

В.Ю. Денисюк, інж.
В.І. Марчук, к.т.н., доц.
Луцький державний технічний університет

ВПЛИВ РЕЖИМІВ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ТА ДІАМЕТРА ЗАГОТОВКИ НА ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ОБРОБЛЮВАНИХ ПОВЕРХОНЬ

Розглядаються результати експериментальних і теоретичних досліджень впливу технологічних чинників на параметри якості поверхонь деталей при обробці на одношпindelних токарних автоматах.

Прогнозування параметрів якості при механічній обробці деталей на базі аналізу імітаційних моделей формування цих параметрів дозволяє створити алгоритми оцінки придатності технології, використовувати ці алгоритми для вибору оптимальних технологічних умов на стадії проектування технології і тим самим скоротити до мінімуму фізичне моделювання при розробці технологічних процесів виготовлення деталей. Задача ця складна, оскільки число факторів, що обумовлюють якість оброблюваних поверхонь, досить велике. Більшість факторів носить нестабільний характер (нерівномірна твердість заготовок, коливання припуску, вібрації при різанні, електричні процеси в контактній різець–деталь і т.п.), при обробці вони, як правило, не контролюються і не керуються. На сьогоднішній день прогнозування параметрів якості здійснюється статистично, шляхом нагромадження даних про точність типових операцій, але рекомендації, отримані статистичним шляхом, мають велику кількість обмежень.

Найбільш уживаний параметр якості деталей – точність лінійних розмірів її поверхонь та їх взаємного просторового розташування. Ці параметри досить повно стандартизовані і достатньо забезпечені метрологічно. У широкому наборі характеристик якості деталей важливе місце займають параметри, що описують властивості їхніх поверхонь.

Досвід вітчизняної та зарубіжної промисловості показує, що 80 % випадків виходу з ладу машин при їхній експлуатації відбувається через спрацювання у сполученнях вузлів тертя. Спрацювання деталей машин характеризується руйнуванням контактної поверхневого шару, у якому в результаті взаємодії поверхонь, що сполучаються, відбуваються фізико-хімічні стомлюючі зміни. При призначенні параметрів якості ця обставина обумовлює особливу увагу до характеристик поверхні деталей.

Для повного обліку характеристик поверхні, що впливають на спрацювання сполучення, у техніці використовується широкий набір параметрів. Частина з них стандартизована, частина ж знаходиться в стадії апробації і визначається лабораторними методами. Нижче наведені основні характеристики якості поверхні деталей.

Геометричні характеристики охоплюють три підгрупи параметрів – шорсткість, хвилястість та макровідхилення.

У таблиці 1 відзначений взаємозв'язок експлуатаційних властивостей деталей з параметрами якості їхньої поверхні [2].

Механічні характеристики поверхневого шару регламентуються рядом стандартів, наприклад, ГОСТ 20495-75 “Зміцнення металевих деталей поверхневою хіміко-термічною обробкою. Характеристики і властивості дифузійного шару. Терміни і визначення” та іншими. У числі характеристик – поверхнева твердість шару, поверхнева крихкість шару, деформаційне зміцнення, залишкові напруги та їхній знак. Ці характеристики оцінюють такими параметрами, як мікротвердість поверхні, ступінь наклепу, ступінь деформації зерен, статичне перекручування кристалічних ґраток. Методи виміру параметрів – металографічні та рентгеноструктурні випробування.

Перераховані параметри і характеристики поверхневого шару деталей дозволяють повною мірою задати властивості спряжень чи контактів, при яких може бути досягнута їх максимальна довговічність, тобто якість виробу взагалі.

Враховуючи складність вимірювання окремих параметрів, не всі вони вводяться в технічну документацію на виробу та їх деталі. На сучасному етапі розвитку техніки найбільш поширені геометричні характеристики поверхні деталей.

