

УДК 621.793.71

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ЗОВНІШНЬОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ПОВЕРХНІ ВТУЛОК**В. В. Кустов, Л. Я. Роп'як**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна. E-mail: l_gorjak@ukr.net

Проведено порівняльні комплексні дослідження точності токарної обробки зовнішньої поверхні сталевих втулок із напиленими покриттями з тієї ж сталі, що й основа, а також і без покриття розрахунково-аналітичним методом. Визначено сукупність первинних похибок, які мають випадковий або систематичний характер, що впливають на точність обробки на токарному верстаті, а саме: похибки форми від геометричної неточності верстата; похибки налаштування системи верстат – пристрій – інструмент – деталь (ВПД) на отримання заданого розміру; похибки від зміни величини деформації системи ВПД внаслідок зміни сил різання; похибки миттєвого розсіювання розміру; похибки від розмірного спрацювання різця; похибки від теплової деформації різця. Проведено розрахунок похибок та визначено сумарну похибку обробки. В розрахунках для втулок із напиленими покриттями враховувалася понижена їх міцність та підвищена твердість у порівнянні із суцільним матеріалом, що пояснюється шаруватістю покриттів і наявністю в їх структурі твердих частинок оксидів, нітридів. За результатами аналізу дана оцінка похибки обробки шляхом побудови теоретичної діаграми точності. Встановлено співвідношення між економічною та технологічною стійкістю різального інструмента. Виявлено домінуючі похибки та запропоновано заходи для підвищення точності обробки зовнішніх циліндричних поверхонь втулок як із суцільного матеріалу, так і з покриттям.

Ключові слова: точність обробки, діаграми точності, покриття, втулка, напилення.**АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ВНЕШНЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВТУЛОК****В. В. Кустов, Л. Я. Роп'як**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина. E-mail: l_gorjak@ukr.net

Проведены сравнительные комплексные исследования точности токарной обработки внешней поверхности стальных втулок с напыленными покрытиями из той же стали, что и основа, а также и без покрытия расчетно-аналитическим методом. Определена совокупность первичных погрешностей, имеющих случайный или систематический характер, влияющих на точность обработки на токарном станке, а именно: погрешности формы от геометрической неточности станка; погрешности настройки системы станок – приспособление – инструмент – деталь (СПИД) на получение заданного размера; погрешности от изменения величины деформации системы СПИД вследствие изменения сил резания; погрешности мгновенного рассеивания размера; погрешности от размерного износа резца; погрешности от тепловой деформации резца. Проведен расчет погрешностей и определена суммарная погрешность обработки. В расчетах для втулок с напыленными покрытиями учитывалась пониженная их прочность и повышенная твердость по сравнению со сплошным материалом, что объясняется слоистостью покрытий и наличием в их структуре твердых частиц оксидов, нитридов. По результатам анализа дана оценка погрешности обработки путем построения теоретической диаграммы точности. Установлено соотношение между экономической и технологической стойкостью режущего инструмента. Выявлены доминирующие погрешности и предложены меры для повышения точности обработки наружных цилиндрических поверхностей втулок как из сплошного материала, так и с покрытием.

Ключевые слова: точность обработки, диаграммы точности, покрытия, втулка, напыление.

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ. Розвиток сучасного машинобудування пов'язаний з необхідністю створення нових видів техніки, забезпеченням впровадження прогресивних технологій, ефективного використання ресурсів та зменшення енерго- та матеріаломісткості виробництва. Такі умови вимагають високої надійності та довговічності деталей та вузлів механізмів і машин. Ці важливі якісні показники машинобудівних виробів значною мірою визначаються станом їх поверхневих шарів, які в умовах експлуатації піддаються інтенсивним механічним, тепловим, корозійним та іншим діям. Саме з поверхневого шару в більшості випадках починається втрата деталлю свого службового призначення та її вихід з ладу, наприклад, спричиненого зносом та корозією.

Традиційні матеріали не завжди можуть забезпечити високі вимоги сучасного машинобудівного виробництва. І в такому випадку доцільно викорис-

тати, як один із напрямків вирішення проблеми, захисні покриття. Застосування останніх дозволяє основу деталі виготовляти із більш дешевого матеріалу, що забезпечує її міцність та конструктивні параметри, а на робочі поверхні, які повинні мати спеціальні властивості, наносити шари покриттів з інших матеріалів, надаючи цим поверхням властивості, які відповідають умовам експлуатації деталей машин.

Існує багато технологічних методів отримання захисних покриттів, вибір кожного з них диктується конкретними вимогами виробництва, серед яких немало важливу роль відіграють такі ознаки як універсальність методу, нескладність його реалізації та продуктивність, можливість застосування засобів механізації та автоматизації. При інших рівних умовах таким вимогам, на нашу думку, достатньою мірою відповідають методи газотермічного напилення покриттів і, зокрема, електродугова металіза-

ція, завдяки високій продуктивності, простоті, легкості автоматизації процесу, можливості формування покриттів, в тому числі композиційних, значної товщини різного призначення: зносостійких, антикорозійних, жаростійких тощо.

