

УДК 621.77; 621.314

Я. Ковальчук, к.т.н., доц., М. Бобик, О. Рибачок, А. Бойчук

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

## ДЕФОРМУВАННЯ ЗВАРНОЇ БУДІВЕЛЬНОЇ ФЕРМИ ПРИ ДІЇ ТЕПЛОВИХ ВПЛИВІВ

Метою роботи є визначення величини деформації локальних ділянок зварної будівельної ферми при дії температурних впливів. Деформування відбувається під впливом внутрішніх напружень в елементах конструкції. Поєднання цих напружень з функціональними (від зовнішніх навантажень) знижує тримку здатність ферми.

Для дослідження використано зварну будівельну підкрів'яну ферму 2000x400 мм зі стандартного вальцьованого кутникового профілю 40x40 мм з товщиною стінки 4 мм зі сталі Ст 3 та розроблено конструкцію і виготовлено експериментальну установку.(рис. 1).



Рис. 1 – Експериментальна установка для натурального експерименту з встановленим дослідним зразком ферми

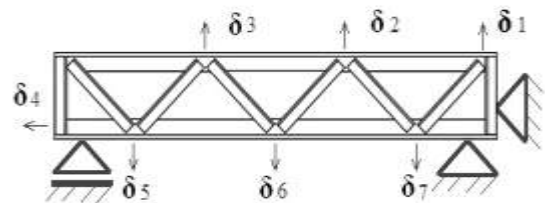


Рис. 2 – Схема встановлення індикаторів для визначення температурних деформацій ферми

В процесі експериментальних досліджень зварну ферму нагрівали в печі до  $+200^{\circ}\text{C}$  і встановлювали в експериментальну установку. Впродовж охолодження ферми аж до кімнатної температури визначали величину локальних деформацій у вузлах ферми і вздовж поясів (рис. 2) за показами індикаторів часового типу. Зміну температури фіксували безконтактно пірометром.

За отриманими показами побудовано діаграми термічного деформування (рис. 3).

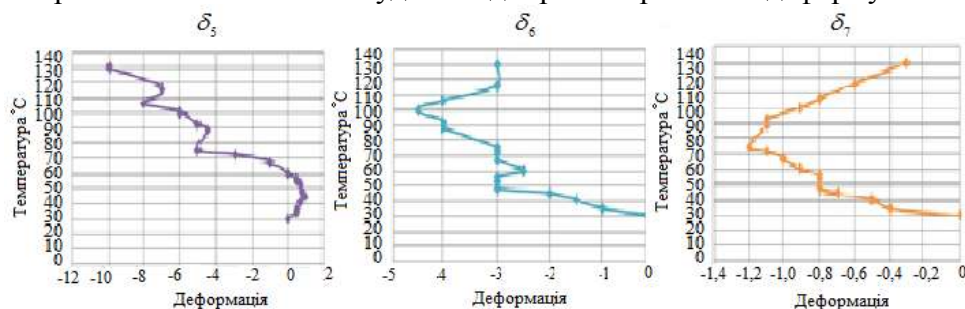


Рис. 3 – Величина локальної температурної деформації по нижньому поясі зварної ферми навпроти вузлів

Як видно з отриманих графіків, величина температурних деформацій не є однозначною, що зумовлено сумісним деформуванням окремих стержнів.

Отримана інформація може бути покладена в основу розрахунків напружено-деформованого стану зварних ферм в умовах реальних теплових впливів (кліматичних, експлуатаційних, пожежних) для попередження настання граничного стану чи аварії.

## ВПЛИВ АСИМЕТРІЇ ЦИКЛУ НАВАНТАЖЕННЯ НА ШВИДКІСТЬ І МІКРОМЕХАНІЗМИ РОСТУ ВТОМНИХ ТРІЩИН У МАТЕРІАЛІ ОСЕЙ КОЛІСНИХ ПАР ЛОКОМОТИВІВ

Оскільки параметри циклічного навантаження значною мірою впливають на швидкість поширення тріщин, важливо дослідити вплив коефіцієнту асиметрії на кінетику росту втомних тріщин в матеріалі відповідальних елементів конструкцій, що працюють в умовах втоми, таких як осі колісних пар залізничного транспорту, для його врахування при подальшому прогнозуванні їх залишкової довговічності.

Тріщиностійкість матеріалу осей колісних пар локомотивів – сталі ОСЛ – визначали на призматичних зразках з центральною тріщиною розмірами 155x25x5 мм за одновісного розтягу з коефіцієнтом асиметрії циклу навантаження  $R = -1$  та  $R = 0$ . Дослідження проводили при кімнатній температурі на сервогідравлічній випробувальній установці СТМ-100 з комп'ютерною системою керування та реєстрації інформації при частоті навантаження  $f = 10$  Гц. Для вимірювання довжини тріщини використовували оптичну систему на базі металографічного мікроскопу МБС-10.

Коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) у вершині втомної тріщини обчислювали за формулою [1]

$$\Delta K = \Delta \sigma \sqrt{\pi a} \cdot Y \quad (1)$$

де  $Y = [1 - 0.025(2a/W)^2 + 0.06(2a/W)^4] \sqrt{\sec(\pi a/W)}$  – поправочна функція,  $a$  – половина довжини тріщини,  $W$  – ширина зразка,  $\Delta \sigma$  – розмах напружень бруто в перерізі зразка.

Поверхні руйнування зразків на ділянках з різним КІН досліджували на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106И в режимі вторинних електронів. Для кількісного аналізу отриманих зображень використовували спеціалізоване програмне забезпечення KARPA ImageBase.

Фрактографічні дослідження показали, що крок втомних борозенок та мікрошвидкість росту тріщини змінюються зі збільшенням довжини тріщини та КІН. При коефіцієнті асиметрії циклу  $R = 0$  середнє значення кроку втомних борозенок при  $\Delta K = 10$  МПа $\sqrt{м}$  складає  $\delta = 0,37$  мкм (рис. 1, а). При цьому мікрошвидкість росту тріщини перевищує макрошвидкість на два порядки (рис. 2, а). При  $\Delta K = 14,3$  МПа $\sqrt{м}$  крок втомних борозенок зростає до  $\delta = 1,13$  мкм (рис. 1, б), а при подальшому збільшенні КІН до  $\Delta K = 36,7$  МПа $\sqrt{м}$  – зменшується до  $\delta = 0,84$  мкм. При  $\Delta K > 30,2$  МПа $\sqrt{м}$  макрошвидкість росту тріщини стає більшою за мікрошвидкість.

При коефіцієнті асиметрії циклу  $R = -1$  середнє значення кроку втомних борозенок при  $\Delta K = 8,7$  МПа $\sqrt{м}$  складає  $\delta = 0,8$  мкм (рис. 2, б). При  $\Delta K = 15$  МПа $\sqrt{м}$  крок втомних борозенок зростає до  $\delta = 1,67$  мкм (рис. 1, в), а при подальшому збільшенні КІН до  $\Delta K = 31,6$  МПа $\sqrt{м}$  – зменшується до  $\delta = 0,72$  мкм. Макрошвидкість росту тріщини стає більшою за мікрошвидкість при  $\Delta K > 26,7$  МПа $\sqrt{м}$ . При цьому в зламі з'являються ямки відриву розміром від 0,6 до 4 мкм (рис. 1, г), що свідчить про частково в'язкий механізм поширення тріщини [2]. Вони формуються за рахунок об'єднання мікропор, що зароджуються на жорстких карбідних чи сульфідних включеннях глобулярної форми.

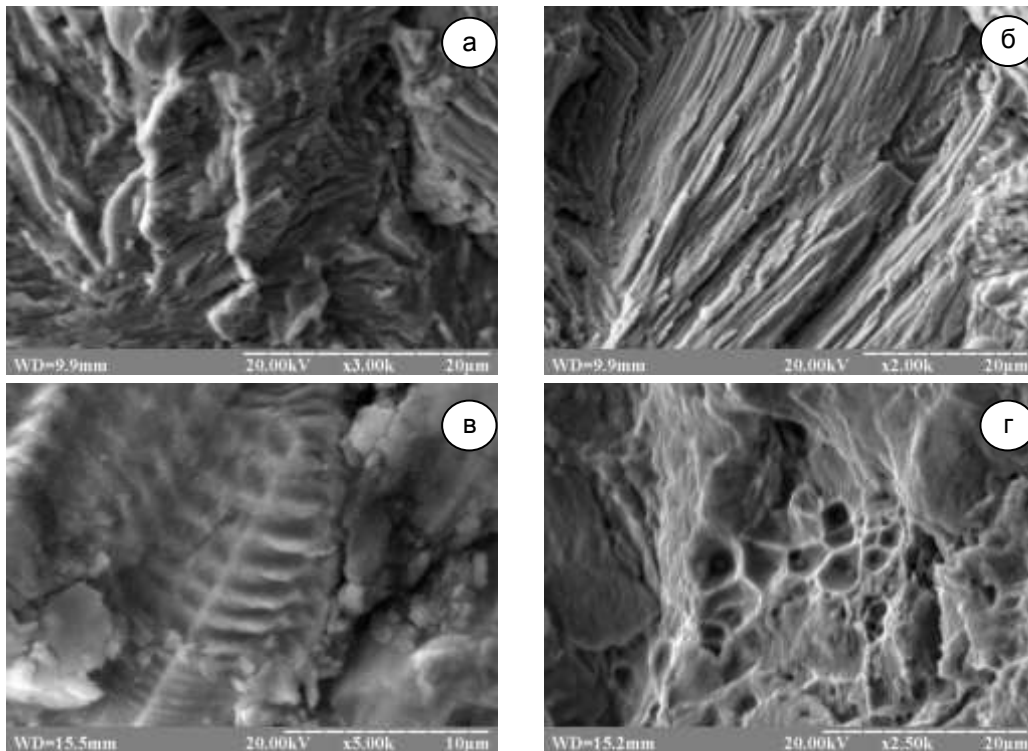


Рисунок 1. Поверхня втомного руйнування сталі ОСЛ при  $R = 0$  (а, б) та  $R = -1$  (в, г); напрям поширення макротріщини – знизу вгору.

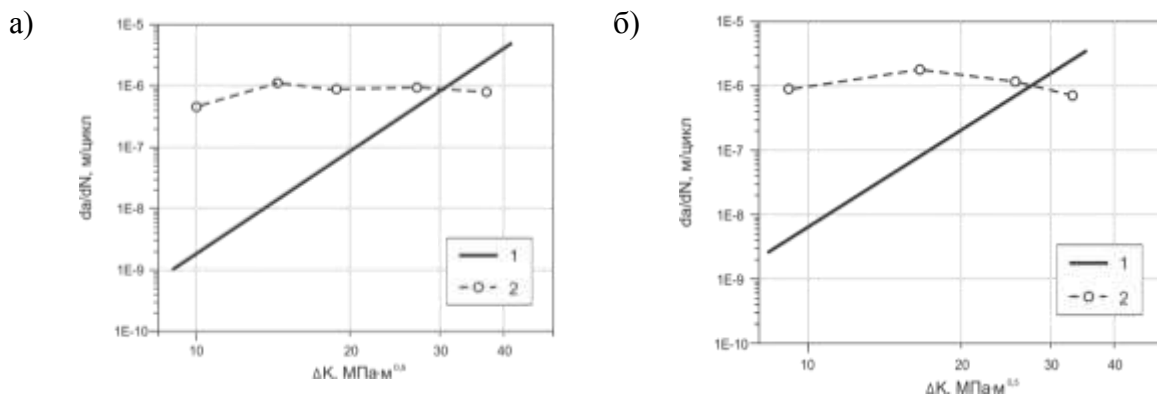


Рисунок 2. Макро- (1) та мікрошвидкості (2) росту тріщини в сталі ОСЛ при  $R = 0$  (а) та  $R = -1$  (б)

Порівняння результатів, одержаних за різного коефіцієнту асиметрії навантаження, показує, що мікрошвидкість росту втомної тріщини при  $R = -1$  для всієї середньоамплітудної ділянки ДВР є більшою, ніж мікрошвидкість при  $R = 0$ . Мікрошвидкості росту втомних тріщин зі збільшенням КІН в обох випадках змінюються подібним чином – спочатку зростають, а після  $\Delta K = 15 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$  зменшуються. На ділянці ДВР до  $\Delta K = 26,7 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$  мікрошвидкість росту тріщин є значно більшою за макрошвидкість, після цього значення макрошвидкості стає більшим за мікрошвидкість, в зламі з'являються ямки відриву, характерні для в'язкого руйнування.

#### Література:

1. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений [Текст]. В 2-х томах. Т. 1 / Под ред. Ю. Мураками; пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 448 с.
2. Иванова, В. С. Разрушение металлов / В. С. Иванова. – М.: Metallurgiya, 1979. – 168 с.

## ЗГИНАЛЬНІ ЗАЛІЗОБЕТОННІ ЕЛЕМЕНТИ, ПІДСИЛЕНІ ВУГЛЕПЛАСТИКАМИ ЗА ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

При реконструкції будівель та споруд досить часто залізобетонні конструкції потребують підсилення або відновленню після пошкоджень. Одним із ефективних методів підсилення є використання композитних матеріалів на основі вуглепластиків у вигляді стрічок та полотен. Досліджень такого підсилення, зокрема при дії повторних навантажень, проведено дуже мало.

Вплив малоциклових навантажень на роботу залізобетонних конструкцій вивчали Є.М. Бабич, Р.М. Багаутдінов, А.Я. Барашиков, О.Я. Берг, О.П. Борисюк, М.О. Валовой, В.С. Дорофеев, О.С. Залесов, Н.І. Ільчук, Ю.О. Крусь та ін. Здебільшого ці дослідження стосувались непідсилених конструкцій, і не досліджували роботу таких конструкцій після підсилення. В Україні питанням підсилення нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів композитними матеріалами за дії одноразових навантажень займалися В.Г. Кваша, І.В. Мельник, А.Я. Мурин, М.Д. Климпуш та ін. Проте їх дослідження не змогли охопити всю область застосування даного матеріалу та вивчити всі фактори, що на нього впливають.

З метою встановлення дійсного напружено-деформованого стану нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів, підсилених вуглепластиковими матеріалами в розтягнутій зоні, та удосконалення методики їх розрахунку за дії на них одноразових та малоциклових навантажень, в лабораторії кафедри інженерних конструкцій Національного університету водного господарства та природокористування виконані експериментальні дослідження [1, 2, 3].

В рамках даних досліджень виготовлено та випробувано 12 дослідних балок. Зразки армували таким чином, щоб запобігти виникненню похилих тріщин і забезпечити мінімальне армування нормальних перерізів. Після попереднього випробування дослідні зразки були підсилені за двома схемами (рис. 1).

