

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 621.9.048.6

І. С. Афтаназів, Я. М. Кусий

НУ “Львівська політехніка”, кафедра технології машинобудування

АНАЛІЗ ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ФІНІШНИХ ОПЕРАЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДОВГОМІРНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

© Афтаназів І. С., Кусий Я. М., 2000

Запропоновано класифікацію довгомірних деталей форми тіл обертання за категоріями жорсткості, проведено аналіз існуючих фінішних операцій технологічних процесів виготовлення довгомірних циліндричних деталей. Подано методику вибору оптимальної фінішної операції технологічного процесу виготовлення довгомірних циліндричних деталей.

The classification of long-sized cylindrical details for the categories of rigidity is represented; the analysis of existing finishing technological operations of technological processes of manufacturing of long-sized cylindrical details is submitted. The selection of optimal finishing technological operation of technological process of manufacturing of long-sized cylindrical details is suggested.

В умовах ринкових відносин першочергового значення набуває вирішення проблеми надійності, довговічності та конкурентоспроможності виробів. Сучасна технологія виготовлення будь-яких деталей ставить високі вимоги як до продуктивності використовуваного обладнання, так і до точності та якості оброблюваних поверхонь. Вдосконалення існуючих та впровадження нових перспективних технологічних процесів визначають зростання ефективності машинобудівного виробництва: підвищення продуктивності праці, економію сировинних та енергетичних ресурсів, зменшення собівартості та підвищення якості виготовленої продукції.

Однією з найважливіших у сучасному машинобудуванні є проблема розроблення ефективної та продуктивної технології оброблення довгомірних виробів форми тіл обертання, забезпечення їх надійності та довговічності технологічними методами та управління якістю оброблюваних поверхонь, зокрема на фінішних операціях, що в кінцевому результаті визначає експлуатаційний ресурс довгомірних циліндричних деталей та вузлів машин, до складу яких вони входять. Із складністю та трудомісткістю вирішення цього завдання стикаються мабуть в усіх галузях народного господарства. Наприклад, в автомобільній промисловості та сільському господарстві – при викінчувальному обробленні

гільз двигунів, торсійних валів, півосей, в машино- та верстатобудуванні – при виготовленні габаритних пневмо- та гідроциліндрів і ходових гвинтів та валів металорізальних верстатів, у текстильній промисловості – під час фінішного оброблення осей та валів текстильних машин. Хімічна промисловість вимагає для своїх потреб високоякісні труби високого тиску, нафто- та газодобувна галузі народного господарства – надійні бурові та обсадні труби. Якістю готових виробів визначається конкурентоспроможність гребних валів суден та жерл гармат військової техніки.

Довгомірні деталі форми тіл обертання належать до класу виробів подовженої форми (стрижневі), оскільки один із їх розмірів – довжина, значно перевищує розміри у поперечних перерізах. Цей клас виробів включає два види: суцільні тіла обертання та трубчасті вироби, представники кожного з яких за категоріями жорсткості стосовно довгомірних циліндричних деталей, можуть бути класифіковані так, як це показано на рис.1:

- ❖ підвищеної жорсткості;
- ❖ середньої жорсткості;
- ❖ малої жорсткості;
- ❖ тонкостінні.