Таблиця 1

Зв'язок експлуатаційних властивостей деталей з геометрією поверхні

Експлуатаційні властивості	Шорсткість					Хвилястість			Макровідхилення		
	Ra	Rz	R _{max}	S _m	S	t _p	W _a	W _{max}	S _m W	H _{max}	H _p
Сухе тертя	(+)	(+)	(+)	(+)	--	+	(+)	(+)	(+)	(+)	+
Рідке тертя	+	(+)	(+)	+	(+)	+	+	+	+	(+)	+
Стомлююча міцність	(+)	(+)	+	(+)	--	--	--	+	(+)	(+)	(+)
Контактна твердість	(+)	(+)	(+)	(+)	--	+	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Вібростійкість	(+)	(+)	(+)	+	--	+	(+)	--	(+)	(+)	+
Корозійна стійкість	+	(+)	(+)	+	(+)	(+)	+	(+)	(+)	--	(+)
Міцність сполучень	(+)	(+)	--	(+)	--	+	(+)	--	(+)	(+)	+
Щільність з'єднань	+	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+	(+)	(+)	(+)	+
Міцність покриття	(+)	+	(+)	+	--	(+)	(+)	(+)	(+)	--	--
Обтічність газами і рідинами	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+	(+)	(+)	(+)	(+)	+

+ – характеристики, що створюють основний вплив на експлуатаційну властивість;

(+) – характеристики, що створюють обмежений вплив;

-- – відсутність впливу.

Складність прогнозу цих характеристик достатньо велика, оскільки обумовлена великою кількістю технологічних факторів, що впливають на їх формування. В технічній літературі, як правило, використовується статистичний підхід до прогнозування параметрів шорсткості та хвилястості поверхні деталей [1], [2], [3].

Керування параметрами якості можливо як на стадії проектування технології при технологічній підготовці виробництва, так і при безпосередньому керуванні технологічними процесами й операціями. Аналіз та оптимізація варіантів технології на стадії її проектування важливі, оскільки при цьому скорочуються терміни вибору оптимального варіанта, знижуються витрати підготовки виробництва нових виробів і спрощуються технічні засоби, що безпосередньо керують металорізальним устаткуванням. Для здійснення прогнозу на стадії підготовки виробництва й автоматичного керування параметрами якості в процесі обробки необхідна побудова математичної моделі формування параметрів якості.

На геометричну точність і мікрорельєф поверхні деталі при механічній обробці впливає велика кількість факторів: швидкість різання v , глибина різання t , подача s , геометрія та ступінь притуплення інструмента, твердість матеріалу деталі і технологічної системи, стан устаткування, у тому числі ступінь його спрацювання, точність приладів і методів виміру параметрів точності, шорсткості та хвилястості. Кожний з перерахованих факторів у процесі обробки може змінюватися, причому його величина коливається біля якогось середнього значення, тобто має місце сполучення систематичних і випадкових факторів, що також відноситься до сумарного впливу усіх факторів.

Ці фактори впливають на точність та мікрорельєф, який утворюється при механічній обробці поверхні, в різній мірі. Дослідження ряду авторів [2], [3] показує, що рівень впливу окремих факторів невеликий і практично не контролюється сучасними вимірвальними приладами. Аналіз значимості технологічних та конструктивних факторів дозволяє при побудові формалізованої моделі процесів установити рівень впливу факторів на точність та мікрорельєф і мінімізувати модель.

Проведені раніше дослідження моделюють процес утворення нерівностей при точінні, припускаючи, що різець переміщується щодо заготовки відповідно до кінематики точіння і робить коливання в напрямку дії радіальної P_y складової сили різання, при цьому різець переносить профіль своєї вершини в плані на оброблювану заготовку [2].

Залежність зміни параметрів мікрорельєфу від часу роботи різців носить більш складний характер, причому різці одержують граничне спрацювання у період його стійкості, що позначається на параметрах шорсткості. Проведені дослідження показують, що в період стійкості висотні параметри шорсткості збільшуються до 100 %. На підставі експериментальних даних отримана залежність для визначення значення радіуса при вершині різця в кінці періоду стійкості

$$r_p = r_0 [1 + m_1 (\frac{t_{роб}}{T})^{m_2}], \quad (1)$$

де r_0 – радіус заокруглення вершини різця в плані, що відповідає початковому періоду стійкості; $t_{роб}$ – час роботи різця; T – період стійкості різця; $m_1 = 0,6$, $m_2 = 1,6$ – коефіцієнти, отримані при точінні сталі 45 різцями із пластинками твердого сплаву Т15К6, швидкість різання $v = 28$ м/хв, подача $s = 0,02$ мм/об, глибина різання $t = 0,5$ мм.

