

УДК 621.923.42

В. Кальченко, докт. техн. наук; А. Єрошенко

Чернігівський державний технологічний університет

ШЛІФУВАННЯ МЕТОДОМ КОПІЮВАННЯ КІЛЬЦЕВОГО ЖОЛОБА ЗМІННОГО ПРОФІЛЮ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ ІНСТРУМЕНТА І ДЕТАЛІ

Вперше запропоновано модульні 3D моделі профілювання абразивного круга, зняття припуску і формоутворення кільцевого жолоба змінного профілю трубопрокатних валків методом копіювання як на обтискній, так і на калібруючій ділянках формують поверхні валка.

V. Kalchenko, A. Yeroshenko

GRINDING BY THE METHOD OF PRINTING-DOWN OF CIRCULAR CHAMFER OF VARIABLE PROFILE WITH CROSSING AXES OF THE TOOL AND THE PART

The modules 3D models of profiling of abrasive circle output allowance and forming of circular chamfer of variable type of rollers, are first offered by the method of printing-down, both on wring out and on calibrate areas of surface of roller.

Тонкостінні безшовні труби виготовляються шляхом холодного прокатування на трубопрокатних станах. Для отримання високоякісних труб необхідно забезпечити високу точність формують елементів станів. Основним з таких елементів є трубопрокатний валок, який має кільцевий жолоб, що безпосередньо формує трубу. Робоча частина жолоба складається з обтискної ВС і калібруючої CD ділянок (мал. 2). Труба деформується на обтискній ділянці, що має змінний профіль гребеня. Калібруюча ділянка жолоба валка має постійний радіус формують поверхні. Незалежно від ділянки, центр профілю жолоба перебуває на постійному радіусі R_0 з центром на осі обертання валка [1].

Остаточна обробка жолоба валка здійснюється шліфуванням. Валки виготовляють з легованої інструментальної сталі 9ХС і гартуються до твердості НРС 58-62. Для виготовлення високоякісних тонкостінних труб відхилення профілю жолоба на калібруючій ділянці повинно знаходитись в межах 0,01-0,03 мм, а шорсткість становити Ra 0,63-0,32. Припуски на остаточне шліфування не повинні перевищувати 0,3-0,5 мм [1].

На сучасному етапі для обробки жолобів змінного профілю, головним чином, застосовують два основні методи: огинання і торкання.

При шліфуванні методом огинання обробка здійснюється шліфувальним кругом, що має профіль у вигляді дуги кола, центр якого переміщується за еквідистантою до профілю. Формоутворення відбувається при паралельних осях кола й валка, які лежать в одній площині. Головним недоліком цього методу є формоутворення з точковим контактом круга і деталі, що значно знижує продуктивність обробки. Такий метод обробки реалізується на верстатах мод. ЛЗ-211, ЛЗ-212 [1].

Метод торкання реалізується шляхом застосування спеціальних конструкцій верстатів, які дозволяють обертати інструмент навколо вертикальної осі. Радіус осьового профілю абразивного круга дорівнює радіусу калібруючої ділянки жолоба. Тому формоутворення цієї ділянки здійснюється методом копіювання з лінійним контактом, що підвищує продуктивність і якість обробки. Формоутворення обтискної ділянки, що має змінний профіль жолоба, здійснюється методом огинання з точковим контактом, що знижує продуктивність у порівнянні з обробкою жолоба постійного

радіусного профілю [1].

Аналіз існуючих методів показав, що на даному етапі не існує способів шліфування валків зі змінним профілем, які б дозволяли обробляти копіюванням не лише калібруючу частину, яка має постійний радіус профілю, а й обтискну.

Всі згадані способи шліфування жолоба змінного профілю і його розвалки здійснюються за 2 операції. Це призводить до утворення перехідного уступу між жолобом й поверхнею розвалки, що знижує якість формоутворення труби. Особливий вплив така похибка валка здійснює на калібруючій ділянці.

Таким чином, метою даної роботи є розробка способу шліфування, що підвищує точність формоутворення профілю валка й продуктивність обробки за рахунок використання методу копіювання на обтискній і калібруючій ділянках жолоба, з лінійним контактом інструмента і деталі. Необхідно розробити модульні 3D моделі профілювання абразивного круга, зняття припуску й формоутворення, що передбачають обробку за еквідистантними кривими.