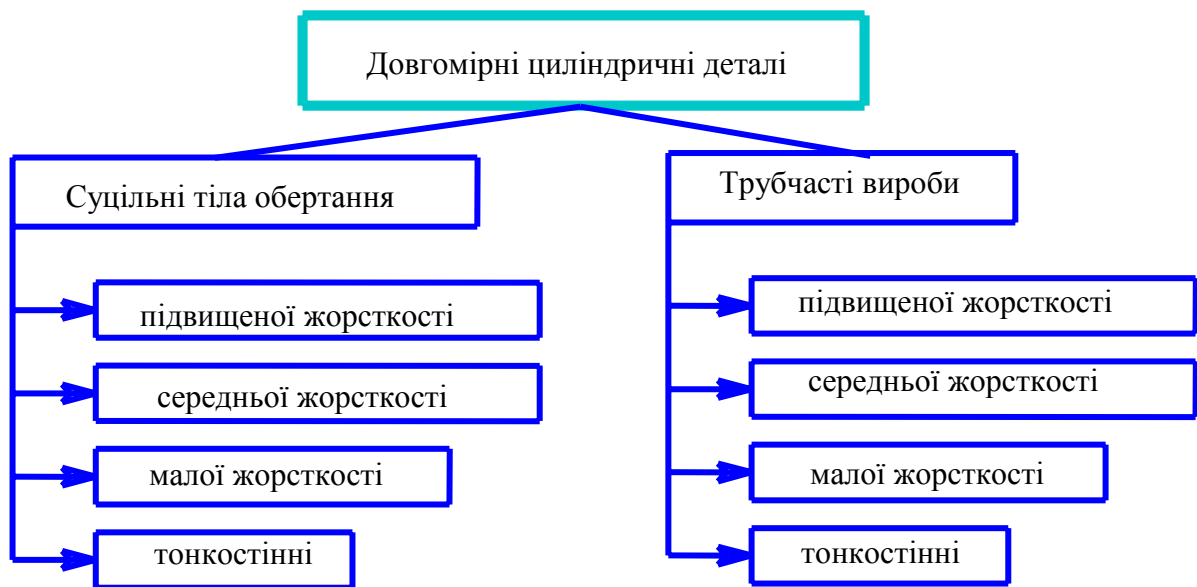


Рис. 1. Класифікація довгомірних циліндричних деталей за категоріями жорсткості

Підвищена трудомісткість виготовлення довгомірних деталей форми тіл обертання зумовлюється головним чином специфікою їх конструктивної будови (як правило, велика маса при незначній поперечній жорсткості та значних лінійних розмірах довжини). Оскільки жорсткість є однією з основних характеристик довгомірних циліндричних деталей, її можна оцінити за такими класифікаційними критеріями (табл. 1):

- ❖ кількісне співвідношення розмірів;
- ❖ середнє значення податливості передньої та задньої бабок основного технологічного обладнання;
- ❖ за поправним коефіцієнтом k_c .

У табл. 1 позначено: ℓ – довжина деталі; t_{Π} – товщина стінки; D_{Π} – зовнішній діаметр; d_{Π} – внутрішній діаметр; $k_0 = \frac{\ell}{D_{\Pi}}$; ε_3 та ε_{Π} – відповідно податливості задньої та передньої бабок основного технологічного обладнання.

Таблиця 1

Оцінка жорсткості довгомірних циліндричних деталей

Критерії оцінки жорсткості	Суцільні тіла обертання				Трубчасті вироби			
	Підвищеної жорсткості	Середньої жорсткості	Малої жорсткості	Тонкостінні	Підвищеної жорсткості	Середньої жорсткості	Малої жорсткості	Тонкостінні
1. Кількісне співвідношення розмірів	$\frac{\ell}{D_{\Pi}} \approx 10 \div 12$	$\frac{\ell}{D_{\Pi}} \approx 15 \div 25$	$\frac{\ell}{D_{\Pi}} \approx 30 \div 40$	$\frac{\ell}{D_{\Pi}} > 50$	$t_{\Pi} \geq 0.05 \cdot D_{\Pi}$		$t_{\Pi} \leq 0.05 \cdot D_{\Pi}$	
					$\frac{\ell}{D_{\Pi}} \approx 10 \div 12$	$\frac{\ell}{D_{\Pi}} \approx 15 \div 25$	$\frac{\ell}{D_{\Pi}} \approx 30 \div 40$	$\frac{\ell}{D_{\Pi}} > 50$
2. Середнє значення податливості передньої та задньої бабок основного технологічного обладнання	$\frac{k_0^3}{24D_{\Pi}} < \frac{\varepsilon_3 + \varepsilon_{\Pi}}{2}$	$\frac{k_0^3}{24D_{\Pi}} \approx \frac{\varepsilon_3 + \varepsilon_{\Pi}}{2}$	$\frac{k_0^3}{24D_{\Pi}} > \frac{\varepsilon_3 + \varepsilon_{\Pi}}{2}$		—	—	—	—
3. Коефіцієнт k_c	—	—	—	—	$k_c = \frac{t_{\Pi}}{\sqrt{d_{\Pi}}}$			

Оцінку жорсткості вибраних типорозмірів трубчастих деталей за коефіцієнтом k_c подано у табл. 2 [1].