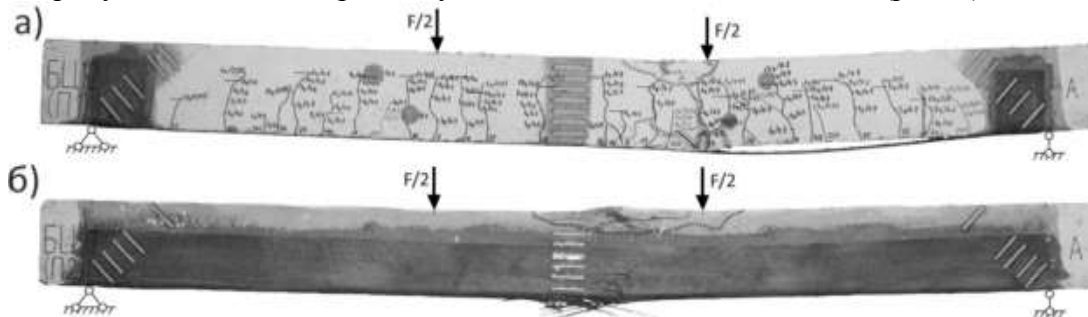


Рис. 1. Загальний вигляд підсилених балок після випробування малоцикловим навантаженням: а) – балка БЦ1-2(П1) підсилена стрічкою Sika CarboDur S-512; б) – балка БЦ1-1(П2) підсилена полотном Sika Wrap

Руйнування підсилених балок, що піддавались повторним навантаженням відбувалося так само, як і тих, що випробувані одноразовим навантаженням. Несуча здатність  $M_{ULS}^{exp}$  та граничне експлуатаційне навантаження  $M_{SLS}^{exp}$ , що зафіксовані в результаті їх випробування на дію малоциклового навантаження наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняння граничних навантажень підсилених балок випробуваних одноразовим та малоцикловим навантаженням

Назва балки	Площа поп. перерізу елементу підсилення	Відсоток армування приведеною арматурою	Експериментальний згинальний момент		Зміна граничних навантажень	
	$A_f, \text{см}^2$	$\mu_{red}, \%$	$M_{ULS}^{exp}, \text{кН}\times\text{м}$	$M_{SLS}^{exp}, \text{кН}\times\text{м}$	$\delta_{ULS}^{exp}, \%$	$\delta_{SLS}^{exp}, \%$
БО-2(П1)	0,6 (стрічка)	1,872	18,53	12,09		-
БЦ1-2(П1)			18,81	16,93	,5	40
БЦ2-2(П1)			18,81	16,12	,5	33,3
БЦ3-1(П1)			19,87	15,31	,2	26,6
П1			19,87	16,12		-
П1-Ц4			19,75	16,12	0,7	0,0
БО-1(П2)			3,0 (полотно)	1,537	15,63	14,07
БЦ1-1(П2)	16,16	14,35			,4	2
БЦ2-1(П2)	15,37	14,42			1,7	2,5
БЦ3-2(П2)	16,16	15,13			,4	7,5
П2	14,85	13,78				-
П2-Ц4	15,6	13,72			,1	-0,4

У порівнянні із підсиленими зразками випробуваними одноразовим навантаженням несуча здатність та граничне експлуатаційне навантаження підсилених балок, що зазнали циклових впливів, практично у всіх випадках зросли на 1,5 – 7,5 % (табл. 1). Виключенням є балки БЦ1-2(П1), БЦ2-2(П1) та БЦ3-1(П1), в яких момент  $M_{SLS}^{exp}$  зріс у порівнянні із балкою БО-2(П1) на 27 – 40 %. Це пояснюється тим, що на час підсилення балки БО-2(П1) ширина її залишкової тріщини складала 0,2 мм, коли в інших балках ці тріщини були шириною 0,08 – 0,12 мм. Це і призвело до швидкого її виходу із стану придатності до експлуатації. При цьому несуча здатність даної балка практично не відрізняється від всіх інших. Зменшення несучої здатності зафіксовано лише у двох зразках: П1-Ц4 на 0,7 %, та у БЦ2-1(П2) на 1,7 %, що є незначним. А також зниження граничного експлуатаційного навантаження в балці П2-Ц4 на 0,4 %.

**Висновки.** Малоциклові навантаження з верхнім рівнем 0,85 сприяють збільшенню несучої здатності згинальних залізобетонних елементів, підсилених в розтягнутій зоні у порівнянні з одноразовим навантаженням. В окремих дослідних зразках цей приріст досягав 7,5 %. Підсилення дослідних зразків дозволило повністю використати ресурс стиснутої зони бетону балок, про що свідчить їх одночасне руйнування по стиснутій та розтягнутій зонах перерізу.

1. Борисюк О.П. Методика випробовування підсилених згинальних залізобетонних елементів при малоциклових навантаженнях / О.П. Борисюк, О.П. Конончук // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). – Київ: ДП НДІБК, 2011. – Вип. 74. – Книга 2. – С. 709 – 717.

2. Борисюк О.П. Міцність, жорсткість та тріщиностійкість нормальних перерізів залізобетонних балок, підсилених композитними матеріалами / О.П. Борисюк, О.П. Конончук // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: НТУ, 2012. – Випуск 2 (32). – Т.2. – С. 3 – 10.

3. Конончук О.П. Результати експериментальних досліджень залізобетонних балок, підсилених композитними матеріалами // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2012. – Вип. 23. – С. 479 – 486.

## МІКРОСТРУКТУРА І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ ВИХІДНИХ НАНОПОРОШКІВ

З появою нових технологічних методів формування структури твердих сплавів на основі нанотехнологій та з використанням вихідних компонентів нанорозмірів їх потенційні можливості значно розширюються. Тверді сплави на основі TiC, легованого NbC і WC, із зв'язкою NiCr нанорозміру володіють високою зносостійкістю і твердістю. Метою даної роботи є дослідження мікроструктури і механічних властивостей твердих сплавів на основі карбіду з нано нікель-хромовою зв'язкою.

Для полікарбідної основи TiC-WC-NbC використано NiCr зв'язку у співвідношенні компонентів 3:1 з використанням порошку нікелю нанорозміру. Сплави для досліджень отримували стандартним методом порошкової металургії. Основна технологічна операція – ущільнення – проводилась методом спікання спресованих сумішей у вакуумі. Кількість цементуючої зв'язки змінювалась в межах від 10 до 24% за масою. Спікання сплавів проводили у вакуумній електропечі СНВ-1.3.1/20И1 при температурах 1000, 1100, 1200, 1300, 1350, 1400 °С, часі ізотермічної витримки при спіканні 0, 20, 40, 60 хв. і глибині вакууму  $10^{-5}$  мм.рт.ст.

Мікроструктура сплавів з дрібно- і нанодисперсним нікелем приведено на рис.1.



Рисунок 1 Мікроструктура сплавів TiC-WC-NbC-18NiCr: а) дрібнодисперсний Ni; б) нано Ni

На зразках сплавів, одержаних з використанням як дрібнозернистих, так і нанопорошків NiCr, проводили дослідження механічних характеристик в залежності від вмісту карбіду нікель-хромової зв'язки та температури спікання сплавів (рис.2.).

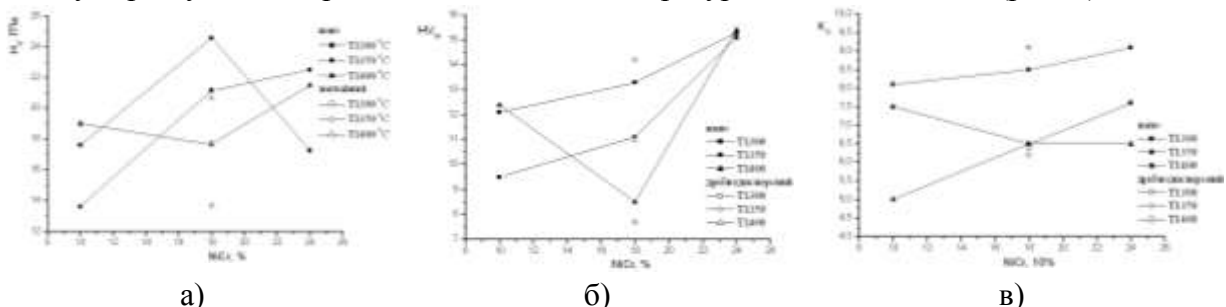


Рисунок 2 – Залежність механічних властивостей від вмісту Ni-Cr зв'язки

Введення нанодобавок нікелю в сплав на основі TiC-WC-NbC порівняно із дрібнозернистими добавками призводить до подрібнення структури, що супроводжується ростом характеристик твердості. Значення коефіцієнту тріщиностійкості сплавів із зв'язкою нанорозмірів на 10...15% вищі, порівняно із дрібнодисперсними, для яких  $K_{IC}$  знаходиться в межах  $6,2-6,5 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ .

## **ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ РОЗДІЛЕННЯ ПИЛО ГАЗОВОЇ СУМІШІ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Пиловловлювачі із зустрічними закрученими потоками на даний час є сучаснішими апаратами для сухого пиловловлювання і очистки повітря від мілко дисперсного пилу на підприємствах будівельної промисловості. Вони займають особливе місце в пиловловлюючій техніці і відрізняються від високоефективних циклонів меншим гідравлічним опором. Існуючі на сьогоднішній день установки для очистки повітря від пилу в галузі виробництва будівельних матеріалів не можуть забезпечити високу ефективність вловлювання.

При виготовленні цементу в технологічному процесі необхідно враховувати, що сировинний матеріал не буває завжди однаковим, та й фізико-технічні характеристики (такі як міцність, вологість і т. д.) у сировини різні. Тому для кожного виду сировини був розроблений свій спосіб виробництва. До того ж це допомагає забезпечити хороший однорідний помел і повне перемішування компонентів. У цементній промисловості використовують три способи виробництва, в основі яких лежать різні технологічні прийоми підготовки сировинного матеріалу: мокрий, сухий і комбінований. Ці три різні способи виробництва мають різні технологічні схеми і різне обладнання.

Одним із аспектів взаємодії підприємства і довкілля є оцінка впливу пилогазових викидів на довкілля в цілому. Якщо в імпакті зони впливу вплив пилогазових викидів позначається в основному на здоров'ї працівників підприємств, в зоні непрямого впливу пилогазові викиди промислових підприємств чинять комплексний вплив на довкілля, забруднюючи не тільки атмосферу, а й ґрунти, підземні та поверхневі води. Для покращення екологічної ситуації навколо підприємства і збереження виробничого потенціалу потрібно провести заміну існуючих на виробництві пиловловлювачів на сучасніші з вищим показником пиловловлювання.

Для оцінки доцільності створення комбінованого пиловловлювача і визначення основних показників його роботи – ефективності очистки і гідравлічного опору та впливу на них технологічних і конструктивних параметрів – пиловловлювач був випробуваний на експериментальному стенді.

З конструкції апарата, видно, що встановлення додаткових пристроїв для очистки запиленого повітря в вихрових пиловловлювачах оправдане, як для зменшення гідравлічного опору так і підвищення ефективності очистки, а визначення коефіцієнта опору для даного вихрового апарата дозволить встановити певну кратність  $k$  витрати повітря через апарата з жалюзійною решіткою, яка обертається і дозволить отримати більш повну картину аеродинамічної обстановки в ньому.

На основі проведених стандартних випробувань в лабораторних умовах і промислових випробувань на виробництві розроблені рекомендації по практичному використанню досліджених пиловловлювачів. Вони визначають найбільш раціональні області їх використання і служать основою для широкого застосування.

УДК 621.757

**М. Пилипець, д.т.н., проф., Б. Бригадир**

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

### **ЗМІЦНЕННЯ СПІРАЛЕЙ ШНЕКІВ**

Актуальність проблеми підвищення експлуатаційних властивостей гвинтових робочих органів, зокрема забезпечення точності, міцності, оптимальності геометрії профілю та ін. не викликає заперечень. Відомо, що її можна вирішувати як за рахунок застосування високоміцних матеріалів, так і технологічними засобами.

Розглянемо технологію виготовлення спіралей шнеків методом навивання на оправу з використанням імпульсного зміцнення зовнішньої кромки.

Технологічний процес навивання виконується так. Підготовлену вихідну заготовку, із зігнутих під кутом  $90^\circ$  кінцем закріплюють в пазу втулки і, попередньо притискаючи фіксують її осью силою, створеною механізмом затиску. Тоді вмикаються обертання оправы та ротаційної головки. Після того, як торець навитої спіралі вийде з області контакту з калібруючим роликком, відводиться затиск, забезпечуючи вихід втулки і навитої спіралі. Після сходження шпонкової втулки стійкість стрічки у зонах деформації забезпечується навитими витками, внаслідок чого продовжується безперервний процес навивання спіралі, яка далі поступає пристрій для імпульсного зміцнення зовнішньої кромки, закріплений на верстаті. Пристрою надають обертовий рух. Окрім обертового пристрій має ще поздовжній рух подачі  $S$  рівний кроку спіралі, що навивається.

Пристрій встановлюють (за рахунок радіальної подачі  $S_H$ ) з натягом  $h$  відносно оброблюваної поверхні, завдяки якому робоча частина витків контактує з оброблюваною поверхнею. Деформуючі елементи при цьому наносять численні удари, пластично деформуючи оброблювану поверхню. Крім удару деформуючі елементи під час контакту здійснюють вигладжування.

Технологічний процес навивання можна здійснювати як на спеціальному обладнанні, так і верстатах токарної групи.

Для підвищення продуктивності процесу навивання та зміцнення, особливо при обробленні важкодеформованих металів і стопів, доцільно використовувати нагрівання, яке знижує опір металу деформуванню, підвищує його пластичність і тим самим запобігає виникненню тріщин на контурах спіралі з деяких зміцнюваних металів. Підігрівання заготовок безпосередньо на верстаті під час навивання спіралі з таких матеріалів усуває проміжний відпал, підвищує продуктивність з одночасним покращенням якості.

Так зокрема, ефективним є індукційне нагрівання стрічки, при чому найсприятливіший безперервно-послідовний спосіб. В цьому випадку, коли нагрівається не зразу вся поверхня заготовки, а послідовно одна ділянка за іншою, стає можливим застосування локального нагрівання деформованого металу безпосередньо в зоні деформації. Спосіб дозволяє використовувати для технологічного процесу порівняно малопотужні генератори. При відповідному підборі потужності генератора і ширини індуктора, та забезпечивши необхідні температурні параметри, можна здійснити процес імпульсного зміцнення.

Поверхнєве пластичне деформування зазначеним вище способом підвищує твердість поверхневого шару та створює сприятливі напруження стиску. Втомлювана



міцність деталей зростає на 30...70 %, а зносостійкість – в 1,5...2 рази, а також можливе отримання поверхні з низькою шорсткістю ( $R_a = 0,16$  мкм).

Пристрій для імпульсного зміцнення спіралей шнеків не складний за конструкцією, деформуючі елементи виконані у вигляді витків сталюї пружини із дроту круглого січення звитої в коло. Він надійний в експлуатації, а спосіб відрізняється простотою в реалізації і забезпечує зміцнену структуру поверхневих шарів з підвищеною твердістю, стійкістю до спрацювання і опору втомним руйнуванням.

Вибираючи зусилля зміцнення, слід враховувати, що малий тиск не забезпечує повного зминання виступів мікронерівностей поверхні, а великий – призводить до перенапруження і руйнування поверхні, гофрування на спіралі та зниження терміну служби інструментів.

