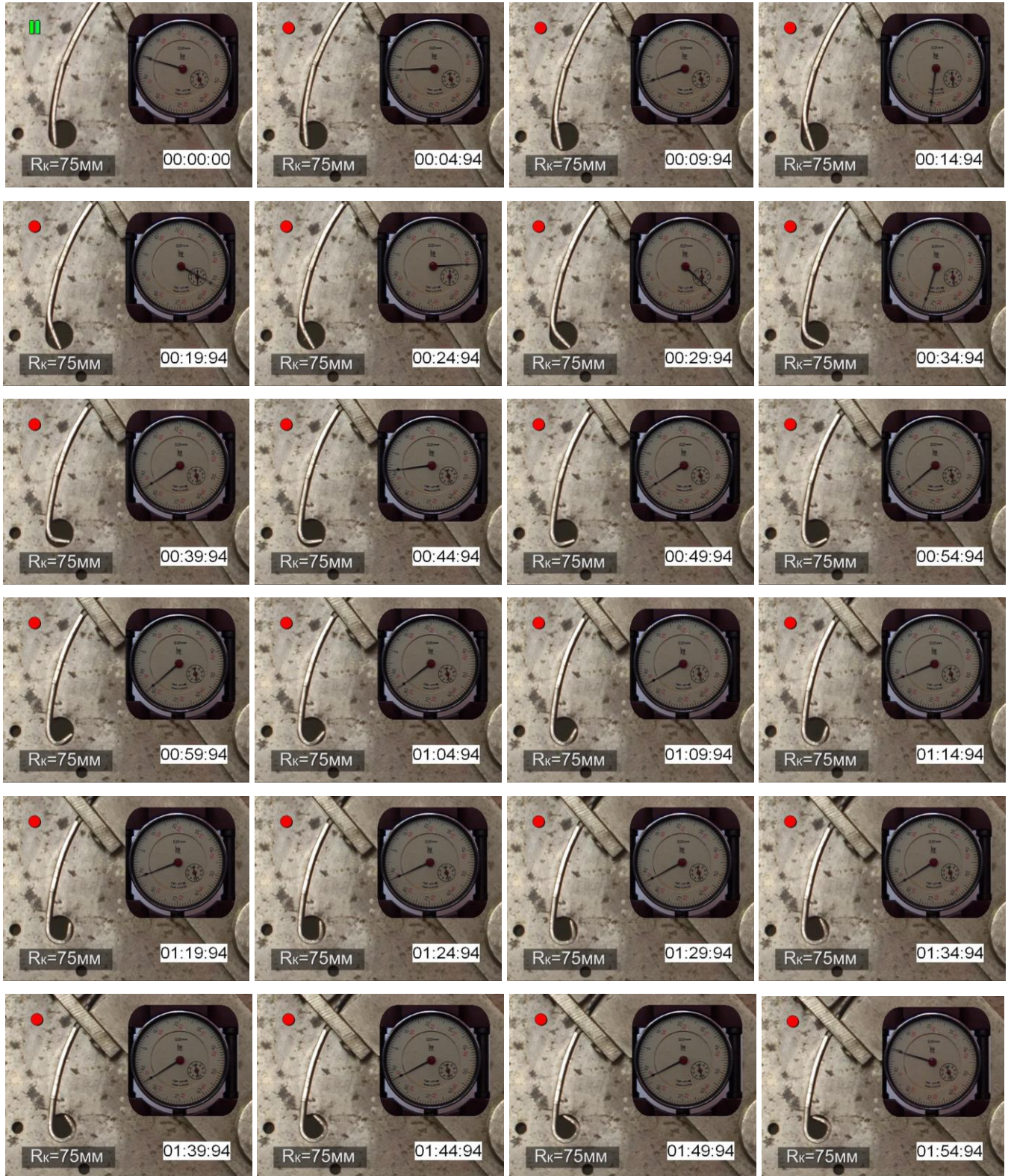


## ДОДАТОК Г

ФОТОГРАФІЇ  
ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗГОРТНОЇ ВТУЛКИ  
НА ПРИСТРОЇ З РАДІУСОМ КАНАЛУ 50 мм

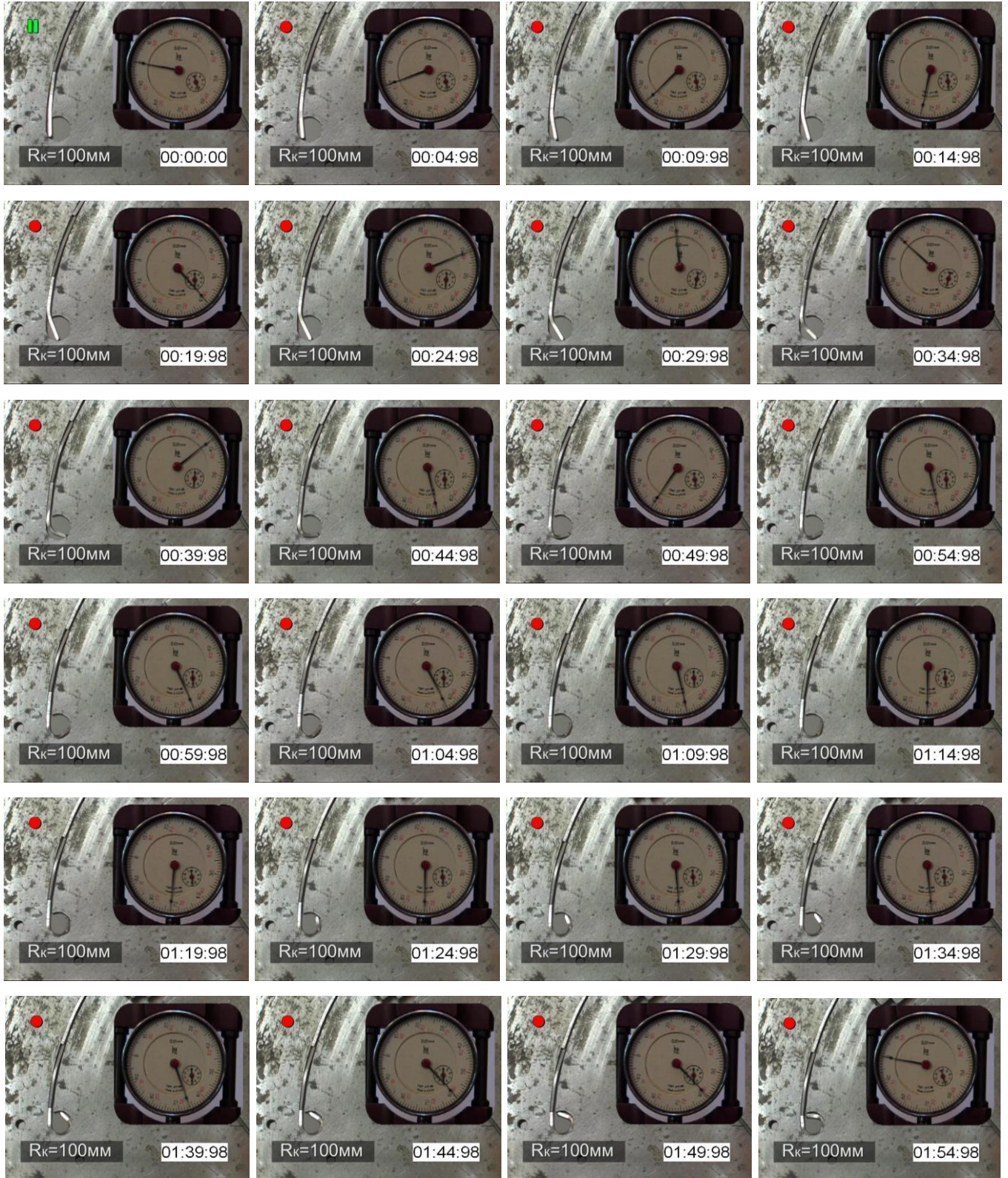


ФОТОГРАФІЇ  
ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗГОРТНОЇ ВТУЛКИ  
НА ПРИСТРОЇ З РАДІУСОМ КАНАЛУ 75 мм





ФОТОГРАФІЇ  
ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗГОРТНОЇ ВТУЛКИ  
НА ПРИСТРОЇ З РАДІУСОМ КАНАЛУ 100 мм





**ДОДАТОК Д**  
**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”**

Кривий П.Д., Михайлишин М.С., Тимошенко Н.М., Сенік А.А.

**МЕТОДИКА**

Визначення деяких конструкторських параметрів заготовок згортних втулок і пристрою для їх калібрування на прикладі згортної втулки ТРД 38-3116-12Т  
НВ ПМП “Промтехконструкція” (м. Краматорськ)

**УДК 621.787**

Кривий П.Д., Михайлишин М.С., Тимошенко Н.М., Сеник А.А.

Методика визначення деяких конструкторських параметрів заготовок згортних втулок і пристрою для їх калібрування на прикладі згортної втулки ТРД 38-3116-12Т НВ ПМП “Промтехконструкція” (м. Краматорськ).

Методика розроблена у ТНТУ на виконання Договору про співпрацю між Теннопільським національним технічним університетом імені Івана Пулюя і НВ ПМП “Промтехконструкція” (м. Краматорськ) та при безпосередній участі Національного університету “Львівська політехніка”.