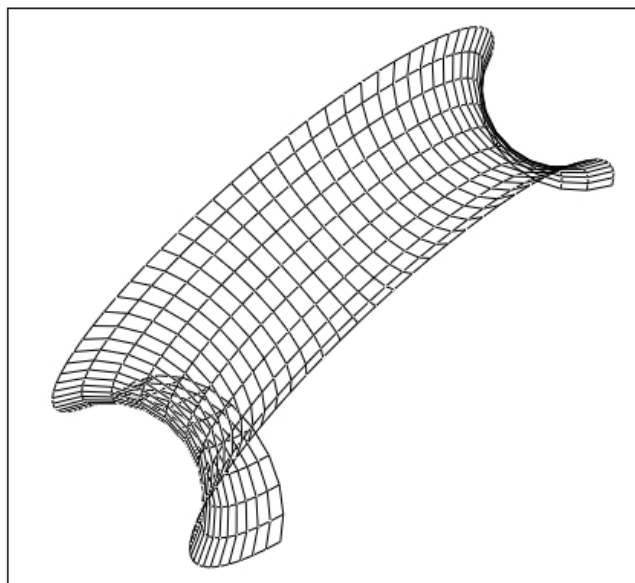
Математичний опис номінальної поверхні деталі може бути здійснений сферичним модулем

$$\bar{r}_\delta = S_{\theta_\delta y_\delta \varphi_\delta y_n}^\delta \cdot \bar{e}^4, \quad (1)$$

де: \bar{r}_δ – радіус-вектор поверхні кільцевого жолоба змінного профілю трубопрокатного валка 2 (рис 2); $S_{\theta_\delta y_\delta \varphi_\delta y_n}^\delta$ – сферичний модуль, що являє собою матрицю переходу від початкової точки в систему координат деталі; $e_4 = (0,0,0,1)^T$ – радіус-вектор початкової точки [2].

$$S_{\theta_\delta y_\delta \varphi_\delta y_n}^\delta = M_6(\theta_\delta) \cdot M_2(y_\delta) \cdot M_4(\varphi_\delta) \cdot M_2(y_n),$$

де: θ_δ – кут повороту навколо осі $O_\delta Z_\delta$ обертання деталі (рис. 2); $y_\delta = R_\delta$ – відстань від центра профілю до осі обертання деталі; φ_δ – кут повороту навколо осі $O_\delta X_\delta$; $y_n = \rho$ – радіус профілю деталі. Параметри матриць y_n , y_δ і φ_δ на обтискній ділянці валка змінні і є функціями від незалежного параметра θ_δ . На калібруючій ділянці, де профіль стає незмінним, вони перетворюються в константи.



DETAIL

Рисунок 1 - Модель жолоба

Розрахунок моделі (1) в системі MathCAD дозволив змоделювати графічне представлення жолоба, який підлягає обробці. Вихідні дані обробки: діаметр жолоба $D_\delta = 2R_\delta = 80$ мм, радіус профілю на калібруючій ділянці $\rho = 12$ мм, допуск $0,02$ мм, секторальний кут $\xi = 140^\circ$, перепад радіусів на обтискній частині $\Delta R = 2,5$ мм, шорсткість

поверхні Ra=1,25 мкм, матеріал деталі – сталь 9ХС, твердість HRC=58...62, припуск на обробку 0,4 мм. Параметри круга: діаметр 150 мм, матеріал 24А, твердість СМ1, зернистість 40, зв'язка керамічна - К6, структура 7.

Радіус-вектор інструмента в модульному виді описується через форму деталі і матрицю переходу

$$\vec{r}_i = M_{i0} \cdot \vec{r}_0, \quad (2)$$

де: M_{i0} – матриця переходу із системи координат деталі в систему координат інструмента.

Матриця переходу (2) являє собою добуток двох сферичних модулів

$$M_{i0} = S_{\theta_i, y_c}^{\phi_i} \cdot S_{\psi}^o, \quad (3)$$

де: $S_{\theta_i, y_c}^{\phi_i}$ – модуль формоутворення інструмента; S_{ψ}^o – модуль кутової орієнтації інструмента відносно деталі.

Модуль формоутворення (3) складається з добутку двох матриць

$$S_{\theta_i, y_c}^{\phi_i} = M_6(\theta_i) \cdot M_2(y_c),$$

де: θ_i – кут повороту системи координат деталі відносно осі обертання інструмента; y_c – відстань між осями обертання інструмента 1 і деталі 2 (рис. 2).