Зусилля навивання  $P$  можна визначити дослідним шляхом або ж за допомогою формули:

$$P = \left( \frac{dq}{0,54E} \right)^2 q, \quad (1)$$

де  $d$  – діаметр дроту деформуючого елемента, мм;  $q$  – найбільше значення питомого тиску, Н/мм<sup>2</sup>;  $E$  – модуль пружності оброблюваного матеріалу, Н/мм<sup>2</sup>.

Найбільше значення питомого тиску визначається за формулою:

$$q = \lambda \sigma_T, \quad (2)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт,  $\lambda = 1,8...2,1$ .

Поздовжня подача інструменту впливає на шорсткість поверхні, твердість і продуктивність процесу. При роботі подача досягає не менше 0,1...0,3 мм/об. Таким чином, дійсне значення подачі пристрою визначатиметься спільним околom перекриття даних інтервалів.

У відповідності з отриманим значенням  $P$ , проводять розрахунок конструктивних елементів пристроїв (обойми, деформівних інструментів, корпусу тощо).

Завдяки неперервному навиванню та сумісній ударній і вигладжувальній дії деформуючих елементів запропонована технологія забезпечує технологічні можливості процесу формоутворення спіралі та поверхневої пластичної деформації зовнішньої крайки. Підвищує параметр шорсткості оброблюваної поверхні, збільшує її твердість на значну глибину.

Дослідження даної технології проводилося в процесі навивання та зміцнення шнека діаметром  $D=100$  мм з кроком  $T=100$  мм, на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16К20 із швидкістю обертання шнека  $V_d=1,8$  м/с. Інструмент при цьому обертається із швидкістю  $V_i=32$  м/с і переміщується вздовж витків шнека з подачею  $S_T$  рівною кроку витків.

Запропонована технологія виготовлення спіралей дозволяє отримати профілі, зміцнені за зовнішнім контуром в результаті пластичного деформування поверхневого шару. Підвищується параметр шорсткості у 6 – 8 разів (від  $R_a$  0,8...3,2 мкм до  $R_a$  0,1...0,4 мкм). Залишкові напруження стискування досягають на поверхні деталі 500 - 750 МПа. Глибина наклепаного шару досягає 1,5 мм з твердістю HRC 45 – 50. Спіралі можна отримати з малим радіусом кривизни та довести коефіцієнт використання матеріалу до 80...90 %, за одночасного підвищення продуктивності праці на 40 % та довговічності виробів на 20 %.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ РОЗТОЧУВАННІ ГВИНТОВИХ ГОФРОВАНИХ ЗАГОТОВОК

Для дослідження шорсткості поверхні внутрішнього діаметра гвинтових гофрованих заготовок (ГГЗ) при розточуванні проведено серію експериментів. Досліджування проводились на токарно-гвинторізному верстаті 16К20. Шорсткість обробленої поверхні визначали за допомогою зразків шорсткості і профілографо-профілометра.

Шорсткість поверхні внутрішнього діаметра ГГЗ при розточуванні залежить від великої кількості технологічних факторів. До цих факторів належать методи і режими обробки: умови охолодження та мащення інструмента, хімічний склад і мікроструктура оброблюваного матеріалу, конструкція, геометрія та стійкість різального інструмента, тип і стан устаткування та технологічного оснащення, жорсткість та динамічні характеристики елементів технологічної системи. Як бачимо, залежність шорсткості поверхні ГГЗ від згаданих вище факторів носить складний і суперечливий характер. Тому для її дослідження передбачається використання експериментальних методів дослідження, оскільки теоретичні методи дуже трудомісткі, і не можуть з достатньою точністю описати процес формування шорсткості при розточуванні внутрішнього діаметра ГГЗ.

Оскільки на шорсткість поверхні впливає велика кількість факторів і вивчення її формування потребує значної кількості часу і матеріалів, дослідження проводили з метою вивчити вплив лише технологічних факторів, залишивши постійними геометричні фактори та матеріал заготовки.

Розточування проводили для ГГЗ виготовлених із Сталі 08кп прохідним різцем із такими параметрами: передній кут  $\gamma = -10^\circ$ , задній кут  $\alpha = 10^\circ$ , радіус заокруглення при вершині різця  $\rho = 0,5$  мм. Матеріал ріжучої частини різця Т15К6.

Експеримент планували на основі багатофакторного аналізу, тобто одночасно варіюванням усіх змінних факторів,  $x_1(S)$ ,  $x_2(t)$ ,  $x_3(V)$ ,  $x_4(s)$ . Щоб знайти залежність  $Ra = f(S, t, V, s)$  використовували повний факторний експеримент типу  $2^k$ , де  $k$  – кількість змінних незалежних факторів ( $k=4$ ), що потребує реалізації 16 основних дослідів. Враховуючи те, що дисперсії в кожній точці факторного простору однорідні, було вирішено скористатись схемою реалізації експерименту з дублюванням в одній точці (у центрі плану) чотири рази.

Шукана математична модель досліджуваного процесу набере вигляду:

$$\ln Ra = 1,73 + 0,071x_1 - 0,081x_2 + 0,034x_3 - 0,177x_4. \quad (1)$$

При переході від кодованих факторів до натуральних, рівняння (1) запишемо наступним чином:

$$\ln Ra = 4,27 + 0,2 \ln S - 0,42 \ln V + 0,098 \ln t - 0,71 \ln s, \quad (2)$$

де  $S$  – подача, мм/об;  $t$  – глибина різання, мм;  $V$  – швидкість різання, м/хв.;  $s$  – товщина листового матеріалу ГГЗ, мм.

Отже, кінцева формула для визначення шорсткості поверхні в процесі розточування ГГЗ має вигляд:

$$Ra = \frac{71,52 \cdot S^{0,21} \cdot t^{0,098}}{V^{0,42} \cdot s^{0,71}}. \quad (3)$$

Слід зауважити, що дана емпірична залежність адекватно відображає процес на проміжках змінних параметрів:  $0,1 < S < 0,2$  мм/об,  $0,5 < t < 1$  мм,  $200 < V < 300$  м/хв.,  $0,6 < s < 1$  мм.

## КОНТРОЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЗАМІРУ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКІВ

Спроековано конструкцію пристрою для заміру конструктивних параметрів шнеків, який виконано у вигляді нижньої горизонтальної плити 1, перпендикулярно до якої посередині її довжини жорстко закріплено вертикальну стійку 2 з наскрізним квадратним отвором 3, сторона якого є більшою за зовнішній діаметр шнека 4. Внизу наскрізного квадратного отвору паралельно до плити 1 жорстко закріплено нижню опору шнека 5 з радіальним заокругленням, що дорівнює радіусу найменшого шнека, параметри якого необхідно вимірювати. Нижню опору 5 лівим кінцем жорстко закріплено до вертикальної стійки 2, а правим - до вертикальної направляючої 6.

Зверху над квадратним наскрізним отвором 3 вертикальної стійки 2, напроти нижньої опори шнека 5 виконано верхню опору шнека 7 аналогічної форми. Правим кінцем верхню опору шнека 7 жорстко з'єднано з вертикальною направляючою 6, а лівим – з Г-подібним кронштейном 8, який може вільно рухатись в Т-подібному пазу 9 вертикальної стійки 2. Верхню шнекову опору 7 з двох кінців жорстко зафіксовано стопорними елементами 10 і 11 відповідно до вертикальної стійки 2 і вертикальної направляючої 6 з можливістю осевого переміщення.

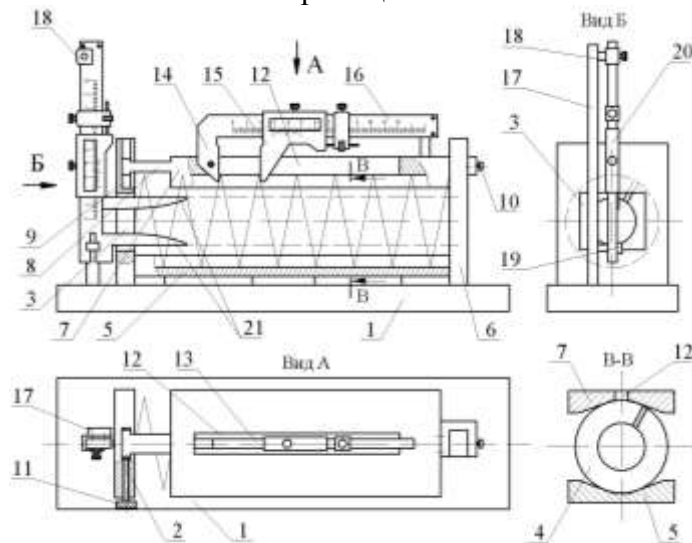


Рис. 1. Контрольний пристрій для заміру параметрів шнеків

У верхній шнековій опорі 7 посередині її довжини виконано наскрізний паз, 12 в який встановлено штангенциркуль 13, ліву губку 14 якого жорстко закріплено до лівого кінця наскрізного паза 12. Праву губку 15 встановлено на штанзі 16 з можливістю осевого переміщення. На штанзі 16 нанесено ноніусну шкалу, а на правому її кінці встановлено фіксуючу рамку 17 з гвинтом 18.

До Г-подібного кронштейна 8 жорстко закріплено стрілку 19 поряд з Т-подібним пазом (на кресленні не показано). З лівої сторони вертикальної стійки 2 з двох сторін від квадратного наскрізного отвору 3 встановлено дві вертикальні направляючі 21, на які встановлено кронштейни 22 для жорсткої фіксації штангенциркуля 23 з губками 24 для заміру внутрішнього діаметра шнека 4. Штангенциркуль 23 встановлено горизонтально, а довжина губок 24 є більшою двох кроків шнека 4.

## ТЕРТЯ ПРИ РІЗАННІ МЕТАЛІВ. МАСШТАБНИЙ ЧИННИК

В загальній теорії систем окремо виділено поняття трибологічної системи, в тому числі і при різанні металів. Значна частина триботехнічних задач в даний час вирішується малоєфективним, емпіричним шляхом, що призводить до великих матеріальних та енергетичних витрат, не враховуються параметри трибологічної надійності та довговічності машин, механізмів ріжучих інструментів ще на етапі конструювання. Серед інших причин - це і відсутність комплексної методики дослідження, яка б включала в себе кінетичні критерії оцінки процесів в зоні фрикційного контакту при різанні металів, універсальні машини тертя, параметричні моделі дослідження. Сучасний розвиток термодинаміки незворотних процесів, фізики твердого тіла, матеріалознавства, синергетики, експериментальних методик дозволив одержати обширні дані про механізми трансформації та руйнування поверхневих шарів, створити банк триботехнічних даних, побудувати відповідні фізичні, параметричні моделі процесів тертя при різанні, виявити загальні закономірності процесу тертя та зношування, дати конкретні практичні рекомендації.

Важливу роль відіграє при цьому геометрія контактуючих поверхонь тертя (масштабний фактор), яка визначає значення коефіцієнту взаємного перекриття ( $K_{ВП}$ ). Величина  $K_{ВП}$  суттєво змінює швидкість процесів тертя та зношування при переході від точкового до лінійного контакту і нарешті до контакту по площині. В умовах тертя при різанні металів це призводить до зміни співвідношення швидкостей процесів утворення, трансформації та руйнування захисних вторинних структур (ВС).

Передня поверхня різця взаємодіє з прирізцевою поверхнею стружки, а задня поверхня - з відтворюваною поверхнею різання. На обидві поверхні діють перемінні тиски, постійно змінюються площа контакту, шорсткість поверхні, умови тепловідводу, наростоутворення та мікровикришування, контактна температура, що призводить до різних інтенсивностей зношування робочих поверхонь різця.

В конкретних випадках, коли необхідно перенести результати лабораторних досліджень на реальні вузли тертя використовують елементи теорії моделювання із врахуванням теплової динаміки процесу тертя та зношування при різанні металів. Це зреалізовано в запропонованій методиці дослідження і підтверджено одержаними результатами. Аналізуючи вхідні параметри та умови різання (важконавантажені пари тертя) попередні експериментальні дослідження та дослідження інших авторів, вибрана наступна схема контакту пари тертя (рис. 1): пальчиковий зразок 1 - плоска торцева поверхня диска 2 (контртіло). Положення зразка суттєво впливає на умови мащення та охолодження (характер змащуючо-охолоджуючих рідин (ЗОР) в робочу зону тертя), що в свою чергу формує Дослідження по даній методиці проводились на спеціально виготовленому трибометрі, з можливістю фіксації основних триботехнічних параметрів: сила тертя, коефіцієнт тертя  $\mu$ , інтенсивність зношування  $I$ , температура  $^{\circ}\text{C}$  в широкому діапазоні зміни силових параметрів навантаження по заданому закону. Крім цього запропоновано електричні критерії оцінки структурної пристосовуваності матеріалів при терті різанням (контактний електроопір пари тертя  $KEO (R)$ ,  $\Delta R$ ,  $\Delta R/\Delta R_{вих}$ ), які дозволили значно скоротити цикл досліджень, об'єктивно ідентифікувати основні триботехнічні параметри із відповідним структурним станом поверхонь тертя, чітко фіксувати критичні точки взаємопереходу процесів: припрацювання - нормальне тертя та зношування - пошкоджуваність (об'ємна деструкція).

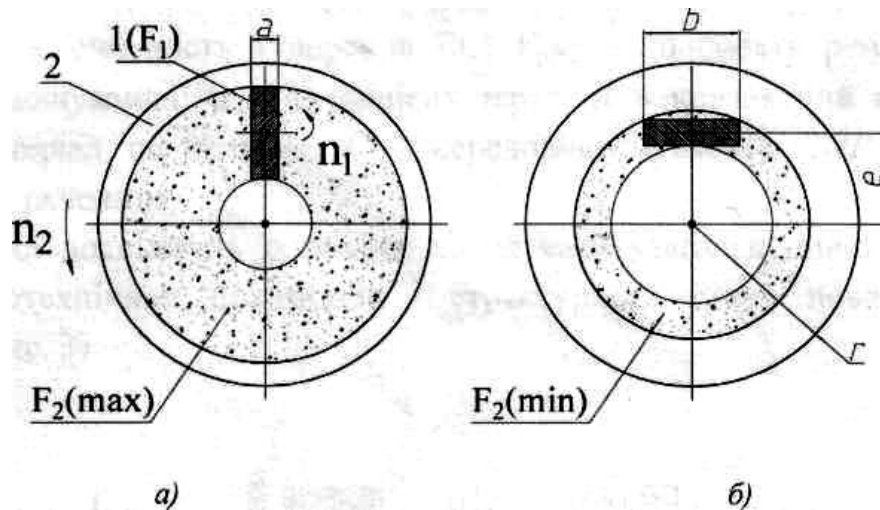


Рис 1. Схема контакту пари тертя та зміни Квп:

а) Квп - min, б) Квп - max.,  $n_1$  - частота обертання зразка 1 (різець);  $n_2$  - частота обертання контртіла 2 (оброблювана деталь); а, b - розміри зразка 1; e - ексцентриситет; г - радіус контртіла 2.