Використання газотермічних покриттів для деталей різного функціонального призначення в багатьох випадках вимагає проведення наступної механічної обробки їх поверхні. В сфері машинобудування найбільш поширеним видом такої обробки є механічна обробка різанням. Це пов'язано з тим, що поверхні деталей після нанесення покриття часто не відповідають необхідним показникам точності розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь, які суттєво впливають на експлуатаційні показники сучасних машин і механізмів. Точність виготовлення окремих деталей, і зокрема, деталей з покриттями, є одним із визначальних критеріїв якості машинобудівних виробів, до складу яких вони належать.

Аналіз останніх досліджень. У дослідженнях, присвячених вивченню проблем застосування процесів різання для формування поверхонь деталей з газотермічними покриттями, достатньо уваги приділяється вибору виду обробки, матеріалам різальної частини інструментів, припускам, режимам різання [1, 2]. У той же час питання точності виготовлення деталей з покриттями висвітлюються, на нашу думку, в недостатній мірі з точки зору їх комплексності та повноти.

Так, у роботі [3], вивчали застосування мінералокераміки для точіння зносостійких покриттів, зазначеного квалітету точності розмірів обробки, без аналізу факторів її досягнення. В дослідженні [4] розглянуто вплив геометричних похибок заготовки на точнісні характеристики напилених зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь деталей типу втулок, включаючи і подальшу механічну обробку напиленого покриття. При цьому в наведеному аналізі похибок враховували тільки просторові відхилення та похибки установки і дали коротку якісну оцінку похибок форми.

Мета роботи – комплексна оцінка впливу факторів механічної обробки газотермічних покриттів на точність обробки циліндричних поверхонь деталей машин.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Для досягнення поставленої мети було обрано розрахунково-аналітичний метод розроблений проф. Бородачевим А.Н. і вдосконалений в подальшому в роботах проф. Соколовського В.В. і проф. Балакшина Н.В. та їх учнів та послідовників [5].

Метод ґрунтується на використанні аналітичних залежностей, кількісних зв'язків між складовими похибками обробки і факторами, що їх викликають та на варіантному вирішенні рівняння балансу точності технологічної операції.

Він містить:

– визначення розрахунком або за нормативами первісних похибок і їх вплив на точність розмірів та інші точнісні характеристики деталі;

– сумування первісних похибок з метою встановлення загальної похибки обробки механічної операції;

– побудову діаграми точності та гістограми похибок обробки;

– встановлення, на підставі аналізу результатів розрахунків, можливості запобігання або зменшення первісних похибок.

Розглянемо застосування розрахунково-аналітичного методу аналізу точності на конкретному прикладі. Визначаємо похибки при чистовому точінні на задалегідь налагодженому методом пробних деталей токарному верстаті з ЧПК моделі 16К20Ф3. Обробляли партію зразків у вигляді втулок із зовнішнім діаметром $d = 74$ мм і довжиною обробки $L = 100$ мм з напиленим електродуговим методом покриттям із сталі 45 на розроблений нами установці [6], а також із суцільної сталі тієї ж марки. Деталі закріплювали на цанговій оправці по внутрішньому отвору. Інструмент – різець прохідний з пластиною з твердого сплаву Т15К6. Параметри ріжучої частини: головний кут в плані $\varphi = 45^\circ$; головний задній кут $\alpha = 8^\circ$; передній кут $\gamma = 10^\circ$; допоміжний кут в плані $\varphi_1 = 10^\circ$; кут нахилу різальної кромки $\lambda = 0^\circ$.

Режими токарної обробки втулок визначали за відомими рекомендаціями [1, 7, 9] і складали для зразків втулок із суцільного матеріалу: швидкість різання $V = 120$ м/хв., поздовжня подача $S = 0,15$ мм/об, глибина різання $t_{\max} = 0,5$ мм, $t_{\min} = 0,4$ мм; для напилених зразків втулок відповідно: $V = 22$ м/хв., $S = 0,25$ мм/об, $t_{\max} = 0,5$ мм, $t_{\min} = 0,4$ мм.

Схема обробки втулок представлена на рис. 1.

Прийнятий метод досягнення заданої точності супроводжується похибками обробки, що викликано причинами випадкового та систематичного характеру. При цьому і похибки, що виникають під час обробки, будуть випадковими або систематичними. До випадкових похибок належать похибка настроювання Δ_n , похибка від зміни величини деформації Δ_u системи верстат – пристрій – інструмент – деталь (ВПД) внаслідок зміни сил різання, спричинених зміною фізико-механічних властивостей поверхневих шарів (наприклад, твердості) та коливання глибини різання від t_{\max} до t_{\min} . До випадкових похибок належить також похибки розсіювання розмірів, пов'язані з видом обробки – миттєве розсіювання $\Delta_{м.н.}$ та похибки установки деталей в пристрої ε .

Систематичні похибки виникають внаслідок геометричної неточності верстата, розмірного спрацювання різального інструмента Δ_i та його температурних деформацій Δ_T .

Сума систематичних і випадкових похибок утворює загальну похибку $\Delta_{\text{сум.}}$, яка визначається наступною відомою залежністю:

$$\Delta_{\text{сум.}} = 1,2 \sqrt{\Delta_{\text{м.н.}}^2 + \varepsilon^2} + \Delta_{\text{сист.}}, \quad (1)$$

де $\Delta_{\text{м.н.}}$ – похибка миттєвого розсіювання розмірів оброблюваної поверхні, мм; ε – похибка установки, мм; $\Delta_{\text{сист.}}$ – систематична похибка, яка є алгебраїчною сумою систематичних похибок, що виникають під час обробки деталі, мм.