Істотний вплив на мікрорельєф, що утворюється при механічній обробці, мають механічні властивості оброблюваного матеріалу, тому при контактуванні інструмента з оброблюваною поверхнею не завжди профіль різця залишає свій точний слід. Особливістю чистої обробки деталей при малій глибині різання є контакт різця з зоною матеріалу, підданою пластичній деформації, яка отримана на попередній операції. Попередньо деформована зона протидіє пружно, обумовлюючи відновлення матеріалу після відходу від нього різця [1]. Врахування особливостей контакту двох тіл при описаних умовах рекомендується проводити за допомогою параметра $HB^{0,5}E^{-1}$ [2], де HB – твердість м'якшого з контактуючих матеріалів, E – модуль пружності цього матеріалу.

Розрахунок параметрів шорсткості проводився за реальною та ідеальною профілограмами, після чого розраховувалися похибки, обумовлені перекручуванням профілю

$$\delta R = \frac{R - R_u}{R_u}, \quad (2)$$

$$\delta R_{max} = -16 - 0,11r_p - 0,07S + 0,06HB^{0,5}E^{-1} \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

де R – параметр реальної профілограми; R_u – параметр ідеальної профілограми.

На рис. 1, а показана графічна інтерпретація виразу (3). Суцільною лінією показана зміна δR_z , штриховою – δR_{max} . На осі абсцис відкладений параметр $HB^{0,5}E^{-1}$ і відповідний йому матеріал заготовки.

З аналізу наведених на рис. 1, а графіків випливає, що існує широка номенклатура матеріалів, для яких з помилкою, що не перевищує 10–15 %, можна прийняти допущення про те, що профіль нерівностей копіює слід леза інструмента. У випадках, коли похибка перевищує 15 %, наведена на рис. 1, а номограма дозволяє уточнити прогнозований параметр.

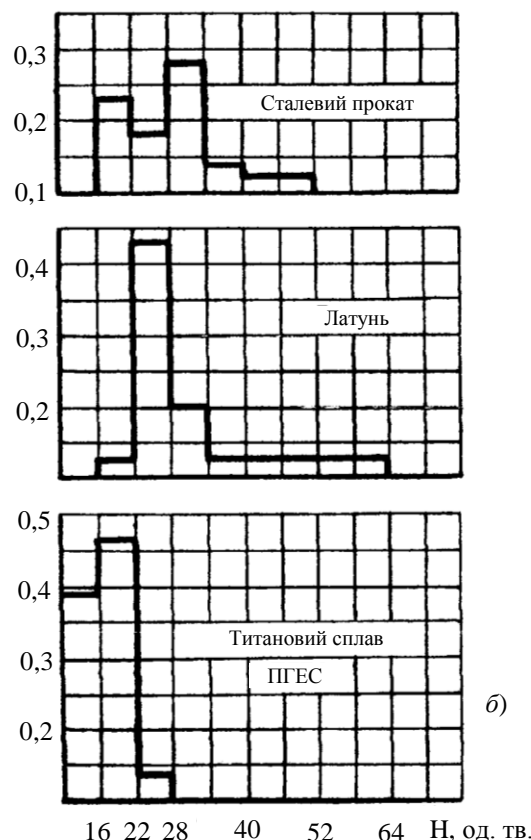
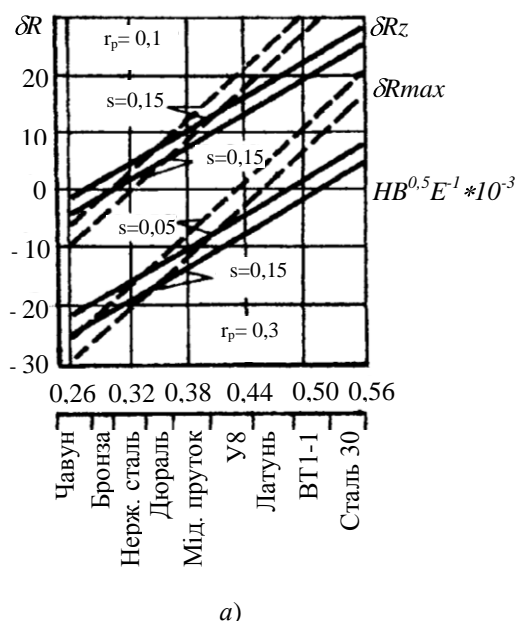
При моделюванні нерівностей поверхні як сліду різального інструмента необхідно враховувати взаємне переміщення заготовки та інструмента при різанні. Взаємне переміщення Y заготовки та інструмента визначається величиною радіальної P_y складової сили різання і в залежності від виду оброблюваних деталей жорстких чи нежорстких, жорсткістю технологічної системи $C_{m.c.}$ або жорсткістю самої деталі відповідно