Параметрична модель дослідження процесів тертя при різанні металів зображено на рис. 2

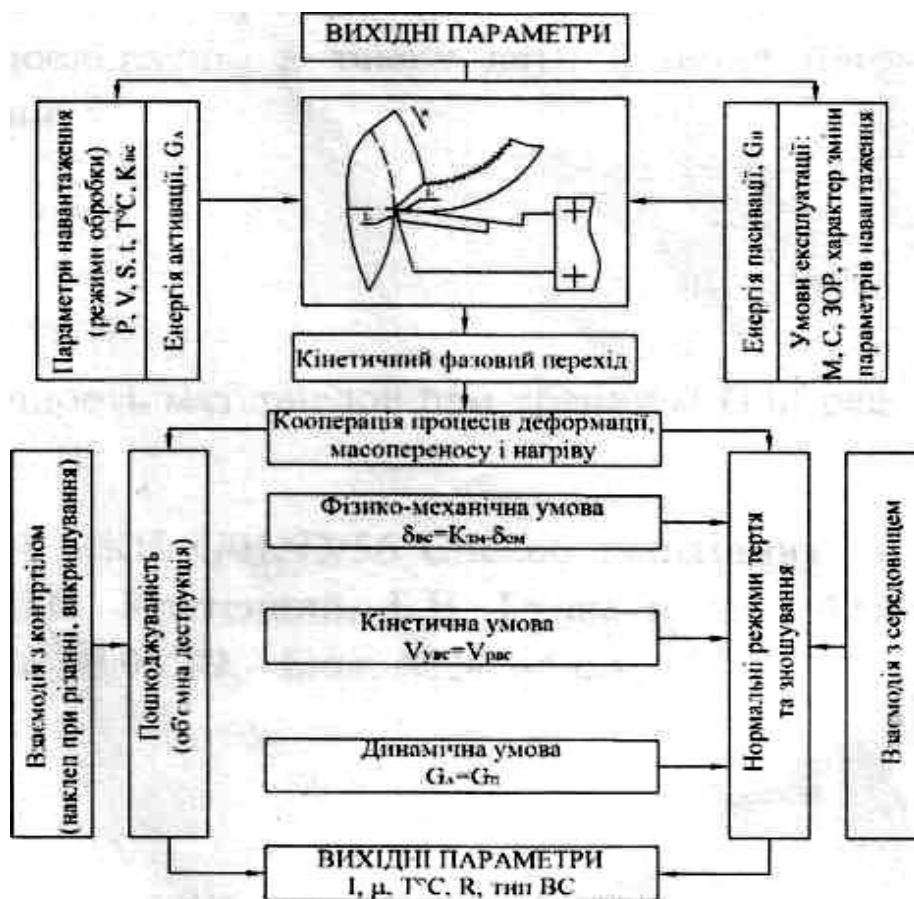


Рис 2. Параметрична модель дослідження процесів тертя та зношення при різанні металів.

## **ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІЗМУ МІЖКРИСТАЛІЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ЗАГОТОВОК В ПРОЦЕСАХ ЇХ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ**

В теорії формоутворення заготовок деталей машин пластичним деформуванням одним із важливих механізмів вважають міжкристалічну (міжзеренну) деформацію, поряд із тим, деякі науковці в якості основних механізмів деформування розглядають процеси внутрішньокристалічної деформації на різних етапах пластичного деформування. Дослідження доводять, що міжкристалічна деформація має важливе значення, особливо при визначенні розподілу напружень для поверхонь деформування тонкостінних гвинтових заготовок за певних умов (температури, швидкості тощо) і, головним чином, внаслідок того, що міжзеренна речовина рекомендованих матеріалів і сплавів для цих заготовок має міцність значно нижчу, ніж міцність кристалу.

Одним із видів механізму міжкристалічної деформації є такий, при якому порушені зв'язки між зернами не відновлюються, і це призводить до неоднорідності деформованого металу. Як наслідок, спостерігається часткове відновлення зв'язків "схоплюванням". При цьому, чим інтенсивніше відбувається відновлення порушених зв'язків, тим вищою є пластичність процесу. Відновлення порушених зв'язків може відбуватися за рахунок: утворення міцніших зв'язків між двома вільними поверхнями по-різному орієнтованих кристалічних решіток за температур, значно нижчих від температури рекристалізації металу, решітки якого взаємодіють; рекристалізація за певних температурних градієнтів; хімічні взаємодії для полікристалів, які складаються із зерен різних фаз. Останній називають розчинноосаджувальним механізмом.

За наявності достатньо високої та мінливої зі зміною температури розчинності елементів суміші зерен двох різних фаз, завдяки локальному підвищенню температури в процесі деформації, відбувається взаємне розчинення елементів суміші й зворотне виділення їх з розчинів при охолодженні. У результаті такої взаємодії елементів суміші відбувається "заліковування" субмікроскопічних вогнищ руйнування, викликаних переміщенням зерен двох різних фаз відносно одне одного. Таким чином, при повному або навіть частковому "заліковуванні" міжзеренні переміщення можуть суттєво впливати на формозміну заготовки. У зернах полікристалів із неоднаково орієнтованими площинами ковзання спостерігаються різні значення пружної деформації, яка є початком пластичної деформації окремих зерен; при знятті навантаження виникають залишкові напруження між окремими зернами полікристалу.

У зернах зі сприятливим орієнтуванням площин ковзання, які називають "слабкими", складова пружної деформації є меншою, ніж в "сильних" зернах із несприятливим орієнтуванням площин ковзання. Здавалось би, при розвантаженні "сильні" зерна повинні змінюватися за розмірами інтенсивніше, ніж "слабкі", проте, внаслідок їх взаємозв'язку деформації тих і інших є однаковими. Змінюються лише напруження, що діють в "сильних" зернах і є додатними, а напруження в "слабких" отримують від'ємні значення порівняно з напруженнями при навантаженні. У результаті виникнення залишкових напружень між окремими зернами полікристалу та неодноразовості включення зерен у пластичну деформацію виникають: порушення лінійної залежності деформацій від напружень при навантаженні, вищому за межу пропорційності; пружна післядія; релаксація напружень; пружний гістерезис тощо.

## **ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ**

На підприємствах технічного сервісу значна частка виконуваних робіт припадає на відновлення корпусів, деталей, вузлів наступними методами пластичного деформування: правкою, осаджуванням, розтисканням, обтисканням, вдавлуванням, витягуванням, накатуванням.

Правку доцільно застосовувати при викривленні форми деталей, наприклад при згині або скручуванні валів, осей, шатунів, рам; вм'ятинах і перекосах тонкостінних деталей. Залежно від ступеня деформації й розмірів деталі правку здійснюють з нагріванням або без. Після правки без нагрівання в сталевих деталях залишаються значні внутрішні напруження. У результаті цього після виправлення вони поступово приймають початкову форму. Для зняття внутрішніх напружень після холодної правки деталей необхідно стабілізувати, тобто витримати при температурі 400-450 °С близько 1 години або при температурі 250-300°С протягом декількох годин.

Великі й сильно деформовані деталі правлять у нагрітому стані до 600-900°С, оскільки холодна правка не завжди дає стійкий результат, в результаті наклепу можуть виникати внутрішні напруження, які накладаються на залишкові. Наприклад, для правки металоконструкцій нагрівають деформовані елементи за допомогою газових горілок і паяльних ламп до 900°С у місцях найбільших вигинів з випуклої сторони. Виниклі при нагріванні напруження розтягу викликають випрямлення деталі.

Осаджування застосовується для збільшення зовнішнього діаметра суцільних деталей або для зменшення внутрішнього діаметра порожніх. При осаджуванні діаметр деталі збільшується за рахунок зменшення її довжини. Цим способом відновлюють різні втулки у випадку зношування по зовнішньому або внутрішньому діаметру, цапфи валів, осі, клапани двигунів внутрішнього згоряння, зубчасті колеса й інші деталі, що мають поверхнєве зношування не більш 1% їх діаметра. Осаджуванням збільшують діаметр деталей типу пальців і втулок із кольорових металів за рахунок деякого зменшення їх довжини. Цим способом можна зменшити довжину деталей до 15%, однак відповідальні деталі не слід зменшувати більш, ніж на 8%.

Обтискання проводять за необхідності зменшити внутрішній діаметр порожніх деталей за рахунок зміни зовнішнього діаметра. Цим способом відновлюють втулки з кольорових металів, провусини різних важелів при зношуванні гладких або шліцьових отворів, корпуси гідронасосів тощо. При обтисканні зношену втулку проштовхують за допомогою пуансона через отвір матриці, розмір якої, регульований вкладишем, дорівнює зовнішньому діаметру обтисненої втулки. Після обтискання зовнішній діаметр збільшують, наприклад, за допомогою електролітичного нарощування шару металу, а внутрішній - розгортають до необхідного розміру. Обтисканням зменшують внутрішні розміри деталей типу втулок, виготовлених із кольорових металів. Втулку проштовхують пуансоном через установлену в підставці матрицю. Вхідний отвір матриці звужується під кутом 7-8<sup>0</sup>, далі - калібрувальна частина, яка закінчується вхідним отвором із розширеним кутом 18...20<sup>0</sup>. Після обтискання зовнішню поверхню втулок обміднують і проточують, а внутрішню - розгортають.

Витягування застосовується для збільшення довжини деталі за рахунок локального звуження її поперечного перерізу. Цей метод доцільно використовувати при ремонті тяг, штанг тощо.

Розтискання використовується для збільшення зовнішнього діаметра за рахунок збільшення внутрішнього діаметра порожніх деталей. Цим способом відновлюють бронзові втулки шестеренчастих насосів гідросистем, труби рульової колонки тощо. Розтискання слід проводити в холодному стані, загартовані деталі попередньо піддають відпуску або відпалу. Найчастіше цей спосіб застосовують для відновлення поршневих пальців двигунів внутрішнього згорання. Зношений палець установлюють у спеціальну матрицю й розтискають за допомогою пуансона на пресі.

Вдавлюванням відновлюють тарілки клапанів, шліци, шестерні при зношуванні по профілю зуба тощо за допомогою роликів, які виготовляють зі спеціальних твердих сплавів або інструментальної сталі та піддають термообробленню. Ролики виконують дві різні функції: одні, вдавлюючись, перерозподіляють метал, а інші - формують профіль і розміри шлиців. Установка має дві або три подібні головки, тобто одночасно обробляються два або три шліци під кутами відповідно 180 і 120°. Завдяки такій конструкції вал розвантажується від згинаючих сил. Перед головками доцільно закріплювати індуктори високочастотної установки для розігріву шлиців, позаду роликів - пристрій для їх охолодження.

Накатуванням збільшують розміри термічно не оброблених циліндричних поверхонь, на які встановлюють деталі за допомогою нерухомих посадок. Такі деталі, закріплені в центрах токарного верстату, обкатують роликом із хромонікелевої сталі, на поверхні якого виконано насічку.

При накатуванні діаметр поверхні збільшується за рахунок піднімання гребінців металу. Отриману поверхню шліфують або накатують гладким роликом до одержання необхідного розміру. Накатування може бути застосоване для відновлення вкладишів, залитих свинцевою бронзою, а також для відновлення зношених поверхонь під нерухомою посадку кілець роликів і кулькових підшипників. Накатуванням можна збільшити діаметр деталі на 0,3-0,4 мм на сторону.

Накатування доцільно застосовувати для збереження працездатності лише тих деталей, які працюють в нескладних умовах, оскільки зносостійкість з'єднань, відремонтованих таким чином, значно нижче зносостійкості нового з'єднання.

Зношені шліци вала розширяють накаткою роликом. Зношені конусні отвори кермових важелів можна осадити в пристосуванні. Особливим штампом витягають зношені шестірні. Втулки з кольорових металів зі зношеною внутрішньою або зовнішньою поверхнею обтискають у холодному стані. Отвори сепараторів конічних роликів підшипників зношуються й витягаються, осадити їх нескладно наступним чином. Підшипник без зовнішньої обойми встановлюють внутрішньою обоймою на палець. Замість зовнішньої обойми ставлять пуансон, на внутрішній поверхні якого є стільки конічних заглиблень, скільки роликів у підшипнику. Приклавши необхідне зусилля ручного або механічного пресу, можливо довести відновлювальні поверхні до початкових розмірів.

Рифленням відновлюють зношені шийки під підшипники кочення. Розмір шийки можна збільшити на 0,4 мм, але площа контакту при цьому значно зменшується й довговічність з'єднання буде невисокою.

Сучасні технологічні методи відновлення деталей пластичним деформуванням є відносно простими, але потребують спеціальних пристосувань з огляду на те, що при ремонті обробляють не заготовку, а зношену деталь, при цьому метал переміщується на зношені поверхні, що передбачає наявність запасу металу. Оскільки деталі автомобілів виготовляються з мінімально можливою масою, то вибір методу відновлення повинен бути не лише технологічно обґрунтованим і доцільним, а й економічно оправданим.



УДК 625.503.56

О. Данилюк, к.т.н., доц, І. Данилюк

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

## МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІКИ РУХУ ПОТОКІВ В МАСООБМІННО-СЕПАРАЦІЙНИХ КОНТАКТНИХ СЕКЦІЯХ

Застосування в апаратах колонного типу контактних масообмінно-сепараційних секцій з прямокутно-відцентровими елементами дозволяє забезпечити розвинену поверхню контакту фаз, досягнути високого значення відносної швидкості газового потоку при порівняно низькому значенні гідравлічного опору.

Проте, інформація по дослідженню і конструюванню колон з вихровими контактними ступенями недостатньо освітлена в сучасній літературі, а це не дозволяє підійти до науково обґрунтованого методу їх розрахунку та вибору оптимального варіанту конструктивного оформлення протитічно-відцентрового елемента контактної секції.

На підставі літературного огляду і аналізу конструкцій вихрових контактних ступенів і апаратів з вихровими потоками виявлені недоліки існуючих конструкцій, визначені напрями оптимізації і обґрунтована можливість застосування прямокутно-відцентрових контактних елементів з метою підвищення ефективності і продуктивності та зменшення габаритних розмірів колонної апаратури.

Комп'ютерне моделювання вихрового газового потоку в межах контактної секції колонного апарату з метою одержання основних конструктивних характеристик прямокутно-відцентрового елемента є актуальною задачею, вирішення якої дозволить визначити оптимальну конструкцію масообмінно-сепараційних контактних секцій при проектуванні колонної апаратури з використанням закручених потоків.

Результати комп'ютерного моделювання гідродинаміки потоків в прямокутно-відцентровому елементі дозволяють зробити висновок про необхідну кількість елементів для завихрення, розташування отворів для підведення рідини, геометричних розмірів плівкоз'ємника та конструктивного оформлення вузла відведення рідини. В подальшому стає можливим визначення мінімально необхідної висоти прямокутно-відцентрового елемента для мінімізації бризковиносу з меж контактної масообмінно-сепараційної секції з перспективою зменшення відстані між контактними ступенями.

На базі одержаних результатів запропоновано нову організацію руху потоків суцільної і дисперсної фаз в межах контактної масообмінно-сепараційної секції з вдосконаленою конструкцією прямокутно-відцентрового елемента.