Таблиця 2

Умовна жорсткість трубчастих деталей, оцінена за коефіцієнтом k_c

Діаметр отвору пустотілої деталі, мм	Значення коефіцієнта k_c для категорій деталей			
	Підвищеної жорсткості	Середньої жорсткості	Малої жорсткості	Тонкостінні

150÷175	1.80	1.30÷1.80	0.80÷1.30	0.80
175÷200	1.85	1.35÷1.85	0.85÷1.35	0.85
200÷225	1.90	1.40÷1.90	0.90÷1.40	0.90

Наприклад, до суцільних тіл обертання підвищеної жорсткості відносять суцільні шпинделі, вали, осі, колони пресів, плунжери; середньої жорсткості – шпинделі розточних верстатів, борштанги, гладкі та ступінчасті вали; малої жорсткості ті самі деталі, що і в попередній категорії, але при більшому співвідношенні $\frac{\ell}{d}$ (табл. 1); тонкостінні – тяги, штанги тощо. Типовими представниками трубчастих виробів підвищеної жорсткості є пустотілі товстостінні шпинделі, колони верстатів; середньої жорсткості – тонкостінні шпинделі, втулки, гільзи, циліндри гідросистем, штоки; малої жорсткості – особливо тонкостінні циліндри, труби, штоки, барабани; тонкостінних – трубчасті тонкостінні ємності.

Рациональний вибір фінішних операцій у технологічних процесах (ТП) виготовлення довгомірних циліндричних деталей має важливе значення при формуванні якісних показників виробів, їх надійності та довговічності. Забезпечення цих показників технологічними методами визначає рівень сучасного розвитку технології.

Аналіз технологій виготовлення довгомірних деталей форми тіл обертання різних категорій жорсткості свідчить, що фінішні операції ТП їх виготовлення, можуть бути реалізовані різними методами, зокрема: методом механічного оброблення, методом хіміко-термічного оброблення і нанесення покриттів та методом поверхневого пластичного деформування (ППД).

Для викінчувального оброблення довгомірних циліндричних деталей із традиційних методів механічного оброблення виробів використовують шліфування для обробки зовнішніх та внутрішніх поверхонь, хонінгування та дорнування для оброблення трубчастих виробів. Хоча ці технологічні методи забезпечують отримання розмірної та геометричної точності деталей у межах 6÷7 квалітетів та шорсткість поверхні $R_a=0,5\div0,08$ мкм, підвищення експлуатаційних характеристик (міцності, мікротвердості, зносостійкості тощо) вони майже не забезпечують. Навіть незначні пошкодження поверхні або її дефекти після проведення цих технологічних операцій можуть стати джерелом зародження втомної тріщини і причиною передчасного руйнування деталі. Наприклад, навіть при шліфуванні, проведеному із дотриманням технічних вимог щодо охолодження, несприятливі внутрішні напруження розтягу поверхневих шарів можуть досягати значної величини. Вдосконалення процесів хонінгування пов'язане із складністю та громіздкістю кінематики основного технологічного обладнання; відносно прості схеми хонінгування досить трудомісткі і включають 3÷4 операції, що, безумовно, знижує продуктивність праці. Крім того, усі зазначені методи механічного оброблення довгомірних циліндричних деталей здійснюють при незначних зусиллях, що не дає змоги проводити одночасне зміцнення поверхневих шарів виробів цього класу.

Дані досліджень про вплив методів хіміко-термічного оброблення та нанесення покриттів (ХТМНП) на експлуатаційні властивості довгомірних циліндричних деталей досить суперечливі. Одні дослідники вважають, що методи ХТМНП сприяють утворенню у поверхневих шарах сприятливих залишкових напружень стиску, які підвищують втомну

міцність, опір ударним навантаженням та зношуванню, інші – схильні до думки про негативний вплив методів хіміко-термічного оброблення та нанесення покриттів на експлуатаційні властивості довгомірних деталей форми тіл обертання. Більшість методів ХТМНП вимагають відносно високих температур та довготривалого оброблення, що, як правило, негативно позначається на міцнісних властивостях оброблюваних деталей. До того ж при температурному обробленні деталей довжиною 3÷12 м домогтися рівномірності зміцненого шару важко та й будувати печі великих розмірів не завжди економічно виправдано. Методи ХТМНП добре зарекомендували себе при підвищенні надійності та довговічності деталей, що працюють в умовах статичних навантажень; при динамічних умовах роботи та при знакозмінних навантаженнях вони не завжди є ефективними. Крім того, необхідно відзначити, що ХТМНП на сьогодні залишається найбільш енергомісткою технологією, споживаючи від 20 до 120 кВт/год на 1 кг зміцнених виробів [2].