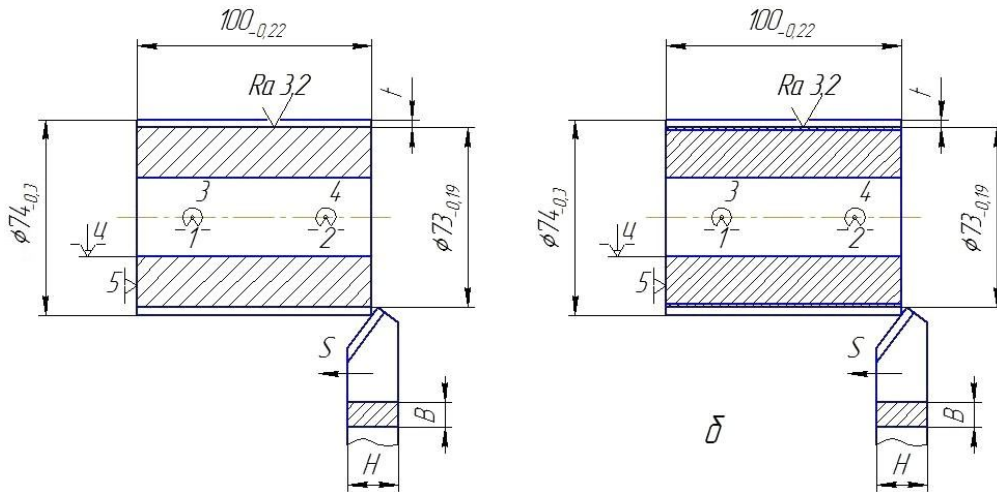


Рисунок 1 – Схема обробки втулок: а) – зразок із суцільного матеріалу; б) – зразок із напиленим покриттям

Похибка миттєвого розсіювання розміру

$$\Delta_{\text{м.н.}} = 1,2\sqrt{\Delta_{\text{н}}^2 + \Delta_{\text{д}}^2} + \Delta_{\text{в}}, \quad (2)$$

де $\Delta_{\text{н}}$ – похибка настроювання, мм; $\Delta_{\text{д}}$ – похибка, що залежить від зміни величини деформації системи ВПД, мм; $\Delta_{\text{в}}$ – похибка форми від геометричної неточності верстата в радіальному напрямку, мм.

Похибка настроювання $\Delta_{\text{н}}$ системи ВПД на отримання виконавчого розміру обробленої поверхні розраховується за виразом:

$$\Delta_{\text{н}} = 1,2\sqrt{\Delta_{\text{рег}}^2 + \Delta_{\text{вим}}^2 + \Delta_{\text{зміц}}^2}. \quad (2)$$

де $\Delta_{\text{рег}}$ – похибка регулювання положення різця, мм; $\Delta_{\text{вим}}$ – похибка вимірювання, мм; $\Delta_{\text{зміц}}$ – похибка зміщення центру групування відносно розміру налагодження, мм.

Похибку регулювання визначаємо враховуючи, що обробка виконується на токарному верстаті з числовим програми керуванням, з дискретністю системи ЧПК 0,005 мм.

Похибка вимірювання для мікрометра МК 50-75 згідно з [8] складає $\Delta_{\text{вим}} = 0,012$ мм.

Похибку зміщення центру групування орієнтовно можна визначити із виразу [9]:

$$\Delta_{\text{зміц}} = \frac{\sigma}{\sqrt{m}}, \quad (3)$$

де σ – середнє квадратичне відхилення, що характеризує точність даного методу обробки, мм; m – кількість пробних деталей.

Наближено приймаємо

$$\sigma = \frac{\delta}{6}, \quad (4)$$

де δ – допуск на розмір, що витримується, мм;

Отже, із врахуванням вказаного ($\delta = 0,19$ мм), маємо:

$$\sigma = \frac{0,19}{6} = 0,032 \text{ мм.}$$

Тоді $\Delta_{\text{зміц}}$ буде дорівнювати ($m = 4$):

$$\Delta_{\text{зміц}} = \frac{0,032}{\sqrt{4}} = 0,016 \text{ мм.}$$

Таким чином, похибка настроювання для обох видів оброблюваних зразків втулок становить:

$$\Delta_{\text{н}} = 1,2\sqrt{0,005^2 + 0,012^2 + 0,016^2} = 0,025 \text{ мм}$$

З розрахунку на радіус похибка настроювання дорівнює:

$$\Delta_{\text{нR}} = \frac{\Delta_{\text{н}}}{2} = 0,0125 \text{ мм.}$$

Похибка установки $\varepsilon = 0$.

Похибку $\Delta_{\text{д}}$ від зміни величини деформації технологічної системи, спричинену зміною глибини різання, встановлювали для зразків із суцільного матеріалу за виразом, користуючись довідковими даними [7, 10]

$$\Delta_{\text{д}} = C_{\text{py}} \cdot S^{y_{\text{py}}} \cdot V^{n_{\text{py}}} \cdot K_{\text{p}} \left(t_{\text{max}}^{x_{\text{py}}} - t_{\text{min}}^{x_{\text{py}}} \right) \cdot \omega, \quad (5)$$

де V – швидкість різання, м/хв.; S – подача, мм/об; t_{max} , t_{min} – максимальна і мінімальна глибини різання, мм; C_{py} , x_{py} , y_{py} , n_{py} – коефіцієнт та показники степенів для розрахунку нормальної складової сили різання P_{y} , відповідно; ω – податливість верстата, мкм/м.