### Перелік посилань

1. Мухлеонв И.П. и др. Основы химической технологии. Учебное пособие для нехимических специальностей вузов. Изд. 2-е, перераб. И доп. М, «Высшая школа», 1975.

## **ВИЗНАЧЕННЯ МАСИ І ПЛОЩІ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ В СЕРЕДОВИЩІ AUTOCAD**

В практичній діяльності інженера дуже часто виникає задача визначення маси деталі ще на стадії проектування, до виготовлення виробу. Ця інформація необхідна, наприклад, для вибору способу одержання заготовки, розроблення технологічного процесу механічного оброблення, проектування засобів технологічного оснащення тощо.

Традиційно для визначення маси деталі на основі даних двовимірного креслення спочатку визначають її об'єм. Складну деталь розбивають на елементарні фігури (циліндри, конуси, кільця, призми тощо) і визначають об'єми цих елементарних фігур за довідковими таблицями. Сума елементарних об'ємів дає об'єм деталі, а добуток об'єму і густини матеріалу – масу деталі. При високій складності деталі такі розрахунки займають тривалий час і не завжди забезпечують потрібну точність, що негативно впливає на тривалість і якість технологічної підготовки виробництва.

Точніше і швидше цю задачу можна розв'язати, використовуючи комп'ютерні системи тривимірного моделювання (AutoCAD, SolidWorks, Компас-3D та ін.). Зокрема, система AutoCAD дає можливість визначити масу тривимірних твердотільної моделі деталі. За допомогою команди `_MASSPROP` можна одержати різні геометричні характеристики тіла – масу, об'єм, центр мас та інші. Ця команда відображає масові характеристики в текстовому вікні. При необхідності їх можна записати в текстовий файл. Характеристики, які відображаються командою `_MASSPROP`, залежать від того, чи є вибрані об'єкти тілами або областями і чи компланарні вибрані області площини XY до поточної системи координат. При виборі декількох областей приймаються лише області, компланарні до першої з вибраних.

У вікні відображення властивостей звертає на себе увагу така особливість, як наявність параметрів об'єму та маси, які дорівнюють один одному. Виходить, що тіло має деяку одиничну густину, але її значення редагувати не можна. Тому, щоби визначити масу тіла, потрібно його об'єм в  $\text{мм}^3$  помножити на густину в  $\text{г/см}^3$  і розділити на 106, що вимагає додаткових обчислень і викликає деякі незручності.

Як відомо, функціонал AutoCAD можна значно розширити за рахунок програм сторонніх розробників, зокрема ARX-плагінів. Для визначення маси тіла існує ARX-плагін GeomProps (<http://www.maestrogroupp.com.ua/support/>), який дозволяє знімати з виділених в AutoCAD об'єктів властивості довжини, площі поверхні і об'єму. Великою перевагою цього плагіна є можливість вводити в розрахунки лінійний масштабний коефіцієнт, завдяки чому можна одержати результат у необхідних одиницях.

Поряд з визначенням маси, дуже часто виникає задача обчислення площі поверхні деталі, наприклад, для визначення площі контакту чи для розрахунку витрат покриттів. Вбудовані можливості AutoCAD не дозволяють визначити площу поверхонь для 3D Solid, але це теж можна зробити за допомогою плагіна GeomProps. Також цей плагін дозволяє визначати сумарну довжину ліній різного типу.

Широкі можливості цього додатка, простота використання та достовірність отриманих результатів дозволяють використовувати його не лише в машинобудівній галузі, але і в геодезії чи будівництві.

## **ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА, ОСНАЩЕНИХ ГВИНТОВИМИ ПРИСТРОЯМИ**

Подолання кризового стану в економіці країни, перехід на ринкові відносини вимагають значного розширення номенклатури машин, підвищення їх ефективності і надійності за рахунок використання досягнень науково-технічного прогресу. Вирішення цих проблем вимагає глибокого вивчення технологічних процесів оброблення, перероблення, транспортування тощо. Як відомо, технологічні процеси сільськогосподарського виробництва характеризуються значною трудомісткістю, і, як наслідок, низькою ефективністю, що пояснюється, зокрема, значною часткою ручної праці. Тому задача розроблення і впровадження високоефективних засобів механізації на всіх етапах оброблення, збирання і перероблення сільськогосподарських культур завжди була і залишається актуальною.

Особливого змісту ця задача набула в наш час, коли спостерігається реорганізація всіх сфер господарської діяльності, зміна форм власності, спад виробництва, руйнування старих виробничих зв'язків та інші явища, які вимагають принципово нових підходів до створення і використання сільськогосподарської техніки.

Окремо постає питання розроблення засобів механізації сільськогосподарських робіт для умов невеликих приватних селянських господарств. Порівняно невеликі кошти, які є в розпорядженні власників землі, обмежені площі земельних угідь і господарських приміщень, значно ускладнюють, а іноді роблять неможливим застосування сільськогосподарської техніки, яка використовувалась в колективних господарствах. У зв'язку з цим виникає необхідність розроблення дешевих, економічних, малогабаритних, універсальних, але, разом з тим, високопродуктивних і надійних засобів механізації сільськогосподарського виробництва.

Значний інтерес в цьому плані становить оброблення, перероблення, транспортування різного роду матеріалів (продуктів, сировини тощо), отримання багатокомпонентних продуктів та напівфабрикатів з допомогою механізмів, оснащених гвинтовими пристроями. При розробленні нових засобів механізації, в яких можна застосувати шнекові механізми, необхідне ретельне попереднє вивчення існуючих технологічних процесів та обладнання для їх реалізації. Сучасний стан всіх галузей економіки вимагає суттєвого покращення усіх параметрів машин та механізмів, що визначає такі основні напрямки розвитку засобів механізації сільськогосподарського виробництва, зокрема механізмів з гвинтовими пристроями:

- розроблення модульних машин з використанням гвинтових конструкцій і створення багатофункціональних гвинтових конструкцій;
- підвищення продуктивності, надійності, довговічності, зниження собівартості сільськогосподарських машин;
- створення принципово нових конструкцій;
- покращення умов праці обслуговуючого персоналу;
- оптимізація гвинтових конструкцій та їх приводів;
- використання сучасних методів дослідження і створення нових конструкцій.

## **ТЕХНОЛОГІЧНЕ СПОРЯДЖЕННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІВМУФТ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СЕКЦІЙ ГНУЧКИХ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ**

Пристрій для складання півмуфт секцій РО ГГК представлено на рис. 1, який виконано у вигляді плити, 1 до якої по краях жорстко приварено вертикальні стійки ліва 2 і права 3, паралельні між собою з центральними співвісними отворами, відповідно 4 і 5. У отвір 4 лівої вертикальної стійки 3 жорстко встановлено лівий установчий елемент 6 з фігурними виступами 7, розміщені рівномірно по колу, аналогічні до виємок 8 правої втулки 16 секції гіперболічного шнека. У центральному отворі 5 правої стійки 3 встановлено правий установчо-притискний елемент 10 з можливістю осьового переміщення на шліцах, які виконані на зовнішній поверхні правого кінця 11 меншого діаметра правого установчо-притискного елемента.

Шліци правого кінця 11 установчо-притискного елемента 10 взаємодіють з відповідними шліцами другої правої крайньої стійки 12, які виконані в центральному отворі 13. Причому ця стійка є паралельною до двох попередніх 2 і 3 і жорстко закріплена до плити 1, а в зазорі між правими стійками 3 і 12 на зовнішній поверхні шліців правого установчо-притискного елемента 10 встановлено пружину стискування 14, яка правим кінцем взаємодіє з площиною другої крайньої правої стійки 12, а лівим кінцем взаємодіє з торцевою поверхнею 15 більшого діаметра правого установчо-притискного елемента 10.

На правий установчо-притискний елемент 10 з лівого кінця встановлено праву втулку 16 секції гіперболічного шнека.

Шліцеве з'єднання правого установчо-притискного елемента 10 виконано співвісно в межах допуску згідно технічних вимог із втулками лівого установчого елемента 6 і правого установчо-притискного елемента.

В правому установчо-притискному елементі 10 з лівого його торця й лівою торцевою площиною крайньої правої стійки 2 утворено торцевий зазор S, величина якого повинна бути менша за величину його осьового ходу для можливості знімання зварної секції гіперболічного шнека з пристрою.

Нижче осі центральних отворів 4 і 5 вертикальних стійок 2 і 3 встановлено опору 17, на якій встановлено планку 18, площина якої паралельна до базуючих поверхонь розпорних стержнів 19, які між собою є у взаємодії та жорстко з'єднують ліву 9 і праву 16 втулки секції гіперболічного шнека. В разі потреби кількість розпорних стержнів може бути більше двох. З правого крайнього кінця плити 1 жорстко встановлено упорну стійку 20, до якої жорстко закріплено силовий циліндр 21, який за допомогою тяги 22 з'єднано з правим установчо-притискним елементом 10 з можливістю осьового переміщення.

Пристрій оснащено пультом керування 23, який керує подачею мастила або стиснутого повітря в силовий циліндр (насос на кресленні не вказано).

Робота пристрою здійснюється наступним чином. Втулки 9 і 16 встановлювали на відповідні установчий елемент 6 і установчо-притискний елемент 10 пристрою. На опорну плиту 18 встановлювали розпорні стержні 19, при цьому установчо-притискний елемент 10 знаходився в правому крайньому положенні. Після встановлення розпорних стержнів 19 силовий циліндр 21 переміщує правий установчо-притискний елемент 10 в ліве крайнє положення. У разі великого зазору між одним кінцем опорних стержнів 19 і втулкою 16 його розбивали на дві рівні величини та здійснювали зварювання конструкцій півавтоматом проволочним в середовищі захисних газів.

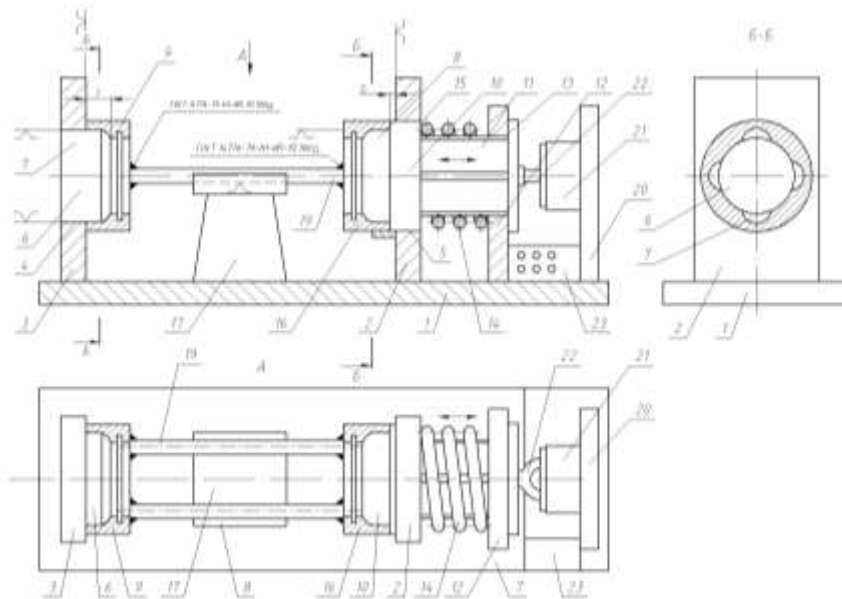


Рис. 1. Пристрій для зварювання секцій гіперболічного шнека

Поверхні пристрою покривають тонкими пластинами міді або латуні для того, щоб зварювальні бризки не прилипали до металу (на кресленні не показано).

Норму штучного часу при електродуговому зварюванні секцій конвеєра визначено за формулою:

$$t_{ум} = ((t_o + t_{дон1}) \cdot l + t_{дон2}) \cdot k_1; \quad (1)$$

де  $t_o$  - основний час на 1 м довжини шва за хвилину, хв;

$t_{дон1}$  - допоміжний час, пов'язаний з утворенням шва, хв;

$t_{дон2}$  - допоміжний час пов'язаний з зварюваним виробом і управлінням обладнання, хв;

$l$  - довжина шва, м;

$k_1$  - коефіцієнт, що враховує час на обслуговування робочого місця, відпочинок і природні потреби.

Допоміжний час  $t_{дон1}$ , пов'язаний з утворенням шва, включає час на зачищення і огляд крайок, заміну електродів, збір флюсу, замір, огляд і зачищення зварного шва від шлаку. Допоміжний час  $t_{дон2}$  включає час встановлення, повертання і зняття виробу, підготовлення, встановлення автомату на початку шва та відключення в кінці шва.

Основний час для електродугового зварювання визначено, а залежністю:

$$t_o = \frac{G}{(I + K)} = \frac{60F \cdot v \cdot l}{(I \cdot K)}; \quad (2)$$

де  $G$  – маса наплавленого металу, г;

$F$  – площа поперечного перерізу наплавленого шва, мм<sup>2</sup>;

$v$  – густина наплавленого металу, кг/м<sup>3</sup>;  $v = 7,85 \cdot 10^3$ ;

$I$  – сила струму, А;

$K$  – коефіцієнт наплавлення електродів, г/А·год, який залежить від марки електрода, сили струму, тощо.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РОЗТОЧУВАННЯ ВНУТРІШНІХ СФЕРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ В ЗАГОТОВКАХ ІЗ ЧАВУНУ

Сучасний стан розвитку машинобудування вимагає пошуку нових шляхів покращення експлуатаційних та технологічних параметрів деталей машин, технологічного оснащення, що дасть змогу покращити якість продукції, зменшити собівартість її виготовлення та ремонту.

Виготовлення сферичних поверхонь характеризується складними умовами перебігу процесу, а також поганим доступом до оброблюваних поверхонь.

У зв'язку з цим, розширення технологічних можливостей, підвищення точності та продуктивності процесів оброблення сферичних поверхонь, розроблення технології їх виготовлення, технологічного оснащення, різального інструменту є актуальною задачею для машинобудівних і ремонтних підприємств держави.

Метою дослідження є визначення впливу режимів різання на зусилля різання при розточуванні внутрішніх сферичних поверхонь в заготовках із чавуну.

Проводились дослідження для діаметрів проточування 50 мм. Для оброблення сферичних поверхонь встановлено основні змінні фактори, які приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати кодування факторів та рівні їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	натур.	код.				
частота обертання, $n$ , об/хв.	$X_1$	$x_1$	600	1600/+1	1000/0	400/-1
подача різання, $S$ , мм/об	$X_2$	$x_2$	0,125	0,3/+1	0,175/0	0,05/-1
глибина різання, $t$ , мм	$X_3$	$x_3$	1,0	3,0/+1	2,0/0	1,0/-1

В процесі оброблення цих поверхонь визначали залежності зусилля різання від глибини різання, подачі та частоти обертання заготовки. Результати оброблення сферичних поверхонь наведено на рис. 1.