Методи поверхневого пластичного деформування (ППД), що використовують для забезпечення експлуатаційних характеристик довгомірних циліндричних деталей, включають методи статичного деформування та методи динамічного деформування. Серед методів статичного деформування для підвищення надійності та довговічності довгомірних деталей форми тіл обертання найбільше поширення отримали обкочування та розкочування внутрішніх та зовнішніх поверхонь довгомірних циліндричних деталей кулками та роликами, алмазне вигладжування, вібронакочування та вібророзкочування, дорнування тощо. Спільною рисою цих методів оброблення є наявність точкового контакту деформуючих тіл із оброблюваною поверхнею деталі. Методи статичного зміцнення ППД довгомірних циліндричних деталей вимагають дорогого спеціалізованого обладнання і внаслідок недостатньої жорсткості оправки з інструментом не в змозі забезпечити бажаного ступеня нагартування та товщини зміцненого шару. Методи динамічного зміцнення мають переваги порівняно із методами статичного зміцнення за рахунок ударної дії на оброблювану поверхню робочих тіл або інструментів. Для оброблення довгомірних деталей форми тіл обертання підвищеної та середньої жорсткості (рис. 1) можуть бути використані методи пневмовідцентрового зміцнювального оброблення, ротаційного дорнування, імпульсно-ударного зміцнювального оброблення тощо. Проте, якщо зміцнення зовнішніх поверхонь довгомірних циліндричних деталей малих діаметральних розмірів, незважаючи на значні матеріальні та енергетичні затрати, може бути реалізоване деякими із відомих методів статичного та динамічного деформування, то якісна обробка найперше внутрішніх поверхонь масивних довгомірних трубчастих виробів (при діаметрах більших, ніж 125 мм) – завдання складне і ними практично не вирішується.

У НУ “Львівська політехніка” для зміцнення поверхонь масивних циліндричних деталей значної довжини, зокрема внутрішніх, розроблено метод вібраційно-відцентрового зміцнювального оброблення (ВВЗО) при використанні зміцнювачів з електромагнітним приводом та пружною системою. Описання конструкцій та принципу роботи зміцнювальних пристроїв цього типу подано в [3–5]. Зміцнювальний пристрій з електромагнітним приводом та пружною системою містить дві незалежні вібраційні системи: основа-складник електромагнітного приводу (статор чи якір) – ударний зміцнювач, налагоджені на дорезонансний режим коливань. При встановленні пристрою за допомогою спеціального спорядження з боку оброблюваної поверхні на напрямних елементах та подачі напруги на котушки електромагнітів статора між складниками електромагнітного приводу утворюється електромагнітне поле, в результаті чого якір притягується по черезно до кожної із котушок

електромагнітів силою магнітного тяжіння. Коливання якоря та статора у початковий момент часу відбуваються із частотою, кратною або такою, що дорівнює частоті електромережі; при виході вібраційних систем на дорезонансний режим роботи коливання відбуваються із власною частотою, причому $\frac{\nu}{\nu_0} = 0.94 \div 0.96$ (ν та ν_0 – відповідно

вимушена та власна частоти коливань). Коливні рухи ударних зміднювачів, приєднаних до відповідних складників електромагнітного приводу, супроводжуються низкою ударів по оброблюваній поверхні довгомірної циліндричної деталі виступаючими деформуючими тілами, в результаті чого поверхневий шар матеріалу пластично деформується, зміднюється. Кількістю повторних переміщень ударних зміднювачів вздовж твірних оброблюваних поверхонь, регулюванням величини їх осової подачі та амплітуди коливань, забезпечують необхідні значення товщини змідненого шару, ступеня нагартування та утворення регулярного мікрорельєфу змідненої поверхні.