**Виконавці:**

Науковий керівник,  
кандидат технічних наук, доцент  
професор кафедри конструювання  
верстатів, інструментів та машин,  
Заслужений винахідник України

**П.Д. Кривий**

**Відповідальні виконавці:**

кандидат фізико-математичних наук, доцент  
зав. кафедри інформатики і  
математичного моделювання

**М.С. Михайлишин**

інженер кафедри конструювання  
верстатів, інструментів та машин,

**А.А. Сеник**

від Національний університет “ЛП”  
кандидат фізико-математичних наук, доцент  
доцент, кафедри вищої математики

**Н.М. Тимошенко**

**Рецензенти:**

д.т.н., проф.,  
Тернопільський національний  
економічний університет

**Р.Б. Гевко**

к.т.н., доцент  
Тернопільський національний  
Педагогічний університет  
ім. В. Гнатюка

**І.І. Павх**

Редагування і електронна верстка

**І.П. Сотник**

## Вступ

На сучасному етапі розвитку машинобудівного виробництва при складанні вузлів різних пристроїв широке застосування отримали пресові з'єднання типу «корпус-втулка». Вони складають 10-15% від загальної кількості нерухомих з'єднань машин та механізмів і в основному застосовувались як елементи підшипників ковзання. Такі пресові з'єднання типу «корпус-втулка» характеризуються простотою конструкції і складання, не вимагають складного обладнання і великих затрат на їх виготовлення. З метою зменшення затрат на матеріали замість товстостінних суцільних втулок використовуються суцільні тонкостінні втулки. Проте виготовлення цільних тонкостінних втулок з використанням механічної обробки або спеціальних (для кольорових сплавів) видів литва пов'язане із значним зниженням коефіцієнта використання металу і збільшенням трудомісткості їх виготовлення.

Аналіз експлуатації пресових з'єднань і ЕПК з тонкостінними згортними втулками показав, що основними причинами виходу їх з ладу є взаємне осьове зміщення, повертання спряжених деталей одна відносно одної через низьку якість з'єднання.

Основним конструктивним параметром заготовок згортних втулок є їх довжина. У доступній літературі рекомендовано визначати довжину заготовки як добуток числа  $\pi$  на середній діаметр втулки. Разом з тим для забезпечення гарантованого натягу при запресуванні у щільний стиковий замок необхідно отриманий результат розрахунку збільшити на 1,5-2,0% для матеріалу втулок з границею міцності не менше 45 кг/мм<sup>2</sup> і на 0,5-1,0% при використанні міцніших сплавів.

Окрім цього важливо відзначити, що при відомих методах визначення довжини заготовки не враховується кривина самої втулки, що суттєво впливає на кінцевий результат.

Тому створення методики визначення деяких конструктивних параметрів заготовок згортних втулок і пристроїв для їх калібрування є актуальною задачею.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес калібрування згортних втулок.

**Предмет дослідження** – конструктивні параметри заготовок згортних втулок і пристрою для їх калібрування.

**Визначенню підлягають такі параметри:**

- довжина карточки  $L_{k,rn}$  як заготовки, визначена за середнім радіусом  $\bar{r}_n$  нейтрального шару [1];
- довжина карточки  $L_{k,\bar{\rho}}$  як заготовки, визначена за середнім радіусом  $\bar{\rho}$  кривизни осі кривого бруса;
- довжини карточок – максимальна  $L_{kmax}$  і мінімальна  $L_{kmin}$ , визначена за методом максимуму-мінімуму [2];
- середня довжина карточки  $\bar{L}_{max,min} = 0,5(L_{kmax} + L_{kmin})$ ;
- площа поперечного перерізу втулки (кільця)  $S_{ет}$ ;
- площа поперечного перерізу  $S_{np}$  кільцевої порожнини пристрою для калібрування, яка сформована внутрішньою циліндричною поверхнею матриці і зовнішньою циліндричною поверхнею оправки.

**Мета дослідження** – забезпечення необхідної якості зовнішніх циліндричних поверхонь згортних втулок при їх калібруванні.

## 1. Деякі теоретичні передумови щодо процесу калібрування згортних втулок.

Прийняті припущення:

1. Згортну втулку розглядатимемо як плоский кривий брус великої кривизни, так як виконується умова [1]:

$$\rho \leq 7 \cdot h, \quad (1)$$

де  $\rho$  – радіус кривизни осі бруса;  $h$  – розмір (висота) поперечного перерізу у площині кривизни (рис.1).

На рис.1 схематично зображено фрагмент згортної втулки, поданої як плоский кривий брус.

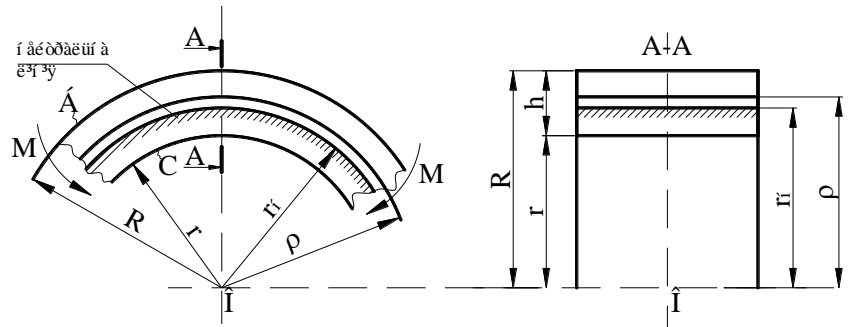


Рисунок 1 – Схематичне зображення кривого бруса великої кривизни: а) згин бруса двома моментами; б) переріз А-А

Зауваження: в процесі згортання втулки волокна матеріалу, розміщені на зовнішній циліндричній поверхні  $B$ , розтягуються, на внутрішній циліндричній поверхні  $C$  – стискаються, а на нейтральній лінії залишаються недеформованими. Епюра напружень по поперечному перерізу подана на рис.2.