Модуль орієнтації (3) представлений матрицею відносних поворотів

$$S_{\psi}^o = M_5(\psi),$$

де: ψ – кут повороту круга 1 відносно осі, що перпендикулярна осям обертання деталі й інструмента, і проходить через центр профілю радіуса ρ .

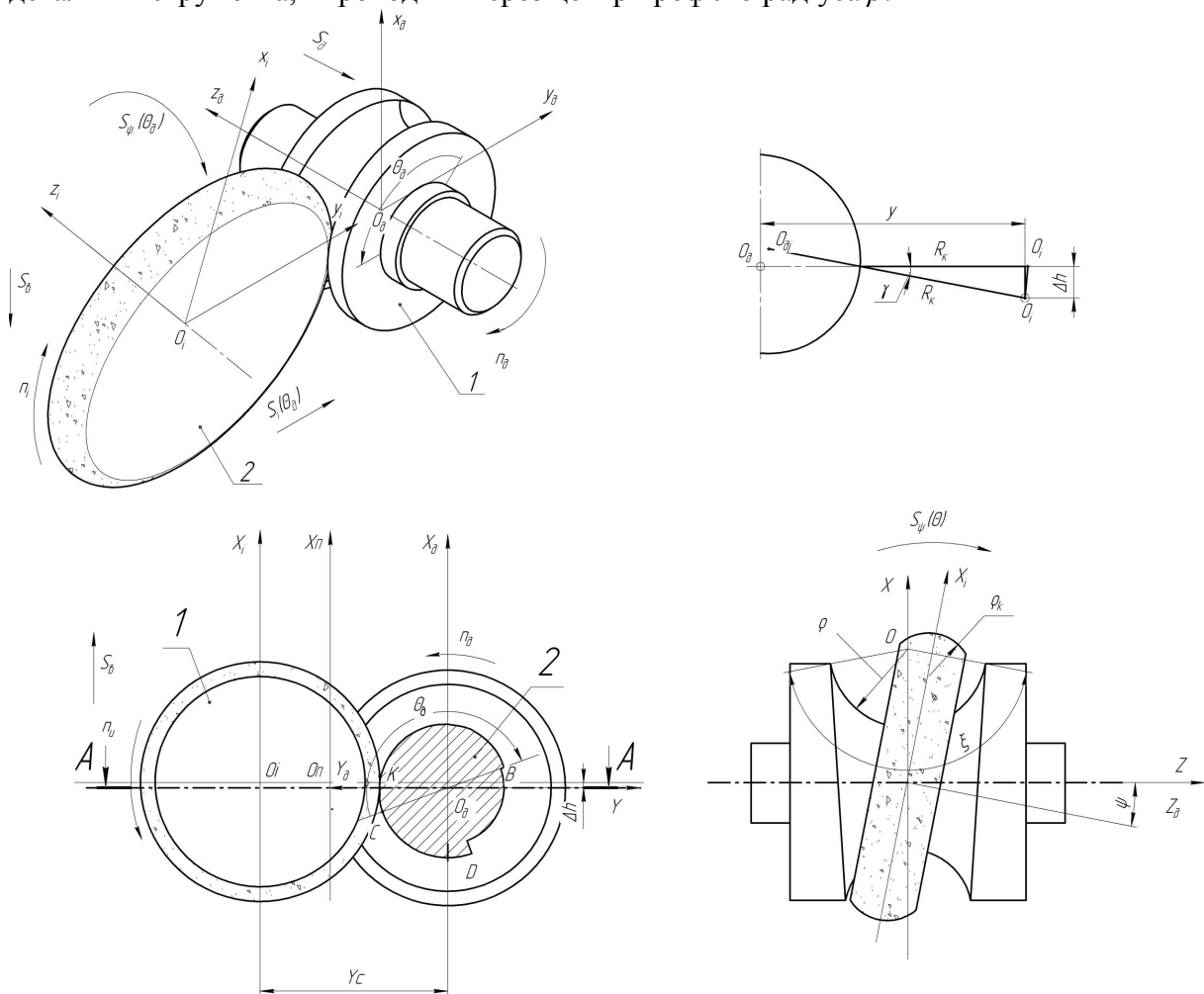


Рисунок 2 - Схема обробки жолоба змінного профілю трубопрокатного валка

При обробці кільцевого жолоба методом копіювання виникає необхідність у

зсуві круга у вертикальному напрямку (рис. 2). Це зумовлено змінним радіусом профілю на обтискній ділянці валка. Зміщення проводиться таким чином, щоб поверхні жолоба і круга в центральній точці лінії контакту мали спільну нормаль. Тобто центр обертання кола O_i , центральна точка лінії контакту K і центр радіуса кривизни гребеня жолоба $O_{дi}$ повинні лежати на одній прямій. На калібруючій ділянці, де радіус кривизни дна жолоба постійний і збігається з віссю обертання валка O_d , величина зсуву $\Delta h=0$.

