

СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СПРЯЖЕНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ НА ФІНІШНИХ ЗМІЦНЮВАЛЬНО-ВИКІНЧУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЯХ

В статті наведено дослідження можливостей спрямованого формування показників якості, шляхом підбору технологічних операцій та призначення відповідних технологічних режимів. Зазначено, що для здійснення спрямованого формування необхідно визначити параметри, за допомогою зміни значень яких, можна керувати значеннями показників, що еволюціонують в процесі оброблення. Це дозволить ліквідувати або зменшити вплив показників, що погіршують експлуатаційні властивості деталей, в першу чергу, на зміцнювальних або викінчувальних операціях механічного оброблення, та ініціалізувати прояви показників, що забезпечують покращення експлуатаційних властивостей деталі загалом.

Ключові слова: керування, технологічний процес, спрямоване формування, підвищення зносостійкості

Спрямоване формування ґрунтується на елементах теорій технологічної спадковості та взаємовпливу показників якості, що дозволяє знизити роль випадкових чинників і їх поєднань в ході забезпечення показників якості, що зменшує поля розсіювання значень показників і сприяє підвищенню якості оброблюваних деталей. Кожен етап технологічного процесу виготовлення доцільно розглядати як взаємодію різних технологічних об'єктів, що визначають процеси трансформації показників якості, виникнення явищ їх успадкування та взаємовпливу [1].

Процес формування показників якості при виготовленні деталі можна розглядати з позицій системного аналізу. Система являє собою інформаційну мережу, носієм інформації є поверхня деталі з різними показниками, що описують її стан. Елементи системи – етапи оброблення, тобто технологічні операції та переходи, а об'єкти, властивості що зазнають різні зміни в ході технологічного процесу (ТП). Елементи системи і зв'язків між ними досить повно можуть бути описані за допомогою теорії графів. Граф, який представляє формування показників якості в ході ТП, повинен бути орієнтованим і ациклічним [2]. Моделювання процесу формування показників якості поверхневого шару доцільно проводити в три етапи. Перший етап полягає в розробці структурної моделі процесу.

Найбільшу наочність дає каскадний граф, сформований на основі структури ТП у вигляді послідовності етапів оброблення, в якому показані головні функціональні зв'язки, що відображають явища технологічної спадковості та взаємовпливу показників якості. Такий граф дозволяє провести аналіз причинно-наслідкових зв'язків під час трансформації показників якості поверхневого шару. Даний граф виконує роль структурної моделі процесу формування показників якості під час ТП виготовлення деталі. Розрахунок конкретних значень показників якості буде виконуватися згідно графу.

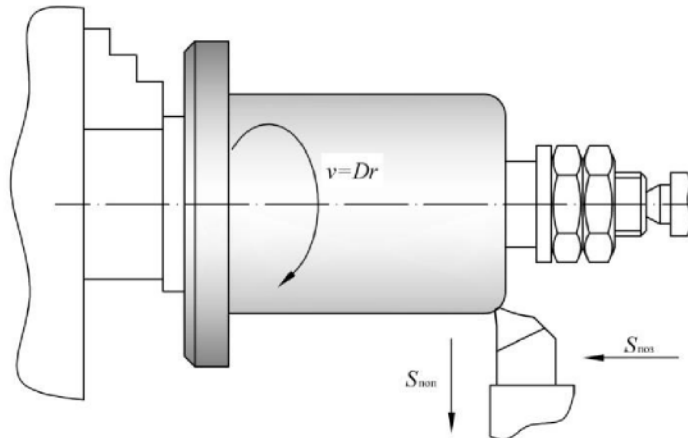


Рис. 1. Схема оброблення функціональної поверхні втулки: відхилення реального профілю від теоретичного не більше 0,01 мм; відхилення від симетричності профільного ділянки відносно торців не більше 0,01 мм

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Дослідження ТП та забезпечення показників якості проведено на прикладі спряженої деталі типу тіло обертання (рис. 1). В ході експлуатації даної деталі виникають: просковзування по довжині профілю, при робочому навантаженні від 50 до 300 Н, а також різні види зношування (адгезійне, втомне, абразивне) і знакозмінні навантаження [3]. До найбільш важливих експлуатаційних властивостей цієї деталі слід віднести зносостійкість, контактну жорсткість, втомну і корозійну стійкість.