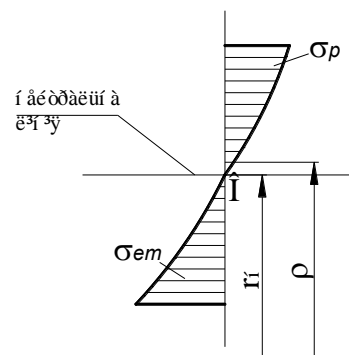


Рисунок 2 – Схематичне зображення напружень по поперечному перерізу А-А

Прийняті позначення.

$\bar{L}_k$  – середнє значення довжини карточки;

$\bar{r}_n$  – середнє значення радіуса нейтрального шару (нейтральної лінії);

$\bar{D}$  і  $\bar{d}$  – відповідно середні значення зовнішніх і внутрішніх діаметрів згортної втулки;

$\bar{R}$  і  $\bar{r}$  – відповідно середні значення радіусів зовнішньої і внутрішньої поверхонь згортної втулки;

$\bar{h} = \bar{R} - \bar{r}$  – середнє значення товщини кривого бруса (товщини стінки втулки);

$\bar{\rho} = 0,5(\bar{R} + \bar{r})$  – середнє значення радіуса кривизни осі кривого бруса;

$D_{\max}$  і  $D_{\min}$  – відповідно максимальне і мінімальне значення зовнішнього діаметра згортної втулки;

$d_{\max}$  і  $d_{\min}$  – відповідно максимальне і мінімальне значення внутрішнього діаметра згортної втулки;

$R_{\max} = 0,5D_{\max}$  і  $R_{\min} = 0,5D_{\min}$ ,  $r_{\max} = 0,5d_{\max}$  і  $r_{\min} = 0,5d_{\min}$  – відповідні максимальні і мінімальні значення радіусів зовнішньої та внутрішньої циліндричних поверхонь згортних втулок;

$\rho_{\max} = 0,5(R_{\max} + r_{\max})$  і  $\rho_{\min} = 0,5(R_{\min} + r_{\min})$  – відповідно максимальне і мінімальне значення радіусів кривизни осі кривого бруса;

$h_{\max} = R_{\max} - r_{\min}$  і  $h_{\min} = R_{\min} - r_{\max}$  – відповідно максимальна і мінімальна товщина кривого бруса (товщина стінки втулки);

$r_{h,\max} = h_{\max} / \ln \frac{R_{\min}}{r_{\max}}$  і  $r_{h,\min} = h_{\min} / \ln \frac{R_{\max}}{r_{\min}}$  – відповідно максимальний і мінімальний радіуси кривизни нейтрального шару (нейтральної лінії).

## 2. Виклад основного матеріалу

### 2.1. Визначення найімовірнішої довжини $\bar{L}_{k,r_h}$ карточки як заготовки згортної втулки

Довжину карточки  $L_k$  у загальному можна визначити за формулою:

$$L_k = 2\pi \cdot r_h. \quad (2)$$

Як відомо з [1] величина  $r_h$  (як радіус кривизни нейтральної лінії) визначається за формулою:

$$r_h = h / \ln R/r, \quad (3)$$

де  $h$  – товщина кривого бруса (товщина стінки карточки);  $R$  і  $r$  – відповідно радіуси зовнішньої і внутрішньої циліндричних поверхонь кривого бруса (згортної втулки).

Для визначення  $L_{к,r_n}$  скористаємось конструктивними параметрами згортої втулки, які подані у таблиці 1.

Таблиця 1.

Конструктивні параметри згортої втулки ТРД38-3116.012Т

| Позначення конструк. параметрів | $\bar{D}$ | $\bar{d}$ | $\bar{R}$ | $\bar{r}$ | $\bar{\rho}$ | $\bar{h}$ |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|
| Значення параметрів, мм         | 11,13     | 8,10      | 5,565     | 4,050     | 4,8075       | 1,515     |

Найімовірнішу довжину  $\bar{L}_{к,r_n}$  визначимо, підставивши у формулу (3), середні значення величин  $h$ ,  $R$  і  $r$ , а отримане значення  $\bar{r}_n$  – у формулу (2). Тобто:

$$\bar{r}_n = \bar{h} / \ln \bar{R} / r = 1,515 / \ln 5,565 / 4,050 = 1,515 / \ln 1,3741 = 4,767.$$

Тоді середнє значення довжини карточки  $\bar{L}_{к,r_n}$  буде:

$$\bar{L}_к = 2\pi \cdot \bar{r}_n = 6,28 \cdot 4,767 = 29,937 \text{ мм.} \quad \bar{L}_к = 29,937 \text{ мм.}$$

Визначимо середнє значення довжини  $\bar{L}_{к,\bar{\rho}}$  карточки за середнім значенням радіуса кривизни  $\bar{\rho}$  осі кривого бруса.