Остаточне формоутворення труби відбувається на калібруючій ділянці валка, де радіус жолоба є найменшим. Інструментальна поверхня визначається з умови торкання круга з жолобом деталі саме на калібруючій ділянці. При цьому радіус осьового переріза інструмента ρ_k повинен бути менше радіуса заготовки ρ_z . Таким чином, надалі радіус-вектор інструмента \vec{r} буде розглядатися для калібруючої ділянки валка, де параметри модульної моделі, окрім кута повороту деталі θ_a , постійні.

Для профілювання інструмента необхідно скласти рівняння, що визначає лінію контакту

$$\vec{V} \cdot \vec{n} = 0,$$

де: \vec{n} – одиничний вектор нормалі до поверхні деталі; \vec{V} – вектор швидкості відносного руху цієї поверхні в системі координат інструмента [3].

Радіус-вектор \vec{r}_i описує множину інструментальних поверхонь. Вибір раціональної здійснюють на підставі аналізу геометричних параметрів зовнішньої поверхні деталі, заготовки й припуску δ , що знімається (рис. 2).

Радіус-вектор інструмента можна представити сферичним модулем, що подібний до аналогічного модуля деталі (1), але зі своїми параметрами

$$\vec{r}_i = S_{\theta_i, y_i, \varphi_i, y_n}^i \cdot \vec{e}^4, \quad (5)$$

$$S_{\theta_i, y_i, \varphi_i, y_n}^i = M_6(\theta_i) \cdot M_2(y_i) \cdot M_4(\varphi_i) \cdot M_2(y_n),$$

де: \vec{r}_i – радіус-вектор поверхні круга; $S_{\theta_i, y_i, \varphi_i, y_n}^i$ – сферичний модуль, що являє собою матрицю переходу від початкової точки в систему координат інструмента; θ_i – кут повороту навколо осі $O_i Z_i$ обертання інструмента; $y_i = R_i$ – відстань від центра профілю інструмента до його осі обертання; φ_i – кут повороту навколо осі $O_i X_i$; $y_n = \rho_k$ – радіус профілю круга (рис. 3). Модель (5) дозволяє визначити координати профілю круга, який зображено на рис. 3.

При обробці обтискної ділянки кут нахилу кола постійно змінюється зі зміною радіуса жолоба, сягаючи максимального нахилу на початку обтискної частини валка. Кут нахилу в кожній точці гребеня визначається з умови мінімального відхилення радіуса проекції лінії контакту на осьову площину від радіуса профілю жолоба.

На рис. 4 показані розгортки ліній контакту інструмента і деталі для різних кутів нахилу круга при обробці жолоба з параметрами, що наведені вище.

Радіус-вектор кільцевого жолоба змінного профілю трубопрокатного валка, який утворюється після обробки інструментом, що описаний моделлю (5), можна представити через два сферичних модулі й радіус-вектор інструмента:

$$\vec{r}_{oi} = S_{\theta_o, y}^{\phi} \cdot S_{\psi, x}^o \cdot \vec{r}_i,$$

де: $S_{\theta_o, y}^{\phi} = M_6(\theta_o) \cdot M_2(-y_c + a \cdot \theta - t \cdot k)$ – модуль формоутворення деталі; θ_o – кут повороту системи координат інструмента відносно осі обертання деталі; $y = -y_c + a \cdot \theta - t \cdot k$ – поточна координата міжосьової відстані інструмента й деталі;

$a = \frac{t}{2\pi}$ – постійна архімедової спіралі, якою у відносному русі переміщується круг при знятті припуску δ ; t – величина поперечної подачі круга у напрямку, що перпендикулярний осі $O_o Z_o$ обертання деталі, на один її оберт; k – кількість робочих

ходів, необхідних для зняття припуску δ ; $S_{\psi,x}^o = M_5(\pm\psi) \cdot M_1(x)$ – модуль кутової орієнтації інструмента відносно деталі.