Цю величину приймаємо постійною, оскільки довжина деталі незначна.

Податливістю деталі нехтуємо.

Таким чином, згідно з формулою (5) $\Delta_{\text{д}}$ дорівнює:

$$\Delta_{\text{д}} = 10 \cdot 243 \cdot 0,15^{0,6} \cdot 120^{-0,3} \times \\ \times 0,85 \cdot (0,5^{0,9} - 0,4^{0,9}) \cdot 0,0365 \cong 0,001 \text{ мм.}$$

Для визначення похибки $\Delta_{\text{д}}$ для зразків з напиленим покриттям застосуємо формулу, яка включає в себе показник твердості оброблюваної поверхні, оскільки відомо, що твердість покриття за рахунок наявності в його складі твердих частинок оксидів, нітридів, що утворюються в процесі напилювання, значно зростає у порівнянні із твердістю вихідного матеріалу для напилення. Вказаний фактор враховується в нижченаведеній залежності [7, 11]:

$$\Delta_y = C_{Py} \cdot S^{Py} (t_{max}^{Py} - t_{min}^{Py}) \cdot HB^{n_{Py}} \cdot \omega, \quad (6)$$

де HB – твердість покриття за Брінелем, $HB = 230$.

Підставивши значення параметрів у вираз (6) отримаємо

$$\Delta_y = 0,0027 \cdot 0,25^{0,75} (0,5^{0,9} - 0,4^{0,9}) 230^2 \cdot 0,0365 \cong \cong 0,0005 \text{ мм.}$$

Похибка форми деталі у радіальному напрямку Δ_g обумовлена геометричною неточністю верстата. Вона належить до постійних систематичних похибок і включає в себе складову Δ'_g , зумовлену радіальним чи осьовим биттям шпинделя і складову Δ''_g зумовлену відхиленнями паралельності осі шпинделя до напрямних станини токарного верстата в горизонтальному напрямку.

Згідно з [8], маємо відповідно:

$$\Delta'_g = 0,008 \text{ мм, } \Delta''_g = 0,02 \text{ мм.}$$

Таким чином,

$$\Delta_g = \Delta'_g + \Delta''_g = 0,008 + 0,02 = 0,028 \text{ мм.}$$

Відхилення форми втулки на радіус

$$\Delta_{gR} = \frac{\Delta_g}{2} = \frac{0,028}{2} = 0,014 \text{ мм.}$$

Отже похибка миттєвого розсіювання в розрахунку на радіус $\Delta_{м.н.Р}$ та на діаметр $\Delta_{м.н.}$ дорівнює відповідно:

– для зразків з суцільного матеріалу

$$\Delta_{м.н.Р} = 1,2 \sqrt{(0,001)^2 + (0,0125)^2} + 0,014 = 0,0325 \text{ мм;}$$

$$\Delta_{м.н.} = 2\Delta_{м.н.Р} = 0,065 \text{ мм,}$$

– для зразків з напилим покриттям

$$\Delta_{м.н.Р} = 1,2 \sqrt{(0,0005)^2 + (0,0125)^2} + 0,014 = 0,0325 \text{ мм,}$$

$$\Delta_{м.н.} = 2\Delta_{м.н.Р} = 0,065 \text{ мм,}$$

Визначаємо систематичну похибку обробки $\Delta_{сист}$, яка є закономірно змінна і викликана сумарною дією розмірного спрацювання різця Δ_i та його температурною деформацією Δ_T .

Розмірний знос різця визначали за формулою [10]:

$$\Delta_i = U_o \left(1 + \frac{V \cdot \tau}{1000} \right), \quad (7)$$

де U_o – відносний знос різця, мкм/км; $U_o = 6$ мкм/км – для зразків з суцільного матеріалу; $U_o = 9$ мкм/км – для зразків з покриттям; V – швидкість різання, м/хв; τ – час обробки, хв.

Запишемо розрахункову залежність Δ_c для зразків з суцільного матеріалу підставивши в (7) значення U_o

$$\Delta_i = 6 \left(1 + \frac{120 \cdot \tau}{1000} \right) = 6(1 + 0,12\tau). \quad (8)$$

Аналогічно для зразків з покриттям Δ_{i_n} буде до-рівнювати

Таблиця 1 – Результати розрахунку систематичної похибки при обробці втулки із суцільного матеріалу

$$\Delta_i = 9 \left(1 + \frac{22 \cdot \tau}{1000} \right) = 9(1 + 0,022\tau). \quad (9)$$

Похибку від температурної або теплової деформації різця визначаємо за виразом [10, 12]:

$$\Delta T = C \frac{L_p}{F} \sigma_g (t - S)^{0,75} \cdot V^{0,5} \frac{T_o}{T_o + T_{пер}} \left(1 - e^{-\frac{4\tau}{\tau_m}} \right), \quad (10)$$

де C – константа; L_p – виліт різця, мм; F – площа поперечного перерізу державки різця, мм²; σ_g – границя міцності обробленого матеріалу, кг/мм²; t, S, V – режими різання відповідно; T_o – основний час обробки, хв; $T_{пер}$ – перерва між обробкою кожної деталі, хв; τ_m – константа, що змінюється в межах 12...24 хв. Приймаємо $\tau_m = 16$ хв.