$$\bar{L}_{к,\bar{\rho}} = 2\pi\bar{\rho} = 6,28 \cdot 4,8075 = 30,191 \text{ мм.}$$

Знайдемо відхилення середнього значення довжини карточки  $\bar{L}_{к,r_n}$ , визначеного за  $\bar{r}_n$ , від середнього значення довжини карточки, визначеного за  $\bar{\rho}$ :

$$\Delta\bar{L}_к = \bar{L}_{к,\bar{\rho}} - \bar{L}_{к,r_n} = 30,191 - 29,937 = 0,254 \text{ мм.} \quad \Delta\bar{L}_к = 0,254 \text{ мм.}$$

Відносна похибка складе:

$$\delta_1 = \frac{\Delta\bar{L}_к}{\bar{L}_{к,r_n}} \cdot 100\% = \frac{0,254}{29,937} \cdot 100\% = 0,89\%.$$

## 2.2. Визначення середнього значення довжини карточки на основі методу максимуму-мінімуму [2]

Розрахункові значення максимальних і мінімальних значень конструкторських параметрів згортої втулки подані у табл.2.

Таблиця 2.

Експериментальні значення конструкторських параметрів (КП) згортних втулок

| Позначення<br>КП | $\frac{D_{\max}}{D_{\min}}$ | $\frac{d_{\max}}{d_{\min}}$ | $\frac{R_{\max}}{R_{\min}}$ | $\frac{r_{\max}}{r_{\min}}$ | $\frac{h_{\max}}{h_{\min}}$ | $\frac{\rho_{\max}}{\rho_{\min}}$ | $\frac{r_{H\max}}{r_{H\min}}$ | $\frac{L_{K\max}}{L_{K\min}}$ |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Значення         | 11,18                       | 8,15                        | 5,59                        | 4,075                       | 1,565                       | 4,832                             | 5,096                         | 32,003                        |
| КП, мм           | 11,08                       | 8,05                        | 5,54                        | 4,025                       | 1,465                       | 4,782                             | 4,461                         | 28,015                        |

Тоді середнє значення довжини карточки буде:

$$\bar{L}_{\max-\min} = \frac{L_{K\max} + L_{K\min}}{2} = \frac{32,003 + 28,015}{2} = 30,005$$

Відхилення  $\Delta L'_K$  середнього значення довжини  $\bar{L}_{K,r_H}$  карточки, визначеного за  $\bar{r}_H$ , від середнього значення довжини  $\bar{L}_{\max-\min}$ , визначеного методом максимуму-мінімуму, буде:

$$\Delta L'_K = \bar{L}_{\max-\min} - \bar{L}_{K,r_H} = 30,005 - 29,937 = 0,068 \text{ мм.}$$

Відносна похибка складе:

$$\delta_2 = \frac{\bar{L}_{\max-\min} - \bar{L}_{K,r_H}}{\bar{L}_{K,r_H}} \cdot 100\% = \frac{6,8}{29,937} = 0,22\%.$$

**2.3. Визначення площ поперечних перерізів згортних втулок і кільцевої порожнини калібрую чога пристрою та надлишкових об'ємів, що підлягають деформації при різних конструктивних параметрах**

### 2.3.1. Найсприятливіший випадок

Максимальна площа поперечного перерізу  $S_{em,max}$  згортної втулки ТРД38-3116.012Т:

$$S_{em,max} = \frac{\pi}{4} (D_{\max}^2 - d_{\min}^2) = 0,785 \cdot (124,9924 - 64,8025) = 47,25 \text{ мм}^2.$$

Мінімальна площа поперечного перерізу кільцевої порожнини  $S_{np,min}$  пристрою буде:  $S_{np,min} = \pi/4 (D_{np,max}^2 - d_{np,min}^2) = 0,785 \cdot (11,05^2 - 8,15^2) = 43,71 \text{ мм}^2.$

Різниця у значеннях площ поперечних перерізів згортної втулки і кільцевої порожнини, утвореної внутрішньою циліндричною поверхнею нижньої матриці і



зовнішньою циліндричною поверхнею оправки, при найсприятливіших їх конструкторських параметрах буде:  $\Delta \bar{S}_n = \bar{S}_{em.max} - \bar{S}_{np.min} = 47,25 - 43,71 = 3,54 \text{ мм}^2$ .

Об'єм металу, який необхідно піддати пластичній деформації (усунути), спричиняє зменшення товщини стінки втулки і утворення при цьому своєрідної корони на верхньому торці втулки у найнесприятливішому випадку буде:  $V_1 = \Delta S_n \cdot H$ , де  $H$  – висота втулки, мм.

$$V_1 = 3,54 \cdot 27,7 = 98,058 \text{ мм}^3.$$

Отриманий об'єм співрозмірний з об'ємом куба із стороною  $a = 46,04 \text{ мм}$ .

### 2.3.2. Визначення найімовірнішого співвідношення площ поперечних перерізів згортної втулки і кільцевої порожнини калібрувального пристрою

Середнє значення площі поперечного перерізу згортної втулки визначимо за формулою:  $\bar{S}_{em} = \pi/4(\bar{D}^2 - \bar{d}^2) = 0,785 \cdot (11,13^2 - 8,1^2) = 45,7388 \text{ мм}^2$ .