Обробка обтискної ділянки жолоба буде проводитись з похибкою, яка зумовлена невідповідністю радіусів профілю жолоба і проекції лінії контакту на осьову площину, яка проходить через точку контакту на дні жолоба. Таким чином, обробка профілю жолоба буде проводитись шляхом послідовного уточнення: максимальна похибка обробки буде проявлятися на початку обтискної частини валка і поступово буде зменшуватися у напрямку калібруючої частини, досягаючи нульового значення (рис.5). Варто відзначити, що незалежно від ділянки, яка обробляється, дно жолоба формується без похибки. Величина похибки Δ визначається за методом найменших квадратів і повинна лежати в межах допуску на обробку

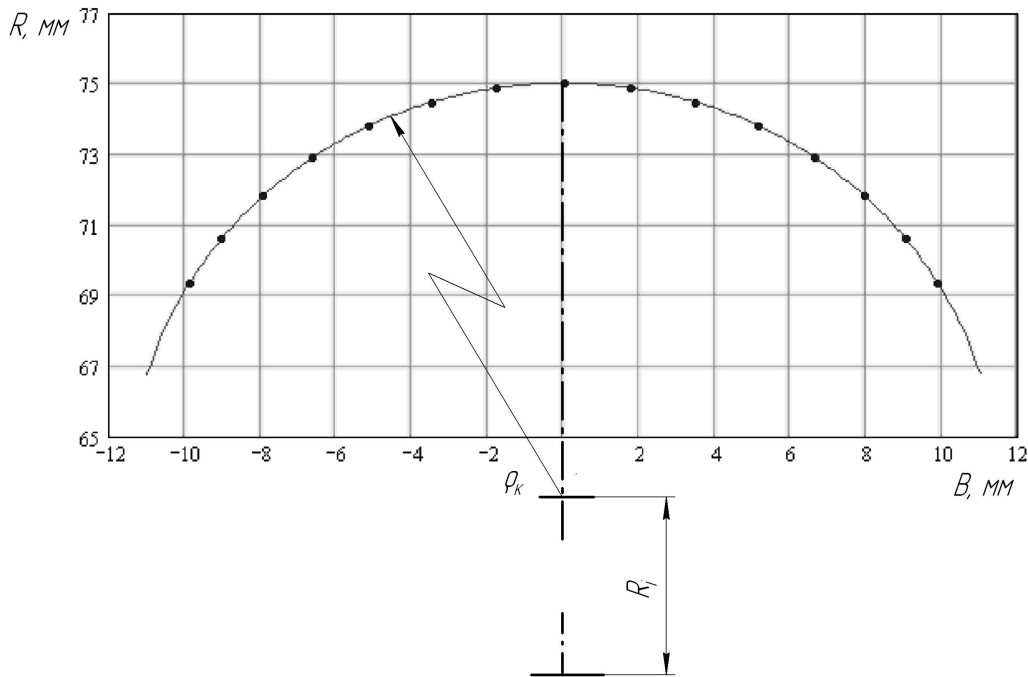


Рисунок 3 - Профіль інструмента

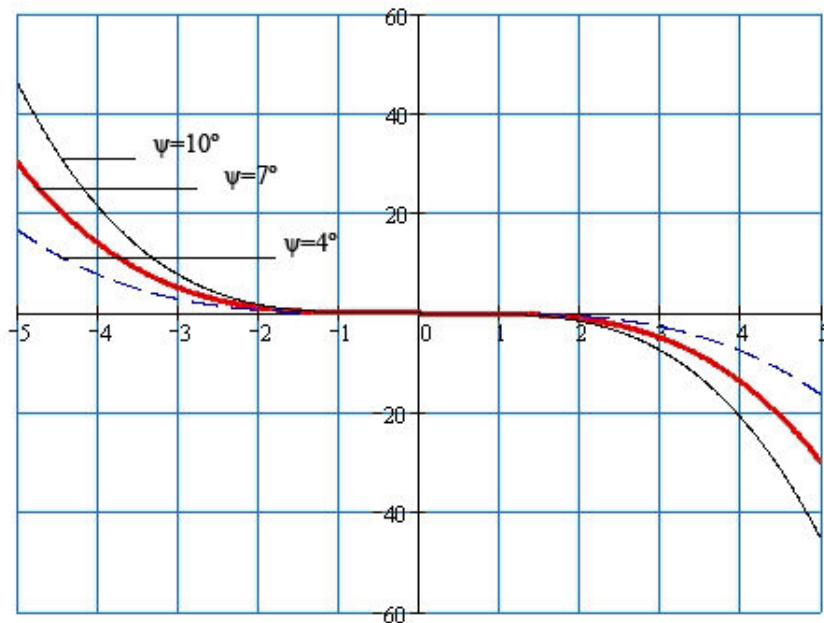


Рисунок 4 - Лінії контакту круга й деталі при шліфуванні орієнтованим інструментом