Зразки з напилим покриттям, як зазначено вище, мають підвищену твердість, тому доцільно для врахування цієї особливості визначити σ_g , керуючись відомою залежністю для сталей, що $\sigma_g \approx 0,35 HB$ [13]. Таким чином, в даних розрахунках приймаємо величину σ_g покриття рівною:

$$\sigma_g = 0,35 \cdot 230 \approx 81 \text{ кг/мм}^2.$$

Спростивши вираз (10), підклавши в нього чисельні значення складових величин, отримали кінцеві формули для визначення похибки від теплової деформації різця ΔT при точінні суцільних зразків і зразків із покриттям відповідно:

$$\Delta T = 4,5 \frac{20}{400} 60(0,5 \cdot 0,5)^{0,75} \cdot 120^{0,5} \times \times \frac{1,4}{1,4 + 0,5} \left(1 - e^{-\frac{4\tau}{16}} \right) = 15,6 \left(1 - e^{-\frac{4\tau}{16}} \right), \quad (11)$$

$$\Delta T = 4,5 \frac{20}{400} 81(0,5 \cdot 0,25)^{0,75} \cdot 22^{0,5} \times \times \frac{4,2}{4,2 + 0,5} \left(1 - e^{-\frac{4\tau}{16}} \right) = 16,4 \left(1 - e^{-\frac{4\tau}{16}} \right). \quad (12)$$

Результати досліджень. Визначаємо окремі складові загальної похибки обробки при точінні циліндричних поверхонь зразків із суцільного матеріалу та зразків із напилим покриттям, оцінюючи їх вплив на точність радіальних (діаметральних) розмірів.

Проміжні та кінцеві результати розрахунків систематичної похибки при токарній обробці зразків із суцільного матеріалу та із покриттям зведено в табл. 1, 2 відповідно. За одержаними даними будуємо теоретичні діаграми точності токарної обробки (рис. 2, 3), які наочно ілюструють зміну розміру деталі в часі під дією чинників обробки.

τ , хв	0	2	4	8	12	16	20	40	60	80	100	120
Δi , мкм	6	7,5	9	12	15	18	20	35	49	64	78	92
ΔT , мкм	0	6	10	13,5	15	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5
$\Delta_{сум} = 2(\Delta i + (-\Delta T))$, мкм	12	11	13	18	23	28	32	62	90	120	148	176

Таблиця 2 – Результати розрахунку систематичної похибки при обробці втулки із напиленим покриттям

τ , хв	0	2	4	8	12	16	20	40	60	80	100	120
Δi , мкм	9	9,5	10,5	11	11,5	12	13	18	21	25	29	33
ΔT , мкм	0	6,5	0,5	14	15,5	16	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5
$\Delta_{сум} = 2(\Delta i + (-\Delta T))$, мкм	18	6	0	-6	-8	-8	-7	+3	9	7	25	33

