

ДК 621.923

**В.Б. Богуцький,**

ст. викладач,

Севастопольський національний
технічний університет
e-mail: bogutskivb@yandex.ru**С.М. Братан,**

д.т.н., професор,

Севастопольський національний
технічний університет
e-mail: serdj.bratan@gmail.com**Л.Б. Шрон,**

к.т.н., доцент,

Севастопольський національний
технічний університет
e-mail: shronlb@mail.ru

СТАБІЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ НА ОПЕРАЦІЯХ ЧИСТОВОГО ШЛІФУВАННЯ В СУДНОБУДУВАННІ

В.Б. Богуцький, С.М. Братан, Л.Б. Шрон. Стабілізація параметрів якості на операціях чистового шліфування в суднобудуванні. Стаття присвячена розробці методології забезпечення якості та підвищенню стабільності обробки при чистовому шліфуванні деталей в суднобудуванні

V.B. Bogutsky, S.M. Bratan, L.B. Shron. Stabilization of quality parameters for fair grinding operations in shipbuilding. The article is devoted to the development of methodologies to ensure quality and sustainability of the process when finishing polishing of parts in the shipbuilding

Вступ. Сучасний рівень розвитку суднобудування характеризується підвищенням вимог до якості деталей судових механізмів і машин.

Широко поширеним методом обробки цих деталей, при якому відбувається остаточне формування параметрів точності, є кругле зовнішнє шліфування.

Питанням вивчення зв'язку таких експлуатаційних показників з точністю виготовлення деталей присвячені роботи Н.Б. Демкіна [4], И.В. Крагельського [5], Э.З. Рижова [6] та ряду інших дослідників. До деталей, довговічність яких багато в чому залежить від їх точності, відносяться колінчасті вали судових двигунів, вали брашпільей і шпилів, осі насосів і компресорів, грібні вали, кільця підшипників кочення, підшипники ковзання та інші.

Матеріал і результати дослідження. Відхилення форми, взаємного розташування і хвилястість поверхонь окремих деталей судових виконавчих механізмів багато в чому визначають їх найважливіші експлуатаційні властивості. Особливо значно вони впливають на втомну міцність, зносостійкість, контактну жорсткість, вібростійкість, точність рухомих з'єднань, точність центрування, міцність зчеплення, герметичність стиків, корозійну стійкість. Зниження, наприклад, висоти хвилястості на робочих поверхнях підшипників

кочення з 1,4 мкм до 0,3 мкм підвищує термін їх служби в 2,5 разу. Це обумовлено зменшенням негативного впливу динамічних навантажень і вібрації. Поліпшуються і умови експлуатації машин. При скороченні в підшипниках висоти хвилястості з 1,5...2,5 мкм до 0,1...0,5 мкм, шум стає менше на 25...35 %. Могутнім джерелом вібрації є відхилення форми посадочних місць під підшипники у грібних валів. Виникаючи при їх роботі коливання можуть складати 50...60 % у загальному балансі. На долю відносних коливань виконавчих елементів насосів, викликаних овальністю шийок ротора електродвигуна, доводиться 10,6...16,2 % від сумарних переміщень в пристрої. Відхилення форми і хвилястість скорочують фактичну площу контакту, а це у свою чергу обумовлює зниження жорсткості окремих з'єднань і машини в цілому. Наявність некруглості однієї з деталей підшипника ковзання приводить до збільшення переміщень в стику в 1,4...1,7 разу в порівнянні із з'єднаннями ідеальної форми, погіршується також і герметичність стиків, великими стають втрати теплової і електричної енергії.

Допустимі величини відхилень форми, взаємного розташування і хвилястість поверхонь деталей визначаються на стадії конструювання. У завдання ж технолога входить вибір методів і режимів обробки, які б забезпечували стабільність необхідних параметрів точності і інші показники якості, як на стадії розробки технологічних процесів, так і безпосередньо в процесі обробки. Для цього проектувальникові необхідні математичні моделі, що встановлюють зв'язок між технологічними чинниками і показниками точності деталей, а також інженерні методики, що дозволяють виконувати необхідні чисельні розрахунки, значення таких моделей і методик особливо зростає в умовах автоматизованого проектування.

Вивчення структури операції чистового й тонкого шліфування вимагає розбивки її на елементи — окремі підсистеми й блоки, опис зв'язків між ними [1]. Стосовно об'єкта (деталі й інструменту) технологічні процеси виступають як перетворюючі системи. Технологічні процеси можуть розглядатися як засіб забезпечення запланованих експлуатаційних властивостей деталей, складальних одиниць і виробів. Розбивка на підсистеми визначається як безпосередньо досліджуванним об'єктом — технологічною операцією, так і метою проведеного аналізу, формалізованим представленням якої є відповідні критерії.