Під час аналізу ТП оброблення основну увагу слід приділити забезпеченню якості функціональних поверхонь. Продуктивність роботи цілого вузла та його якісні характеристики залежить від зносостійкості поверхневого шару і стабільності форми функціонального профілю в процесі експлуатації.

Основні показники якості втулки визначені на основі результатів досліджень про взаємозв'язок експлуатаційних властивостей з показниками якості деталі [4], фрагменти яких показані в табл. 1 і 2. У таблицях представлені наступні показники якості: максимальне макровідхилення (відхилення форми) H_{max} , мкм; висота згладжування макровідхилення H_p , мкм; найбільша висота профілю хвиль W_{max} , мкм; середня висота хвиль W_z , мкм; висота згладжування хвилястості W_p , мкм; середній крок хвиль Sm_w , мм; найбільша висота нерівностей профілю R_{max} , мкм; середнє арифметичне відхилення профілю Ra , мкм; висота нерівностей профілю по десяти точках Rz , мкм; середній крок нерівностей профілю Sm , мм; середній крок місцевих виступів профілю S , мм; відносна опорна довжина профілю tp %; висота згладжування профілю шорсткості Rp , мкм; напрямок нерівностей; поверхневі залишкові напруження (напруження першого роду) $\sigma_{зал}^{-1}$, МПа; глибина залягання залишкових напружень h_σ , мкм; мікротвердість $H\mu$, Н/мм²; глибина деформованого шару (наклепу) h_n , мкм.

Таблиця 1

Показники, що визначають експлуатаційні властивості деталей машин та їх спряжень

Експлуатаційні властивості	Показники якості поверхневого шару														
	H_{max} , мкм	H_p , мкм	W_z , мкм	W_p , мкм	Sm_w , мм	Ra, Rz , мкм	Ra_{max} , мкм	Rp , мкм	tp , %	Sm , мм	S , мм	$\sigma_{зал}^{-1}$, МПа	h_σ , мкм	$H\mu$, Н/мм ²	h_n , мкм
Контактна жорсткість:															
перше навантаження	-	-*	-	-*	-	-	-	-*	+	+	0	+	0	+	0
повторне навантаження	-	-*	-	-*	-	-	-	-*	+	+	0	-	0	-	0
Коефіцієнт тертя	+	+	+	+	-	+	+	+	-*	-	-	-	0	+	0
Зносостійкість	-	-*	-	-*	+	-	-	-*	+	+	+	+	0	+	0
Втомна міцність	0	0	0	0	0	-	-*	+	-	+	0	+	+	+	+
Корозійна стійкість	0	0	-	-	+	-*	-	-	+	+	+	-*	-	-	-
Поверхнева теплопровідність	-*	-*	-*	-*	-	-*	-	-*	+	-	-	-	-	-	-
Термостійкість	0	0	0	0	0	-	-	-	+	+	0	-	0	-	0

Примітка: «+» та «-» означають відповідно, що збільшення або зменшення цих показників викликає покращення або погіршення даної експлуатаційної властивості; * – показник здійснює основний вплив на дану експлуатаційну характеристику; «0» – показник не здійснює впливу на дану експлуатаційну властивість

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Зносостійкість істотно залежить від таких показників якості поверхні, як шорсткість, мікротвердість і залишкові напруження [5]. На контактну жорсткість впливають відхилення форми, шорсткість, мікротвердість і величина залишкових напружень. Втомна міцність визначається в значній мірі фізико-механічними показниками, такими як залишкові напруження, глибина і ступінь зміцнення поверхні, мікротвердість, а також показниками шорсткості. Корозійна стійкість залежить в основному від шорсткості поверхні, залишкових напружень і опосередковано від мікротвердості. На рис. 2 показані множини показників якості, що відповідають певним експлуатаційним властивостям втулки. Як видно з рисунка ці множини є пересічними, їх перетин є множиною основних показників якості деталі, формування яких розглядається в даній роботі. Основні показники якості включають в себе відхилення форми фасонної і посадочних поверхонь, показники шорсткості, залишкові напруження I-го роду і мікротвердість.