$$Y = P_y / C_{m.c.} \quad (4)$$

Спрацювання та притуплення інструмента призводить до збільшення сили різання, а відповідно і до збільшення взаємного переміщення заготовки та інструмента. У результаті досліджень для випадку обробки сталевих заготовок різцями з твердого сплаву з урахуванням часу роботи різця отримана залежність:

$$P_y = P_{y0} [1 + 0,6 (\frac{t_{роб}}{T})^{1,6}], \quad (5)$$

де P_{y0} – радіальна складова сили різання при гостро заточеному різці.



прогнозу параметрів якості – а; гістограми розподілення твердості поверхневого шару заготовок з різних матеріалів – б

Підстановка виразу (5) у залежність (4) дозволяє визначити масиви $\{y_i\}$ величин взаємного переміщення заготовки й інструмента для моделювання параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь деталей.

Над фрагментами профілограм вказані параметри шорсткості Ra , розраховані за допомогою моделі, а в дужках відмічені параметри, що отримані за результатами профілограм для тих самих умов точіння. Похибка моделювання параметрів шорсткості порівняно з експериментальними даними в середньому не перевищує 30 %. Зміна параметрів моделі дозволяє моделювати профілограми, що імітують поверхні, отримані при зміні технологічних факторів.

В таблиці 2 подані кількісні показники впливу вищевказаних змін, знаком “+” позначено збільшення параметра, знаком “-” – його зменшення. Зміна факторів проводилась в діапазонах рекомендованих режимів різання з виключенням можливості появи вібрацій навколо резонансних режимів і наростування.

Особливість моделювання шорсткості поверхні полягає в специфіці поняття “шорсткість”, яке виключає ділянки поверхні з кроками, більшими за крок шорсткості, тобто хвилястість. При наближеному моделюванні з моделі виключаються згинальні коливання заготовки, котрі спричиняють хвилястість поверхні. Врахування згинальних коливань заготовки при точінні призводить до значного ускладнення математичного апарата при визначенні ординат переміщень масиву $\{y_i\}$. При використанні для автоматичного керування технологічним устаткуванням і процесами мікро-ЕОМ та мікропроцесорів, що не мають математичного забезпечення, можливі деякі спрощення математичної моделі. З достатнім для практичних розрахунків ступенем точності, а також з огляду на технічні можливості метрологічних засобів, методику розрахунку пружних переміщень технологічної системи при точінні можна спростити.

Таблиця 2

Вплив технологічних факторів на параметри шорсткості

Зміна фактора	Характер зміни параметра	Кількісний показник, %
Віддалення від торця цанги до поверхні контакту різця з заготовкою	+	120 ÷ 200
Притуплення різця	+	20 ÷ 50
Зменшення дисбалансу затискної цанги удвічі	–	20 ÷ 50
Збільшення діаметра заготовки		40 ÷ 50
Збільшення подачі удвічі	–	200 ÷ 300
Збільшення глибини різання удвічі	+	10 ÷ 30
Збільшення частоти обертання шпинделя на 20 %	+	10 ÷ 15
Збільшення жорсткості вузлів верстата удвічі	+	10 ÷ 40
Зменшення розкиду твердості поверхні заготовки удвічі	+, – – –	20 ÷ 60 20 ÷ 40

Викладена методика моделювання параметрів шорсткості дозволяє поряд з хвилястістю та шорсткістю моделювати такий показник точності, як некруглість поверхні. У нормативних документах (ГОСТ 24642-81 “Допуски форми і розташування поверхонь” (Основні терміни і визначення) і ГОСТ 24643-81 “Допуски форми і розташування поверхні (Числові значення)”) при визначенні величини відхилення форми використовують як базу відліку прилягаючу поверхню чи прилягаючий профіль. Зокрема, прилягаючим колом для отвору є коло найбільшого можливого діаметра, вписане в реальний профіль, а для вала – коло найменшого можливого діаметра, описане навколо такого ж профілю. При визначенні некруглість, огранювання на профілі за кількісну оцінку відхилення форми приймають найбільшу відстань від точок реального профілю до прилягаючого кола.