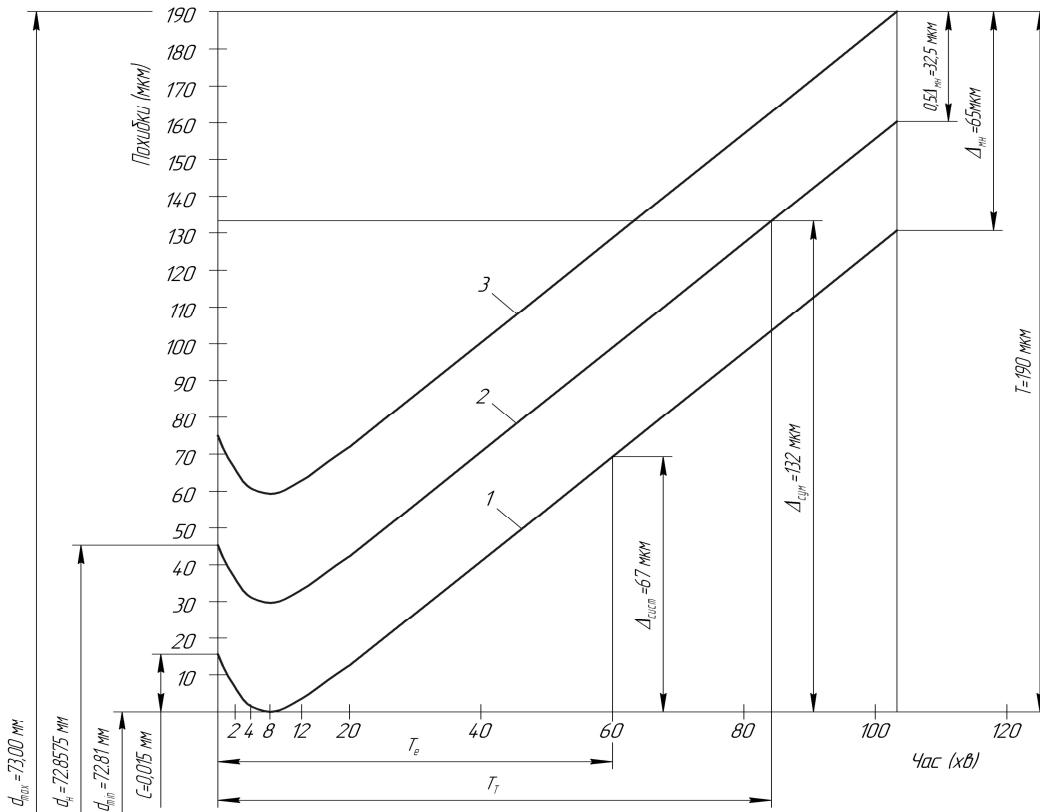


Рисунок 2 – Теоретична діаграма точності токарної обробки зразків з суцільного матеріалу: 1, 2, 3 – нижня, середня та верхня лінії розсіювання розмірів відповідно

Аналізуючи побудовані діаграми точності (рис. 2, 3) відзначимо таку особливість, а саме те, що співвідношення між економічною стійкістю T_e і технологічною стійкістю T_T буде таким $T_e < T_T$, що означає необхідність перезаточування різця. Відмінність побудованих діаграм полягає в тому, що за рахунок більш високих значень режимів різання графік для зразків з суцільного матеріалу є більш «крутим», ніж для напилених зразків. Це означає, що технологічна стійкість різця при обробці буде більшою для зразків з напиленим покриттям та більш інтенсивну в часі втрату точності обробки для суцільних зразків.

Загальна похибка обробки $\Delta_{сум}$ при $T_e = 60$ хв. становить

$$\Delta_{сум} = \Delta_{м.н.} + \Delta_{сумт.}, \quad (13)$$

– для суцільних зразків:

$$\Delta_{сум} = 0,065 + 0,070 = 0,135 \text{ мм},$$

– для зразків з покриттям:

$$\Delta_{сум} = 0,065 + 0,017 = 0,082 \text{ мм}.$$

Визначимо настроювальний розмір $d_{настр}$

$$d_{настр} = d_{min} + \frac{\Delta_{м.н.}}{2} + C. \quad (14)$$

Величина C дорівнює $\Delta_{сумт.}$ при $\tau = 0$ мінус

$\Delta_{сумт. min}$:

– для зразків з суцільного матеріалу:

$$C = 12 - (-3) = 15 \text{ мкм} = 0,015 \text{ мм};$$

– для зразків з покриттям:

$$C = 18 - (-8) = 26 \text{ мкм} = 0,026 \text{ мм}.$$

Таким чином $d_{настр}$:

– для зразків з суцільного матеріалу:

$$d_{настр} = 72,81 + 0,0325 + 0,015 = 72,8575 \text{ мм};$$

– для зразків з напиленим покриттям:

$$d_{настр} = 72,81 + 0,0325 + 0,026 = 72,869 \text{ мм.}$$

Оцінимо питомий внесок C_j кожної з первинних похибок в загальну похибку обробки, визначену при $T_e = 60$ хв, тобто в сумарну похибку $\Delta_{сум}$, за виразом

$$C_j = \frac{\Delta_j}{\Delta_{сум}} \cdot 100\%, \quad (15)$$

де Δ_j – величина j -ої похибки.

Результати питомого внеску первинних похибок у загальну похибку токарної обробки зведено в таблиці 3, 4 відповідно.

За даними табл. 3, 4 встановили, що домінуючими похибками обробки є похибки від миттєвого розсіювання, від розмірного спрацювання та теплових деформацій різця.