У процесі обробки (рис.6) дна жолоба 1, круг 3 рухається за еквідистантою відносного руху центра інструмента 2. Нормаль 4 проходить через центр круга, точку

контакту на дні жолоба та центр радіуса кривизни.

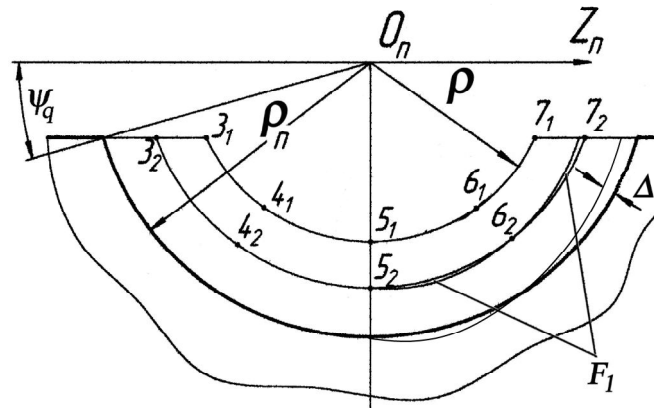


Рисунок 5 - Схема уточнення профілю жолоба

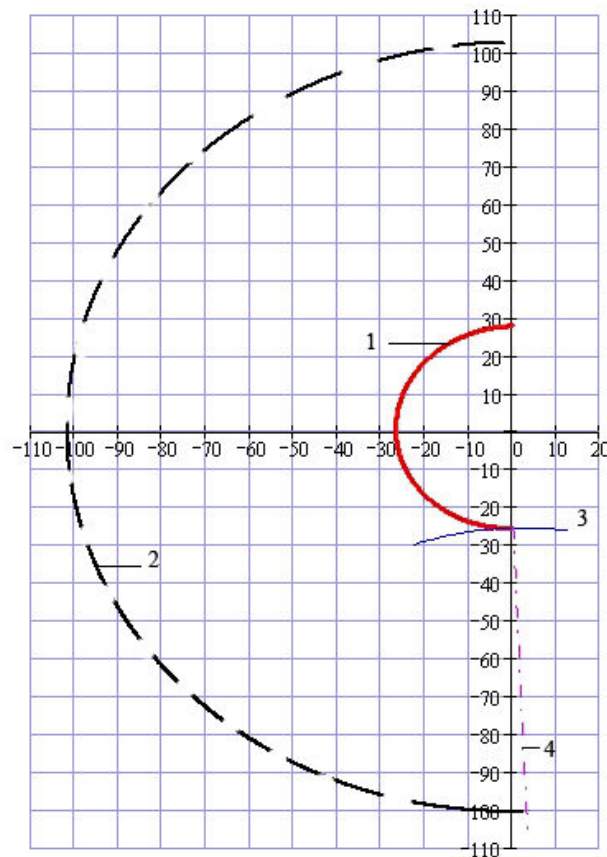


Рисунок 6 - Схема обробки жолоба

Висновок. Розроблено модульні 3D моделі зняття припуску, формоутворення й профілювання інструмента. На базі аналізу цих моделей розроблений новий спосіб шліфування методом копіювання з лінійним контактом круга й деталі на калібруючій і обтискній ділянках жолоба валка, який значно підвищує продуктивність обробки. Цей спосіб дозволяє формувати поверхню жолоба і його розвалку на одній операції.

Література

1. Кальченко В.И. Шлифование криволинейных поверхностей крупногабаритных деталей / В.И. Кальченко. - М.: Машиностроение, 1979. — 160 с.
2. Решетов Д.Н. Точность металлорежущих станков / Д.Н. Решетов, В.Т. Портман. - М.: Машиностроение, 1986. - 336 с.
3. Равська Н.С., Родін П.Р., Ніколаєнко Т.П., Мельничук П.П. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці. - ЖІТІ, 2000. - 163с.

Одержано 01.10.2008 р.