При шліфуванні абразивними кругами критеріями ефективності звичайно вважають:

$t_{шт}$ — штучний час на операцію або C_j — приведені витрати на шліфування виробу [2]:

$$t_{ум} = \frac{П}{Q_{\Sigma}} \cdot K_{III} + T_{II} + \frac{T_{з.і} \cdot n_{з.і}}{n_{дет}}$$
$$C_j = R \cdot t_{ум} + q \cdot П \cdot В \cdot L \cdot C_i + n_{з.і} \cdot C_{прав.}$$

де: P - припуск на операцію; Q_{Σ} - сумарна швидкість знімання матеріалу; $K_{ш}$ - коефіцієнт, що враховує вплив шляху врізання й сходу інструмента на основний час; T_{II} - підготовчо-заклучний час на деталь; $T_{3,i}$ - час заміни інструмента у випадку його граничного зносу; $n_{3,i}$ - кількість змін інструмента при обробці партії деталей; $n_{оem}$ - кількість деталей у партії; R - вартість станкосекунди; q - питома витрата матеріалу зерен круга; C_i - вартість інструмента;

$C_{прав}$ - витрати на одне правлення шліфувального круга.

У якості параметрів, які використовуються при визначенні конкретних значень вищенаведених критеріїв, використовуються значення змін, що характеризують поведінку технологічного процесу і його результати. Для конкретизації цих значень ще до виконання відповідних технологічних операцій необхідний адекватний опис поведінки технологічної системи й необхідних за технічними вимогами параметрів якості. Розробка математичних залежностей, що адекватно моделюють поведінку технологічної системи, є підставою для рішення завдань забезпечення стабільності параметрів якості шліфованих поверхонь. Погрішності опису неминуче приводять до зниження продуктивності, нестабільності й втрати якості виробів. За функціональними ознаками операція шліфування може бути розбита на: підсистеми верстата, пристосування, інструменту, деталі, ЗОР, зони контакту, що править інструмент й зони виправлення. Початкові умови в істотній мірі визначаються технологічним спадкоємством в процесі виробництва деталі і всім технологічним комплексом виробництва. Останній є «довкіллям» для технологічного процесу чистового і тонкого шліфування і в істотній мірі визначає результуючі і експлуатаційні показники якості виробів.

Структура системи операції чистового і тонкого шліфування відображена на рисунок 1. Кожна з підсистем має свій набір властивостей, поточних параметрів стану, початкових умов, вектора вхідних і вихідних змінних. Послідовний аналіз властивостей, зв'язків, станів, законів функціонування підсистем забезпечує визначення їх просторово-часових характеристик.

На структурній схемі (рис. 1.) вхідні і вихідні змінні відмічені відповідними цифрами і знаками, що дозволяє дати наочний вигляд зв'язку між підсистемами. Наприклад, в підсистему інструменту поступають вхідні змінні з підсистеми верстата 8+, зони правки інструменту 1!,2!,6!,7!, зони контакту деталі з кругом 1,4,7,8,9,13,14,15. На входи підсистеми поступає також частина її вихідних змінних (див. рисунок 1).

Кожна з підсистем: ВП — верстат - пристосування, І — інструмент, Д — деталь; ЗК — зона контакту, ПІ — правлячий інструмент, ЗП — зона правки має свій набір властивостей, параметрів стану, передісторію, вектор вхідних і вихідних змінних. Математично вони виглядають наборами (векторами) параметрів станів.

Наприклад, для підсистеми «верстат — пристосування $Z_{ВП}$ »: вектор вхідних змінних, що поступають з середовища, - $X_{ВП}^C$; вектора вхідних змінних, що поступають з інших підсистем, — $Y_i^{ВП}, Y_{3OP}^{ВП}, Y_D^{ВП}, Y_{3K}^{ВП}$; вектор вихідних змінних - $Y_{ВП}$.

Поведінка підсистем, що беруть участь у технологічній операції, може бути представлена системою рівнянь, що характеризує стан технологічної системи:

$$\left. \begin{aligned} Z_{ВП} &= \Phi_{ВП}(X_{ВП}^C, Y_I^{ВП}, Y_{3OP}^{ВП}, Y_D^{ВП}, Y_{3K}^{ВП}, \tau); \\ Z_I &= \Phi_I(X_I^C, Y_{IP}^I, Y_{ВП}^I, Y_{3K}^I, Y_{3OP}^I, \tau); \\ Z_D &= \Phi_D(X_D^C, Y_{ВП}^D, Y_{3OP}^D, Y_{3K}^D, \tau); \\ Z_{3OP} &= \Phi_{3OP}(X_{3OP}^C, Y_{ВП}^{3OP}, Y_D^{3OP}, Y_I^{3OP}, Y_{3K}^{3OP}, \tau); \\ Z_{3K} &= \Phi_{3K}(Y_D^{3K}, Y_I^{3K}, Y_{3OP}^{3K}, \tau); \\ Z_{III} &= \Phi_{III}(X_I^C, Y_{IP}^{III}, Y_{3II}^{III}, Y_{3OP}^{III}, \tau); \\ Z_{3II} &= \Phi_{3II}(Y_I^{3II}, Y_{III}^{3II}, Y_{3OP}^{3II}, \tau); \end{aligned} \right\} \begin{aligned} Y_{ВП} &= F_{ВП}(Z_{ВП}, X_{ВП}^*, \tau) \\ Y_I &= F_I(Z_I, X_I^*, \tau) \\ Y_D &= F_D(Z_D, X_D^*, \tau) \\ Y_{3OP} &= F_{3OP}(Z_{3OP}, X_{3OP}^*, \tau) \\ Y_{3K} &= F_{3K}(Z_{3K}, X_{3K}^*, \tau) \\ Y_{III} &= F_{III}(Z_{III}, X_{III}^*, \tau) \\ Y_{3K} &= F_{3K}(Z_{3K}, X_{3K}^*, \tau) \end{aligned}$$