Метод ВВЗО при використанні зміднювальних пристроїв із пружною системою та електромагнітним приводом для фінішного оброблення довгомірних циліндричних деталей характеризується високим рівнем енергії деформування, простотою конструкції та універсальністю основного технологічного обладнання. Крім того, розроблено прикладне математичне забезпечення для автоматизованого розрахунку елементів електромагнітного зміднювального пристрою.

Однак, як свідчить практика машинобудівного виробництва, кожний метод оброблення, як і інструмент для його реалізації, мають відносно обмежену область раціонального використання. Наприклад, метод ВВЗО при використанні електромагнітних зміднювальних пристроїв неефективний при змідненні внутрішніх поверхонь діаметром меншим, ніж 125 мм. Те саме наплавлення на внутрішні та зовнішні поверхні тіл обертання деталей (втулка, гільза, вал) зносостійких покриттів (ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГ-СР4 тощо) суттєво збільшує їх довговічність, проте трудомісткість цієї фінішної операції для цих виробів значна, що й перешкоджає широкому виробничому впровадженню.

Наукову та практичну значущість проблеми оптимального вибору фінішних операцій ТП та основного технологічного обладнання при обробленні довгомірних циліндричних деталей доцільно розглядати в рамках Єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ), основною частиною якої є класифікаційна характеристика згідно з Класифікатором Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД). Дані, закладені у Технологічному класифікаторі та Класифікаторі ЄСКД, є вихідною інформацією для підприємств на стадії конструкторської та технологічної підготовки виробництва та його керуванням із використанням персональних електронно-обчислювальних машин (ПЕОМ) [1].

Класифікатор ЄСКД разом із Технологічним класифікатором дає змогу вирішувати весь комплекс виробничих завдань при розробленні оптимального варіанта технологічного процесу виготовлення виробів, в тому числі, і довгомірних циліндричних деталей (рис. 2). Основним завданням при виборі оптимального технологічного процесу виготовлення довгомірних циліндричних деталей є встановлення ефективних та високопродуктивних фінішних операцій, оскільки саме вони формують експлуатаційні характеристики готових виробів. Розроблені на основі структурної схеми (рис. 2) прикладні програми, зокрема у середовищах Mathcad та Delphi, допоможуть науковцям та інженерно-технічним працівникам полегшити та автоматизувати пошук вибору фінішних операцій ТП виготовлення довгомірних циліндричних деталей.

Для прикладу розглянемо вибір оптимального ТП виготовлення плунжера циліндра піднімання внутрішньої рами автотранспортувача, який виготовляють на львівському підприємстві “Автотранспортувач”, користуючись структурною схемою оптимального ТП та фінішних операцій виготовлення довгомірних циліндричних деталей.