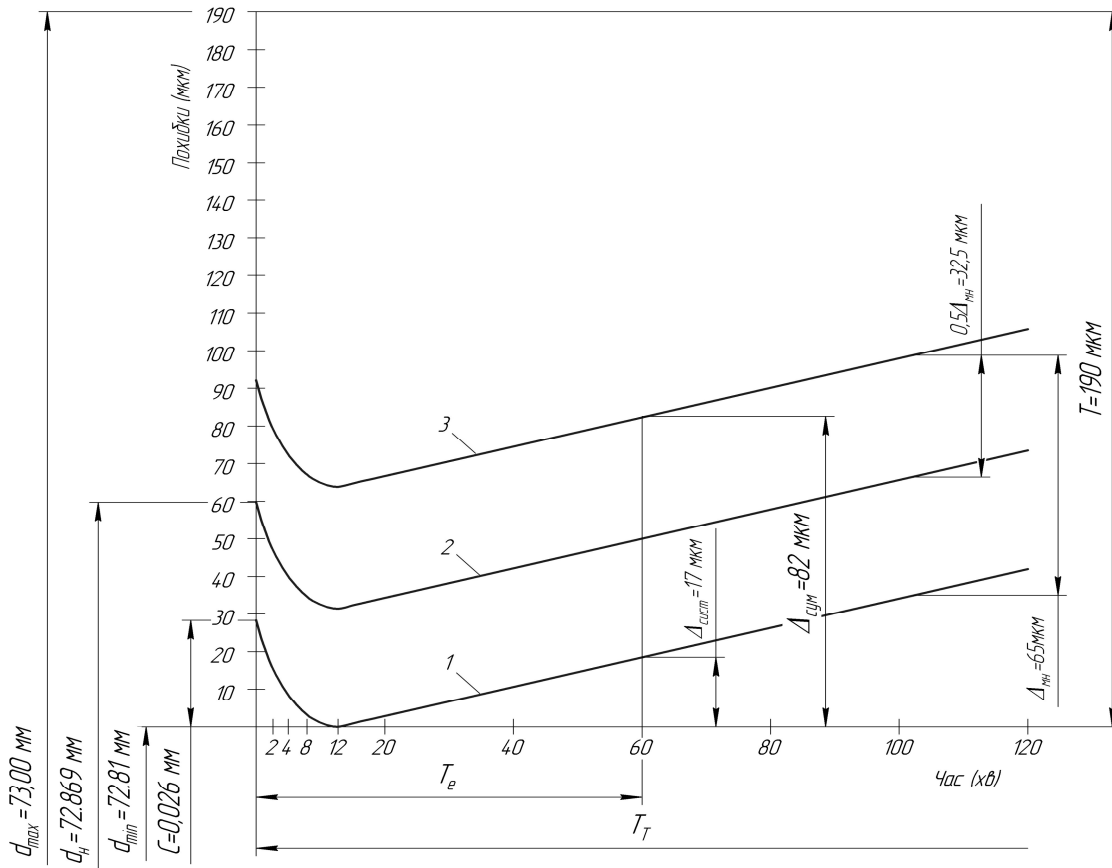


Рисунок 3 – Теоретична діаграма точності токарної обробки зразків з напиленим покриттям:
1, 2, 3 – нижня, середня та верхня лінії розсіювання розмірів відповідно

Таблиця 3 – Питомий внесок C_j первинних похибок в загальну похибку обробки зразків з суцільного матеріалу

Похибка Δ_j	Δ_ϕ	Δ_H	Δ_y	$\Delta_{м.н.}$	Δ_i	Δ_T	$\Delta_{сист}$
Числове значення похибки, мкм	24	34	2	65	98	31	70
C_j , %	17,8	25	1,5	48,1	72,6	23	51,9

Таблиця 4 – Питомий внесок первинних похибок обробки в загальну похибку обробки втулок з покриттям

Похибка Δ_j	Δ_ϕ	Δ_H	Δ_y	$\Delta_{м.н.}$	Δ_i	Δ_T	$\Delta_{сист}$
Числове значення похибки, мкм	24	34	1	65	42	33	17
C_j , %	29,3	41,5	1,2	79,3	51,2	40,2	20,7

Зменшення впливу миттєвого розсіювання досягають застосуванням більш точного мірного інстру-

менту і обладнання. Останній варіант вимагає досить зваженого підходу, оскільки його реалізація може призвести до суттєвого зниження економічних показників виробництва. Якщо похибки від тепло-

вих деформацій зразків приблизно рівні, то розмірне спрацювання інструмента при точінні зразків із сталі значно переважає цей показник для зразків з покриттям. Це пояснюється більшою міцністю суцільної сталі в порівнянні із напиленим покриттям. Для зменшення впливу вказаних факторів на точність токарної обробки слід застосовувати охолодження інструменту, а також збільшити його стійкість.

ВИСНОВКИ.

1. Визначено основні види похибок, які діють при обробці зовнішньої поверхні сталевих втулок із суцільного матеріалу та із напиленим покриттям з такого ж матеріалу.

2. Побудовано і проаналізовано діаграми точності для втулок і встановлено, що при точінні на токарному верстаті, налаштованому методом пробних деталей, технологічна стійкість T_T різця буде більшою за його економічну стійкість T_e як для втулок із суцільного металу, так і з напиленим покриттям.

3. Аналіз питомого внеску первинних похибок в загальну похибку обробки втулок дозволив визначити домінуючі похибки, якими є похибки від розмірного спрацювання різця та теплової деформації, а також від настроювання токарного верстату.

В подальших дослідженнях планується вивчити вплив складу мастильно-охолоджуючих рідин та нових інструментальних матеріалів на підвищення точності механічної обробки втулок з покриттям.

ЛІТЕРАТУРА

1. Полонский Л.Г. Механическая обработка газотермических покрытий и ее влияние на развитие техники напыления // Вестник НТУ ХПИ: сбор. науч. трудов. – Харьков, 2011. – С. 132–145.

2. Харламов Ю.А. Методика расчета толщины покрытия // Сварочное производство. – 1987. – № 9. – С. 9–11.

3. Токарная обработка деталей с износостойкими покрытиями / Ю.А. Муковоз, С.А. Клименко // Технология и организация производства. – 1990. – № 1.

– С. 20–21.

4. Харламов Ю.А. Влияние геометрических погрешностей заготовки на неравномерность газотермических покрытий по толщине после размерной обработки // Сварочное производство. – 1982. – № 7. – С. 32–33.

5. Науково-технічні основи технології виготовлення тришарових бурових доліт та підвищення їх якості і ефективності: монографія / Р.С. Яким, Ю.Д. Петрина, І.С. Яким. – Івано-Франківськ: ІФН-ТУНГ, 2011. – 384 с.

6. Пат. № 40784 Україна МПК C23C 4/04, 26/02, 28/00. Установка для напыления композиционных покрытий электродуговым методом / В.В. Кустов, Л.Я. Роп'як; заявник і патентовласник Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу. – № 2000010333; заявл. 20.01.00; опубл. 15.12.03, Бюл. № 12. – 3 с.

7. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 656 с.

8. Обработка металлов резанием: справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение. – 1988. – 736 с.

9. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / Под ред. В.С. Корсакова. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1977. – 416 с.

10. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 656 с.

11. Тарзиманов Г.А. Проектирование металло-режущих станков. – М.: Машиностроение, 1972. – 312 с.

12. Размерная наладка универсальных станков / В.И. Комисаров, В.И. Леонтьев, В.Г. Старостин. – М.: Машиностроение, 1968. – 206 с.

13. Термическая обработка в машиностроении: справочник / Под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Гахштадта. – М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.

ACCURACY ANALYSIS OF TURNING OF SLEEVES HAVING CYLINDRICAL EXTERNAL SURFACE

V. Kustov, L. Ropyak

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

vul. Karpatska, 15, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine. E-mail: l_ropyak@ukr.net

The article deals with comparative comprehensive studies of turning precision of the outer surface of steel sleeves with sprayed coatings with the same steel as the base, as well as uncoated sleeves by analytical computation. There are defined the set of initial random or systematic errors affecting the precision lathe machining, namely the shape error of the geometric lathe inexactitude; errors of the system setting a lathe - a device - a tool - a component (LDTC) for a given size; errors of varying the strain of the LDTC system due to changes in cutting forces; an error of instant scattering of size; errors of the dimensional tool wearing; errors of thermal tool deformation. The errors are calculated and the total machining error is determined. For the calculations of steel sleeves with sprayed coatings we have taken into account their reduced strength and increased hardness compared to solid material due to lamination of coatings and solid particles of oxides and nitrides in their structure. Based on the analysis results there has been evaluated the treatment error by building a theoretical diagram of accuracy. The correlation between the economic and technological stability of the cutting tool has been defined. There have been shown dominant errors and suggested measures to improve the accuracy of machining of external cylindrical surfaces of solid material sleeves and coated sleeves.

Key words: machining precision, precision diagrams, coating, sleeve, sputtering.

REFERENCES

1. Polonskij, L.G., (2011), "Machining thermal coatings and its influence on the development of the technique of spraying", *Vestnik NTU KhPI: sb. nauch. trudov*, pp. 132–145.

trudov, pp. 132–145.

2. Harlamov, Ju.A., (1987), "Method of calculating the coating thickness", *Svarochnoe proizvodstvo*, no. 9, pp. 9–11.

3. Mukovoz, Ju.A., Klimenko, S.A., (1990), "Turning parts with wear resistance coatings", *Tehnologija i organizacija proizvodstva*, no. 1, pp. 20–21.

4. Harlamov, Ju.A., (1982), "Influence of geometric errors on the workpiece gasometric uneven coating thickness after machining", *Svarochnoe proizvodstvo*, no. 7, pp. 32–33.

5. Jakim, R.S., Petryna, Ju.D., Jakim, I.S., (2011), *Naukovo-tehnicni osnovy tekhnologii vygotovlennja trisharoshkovykh burovykh dolit ta pidvyschennja ikh jakosti i efektyvnosti: monografija* [Scientific and technical bases of technology of sandwich drill bits and improve their quality and efficiency: a monograph], IFNTUNG, Ivano-Frankiv'sk, Ukraine.

6. *Ustanovka dlja napylennja kompozytsiynykh pokryttiv elektrodugovym metodom* [Installation for composite coatings by electric arc spraying], (2003), Patent no. 40784, Bul. 12, Ukraine.

7. *Spravochnik tehnologa-mashinostroitelja: v 2 t.* [Directory of technologist-Machinist: in 2 parts], (1986), ed. by A.G. Kosilovoj, R.K. Meshcheriakova, vol. 1, Mashinostroenie, Moscow, Russia.

8. Panov, A.A., Anikin, V.V., Bojmat N.G., (1988), *Obrabotki metalov rezaniem: spravochnik tehnologa* [Processing of metals by cutting: A technologist handbook], Mashinostroenie, Moscow, Russia.

9. *Osnovy tekhnologii mashnostroenija: uchebnik dlja vuzov*, [Fundamentals of Manufacturing Engineering: textbook for high schools] (1977), ed. by V.S. Korsakova, Mashinostroenie, Moscow, Russia.

10. *Spravochnik tehnologa-mashinostroitelja: v 2 t.* [Directory of technologist-Machinist: in 2 parts], (1986), ed. by A.G. Kosilovoj, R.K. Meshcheriakova, vol. 2, Mashinostroenie, Moscow, Russia.

11. Tarzimanov, G.A., (1972), *Proektirovanie metallorzhushhih stankov* [Design of machine tools], Mashinostroenie, Moscow, Russia.

12. Komisarov, V.I., Leont'ev, V.I., Starostin, V.G., (1968), *Razmernaja naladka universal'nyh stankov* [Dimensional adjustment universal machines], Mashinostroenie, Moscow, Russia.

13. Gahshtada, A.G., (1980), *Termicheskaja obrabotka v mashinostroenii: spravochnik* [Heat treatment in mechanical engineering: a handbook], ed. by Ju.M. Lahtina, Mashinostroenie, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 20.02.2015.