Середнє значення (найбільш імовірне) площі поперечного перерізу кільцевої порожнини калібруючого пристрою визначиться за формулою:  $\bar{S}_{np} = \pi/4(\bar{D}_m^2 - \bar{d}_{opr}^2)$ , де  $\bar{D}_m$  і  $\bar{d}_{opr}$  – відповідно середні значення діаметрів нижньої матриці і оправки.  $\bar{S}_{np} = \pi/4(11,055^2 - 8,125^2) = 0,785(122,213 - 66,015) = 44,1154 \text{ мм}^2$ .

Різниця у значеннях площ вищезгаданих поперечних перерізів буде:

$$\Delta \bar{S} = \bar{S}_{em} - \bar{S}_{np} = 45,7388 - 44,1154 = 1,6234 \text{ мм}^2. \quad \Delta \bar{S} = 1,623 \text{ мм}^2.$$

Об'єм металу, який необхідно піддати деформації (усунути), визначимо за формулою:  $V_2 = \Delta \bar{S} \cdot H = 1,623 \cdot 27,7 = 44,957 \text{ мм}^3$ .

Отриманий об'єм співрозмірний з об'ємом куба зі стороною  $a = 3,55 \text{ мм}$ .

### Примітки.

1. Аналіз креслення втулки ТРД38-3116.012Т виявив невідповідність деяких розмірних параметрів, поданих безпосередньо на кресленні і в технічних умовах

(ТУ). Це стосується такого параметра як товщина стінки втулки  $\Delta_{вт}$ . За кресленням  $\Delta_{вт} = 1,565_{-0,1}$  мм, а за ТУ товщина підкатоної стрічки (товщина стінки втулки)  $\Delta_{вт.ТУ} = 1,47_{-0,1}$  мм.

Тому у розрахунках ми керувались розмірними параметрами згортої втулки, поданими на кресленні.

2. Для остаточного розв'язання поставленої задачі нам потрібна конкретна довжина карточки (заготовки втулки).

3. Для отримання реальних результатів необхідно знати точний діаметр нижньої матриці і точний діаметр оправки на конкретній позиції калібрування.

4. Вважаємо, що величина зворотного конуса нижньої матриці  $5^0$  дуже мала. Це кут менший за кут тертя, що призводить до додаткового тертя по зовнішній циліндричній поверхні і підвищення температури в процесі калібрування. Зверніть увагу на матриці Даугавпілського заводу приводних ланцюгів.

**Висновок.** Отримані дані розрахункових параметрів (довжини карточки і співвідношення площ поперечних перерізів втулки і кільцевої порожнини), коли довжина карточки визначалась через  $\rho$ , а площі поперечних перерізів через найімовірніші значення діаметрів відповідних параметрів, показують шлях розв'язку поставленої задачі через корегування довжини карточки і уточнення товщини заготовки втулки.

### Література.

1. Справочник металлиста. В 5-ти томах/ Под ред. Докт.техн.наук С.А.Чернавского и канд.техн.наук В.М.Рещикова. – М.: Машиностроение, 1976. – Том 1. – С.231-232.

2. Якушев А.И. и др. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник для вузов /А.И.Якушев, Л.Н.Воронцов, Н.М.Федотов. - 6-е изд., перераб. и дополн. -М.: Машиностроение, 1986. - 352 с.

## ДОДАТОК Е

ТОВАРИСТВО з ОБМЕЖЕНОЮ  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ  
«КАБЕЛЬНИЙ ЗАВОД»  
факс: + 38 03849 913 99,  
<http://www.kpkz.com.ua>



УКРАЇНА, 32300, ХМЕЛЬНИЦЬКА ОБЛ.,  
М. КАМ'ЯНЕЦЬ-ПОДІЛЬСЬКИЙ,  
вул. ПІВНІЧНА, 81-Б,  
тел.: + 38 03849 225 45,  
e-mail: [zavod@kpkz.com.ua](mailto:zavod@kpkz.com.ua)

«1» 10 2018 р. № 433

Ректору  
Тернопільського національного  
технічного університету  
імені І. Пулюя  
Професору Яснію П.В.  
46001, Тернопіль, вул. Руська, 56

Цим листом підтверджую, що розрізна пружина філь'ера (патент на корисну модель № 115787, заява від 21.11.2016р.) автора Сеника А.А. впроваджена у виробництво на ТОВ «Кабельний завод» з очікуваним річним економічним ефектом в обсязі 6700, 00 грн.

Директор  
ТОВ «Кабельний завод»



В.В.Масловський

р/р 26000052409120 в ХФ ПАТ КБ «ПриватБанк»,  
МФО 315405, ЄДРПОУ 30686638, ІПН 306866322096, свід. №31628672



Приватне Акціонерне Товариство  
**“КАМ’ЯНЕЦЬ - ПОДІЛЬСЬКАВТОАГРЕГАТ”**

Україна, 32307, Хмельницька обл., м. Кам’янець-Подільський,  
 вул. Північна, 85; тел./факс: +38 (03849) 3-53-10, 3-53-20;  
 e-mail: KVS.KPAA@meta.ua  
 ЄДРПОУ 00232130; Св. ПДВ 200043429; ІПН 002321322092



Вих. № 709 від 10.10 2017р.