Таблиця 2

Залежність експлуатаційних властивостей деталі від показників якості поверхневого шару

Експлуатаційні властивості	Показники якості поверхневого шару										
	Ra , мкм	Rz , мкм	Ra_{max} , мкм	Sm , мм	S , мм	tp , %	Напряж. мікронерівностей	W_{max} , мкм	H_{max} , мкм	$H\mu$, Н/мм ²	$\sigma'_{зал}$, МПа
Зносостійкість	+	(+)	(+)	+	(+)	+	+	+	(+)	+	+
Втомна міцність	(+)	(+)	+	(+)	-	-	+	+	(+)	+	+
Контактна жорсткість	(+)	(+)	(+)	(+)	-	+	+	(+)	(+)	+	(+)
Вібростійкість	(+)	(+)	(+)	+	-	+	+	-	(+)	+	(+)
Корозійна стійкість	(+)	(+)	+	+	(+)	(+)	-	(+)	-	+	+
Міцність спряження	(+)	(+)	-	(+)	-	+	+	-	(+)	+	(+)

Примітка: Вплив показника на властивості деталі: «(+))» – обмежений; «+» – основний; «-» – відсутній

Для виготовлення даних втулок застосовуються високоякісні леговані сталі марок Х9М, Х12М, що піддаються об'ємному гартуванню до твердості HRC 60...65. За типом, виробництво дрібносерійне, заготовка виготовляється з прокату круглого перерізу.

З основних технологічних варіантів обробки, зокрема, отримання фасонних профілів кращим є варіант, що включає токарне оброблення на верстаті з ЧПК із застосуванням інструменту з надтвердого матеріалу і подальше зміцнювально-викінчувальне оброблення алмазним вигладжуванням [6, 7]. Цей варіант ТП забезпечує отримання необхідних розмірної точності, шорсткості та зміцнення поверхні втулки.

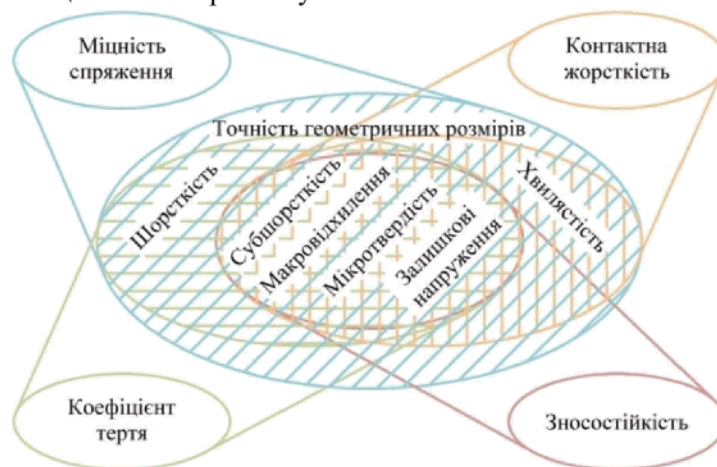


Рис. 2. Множини показників якості, що відповідають експлуатаційним властивостям деталі

На основі аналізу літературних джерел виявлено функціональні зв'язки, що відображають явища технологічної спадковості й взаємного впливу показників якості в процесі

оброблення, що характерні для деталей типу тіл обертання з фасонними поверхнями, представником яких є базова деталь. Дослідженнями [3] встановлено безпосередній функціональний зв'язок показників якості з показниками, отриманими на попередніх стадіях оброблення.

Для лезового оброблення та поверхневого пластичного деформування ці зв'язки можна представити за допомогою схеми рис. 3. Крім того, виявлено факти, що підтверджують явища технологічної спадковості й взаємного впливу показників якості. Так, наприклад, в [8] запропоновано спосіб виправлення відхилення форми від круглості за рахунок врівноваження локальних залишкових напружень в поверхневому шарі деталі, що супроводжується її загальною пружною деформацією. В [3] розглянуто вплив анізотропії властивостей матеріалу деталі, зокрема твердості, на відхилення форми і шорсткість в процесі механічного оброблення. На основі досліджень механізму технологічної спадковості показників напружено-деформованого стану поверхневого шару в ході лезового оброблення і поверхневого пластичного деформування [2, 4] розроблена методика розрахунку залишкових напружень, глибини і ступеня зміцнення поверхневого шару. Крім того, зазначено, що фізико-механічні показники поверхневого шару впливають на висотні показники шорсткості оброблюваної поверхні.