Некруглість реальних поверхонь вимірюється кругломірами і при цьому для оцінки різних гармонік нерівностей використовують частотні фільтри. Моделювання нерівностей різних частот реалізують у такий спосіб. У моделі фіксують відстань вершини різця від місця закріплення заготовки і розраховують масив переміщень $\{y_i\}$.

Розмірність N_m масиву вибирають з врахуванням імітації фільтра ($N_m = 15-1000$ і т.п.) і подальшу обробку результатів моделювання роблять відповідно за діючими методиками обробки круглограм. На рис. 2 представлені результати моделювання некруглої поверхні для наступних умов обробки на автоматі 1A12П: $v = 28$ м/с, $s = 0,02$ мм/об, $t = 0,5$ мм, $r_p = 0,15$ мм, $L = 20$ мм; діаметри заготовок $d = 10$ мм (рис. 2, а); $d = 5$ мм (рис. 2, б). Моделювання здійснювали для середньої частини заготовки, зіставлення результатів моделювання з реальними розмірами поверхні, отриманими при фізичному моделюванні, показують збіжність результатів до 20–30 %. Реальні поверхні мають велику некруглість при малих гармоніках, що пояснюється різною жорсткістю вузлів верстата, зокрема, шпиндельної бабки по різних осях координат, причому ця неоднорідність виявляється по-різному в кожному конкретному верстаті однієї і тієї ж моделі. Це питання вимагає окремих досліджень реального устаткування спеціальними технічними засобами з наступною математичною обробкою.

Модель формування параметрів якості поверхні деталей при точінні дозволяє прогнозувати крокові параметри профілю поверхні.

Крокові параметри мікронерівностей – один з важливих параметрів якості, регламентований ГОСТ 2789-73 “Шорсткість поверхні. Параметри і характеристики”. Ці параметри впливають на тертя деталей, вібронестійкість, корозійну стійкість, міцність покриттів тощо (табл. 1). Профілограми реальної поверхні заготовок, оброблених точінням, навіть при використанні прецизійного устаткування виявляють похибки кроків нерівностей по вершинах, які виникають через коливання крайки ріжучого різця вздовж осі обертання заготовки та нерівномірних переміщень вершини різця в радіальному напрямку.