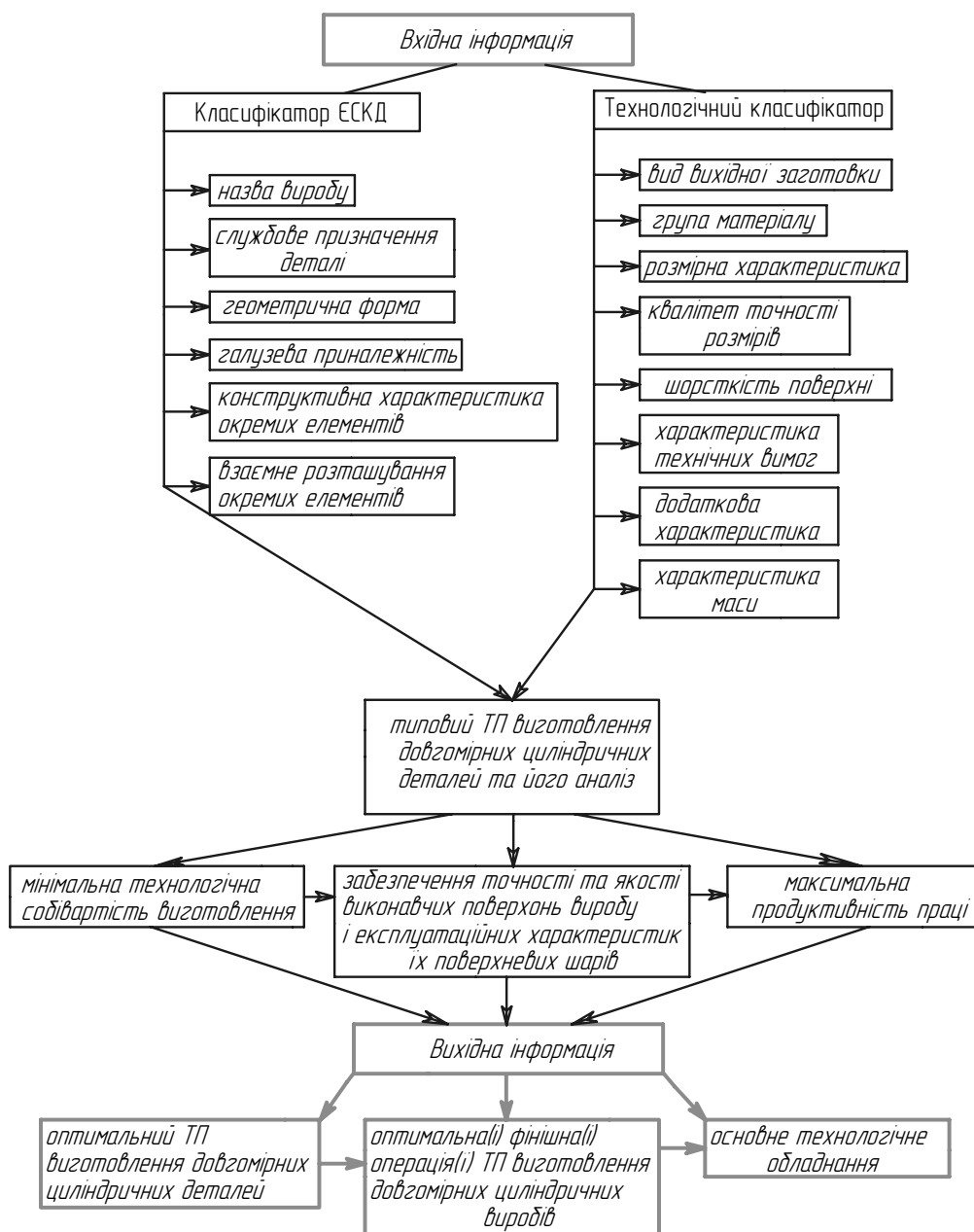


Рис. 2. Структурна схема оптимального ТП та фінішних ТО виготовлення довгомірних циліндричних деталей

Назва виробу – плунжер.

Службове призначення деталі: плунжер є складовою частиною циліндра піднімання внутрішньої рами автотранспортувача.

Геометрична форма: довгомірне тіло обертання трубчастої форми.

Галузева приналежність: транспортне машинобудування, а саме – виготовлення підіймально-транспортних машин.

Конструктивна характеристика окремих елементів та їх взаємне розташування: плунжер являє собою виріб, що складається із довгомірної труби та двох фланців, які з торців приварені до неї.

Вид вихідної заготовки: труба ($D=126$ мм, $d=90$ мм, $l=2632$ мм).

Група матеріалу – конструкційна вуглецева сталь марки 35 ГОСТ 1050-74.

Розмірна характеристика: деталь відносять до класу стрижневих виробів трубчастої форми середньої жорсткості (табл. 1).

Квалітет точності розмірів: найточніша поверхня (виконавча) – зовнішній діаметр – виконана за 7 квалітетом точності; найменш точні поверхні – по 14 квалітету точності.

Шорсткість поверхні: шорсткість виконавчої поверхні – $Ra0.4$, найменш якісно оброблені поверхні – із $Rz40$.

Характеристика технічних вимог

Головне технологічне завдання – досягнення концентричності зовнішньої поверхні плунжера.

Технічні вимоги:

Радіальне биття зовнішньої поверхні 0,03–0,04 мм.

Неокруглість і відхилення профілю поздовжнього перерізу (конусоподібність, бочкоподібність, сідлоподібність тощо) – в межах половини поля допуску на виконавчий розмір.

Додаткова характеристика

До елементів додаткової характеристики можна віднести програму випуску виробів (тип виробництва), умови експлуатації тощо.

Характеристика маси: маса виробу становить 91,87 кг.