Під час зміцнювально-вигладжувального оброблення поверхневим пластичним деформуванням формується шорсткість, що визначається її вихідною величиною. Крім того, шорсткість залежить від вихідної мікротвердості особливо, при невеликих силах деформування. Хвилястість в значній мірі залежить від її початкової величини, а також від вихідних шорсткості і мікротвердості. Макровідхилення практично не змінюються і копіюються, тобто в повній мірі проявляється явище ТС, що є одним з недоліків даного методу.

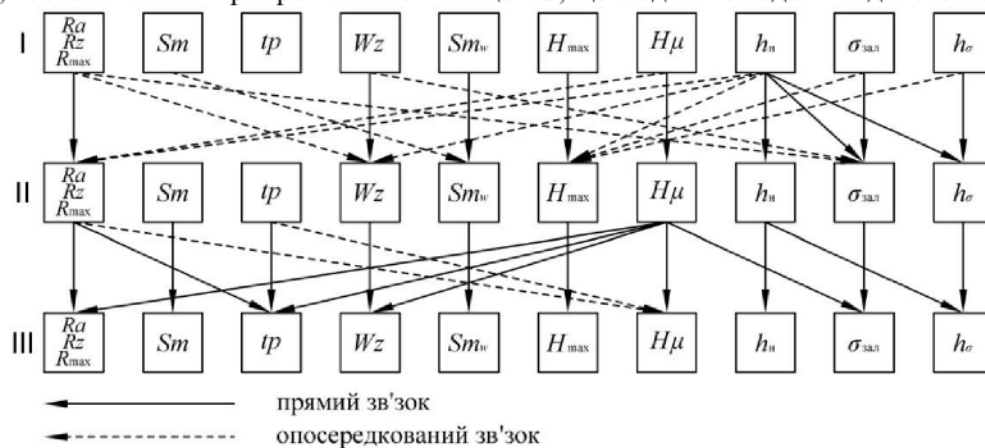


Рис. 3. Схема технологічно-спадкових зв'язків основних показників якості поверхневого шару деталей: I – вихідні показники якості поверхневого шару заготовки; II – показники якості отримані внаслідок лезового оброблення; III – показники якості отримані на операціях ППД;

Фізико-механічні показники поверхневого шару залежать як від вихідного стану, так і вихідних нерівностей оброблюваної поверхні.

За результатами експериментальних даних побудований граф процесу формування показників якості втулки (рис. 4). По горизонталі розташовані етапи оброблення, по вертикалі – розглядаються показники якості. Кожна гілка графа ($a_1 - a_{19}$, $b_1 - b_{19}$, $k_1 - k_{19}$) відображає трансформацію окремого показника якості в процесі оброблення. Вершини графа (a_1, b_1, \dots, k_1) представляють собою значення показників на визначених етапах оброблення. Поздовжні ребра графа (наприклад, $K_{a_{3a9}}$, $K_{b_{10b12}}$) позначають технологічну спадковість (перенесення) показників якості від одного етапу до іншого. Поперечні ребра графа (наприклад, $K_{b_{16c17}}$, $K_{c_{16b17}}$), що з'єднують різні гілки, характеризують вплив одного показника якості на інший.

Для моделювання графа та отримання чисельних значень показників необхідно математичний опис ребер графа, тобто коефіцієнтів трансформації. В якості такого опису використані:

- геометричні залежності мікротопографії;
- відомі аналітичні залежності, що мають місце при описі процесів перетворення показників якості заготовки в ході технологічної операції або переходу;

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

– регресійні залежності, що відображають зв'язки параметрів оброблення і результуючого ефекту технологічного методу, отримані на основі експериментального матеріалу [1, 2], або такі, що характеризують взаємний вплив показників якості.

Визначення складу і фізичного змісту кожного зв'язку є актуальним науково-технологічним завданням. Таким чином, для створення загальної моделі ТП можна використовувати моделі, що характеризують внесок окремих механізмів формування величини того чи іншого показника якості заготовки і деталі.