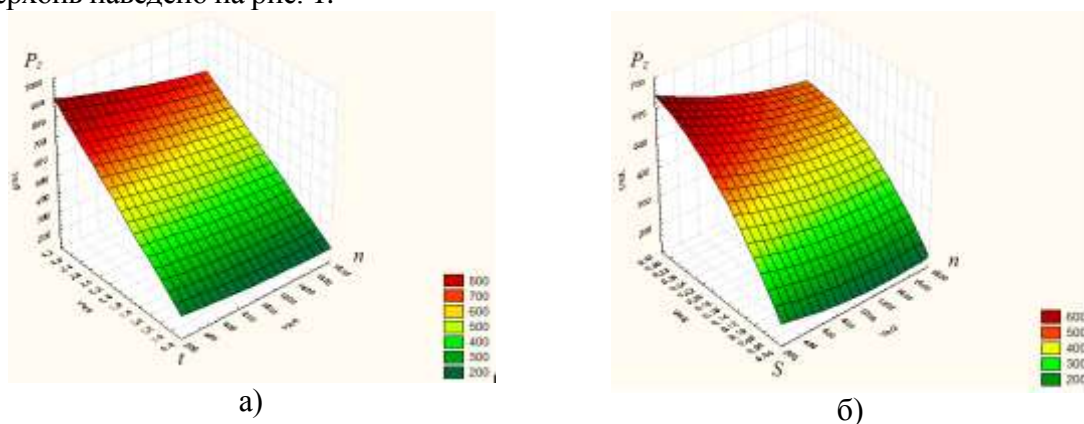


Рис. 1 – Поверхні відгуку залежності сили різання: а)  $P_{z(n,t)}^{нас(50)}$  від частоти обертання заготовки і глибини різання ( $S = 0,175$  мм/об); б)  $P_{z(n,S)}^{нас(50)}$  від частоти обертання заготовки і подачі різання ( $t = 2,0$  мм)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РОЗТОЧУВАННЯ ВНУТРІШНІХ СФЕРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ В ЗАГОТОВКАХ ІЗ СТАЛІ 45

В машинобудуванні важливою є задача розроблення прогресивних технологічних процесів, прогресивного технологічного оснащення, різального та вимірювального інструментів і відпрацювання на технологічність конструкцій деталей з сферичними поверхнями, оскільки, останні мають широке практичне застосування в багатьох галузях техніки, металорізальних верстатів тощо.

Виготовлення сферичних поверхонь корпусних деталей машин, пуансонів, матриць, характеризується важкими умовами перебігу процесу, низькою жорсткістю різальних інструментів і державок, а також поганим доступом до оброблюваних поверхонь. Оброблення цих поверхонь вимагає забезпечення точності геометричних параметрів, відхилення від сферичності, положення осі оброблюваних отворів відносно зовнішніх поверхонь, а також досягнення необхідної шорсткості поверхонь.

Метою дослідження є визначення впливу режимів різання на зусилля різання при розточуванні внутрішніх сферичних поверхонь.

На всіх етапах проводились дослідження впливу режимів різання на зусилля різання для діаметрів проточування 50 і 90 мм. Для оброблення сферичних поверхонь твердосплавними інструментами встановлено основні змінні фактори: частота обертання  $n = 400 - 1600$  об/хв.; глибина різання  $t = 1 - 3$  мм; подача  $S = 0,05 - 0,3$  мм/об. Результати досліджень наведено на рис. 1.

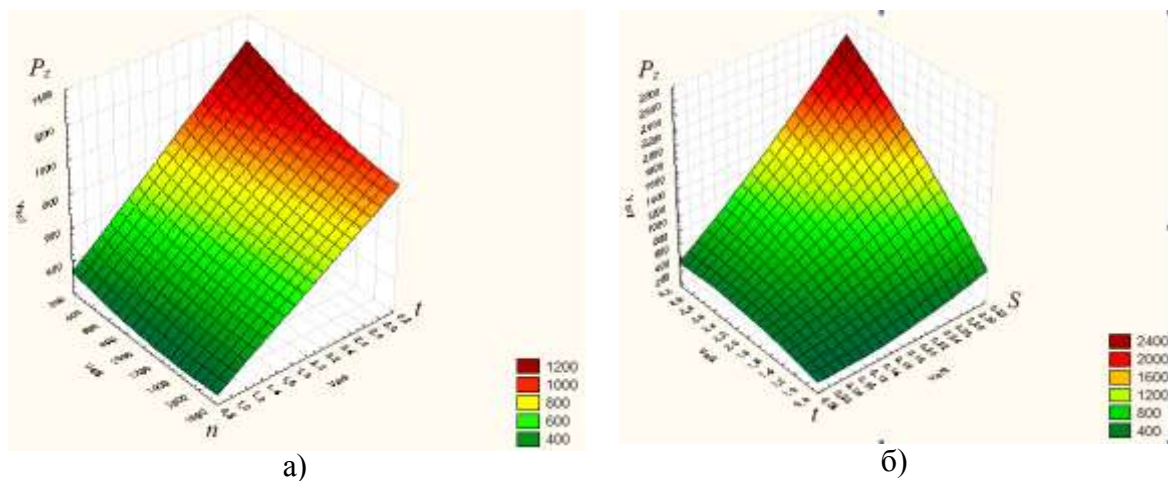


Рис. 1. Поверхні відгуку залежності сили різання: а) різання  $P_{z(n,t)}^{cn45(50)}$  від частоти обертання заготовки і глибини різання ( $S = 0,175$  мм/об); б) різання  $P_{z(S,t)}^{cn45(90)}$  від подачі і глибини різання ( $n = 1000$  об/хв.)

Проведенні експериментальні дослідження для розточування сферичних поверхонь радіусом 50-90 мм підтвердили можливість стабільного розточування сферичних поверхонь деталей із сталі з наступними режимами:  $V = 160 - 270$  м/хв. (сталь), для подач  $S = 0,05 - 0,3$  мм/об і глибини різання  $t = 1 - 3$  мм, що сприяє підвищенню продуктивності оброблення на 28% та її якості.

## НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПОВЕРХНІ ОПРАВИ ІНСТРУМЕНТУ

Розглянемо напружено-деформований стан, який виникає при обкатці заготовки оправкою із кульками, що пластично деформують поверхню заготовки.

Найбільш напруженими з точки зору контактних напружень є три ділянки:

- у місці контакту кульки із поверхнею оброблюваної деталі;
- у місці контакту кульки із сепаратором;
- у місці контакту кульки із поверхнею оправки.

У першому випадку, який досліджено вище, напруження деформування розподілені по значній площі контакту і рівні напруженням пластичної деформації оброблюваної деталі. За умови вибору кульок відповідної міцності  $\sigma_{вк} \gg \sigma_{вд}$ , можна вважати, що напруження деформування не перейдуть межу міцності матеріалу кульки, і вона працюватиме лише у пружній області. В іншому випадку кулька буде роздавлена і не виконає своєї функції.

У місці контакту кульки із сепаратором контактні напруження матимуть значно меншу величину внаслідок того, що, як показано вище, осьова сила у  $\frac{1}{\mu}$  разів менша за силу деформації поверхні деталі. При змащуванні поверхонь коефіцієнт тертя  $\mu < 0,1$ , тому відповідні зусилля на порядок менші за ті, що виникають у місці деформації деталі чи контакту кульки з оправкою.

Тому найбільш небезпечною є третя ділянка - контакт кульки з оправкою. Напруження у цій точці будуть визначатись за формулою:

$$\sigma_0 = 1,523 \times 10^8 \times \sqrt{R_1} \times \sqrt[3]{2\sigma_e \sqrt{2\Delta} \arccos\left(1 - \frac{h}{R_1}\right)}. \quad (1)$$

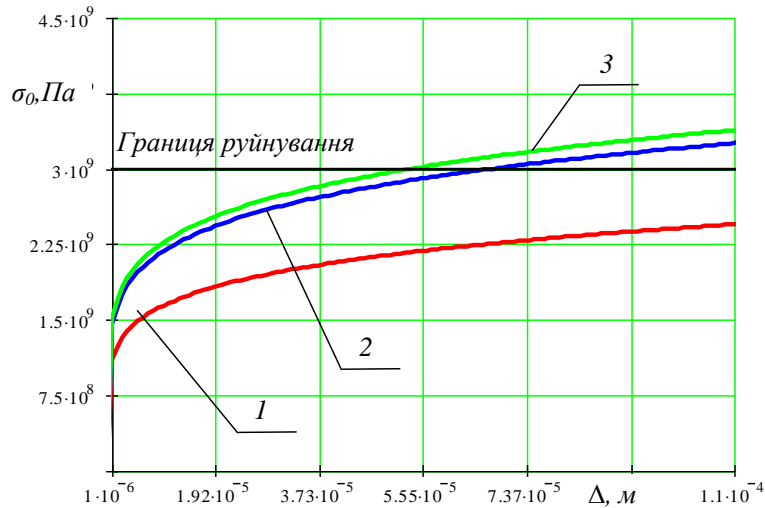
Як слідує із цієї формули, напруження контакту у деталі при всіх інших сталих пропорційні кореню кубічному із напружень пластичності деталі, що свідчить про відносно малу залежність контактних зусиль від міцності оброблюваної деталі. Залежність напружень від глибини деформації  $\Delta$  ще менша - корінь шостого степеня. Збільшення радіуса кульки збільшує контактні напруження за рахунок значного збільшення площі деформування заготовки.

За границю руйнування поверхні оправки інструменту приймаємо найбільше допустиме навантаження на поверхні контакту  $[\sigma]_{\text{конт}} = 3 \times 10^9 \text{ Па}$ , що відповідає матеріалу оправки інструменту – сталь ШХ15.

На рис.1 зображено вплив натягу при обробленні півкруглих шліцевих канавок деталей машин на напруження, що виникають на поверхні оправки інструменту.

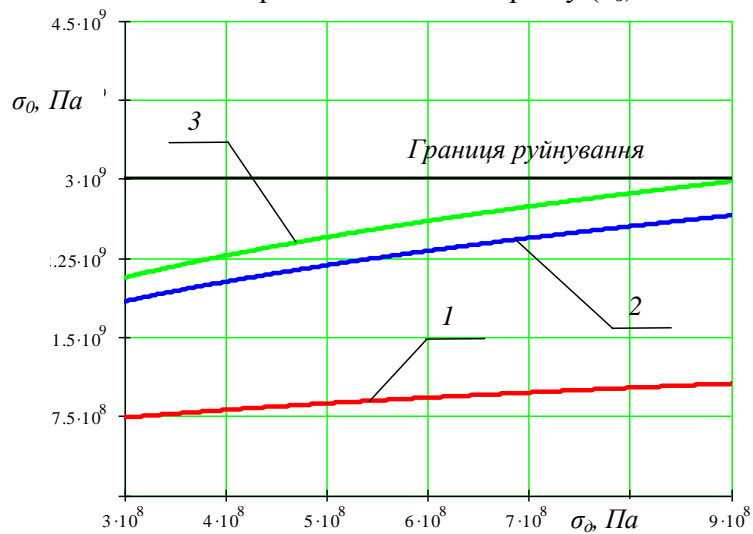
Як видно з отриманих залежностей матеріал оброблюваної деталі не сильно впливає на величину напружень на поверхні оправки (криві 1–3). Зате величина натягу в межах  $\Delta = 0,001 - 0,025 \text{ мм}$  на одну кульку значно зменшує напруження на поверхні оправки.





1 –  $\sigma_s=340$ МПа(Сталь40); 2 –  $\sigma_s=800$ МПа(Сталь40Х); 3 –  $\sigma_s=900$ МПа(Сталь18ХГТ)  
 Рис. 1. Графік залежності напружень на поверхні оправи від натягу на одну кульку ( $R=6,35$ мм;  $h=2$ мм)

На рис.2 представлено графік залежності напружень на поверхні оправи від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу ( $\sigma_s$ ).



1 –  $\Delta=0,001$ мм; 2 –  $\Delta=0,025$ мм; 3 –  $\Delta=0,05$ мм  
 Рис.2. Графік залежності напружень на поверхні оправи від властивостей оброблюваного матеріалу ( $R=6,35$ мм;  $h=2$ мм)

Як видно з наведених залежностей матеріал оброблюваної деталі немає значного впливу на величину напружень, що виникають на поверхні оправи інструменту. Величина впливу зменшується з зменшенням значення  $\sigma_s$ , що характеризує властивості матеріалу.

Оскільки напруження на поверхні оправи є значними за величиною і можуть призвести до утворення лунок на поверхні оправи внаслідок спастичного деформування поверхні контакту, то для збільшення ресурсу роботи інструменту пропонуємо здійснювати наступні операції.

## **ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ**

При поверхневому пластичному деформуванні (ППД) під тиском деформуючого інструменту мікроступи (мікронерівності) поверхні деталі деформуються (зминаються), заповнюючи мікротріщини оброблюваної поверхні, в результаті чого підвищується твердість поверхневого шару. Окрім того, у поверхневому шарі виникають напруження стиску, що сприяє підвищенню втомної міцності на 30-70%, зносостійкості - у 1,5-2 рази, значно знижується шорсткість поверхні зміцнювальної деталі.

До найпоширеніших способів зміцнення ППД відносяться: обкатування робочих поверхонь кульками або роликами; алмазне вигладжування; ультразвукове зміцнення; зміцнення наклепом; статично-імпульсне оброблення (СІО).

Обкатування кульками або роликами (для внутрішніх поверхонь - розкатування) здійснюється за допомогою спеціальних кулькових або роликових накаток (розкаток) на токарно-гвинторізних верстатах, при цьому зміцнюючий інструмент закріплюють на супорті верстата. Цей спосіб ППД є перспективним, сприяє зниженню шорсткості поверхні, збільшенню мікротвердості поверхневого шару на 40-60% та глибини зміцненого шару матеріалу. Основні параметри процесу: зусилля обкатування, поздовжня подача інструменту, число проходів і припуск на обкатування.

Зусилля обкатування в кожному конкретному випадку повинно бути оптимальним: недостатній притиск інструменту до деталі призводить до збільшення числа проходів інструменту внаслідок неповного зминання мікронерівностей поверхні; занадто ж велике зусилля знижує надійність інструменту, призводить до перенаклепу поверхні й відшаровування зміцненого шару.

У кожному конкретному випадку зусилля обкатування можна розрахувати з подальшим уточненням дослідним шляхом. Поздовжня подача при роботі однією кулькою або сферичним роликом становить 0,1-0,3 мм/об. При використанні багатокуюлькового або баготороликового інструменту подачу відповідно збільшують.

Для підвищення довговічності й несучої здатності транспортних деталей також успішно використовуються методи зміцнення поверхневим пластичним деформуванням. Зміцнення виконується з метою підвищення опору втомленню й твердості поверхневого шару матеріалу та формування в поверхневому шарі напружень стиску, а також регламентованого мікрорельєфу.

Зміцнююче оброблення поверхневим пластичним деформуванням застосовують на фінішних операціях технологічного процесу, замість або після термооброблення, і часто замість абразивного або викінчувального оброблення.

Поверхнєве пластичне деформування, виконуване без використання зовнішнього тепла, забезпечує створення поверхневого шару із заданим комплексом властивостей (наклепу), сприяє підвищенню усіх характеристик опору матеріалу деформації, зниженню пластичності й підвищенню твердості.