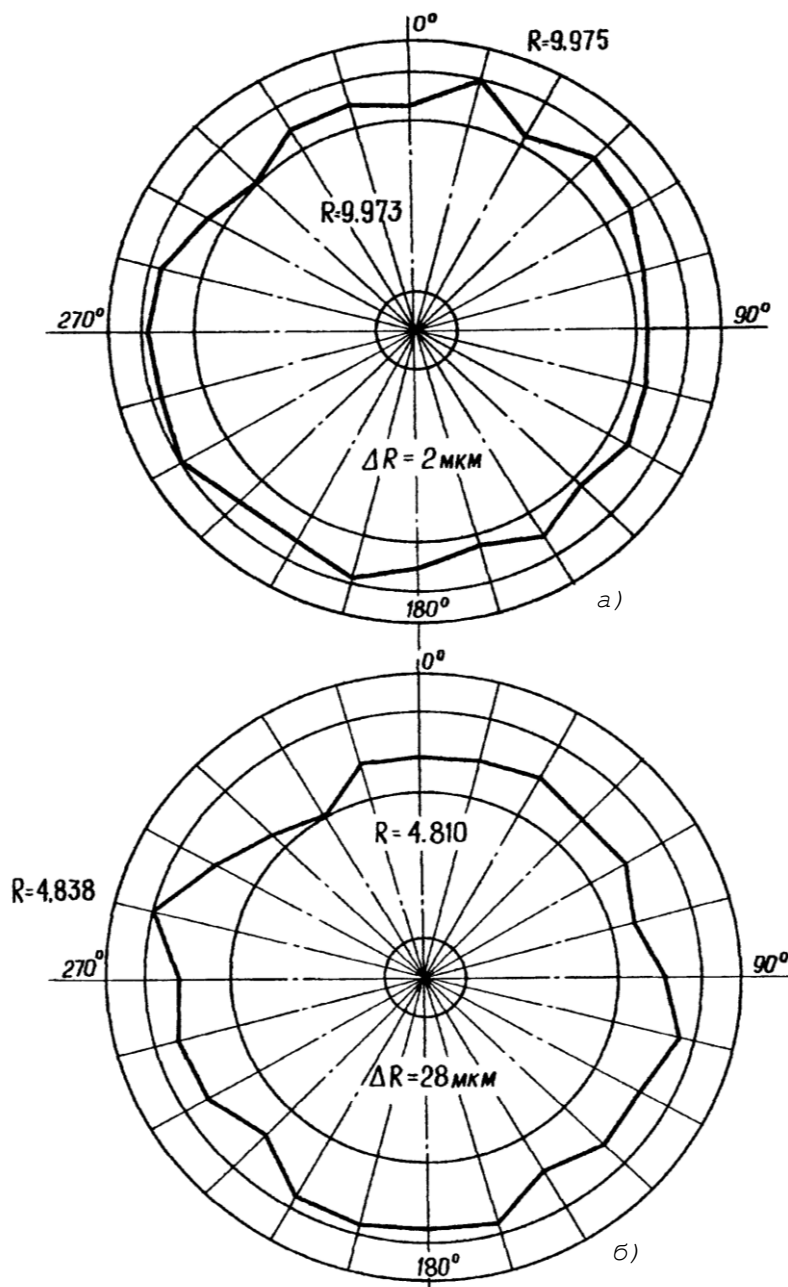


Рис. 2. Круглограми поперечного перерізу деталей, отримані моделюванням для точіння осей: при $d = 10 \text{ мм}$, $L = 20 \text{ мм}$ – а; при $d = 5 \text{ мм}$, $L = 20 \text{ мм}$ – б

Проведені дослідження показали рівень впливу радіальних переміщень заготовки й інструмента на крокові параметри профілю. До проведення подібного аналізу всі крокові похибки пояснювалися лише похибками вузлів устаткування, що формують кроки.

Отримані вирази дозволяють прогнозувати крокові параметри нерівностей при розробці технологічних умов обробки заготовок на верстатах токарної групи й оцінювати їхні похибки відповідно до заданих вимог точності, що, у свою чергу, є основою для оптимізації технологічних умов за критерієм якості виробів.

Наведені математичні моделі формування параметрів якості призначені для модулів пакетів САПР при розробці та оптимізації технології токарної обробки деталей. Ці моделі дозволяють поряд з прямою задачею оцінити придатності одного зі способів формоутворення для досягнення потрібних значень параметрів якості поверхні, вирішувати обернену задачу за даними параметрами якості, вибрати оптимальну технологію.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Дунин-Барковский И.В., Карташева А.И.* Измерения и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности. – М.: Машиностроение, 1978. – 232 с.
2. *Левин М.А.* Моделирование процесса образования поперечной шероховатости деталей при чистовом точении и растачивании // Приборостроение. – К.: Техника, 1976. – Вып. 21.
3. *Лукьянов В.С., Рудзит А.Я.* Параметры шероховатости поверхности. – М.: Издательство Стандартов, 1979. – 162 с.
4. *Balazs L.* Pap Iozsefne Mehany mikrogeometriai jellemzo elmeleti ertekenek meghatarozasa estergalaskoz Is gyalulaskoz. – Neherijpari must. Igyet. Korl, sorozat. – 1978. – 3, 24, № 2. – P. 97–121.

ДЕНИСЮК Віктор Юрійович – інженер кафедри приладобудування Луцького державного технічного університету.

Наукові інтереси:

– системи автоматизованої технологічної підготовки токарних автоматів, технологічне забезпечення якості деталей.

МАРЧУК Віктор Іванович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри приладобудування Луцького державного технічного університету.

Наукові інтереси:

– технологічне забезпечення якості деталей та зв'язки параметрів якості з експлуатаційними характеристиками.

Подано 25.01.2004