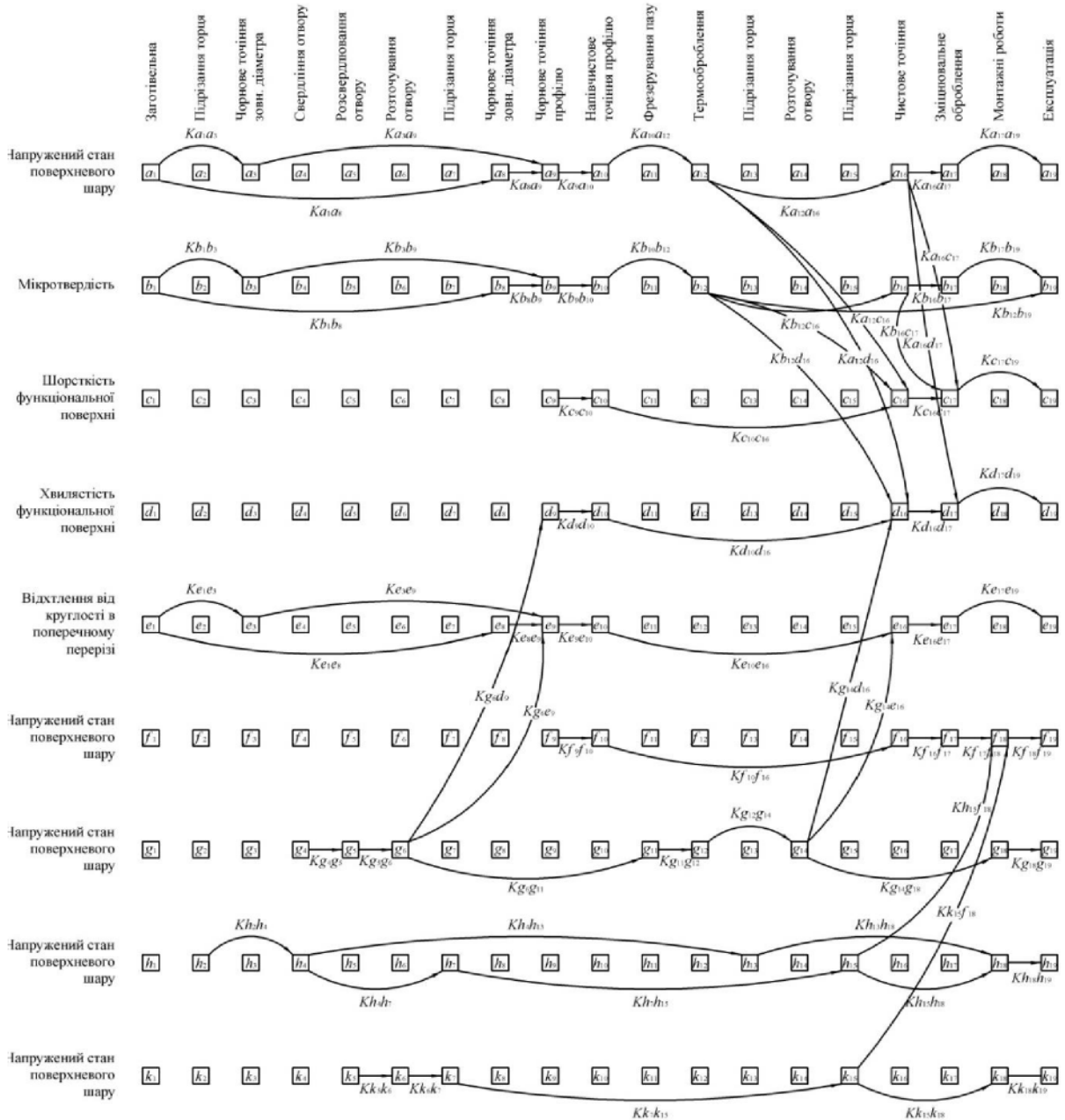


Рис. 4. Схема процесу формування показників якості функціональної поверхні втулки на стадіях виготовлення та експлуатації

Оскільки нині математичні моделі формування показників якості та їх спадкових перетворень розроблені лише для обмеженого числа ТП і носять наближений характер, для детального дослідження і моделювання була виділена ділянка графа (рис. 5), що стосується заключної стадії процесу виготовлення деталі, що включає чистове точіння і алмазне вигладжування. Це пояснюється тим, що даний профіль, є важливою функціональною поверхнею втулки. Трудомісткість оброблення поверхні становить більше третини трудомісткості оброблення всієї деталі, крім того, об'ємне гартування, що застосовується після попереднього лезового оброблення, викликає суттєві деформації заготовки, що зумовлює досить великі (до 0,2 мм) припуски на чистову обробку профілю. Таким чином, показники якості робочої поверхні виходять, в основному, на етапі фінішного оброблення.