Зміцнення металу в незагартованій сталі відбувається за рахунок структурних змін, а також змін структурних недоліків (щільності, якості та взаємодії дислокацій тощо), дробленням блоків і локалізацією мікронапружень. При зміцненні загартованих сталей, крім цього, відбувається часткове перетворення залишкового аустеніту в мартенсит і виділення дисперсних карбідних часток.

Поверхнева деформація приводить до утворення зсувів у зернах, пружному викривленню кристалічних решіток, зміні форми й розмірів зерен. Інтенсивність наклепу (зміцнення) тим вище, чим м'якше сталь. Для незагартованих сталей збільшення твердості становить понад 100%, на загартованих – в межах 10-20% при глибині зміцненого шару до 12 мм і більше.

Статично-імпульсне оброблення (СІО) є значно вдосконаленим процесом ударного карбування - упорядкованого ударного впливу на зміцнювальну поверхню, відрізняється способом підведення енергії в зону деформації. Пластична деформація матеріалу здійснюється за допомогою керованого імпульсу, який передається ударною статично навантаженому інструменту. Використання передударного статичного підтиску інструменту до оброблюваної поверхні дозволяє збільшити її площу контакту з інструментом, сприяючи зменшенню спотворень переданого ударного імпульсу й зменшуючи втрати енергії удару.

Технологія зміцнення СІО включає наступні етапи: попереднє статичне й наступне періодичне імпульсне навантаження інструменту. СІО здійснюється за допомогою спеціально розробленого високочастотного генератора механічних імпульсів (ГМІ), який дозволяє регулювати енергію й частоту імпульсів у широкому діапазоні.

Перевагами СІО перед іншими способами ППД є невисока енергомісткість, високий коефіцієнт передачі енергії зміцнювальній поверхні, можливість впливу на неї керованим імпульсом, компактність пристрою для зміцнення, можливість встановлення його на металообробному встаткуванні.

Технологічними факторами СІО є: витрати енергії й частота ударів, швидкість переміщення заготовки відносно інструменту, величина статичного підтиску, форма й розміри інструменту, число проходів. Проведені дослідження щодо оцінки впливу енергії ударів і форми деформуючого інструменту свідчать, що співвідношення частоти ударів і швидкості переміщення заготовки щодо інструменту, які характеризують кратність силового впливу, доцільно вибирати з умови достатньої щільності розташування пластичних вм'ятин. Для призначення точних режимів зміцнення СІО, спрощення й здешевлення технології зміцнення необхідно досліджувати вплив кратності силового впливу на характеристики якості зміцненого поверхневого шару.

Зміцнення СІО поступово знаходить все ширше застосування при виготовленні навантажених деталей автомобілів, дозволяє підвищити довговічність і несучу здатність цих деталей за рахунок отриманого зміцненого поверхневого шару з високими показниками якості. Однак, при цьому було виявлено низку недоліків технології зміцнення СІО, які підвищують її працездатність і собівартість. Для їх усунення необхідне відпрацювання технології зміцнення, створення конструкцій спеціальних пристосувань для базування й кріплення деталей на операціях статично-імпульсного зміцнення.

СІО може використовуватися й для зміцнення широкої номенклатури важконавантажених деталей транспортних засобів, більшість із яких мають профільні робочі поверхні (зуби шліців, витки, різі тощо), а також жолобники. Зміцнення ППД дозволяє підвищити втомну міцність таких деталей. Відомими є способи зміцнення профілів методами поверхневого пластичного деформування, зокрема накатуванням, при цьому глибина зміцненого шару може становити 1-2 мм. Однак, високі діючі навантаження вимагають формування зміцненого шару більшої глибини. Як показують результати досліджень, СІО ППД дозволяє одержувати зміцнений поверхневий шар із глибиною до 8-10 мм і більше.

## **ІНЕРЦІЙНИЙ НАТЯЖНИЙ ПРИСТРІЙ**

Передачі гнучким зв'язком (ланцюгові та ремінні) широко використовують в десятках мільйонів діючих машин та агрегатів (поліграфічні та сільськогосподарські машини, легкові автомобілі та інші).

У багатьох видах машин частота обертання не є постійною, однак передача не може бути «настроєна» (створено відповідно натяг холостої вітки передачі) на цілий діапазон частот. Якщо ми налаштуємо передачу на малі частоти, то можливе проскакування (пробуксовка) гнучкого зв'язку при великих частотах, якщо ж настроїти передачу на діапазон великих частот, то на таких частотах вона буде працювати з великим пере натягом, що призведе до збільшеного зношення опор, валів і самого гнучкого елемента. Отже, в даному випадку бажано мати механізм натягу холостої вітки передачі, який би реагував на зміну частоти обертання передачі і створював адекватне частоті обертання зусилля в холостій вітці.

Запропонований механізм, виконаний у вигляді змонтованої на ведучому валі зірочки (шківа), до ступиці котрої приварені пластини з пазами спеціальної форми. До пластини шарнірно-рухомої закріплені телескопічні важелі регулятора Уатта. Їх вільні кінці з'єднанні з вантажами, що рухаються в пазах. Другі важелі регулятора з'єднанні з вантажами та муфтою, котра може ковзати вздовж вала, на котрому змонтована ведуча зірочка (шків). Муфта має три поверхні: циліндричну (великого діаметру), фасонну – спеціального профілю або конічну (робочу), циліндричну малого діаметру.

З цими поверхнями контактує палець, що знаходиться на одному із кінців натяжного важеля, на другому кінці котрого є натяжний елемент.

При зміні частоти обертання важелі, переміщуючись у пазах, переміщують пів муфту, яка діючи на палець створює потрібний натяг у холостій вітці передачі.

Величина натягу залежить від маси вантажів, форми паза у пластинах, конфігурацій робочої поверхні півмуфти, співвідношення плечей важелів і може бути максимально наближена до розрахункової.

Проводилась експериментальна перевірка роботи запропоновані конструкції інерційного натяжного пристрою. Її метою було дослідження працездатності натяжного пристрою і виявлення можливих областей їх застосування. Проводились статичні і динамічні випробовування при статичних випробовуваннях, перевірялось відповідність величини натягу холостої вітки створюваного інерційним пристроєм теоретично розрахованому для даного зусилля у робочій вітці.

При динамічних дослідженнях установлювався взаємозв'язок конструктивних параметрів натяжного пристрою з його швидкодією і спів паданню в часі зміни крутного моменту та частоти обертання передачі і натягу у холостій вітці.

Випробовування різнорозмірного за кроком ланок ланцюга із зубцями зірочок, а також роботи натяжних пристроїв нових конструкцій проводились на спеціальних стендах.

Як показали дослідження застосування натяжного механізму даного типу збільшує термін експлуатації і передач в 1,2...1,3 рази.

УДК 621.791.927.7

О. Шаблій, д.фіз.-мат.н., проф., Ч. Пулька, д.т.н., проф., В. Гаврилюк, В. Сенчишин, В. Груша

(Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ ІНДУКЦІЙНОМУ НАПЛАВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ З УРАХУВАННЯМ ТЕПЛООВОГО ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЕКРАНІВ

В роботі [1] проведені дослідження з оптимізації конструктивних параметрів двовиткового кільцевого індуктора для наплавлення тонких фасонних дисків довільних діаметрів і розмірів зони наплавлення з урахуванням тільки електромагнітного поля з метою забезпечення необхідного розподілу потужності по ширині зони наплавлення. Розроблений алгоритм дозволяє визначати оптимальні конструктивні параметри індуктора для вищезазначеної нагрівальної системи. Викликає інтерес дослідження температурного поля в зоні наплавлення з урахуванням одночасно, як електромагнітного, так і теплового екранування, тобто теплоізоляція торця диска і нижньої його поверхні з оточуючим середовищем та електромагнітне екранування на торці диска, які впливають на розподіл температури в зоні наплавлення, а також розроблення методики визначення коефіцієнтів екранування, відповідно електромагнітного  $K_e$  і теплового  $K_T$ .

Температура, яка створюється в диску під дією індуктора, має вид:

$$T = \frac{\alpha}{\lambda_g} \sum_{v=1}^{\infty} \left( e^{-a\lambda_v^2 t} \int_0^t \frac{\int_0^{r_2} w(r,t) J_0(l_v r) r dr}{\int_0^{r_2} J_0^2(l_v r) r dr} e^{a\lambda_v^2 t} dt \right) J_0(l_v r), \quad (1)$$

в якій питома потужність теплових джерел визначається за формулою:

$$W = \frac{\sigma \omega^2 \mu_0^2}{128 \pi^2 h} \left[ \Delta_1^2 A^2 a_1^2 + \Delta_2^2 a_2^2 B^2 + K_e 4 h a_1^2 I_1^2 C^2 e^{-\frac{2(r_2-r)}{\Delta}} \right], \quad (2)$$

де  $K_e$  – коефіцієнт електромагнітного екранування і визначається з виразу  $K_e = e^{-\frac{2d_e}{\Delta_e}}$ , де  $d_e$  – товщина екрану,  $\Delta_e$  – глибина проникнення електромагнітного поля в екран,  $\Delta_e = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_e \sigma_e}}$ ,  $a K_T$  – коефіцієнт теплового екранування,  $K_T = \frac{\lambda_T}{d_T \alpha}$ , де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі в середовище при відсутності екрану,  $\lambda/d_T$  – коефіцієнт теплової провідності екрану,  $l_v^2 = \lambda_v^2 - m^2$ ;  $J_0(l_v r)$  – функція Бесселя першого роду нульового порядку дійсного аргументу, а величини  $\lambda_v$  є коренями характеристичного рівняння:

$$-\lambda_v J_1(l_v r_2) + a K_T J_0(l_v r_2) = 0. \quad (3)$$

Отримана математична модель знаходження температури в диску через джерела його індукційного нагрівання з використанням електромагнітного і теплового екранування диска дозволяє визначити та оптимізувати вказану температуру в зоні наплавлення в залежності від параметрів індуктора, диска, електромагнітного і теплового екранів та електричного струму.

1. Шаблій О.Н., Пулька Ч.В., Письменный А.С. Оптимизация параметров индуктора для равномерного нагрева дисков по ширине зоны наплавки с учетом экранирования // Автомат.сварка. – №11. – С.24-26.

## **УСТАНОВКА ДЛЯ ВІБРОІНДУКЦІЙНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ТОНКИХ ФАСОННИХ ДИСКІВ**

Індукційне наплавлення – високопродуктивний процес, який легко піддається автоматизації і дуже ефективний в умовах крупносерійного виробництва. Він постійно удосконалюється в напрямку підвищення продуктивності процесу, економії електроенергії, а також стабільності товщини шару наплавленого металу.

Процес індукційного наплавлення набув широкого застосування при відновленні спрацьованих та виготовленні нових деталей, в тому числі тонких фасонних дисків, які використовуються у сільськогосподарському машинобудуванні, в нашому випадку – це ножі-гичкорізи для бурякозбиральних комбайнів, які виготовляються із сталі Ст3, а в якості наплавлювального матеріалу використовують порошкоподібний твердий сплав марки ПГ-С1. Наплавлення проводять на високочастотному ламповому генераторі ВЧГ6-60/0,44, з використанням двовиткового кільцевого індуктора.

З метою підвищення зносостійкості та рівномірності товщини шару наплавленого металу, авторами була розроблена нова технологія індукційного наплавлення з введенням додаткових технологічних операцій – горизонтальної вібрації та відцентрового обертання відносно вертикальної осі в процесі наплавлення, яка дозволяє підвищити зносостійкість наплавленого шару металу в 1,5 рази та покращити рівномірність товщини шару наплавленого металу на 22% [1,2].

На рис. представлена схема установки, яка призначена для надання наплавлюваній деталі (фасонному диску) горизонтальних коливань та його відцентрового обертання відносно вертикальної осі.



Фасонний диск 1 встановлюється на стіл 2, який з'єднаний з електромагнітом 3 за допомогою якого створюються горизонтальні коливання. Відцентрове обертання відносно вертикальної осі виконується за допомогою електроприводу 4.

Дана установка дозволяє регулювати процес індукційного наплавлення в залежності від розмірів дисків, амплітуди коливань і товщини шару наплавленого металу. Конструкція установки захищена патентом [1], а отримані результати опубліковані в роботі [2].

1. Пат. 73032 UA, МПК В23К 13/00. Спосіб наплавлення тонких дисків / Ч. В. Пулька, О. М. Шаблій, В.Я. Гаврилюк В. С. Сенчишин, М.В. Шарик; заявник і власник Терноп. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя. - № 2012 01880; заявл.20.02.2012; опубл. 10.09.2012; Бюл. № 17.

2. Пулька Ч.В. Влияние вибрации на структуру и свойства металла наплавленного индукционным методом / Пулька Ч.В., Шаблій О.Н., Сенчишин В.С., Шарык М.В., Гордань Г.Н. // Автомат. сварка №1, 2012 г. С. 27-29.

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТНОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ДЛЯ ТОНКИХ ОБОЛОНОК З ТРІЩИНАМИ

Оптичні методи ефективно застосовують для рішення задач механіки [1,2]. При розрахунку елементів машин, які знаходяться у моментному напруженому стані та є оболонковими конструкціями, виникає практична необхідність визначення КІН (моментів) для дефектів типу тріщин [3]. Запропоновано метод визначення КІН (моментів) біля тріщин тонких пластинах та оболонках, за даними методу дифузного поверхневого розсіювання (МДПР) [4] та фотопружності.

Нехай момент ний стан симетричний відносно осі тріщини.

Присутній лише згинний момент  $\Delta M_y$  додаткового напруженого стану. Тоді, використовуючи експериментальну реалізацію МПДР, коли зондує випромінювання неполяризоване, направляючи світловий потік у зону біля вершини тріщини (де справедлива пружна асимптотика Ірвіна-Вестергарда, одержимо:

$$\Delta M_y = D(1 + \mu) \psi \left( \frac{\Delta I_y}{I_{0y}} \right), \quad (1)$$

(зондує випромінювання поляризоване, поляризація у площині ZOY), де

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}.$$

Для згинного моменту  $\Delta M_y$  можемо записати наступний вираз [3]:

$$(3 + \mu)\Delta M_y = \frac{K_3}{4\sqrt{2r}} \left[ 4(1 + \mu)\cos\frac{\theta}{2} + (1 - \mu)\cos\frac{3\theta}{2} + (7 + \mu)\cos\frac{7\theta}{2} \right]. \quad (2)$$

У нашому випадку  $\theta = 90^\circ$ , і рівність (2) прийме вигляд:

$$(3 + \mu)\Delta M_y = \frac{K_3}{4\sqrt{2r}} \left[ 4(1 + \mu)\cos\frac{\sqrt{2}}{2} - (1 - \mu)\cos\frac{\sqrt{2}}{2} + (7 + \mu)\cos\frac{\sqrt{2}}{2} \right] = \frac{K_3(5+3\mu)}{4\sqrt{r}}. \quad (3)$$

Підставляємо у (3) вираз для  $\Delta M_y$ , записаний у вигляді (1).