“Затверджую”

Директор ПАТ “Кам’янець-  
 Подільськавтоагрегат”

Островський М.І.  
 “\_\_\_\_\_” 2017р.

АКТ

про використання впроваджених наукових розробок  
 “10” 10 2017 м. Кам’янець-Подільський, Україна

Комісія в складі представників начальника технологічного бюро Гутаревич В.М. і інженера-технолога Кушпіля В.С., та представника Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя (ТНТУ) к.т.н., доц. Кобельника В.Р. склали даний акт про те, що результати дисертаційної роботи Сеніка А.А. «Технологічне забезпечення виготовлення згортних втулок підвищеної точності форми і якості» а саме патент на корисну модель 112745 (Україна), МПК (2016.01) B21J 1/00 F16G 13/18 (2006.01). Згортна втулка, автора Сенік А.А. де заявник і патентотримувач Тернопільський нац. тех. ун-т. імені Івана Пулюя. – № U2016 07262; заявл. 04.07.2016; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24

впроваджений у виробництво у 2017р.

Очікуваний економічний річний ефект складає 5370 (п’ять тисяч триста сімдесят) гривень.

Нач. тех. бюро  
 Інженер-технолог  
 Представник ТНТУ

Гутаревич В.М.  
 Кушпіль В.С.  
 Кобельник В.Р.

“Затверджую”  
 Директор ТОВ “БІГМА”  
 Островський М.І.  
 “20” 2018р.



## АКТ

про впровадження наукової розробки  
 в ТОВ “БІГМА” м. Тернопіль, Україна

Результати теоретичних та експериментальних досліджень по виготовленню згортних втулок підвищеної точності форми і якості а саме патент на корисну модель UA 92908, МПК В21L 19/00 (2014.01). Згортна втулка, авторів Сенік А.А., Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Кривінський П.П., Бондаренко О.Л.; де заявник і патентотримувач Сенік А.А., Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Кривінський П.П., Бондаренко О.Л. - №u2014 03385; заявл. 02.04.14; опубл. 10.09.14, Бюл. №17 впроваджені у виробництво у 2018р.

Очікуваний економічний річний ефект складає 7150 (сім тисяч сто п'ятдесят) гривень.

Директор  
 ТОВ “БІГМА”



Островський М.І.



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Перший проректор Тернопільського  
національного технічного  
університету імені Івана Пулюя

Митник М.М.

“ ” 2018р.

## АКТ

*про використання у навчальному процесі результатів розробок  
дисертаційної роботи, виконаної інженером 2 категорії  
кафедри “Конструювання верстатів, інструментів та машин”  
Тернопільського національного технічного університету  
імені Івана Пулюя Сеником Андрієм Антоновичем*

Ми, що нижче підписалися, завідувач кафедри “Конструювання верстатів, інструментів та машин” д.т.н., професор Луців Ігор Володимирович, завідувач кафедри “Технології машинобудування” д.т.н., професор Пилипець Михайло Ількович, начальник навчального відділу к.т.н., доцент Ткаченко Ігор Григорович склали даний акт про використання у навчальному процесі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя результатів розробок дисертаційної роботи, спрямованої на підвищення якості згортних втулок шляхом технологічного забезпечення підвищеної точності їх форми за параметром відхилення від круглості та зміцнення їх внутрішніх циліндричних поверхонь, а саме в курсах:

- “Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин” для ОКР бакалавр за напрямом 131 “Прикладна механіка”;
- “Технологія обробки деталей тиском” для ОКР бакалавр за напрямом 131 “Прикладна механіка”;
- “Технологія поверхневого зміцнення деталей машин” для ОКР магістр за напрямом 131 “Прикладна механіка”;
- “Технологія машинобудування” для ОКР бакалавр за напрямом 133 “Галузеве машинобудування”.

Зав. кафедри “Конструювання  
верстатів, інструментів та машин”  
д.т.н., професор



Луців І. В.

Зав. кафедри “Техноло  
машинобудування”  
д.т.н., професор



Пилипець М. І.

Начальник навчального відділу  
к.т.н., доцент



Ткаченко І. Г.

**NP CHMP**  
**«PROMTECHKONSTRUKTSIA»**  
 84333, Ukraine, Donetsk reg,  
 Kramatorsk city, 61, Lenina str  
 tel/fax +38 06264 4-29-88  
 tel +38 06264 3-22-71  
 m/ph +38 067 6254489  
 E-mail: [office@ptk.com.ua](mailto:office@ptk.com.ua)  
[www.ptk.com.ua](http://www.ptk.com.ua)



**НВ ПМП**  
**«ПРОМТЕХКОНСТРУКЦІЯ»**  
 84333, УКРАЇНА, Донецька обл.,  
 м. Краматорськ, вул. Леніна, 61  
 тел/ф (06264) 4-29-88  
 тел (06264) 3-22-71  
 моб/т +38 067 6254489  
 E-mail: [office@ptk.com.ua](mailto:office@ptk.com.ua)  
[www.ptk.com.ua](http://www.ptk.com.ua)

Вих. № 12/788  
 від 05.12.2018 р.