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Згідно з розробленим графом рівняння, що описують структурну модель процесу формування показників якості, будуть виглядати наступним чином:

1) показники якості, сформовані на етапі чистового точіння:

$$\begin{cases} a_{16} = a_{12}K_{a_{12}a_{16}}; \\ b_{16} = b_{12}K_{b_{12}b_{16}}; \\ c_{16} = c_{12}K_{c_{12}c_{16}} + b_{12}K_{b_{12}c_{16}}; \\ e_{16} = e_{12}K_{e_{12}e_{16}}; \\ f_{16} = f_{12}K_{f_{12}f_{16}}. \end{cases} \quad (1)$$

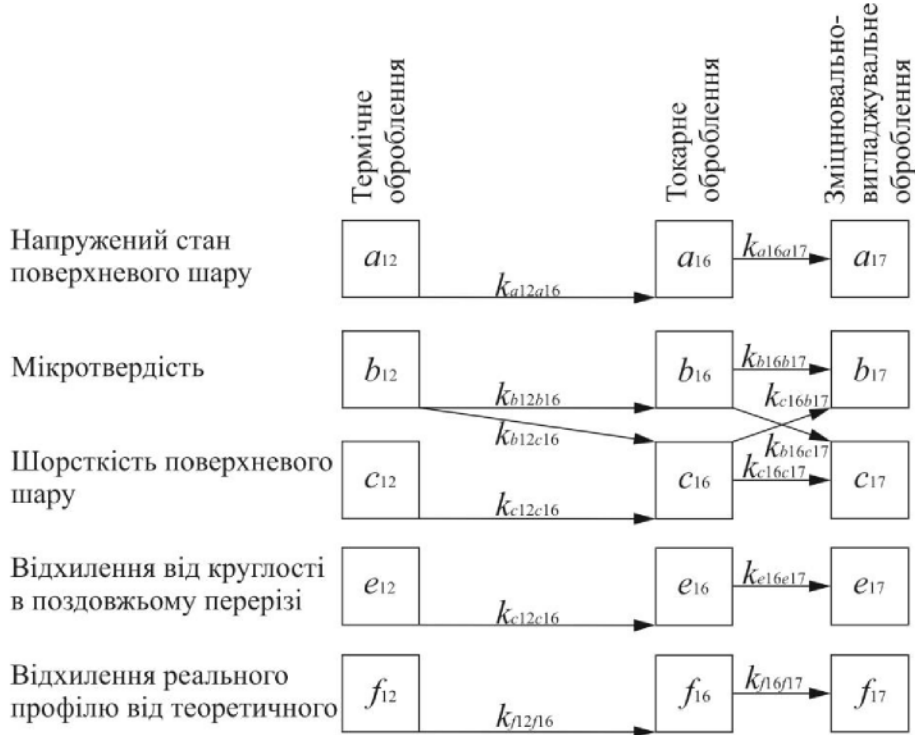


Рис. 5. Граф фінішної стадії процесу формування показників якості функціональної поверхні спряженої деталі типу тіло обертання

2) показники якості, сформовані на етапі алмазного вигладжування:

$$\begin{cases} a_{17} = a_{16}K_{a_{16}a_{17}}; \\ b_{17} = b_{16}K_{b_{16}b_{17}} + c_{16}K_{c_{16}b_{17}}; \\ c_{17} = c_{16}K_{c_{16}c_{17}} + b_{16}K_{b_{16}c_{17}}; \\ e_{17} = e_{16}K_{e_{16}e_{17}}; \\ f_{17} = f_{16}K_{f_{16}f_{17}}. \end{cases} \quad (2)$$

де a_i – значення залишкових напружень поверхневого шару; b_i – мікротвердість; c_i – значення показників шорсткості; e_i – значення відхилення від круглості в поперечному перерізі деталі; f_i – значення відхилення реального профілю від теоретичного в поздовжньому перерізі. Індекси відповідають етапам оброблення: 12 – термічне оброблення; 16 – чистове точіння профілю; 17 – алмазне вигладжування.