Одержимо:

$$(3 + \mu) \frac{Eh^3(1+\mu)}{12(1-\mu^2)} \psi \left( \frac{\Delta I_y}{I_{0y}} \right) = \frac{K_3(5+3\mu)}{4\sqrt{r}},$$

$$\frac{(3+\mu)Eh^3}{(1-\mu)} \psi \left( \frac{\Delta I_y}{I_{0y}} \right) = \frac{K_3(5+3\mu)}{\sqrt{r}}. \quad (4)$$

Звідки одержуємо вираз для визначення КІН (моментів)  $K_3$  для випадку, коли моментний стан симетричний відносно берегів тріщин:

$$K_3 = \frac{(3+\mu)\sqrt{r}Eh^3\psi\left(\frac{\Delta I_y}{I_{0y}}\right)}{(1-\mu)(5+3\mu)}. \quad (5)$$

КІН (моментів)  $K_3$  визначається за даними фотопружних вимірів на зрізі, який містить вершину тріщини:

$$K_3 = \frac{2(3+\mu)\sqrt{r}h^2(\delta_B - \delta_H)}{3(5+3\mu)Cd}. \quad (6)$$

де  $\delta_B, \delta_H$  – оптична різниця ходу, виміряна по верхній та нижній грані зрізу, відповідно;

$C$  – оптико-механічна стала;

$d$  – товщина зрізу.

Порівнюючи вираз для визначення КІН (моментів)  $K_3$ , за даними МПДР (5) та фотопружних вимірювань (6), одержимо:

$$\frac{(3+\mu)\sqrt{r}Eh^3\psi\left(\frac{\Delta I_y}{I_{0y}}\right)}{(1-\mu)(5+3\mu)} = \frac{2(3+\mu)\sqrt{r}h^2(\delta_B-\delta_H)}{3(5+3\mu)Cd}. \quad (7)$$

З виразу (7) одержуємо рівняння, яке зв'язує ефект поверхневого дифузного розсіювання з даними фотопружних вимірювань (різницями оптичного ходу променів) при наявності моментного напруженого стану:

$$\psi\left(\frac{\Delta I_y}{I_{0y}}\right) = \frac{2(1-\mu)(\delta_B-\delta_H)}{EhCd}. \quad (8)$$

Таким чином, одержано формули визначення КІН (моментів) за даними МПДР та зв'язку фотопружних вимірювань та дифузного поверхневого розсіювання.

Список літератури:

1. Підгурский Н.И. Оптические тензодатчики на основе эффекта диффузного поверхностного рассеивания / Н.И.Підгурский, Ю.А.Рудяк, И.Н.Підгурский и др. // Вестник Ташкентского технического университета. – 2013. – № 1 (49). – С.33-35.
2. Рудяк Ю.А. Метод визначення величин коефіцієнтів інтенсивності напружень за даними вимірювання поглинання інтенсивності світла / Ю.А.Рудяк // Вісник СумДУ, Серія «Технічні науки». – 2012. – № 4. – С. 88-91.
3. Панасюк В.В. Механика квазіхрупкого розрушення матеріалів – К.: Наук. думка, 1991. – 416 с.
4. АС СССР, М. 5. кл G 01 B11/16 Способ определения напряженно-деформированного состояния / Рудяк Ю.А., Пизар В.Г. – № 1668860 от 8.04.1991.



## ФАЗОВІ ТА СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

Особливість фазових і структурних перетворень при зварюванні в порівнянні з термічною обробкою полягає в тому, що вони протікають в нерівноважних умовах зварювального термомеханічного циклу (ЗТМЦ), тобто в умовах швидкого нагрівання та охолодження і одночасного розвитку зварювальних деформацій і напружень. Характер перетворень залежить від складу сплаву, максимальних температур нагрівання, а їх закінчення - від швидкісних і деформаційних параметрів зварювального циклу. Під фазовими перетвореннями (переходами I роду) розуміють перетворення з утворенням нових фаз, що відрізняються від вихідних атомно-кристалічною будовою, складом, властивостями, і розмежованих з ними поверхнями розділу (міжфазних межах). При утворенні нової фази в її об'ємі плавно змінюється вільна енергія, стрибкоподібно – ентропія та тепловміст і в момент перетворення теплоємність наближається до нескінченності. Фазові перетворення супроводжуються виділенням, або поглинанням теплоти. При структурних перетвореннях (переходах II роду) відбувається перерозподіл дефектів кристалічної решітки, легуючих елементів і домішок та зміна субструктури існуючих фаз. Структурні перетворення супроводжуються плавною зміною вільної енергії, ентропії і тепловмісту, стрибкоподібною - теплоємності, і не супроводжуються виділенням теплоти [1].

Фазові і структурні перетворення при зварюванні конструкційних сталей нерідко викликають зниження механічних та експлуатаційних властивостей металу зварних з'єднань. В умовах ЗТМЦ часто істотно знижуються механічні властивості металу, що разом з досить високими зварювальними деформаціями і напруженнями може служити причиною утворення тріщин. Тому на стадіях проектування та виготовлення відповідальних зварних конструкцій потрібно використовувати методи, що дозволяють керувати фазовими та структурними перетвореннями.

Одним з методів, що дозволяє провести структурні перетворення в зварних з'єднаннях є лазерна ударно-хвильова ЛУХ обробка металу шва та зони термічного впливу. Дана обробка ґрунтується на зворотному мартенситно-аустенітному ( $\alpha \rightarrow \gamma$ ) перетворенні. Так в металі шва зварного з'єднання, який містить до 95% мартенситу, ЛУХ обробка приводить до появи в центрі спектру інтенсивної одинокої лінії на фоні ліній мартенситу, що свідчить про неповне  $\alpha \rightarrow \gamma$  перетворення. При обробці лазерними імпульсами зразка, який містить приблизно 50% мартенситу, ефект впливу ЛУХ на  $\gamma$ -перетворення стає визначальним: кількість утвореного аустеніту зростає до 100%.

Після опромінення зразків, які містили тільки аустенітну ( $\gamma$ ) фазу, мартенситне перетворення не відбувається і повністю зберігається аустеніт.

Встановлений зворотній ( $\alpha \rightarrow \gamma$ ) мартенситний перехід, є результатом дії двох конкуруючих факторів - великих стискаючих напружень (2 ГПа) та низького ступеня (0,01) пластичної деформації [2].

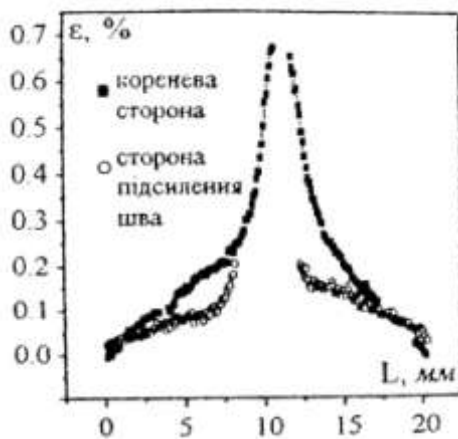
1. Теория сварочных процессов. Под ред. Фролова В.В./ М.:Высшая школа, 1988,- 588с.
2. Ковалюк, Б. П. Дефектоутворення і електронні властивості матеріалів на основі заліза та кремнію, опромінених лазером в режимі генерації ударних хвиль [Текст] : автореф. дис. канд. фіз.- мат. наук: 01.07.04 / Ковалюк Б. П.; Інститут металофізики імені Г.В.Курдюмова. — К., 2004. — 19 с.

## ОЦІНКА РОЗПОДІЛУ ПОЗДОВЖНІХ ДЕФОРМАЦІЙ В ЗОНІ ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ ЗВАРНОГО ШВА В СТАЛІ МАРКИ Х20Н16Т6

В результаті зварювання металевих конструкцій у шві та у зоні термічного впливу (ЗТВ) формуються розтягуючі залишкові напруження, які можуть сягати границі текучості металу і є однією з причин зародження та поширення тріщин у зварних з'єднаннях. Залишкові зварювальні деформації спричиняють необоротні об'ємні зміни в металі і виникають під час виготовлення зварних конструкцій внаслідок нерівномірного нагріву або охолодження, а також в результаті структурних перетворень в металі шва.

Згідно моделі утворення напружень в зварному з'єднанні в умовах дотримання гіпотези плоских перерізів для повних поздовжніх деформацій, причиною формування напружень розтягу в прилягаючих до шва зонах металу є пластичні деформації стиску (вкорочення) вздовж шва внаслідок нерівномірного нагріву смуг металу.

В даній роботі запропоновану експериментальну методику вимірювання поздовжніх зварювальних деформацій поверхневих шарів металу ЗТВ зварного шва. Для досліджень використовували 2 зразки розміром 35x40 мм товщиною 2 мм із легованої сталі марки Х20Н16АТ6. Методика передбачає попереднє фотолітографічне нанесення на гладку поверхню зразка, координатної сітки з використанням лакофоторезистного захисного покриття та подальшого електрохімічного контурного травлення незахищених ділянок зразка. Таким чином, отримали сітку із круглих лунок діаметром 0,03 мм та сталим кроком 0,1 мм. Глибина отриманих лунок 2-3 мкм. Така сітка спроможна витримувати значні пластичні деформації. Їй властиві достатня



точність, сталий крок та контрастність. Зварювання пластин виконували в середовищі захисного газу з допомогою зварювального автомату типу А-1406 на режимах: сила зварювального струму 160 А; напруга на дузі 21 В; швидкість зварювання 55 м/год.

Зварювальні деформації визначали шляхом фотографування досліджуваної ділянки металу до та після зварювання. Для фотографування зображення поверхні дослідного зразка використовували реєстровий електронний мікроскоп РЕМ-106И. Відстань між вузловими точками координатної сітки вимірювали за допомогою програмного комплексу KARPA Image

Base.

Результати дослідження розподілу поздовжніх зварювальних деформацій наведено на рисунку. Встановлено, що в ЗТВ спостерігаються значні деформації розтягу, які із кореневої сторони шва сягають ( $\epsilon = 0,7\%$ ) спричинені усадкою металу і є однією з причин утворення тріщин. Із кореневої сторони шва в зоні сплавлення значення деформації розтягу вищі 0,1% відносно деформації в цій області із сторони підсилення шва.

Література: Касаткин Б.С. Напряжения и деформации при сварке / Касаткин Б.С., Прохоренко В.М., Чертов И.М. - К.: Вища школа, 1987, - 246с.



## ЗМІСТ

Я. Ковальчук, М. Бобик , О. Рибачок, А. Бойчук	1
<b>ДЕФОРМУВАННЯ ЗВАРНОЇ БУДІВЕЛЬНОЇ ФЕРМИ ПРИ ДІЇ ТЕПЛОВИХ ВПЛИВІВ</b>	
Ю. Пиндус, А. Сорочак	2
<b>ВПЛИВ АСИМЕТРІЇ ЦИКЛУ НАВАНТАЖЕННЯ НА ШВИДКІСТЬ І МІКРОМЕХАНІЗМИ РОСТУ ВТОМНИХ ТРИЩИН У МАТЕРІАЛІ ОСЕЙ КОЛІСНИХ ПАР ЛОКОМОТИВІВ</b>	
О. Конончук	4
<b>ЗГИНАЛЬНІ ЗАЛІЗОБЕТОННІ ЕЛЕМЕНТИ, ПІДСИЛЕНІ ВУГЛЕПЛАСТИКАМИ ЗА ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ</b>	
В. Сушинський, Г. Крамар	6
<b>МІКРОСТРУКТУРА І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ ВИХІДНИХ НАНОПОРОШКІВ</b>	
В. Каспрук, В. Куц	7
<b>ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ РОЗДІЛЕННЯ ПИЛО ГАЗОВОЇ СУМІШІ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ</b>	
М. Пилипець, Б. Бригадир	8
<b>ЗМІЦНЕННЯ СПІРАЛЕЙ ШНЕКІВ</b>	
Б. Гевко, М. Кіндзерський	10
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ РОЗТОЧУВАННІ ГВИНТОВИХ ГОФРОВАНИХ ЗАГОТОВОК</b>	
В. Дзюра, С. Гуменюк	11
<b>КОНТРОЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЗАМІРУ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКІВ</b>	
Б. Гупка, Л. Данильченко	12
<b>ТЕРТЯ ПРИ РІЗАННІ МЕТАЛІВ. МАСШТАБНИЙ ЧИННИК</b>	
Л. Данильченко, Ю. Сивуля	14
<b>ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІЗМУ МІЖКРИСТАЛІЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ЗАГОТОВОК В ПРОЦЕСАХ ЇХ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ</b>	
Л. Данильченко, А. Матвійчук	15
<b>ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ</b>	
О. Данилюк, І. Данилюк	17
<b>МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІКИ РУХУ ПОТОКІВ В МАСООБМІННО-СЕПАРАЦІЙНИХ КОНТАКТНИХ СЕКЦІЯХ</b>	
Б. Капаціла	18
<b>ВИЗНАЧЕННЯ МАСИ І ПЛОЩІ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ В СЕРЕДОВИЩІ AUTOCAD</b>	
Ю. Капаціла, В. Цимбалістий	19
<b>ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА, ОСНАЩЕНИХ ГВИНТОВИМИ ПРИСТРОЯМИ</b>	

О. Лань	20
<b>ТЕХНОЛОГІЧНЕ СПОРЯДЖЕННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІВМУФТ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СЕКЦІЙ ГНУЧКИХ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ</b>	
М. Левкович, В. Басарабович	22
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РОЗТОЧУВАННЯ ВНУТРІШНІХ СФЕРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ В ЗАГОТОВКАХ ІЗ ЧАВУНУ</b>	
М. Левкович, Р. Лотоцький, Б. Капаціла	23
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РОЗТОЧУВАННЯ ВНУТРІШНІХ СФЕРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ В ЗАГОТОВКАХ ІЗ СТАЛІ 45</b>	
В. Дзюра, Є. Лучків	24
<b>НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПОВЕРХНІ ОПРАВИ ІНСТРУМЕНТУ</b>	
Л. Данильченко, Б. Гупка	26
<b>ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ</b>	
Р. Шпак, О. Скальський	28
<b>ІНЕРЦІЙНИЙ НАТЯЖНИЙ ПРИСТРІЙ</b>	
О. Шаблій, Ч. Пулька, В. Гаврилюк, В. Сенчишин, В. Груша	29
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ ІНДУКЦІЙНОМУ НАПЛАВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ З УРАХУВАННЯМ ТЕПЛОВОГО ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЕКРАНІВ</b>	
Ч. Пулька, В. Сенчишин, В. Гаврилюк, М. Шарик	30
<b>УСТАНОВКА ДЛЯ ВІБРОІНДУКЦІЙНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ТОНКИХ ФАСОННИХ ДИСКІВ</b>	
Ю.Рудяк, М.Підгурський	31
<b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТНОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ДЛЯ ТОНКИХ ОБОЛОНОК З ТРІЩИНАМИ</b>	
М. Грещук, М. Підгурський	33
<b>ФАЗОВІ ТА СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ</b>	
В. Фостик; О. Римар	34
<b>ОЦІНКА РОЗПОДІЛУ ПОЗДОВЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ В ЗОНІ ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ ЗВАРНОГО ШВА В СТАЛІ МАРКИ Х20Н16Т6</b>	