Вченому секретарю спеціалізованої  
 вченої ради К58.052.03 у  
 Тернопільському національному  
 технічному університеті імені Івана  
 Пулюя, канд.техн.наук, доценту  
 Дячуну А.С.,  
 вул.Руська,56, м.Тернопіль, 46000.

Надсилаємо Вам відгук на автореферат кандидатської дисертації «Технологічне забезпечення виготовлення згортних втулок підвищеної точності форми і якості».

Разом з тим повідомляємо Вас, що «Методика визначення деяких конструкторських параметрів заготовок згортних втулок і пристрою для їх калібрування на прикладі згортної втулки ТРД 38-3116-12Т», розроблена в ТНТУ у співавторстві з автором дисертації Сенником А.А., використовується у виробництві для визначення довжин заготовок, що позитивно впливає на якість калібрування втулок і стійкість калібруючи фільтер.

Директор



Кононова Н.М.



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ЗАВОД ПРИВОДНЫХ ЦЕПЕЙ DITTON»

Рег. № 40003030187  
ул. Вишкю 17, Даугавпилс, LV-5410, Латвия  
тел. + 371 65402333, факс + 371 65445101, [dpr@dpr.lv](mailto:dpr@dpr.lv), [www.dpr.lv](http://www.dpr.lv)

27/11/2018г

1076 / 53

Проректору

по научной работе ТНТУ

д.т.н., проф. Рогатинському Р.М.

Украина, Тернополь, ул. Руська 56

Высылаем Вам отзыв на автореферат диссертации Сеника А.А.  
«Технологическое обеспечение изготовления свертных втулок повышенной  
точности формы и качества»

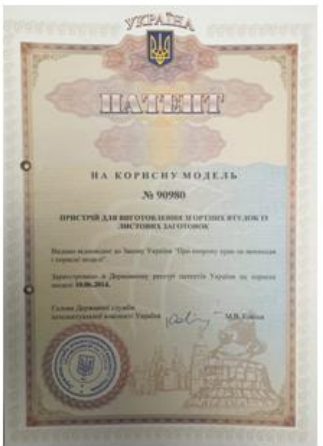
Одновременно сообщаем, что Методика расчета некоторых конструкторских  
параметров заготовок (карточек) свертных втулок при соответствующих  
конструкторских параметрах элементов калибрующего приспособления,  
созданную для втулок ТРД 38-3116-12Т НП МПП «Промтехконструкция»  
используется на заводе DITTON при определении конструкторских параметров  
заготово свертных втулок.

Председатель Правления  
АО «ЗПЦ DITTON»

Р.Заранс



# ДОДАТОК Є



УКРАЇНА (71) UA (72) 116144 (73) U  
 (81) 07/2 (2008.01)  
 (82) 07/2 (2008.01)

НА ОБ'ЄКТ ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

|                          |             |                                      |                               |
|--------------------------|-------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| (21) Заявка номер        | U 08/011932 | (73) Заявник(и)                      | Кобин Миколай Дмитрович (284) |
| (22) Дата подання заявки | 24.07.2003  | (74) Авторизований патентний адвокат | Кобин Миколай Дмитрович (284) |
| (23) Дата публікації     | 10.04.2017  | (75) Авторизований патентний адвокат | Кобин Миколай Дмитрович (284) |
| (24) Дата вступу в силу  | 10.04.2017  | (76) Авторизований патентний адвокат | Кобин Миколай Дмитрович (284) |
| (44) Дата вступу в силу  | 10.04.2017  | (77) Авторизований патентний адвокат | Кобин Миколай Дмитрович (284) |

(81) Категорія: ПІРІВНЯ ВІДБІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ, І - ВИСОТОВИМІРЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ

(82) Категорія: ПІРІВНЯ ВІДБІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ, І - ВИСОТОВИМІРЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ

(83) Категорія: ПІРІВНЯ ВІДБІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ, І - ВИСОТОВИМІРЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ

(84) Категорія: ПІРІВНЯ ВІДБІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ, І - ВИСОТОВИМІРЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ

(85) Категорія: ПІРІВНЯ ВІДБІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ, І - ВИСОТОВИМІРЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ

(86) Категорія: ПІРІВНЯ ВІДБІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ, І - ВИСОТОВИМІРЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ

(87) Категорія: ПІРІВНЯ ВІДБІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ, І - ВИСОТОВИМІРЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ

(88) Категорія: ПІРІВНЯ ВІДБІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ, І - ВИСОТОВИМІРЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ

(89) Категорія: ПІРІВНЯ ВІДБІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ, І - ВИСОТОВИМІРЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ

(90) Категорія: ПІРІВНЯ ВІДБІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ, І - ВИСОТОВИМІРЕННЯ ПІРІВНЯ ВІДБІВ

UA 116144 U