З графа і наведених рівнянь справедливим буде висновок, що для розглянутих показників характерна наявність технологічної спадковості на фінішних операціях оброблення заготовки, а для показників шорсткості і мікротвердості характерний взаємний вплив, особливо на операціях алмазного вигладжування.

Представивши коефіцієнти трансформації показників якості у вигляді математичних моделей, можна розрахувати значення показників на конкретному етапі оброблення, виявити параметри технологічної системи, які мають істотний вплив на формування показників якості та зміною яких можна регулювати значення цих показників.

Інформаційні джерела

1. A. Tkachuk Thermophysical analysis process diamond smoothing / Viktor Marchuk, Anatoliu Tkachuk, Stanislav Prustupa // Computer Aided Production Engineering – Lublin: Politechnika Lubelska, 2013. - P. 67-74.
2. A. Tkachuk, V. Zablotyskiy, T. Terletsyki, O. Kaidyk, S. Moroz Increased wear resistance of surfaces of rotation bearings methods strengthening-smoothing processing. Mechanics, Materials Science & Engineering Journal. Volume 5, July 2016, Pages 77-85, DOI: 10.13140/RG.2.1.1757.9125
3. Балтер М.А. Упрочнение деталей машин / Балтер М.А. - М.: Машиностроение, 1978. - 184 с.
4. Заблоцький В.Ю. Про вплив технологічної спадковості на експлуатаційні характеристики кілець роликотідшипників. Наукові нотатки. – Луцьк: Ред.-вид. ЛДТУ, 2004, 91-100.
5. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Рыжов Э.В. – Киев: Наук. думка, 1984. - 272 с.
6. Сулима А.М., Шулов В.А., Ягодкин Ю.Д. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
7. Ткачук А.А. Пат. 87877 Україна, МПК В24В 39/00 (2014.01). Пристрій для вигладжування поверхонь обертання / А.А. Ткачук, Заявник і патентовласник: Луцький національний технічний університет, Луцьк; заявл. 09.08.2013; опубл. 25.02.2014; Бюл. №4. – 4 с.
8. Улашкин А.П. Выбор отделочно-упрочняющих методов обработки (для повышения износостойкости деталей машин). – Хабаровск: Изд-во Хабар, гос. техн. ун-та, 1998. – 103 с.

Дахнюк А.П., Корольова А.Г.

Луцкий национальный технический университет

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СОПРЯЖЕННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ НА ФИНИШНЫХ УПРОЧНЯЮЩЕ-ОТДЕЛОЧНЫХ ОПЕРАЦИЯХ

В статье приведены исследования возможностей направленного формирования показателей качества, путем подбора технологических операций и назначения соответствующих технологических режимов. Отмечено, что для осуществления направленного формирования необходимо определить параметры, с помощью изменения значений которых можно управлять значениями показателей, которые эволюционируют в процессе обработки. Это позволит ликвидировать или уменьшить влияние показателей, ухудшающих эксплуатационные свойства деталей, в первую очередь, на упрочняющих или отделочных операциях механической обработки, и инициализировать проявления показателей, обеспечивающих улучшение эксплуатационных свойств детали в целом.

Ключевые слова: *управления, технологический процесс, направленное формирование, повышение износостойкости*

O. Dahnjuk, A. Korol'ova

Lutsk National Technical University

STRUCTURAL MODEL OF THE PROCESS OF FORMING THE QUALITY INDICATORS OF CONJUGATE FUNCTIONAL SURFACE SURFACES ON FINISHING SIMPLE-FINISHING OPERATIONS

The article studies the possibilities of directional formation of quality indicators, by selecting technological operations and assigning appropriate technological regimes. It is noted that in order to implement a directional formation, it is necessary to determine the parameters by changing the values of which it is possible to control the values of the indicators that evolve during the processing. This will eliminate or reduce the effect of indicators that degrade the operational properties of parts, primarily on hardening or finishing machining operations, and to initialize the manifestations of indicators that improve the operational properties of the part as a whole.

Keywords: *management, technological process, directed formation, increase of wear resistance*