Основні та додаткові ознаки Класифікатора ЄСКД та Технологічного класифікатора дають змогу при аналізі типового технологічного процесу виготовлення конкретної деталі встановити характеристику обладнання, на якому доцільно виготовляти деталь.

Типовий технологічний процес оброблення плунжера складається із токарної операції (підготовка базових поверхонь під подальше зварювання), зварювальної технологічної операції, чорнового та чистового обточування виконавчої зовнішньої довгомірної поверхні та її накатування на фінішній технологічній операції. Забезпечення експлуатаційних характеристик та формування заданого мікрорельєфу відбувається на останній технологічній операції за рахунок оброблення зовнішньої поверхні довгомірної циліндричної деталі накатними роликми. Цей метод оброблення ППД відноситься до методів статичного деформування; забезпечуючи необхідну шорсткість виконавчої поверхні, яка визначається величиною подачі інструмента, накатування роликом, має обмежені можливості зміни величини кута нахилу гвинтової канавки та розташування мікронерівностей відносно одна одної та твірної оброблюваної деталі. У той самий час для різноманітних умов роботи контактуючих виробів, особливо при роботі їх в умовах тертя та при знакозмінних навантаженнях, для створення оптимального мікрорельєфу необхідно змінювати в значних межах не тільки висоту мікронерівностей та їх форму, але й розташування відносно напрямків тертя. При застосуванні динамічних методів ППД цей недолік частково або повністю усувається. Зокрема, при використанні для оброблення зовнішньої поверхні довгомірної циліндричної деталі електромагнітних зміцнювальних пристроїв з пружною системою, що працюють за методом ВВЗО, в поверхневих шарах матеріалу відбувається

локальна короткочасна взаємодія на мікронерівності в різних напрямках, що згідно з дислокаційною теорією, сприяє збільшенню кількості площин ковзання в блоках у різних напрямках і збільшення тим самим опору розвитку джерел деформації. При цьому сила, необхідна для здійснення процесу поверхневого пластичного деформування матеріалів, зменшується, що сприяє можливості керування процесом формування мікрорельєфу на обробленій поверхні за рахунок вибору оптимальних режимів оброблення [1].

Отже, при розробленні оптимального технологічного процесу виготовлення довгомірних циліндричних виробів особливу увагу необхідно звернути на вибір фінішних операцій, які формують експлуатаційні показники виробів. Альтернативним вирішенням цього завдання може бути використання на фінішних технологічних операціях оброблення довгомірних стрижневих деталей прогресивних методів динамічного зміцнення ППД, зокрема ВВЗО при використанні зміцнювачів з електромагнітним приводом та пружною системою та широке їх впровадження у виробничі процеси.

1. Ящерицын П.И., Минаков А.П. Упрочняющая обработка нежестких деталей в машиностроении. Минск, 1986. 2. Ляшенко Б.А., Клименко С.А. Тенденции развития упрочняющей поверхностной обработки и положение в Украине // Сучасне машинобудування. 1999. №1. С.94–104. 3. Афтаназів І.С., Кусий Я.М. Пристрій з електромагнітним приводом для зміцнення зовнішніх поверхонь довгомірних деталей // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. 1999. № 359 С.36–41. 4. Афтаназів І.С., Кусий Я.М. Пристрій з електромагнітним приводом для зміцнення поверхонь довгомірних циліндричних деталей // Машинознавство. 1999. № 12. С.33–36. 5. Афтаназів І.С., Кусий Я.М. Розрахунок на міцність пружної системи зміцнювальних пристроїв з електромагнітним приводом // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. 2000. № 394. С.44–48. 6. Шнейдер Ю.Г. Инструмент для чистовой обработки металлов давлением. Л., 1970.

УДК 621.91.01

І. І. Брошак

Тернопільський Державний технічний університет ім. І. Пулюя,
кафедра технології машинобудування

ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОКОЛИВАНЬ СВЕРДЛА ДЛЯ ГЛИБОКОГО СВЕРДЛІННЯ ДЕТАЛЕЙ

© Брошак І. І., 2000

Описано методику досліджень коливань свердла в процесі свердління глибоких отворів. Запропоновано аналітичні залежності, що дають змогу проводити теоретичний аналіз впливу окремих параметрів режиму різання, властивостей оброблюваного матеріалу та конструкції інструменту на вібростійкість свердла.