де $X_{ВП}^*$ - вектор вхідних змінних, що робить на вихідні параметри безпосередній вплив; $\Phi_{ВП}$ — оператор, що відображує безліч вхідних змінних і параметрів вихідного стану на безліч параметрів стану підсистем ВП у момент часу τ ; $F_{сп}$ - оператор, що відображує безліч значень вхідних змінних і параметрів стану на безліч вихідних змінних у момент часу τ .

У відповідність з рисунком 1, робоча інформація про хід технологічного процесу для відповідних схем шліфування, може бути представлена у вигляді перетворень:

$$Y(\tau) = \Phi[Z(\tau), X^n(\tau)] = \Phi[Z(\tau), x^n(\tau), w^n(\tau), u^n(\tau)] \quad (3)$$

$$Y_{i(j)} = \Phi[Z_{i(j)}, x^n_{i(j)}, w^n(\tau), u^n_{i(j)}] \quad (4)$$

де Y — вектор вихідних параметрів підсистеми; Φ — закон відображення.

Отримані вирази описують стан окремих підсистем з врахуванням вхідних і вихідних змінних і обурюючих дій.

Значення параметрів у рівняннях (1), (2), (3), (4) можуть мінятися з врахуванням накладених зв'язків (типу рівності) і в певних кордонах:

$$\left. \begin{aligned}
 h_{dj} &= \Phi^1(h_{dj-1}, u_j, w_j, x_j) \\
 R_{aj} &= \Phi^2(R_{aj-1}, u_j, w_j, x_j) \\
 R_{\max j} &= \Phi^3(R_{\max j-1}, u_j, w_j, x_j) \\
 D_{kpi} &= \Phi^3(D_{kpi-1}, u_j, w_j, x_j) \\
 H_{dj} &= \Phi^3(H_{dj-1}, u_j, w_j, x_j) \\
 \dots\dots\dots \\
 \delta_{cbj} &= \Phi^3(\delta_{cbj-1}, u_j, w_j, x_j) \\
 \Pi_j &= \Phi^3(\Pi_{j-1}, u_j, w_j, x_j)
 \end{aligned} \right\}$$

де h_{dj} — глибина дефектного шару на j -му оберті; R_{aj} - величина шорсткості Ra на j -му оберті;

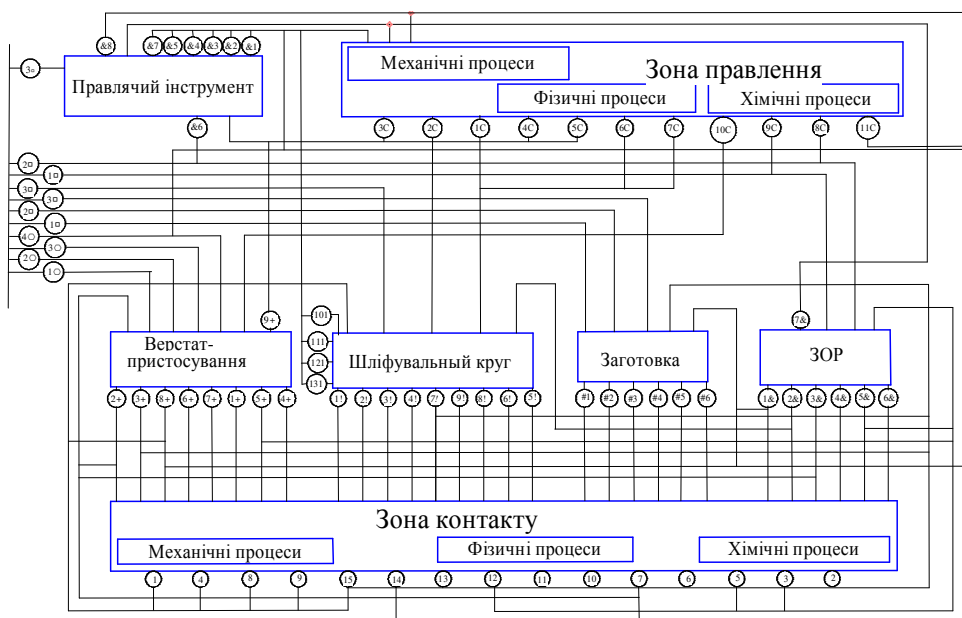


Рисунок 1 — Схема зв'язків між підсистемами операції шліфування.

$R_{\max j}$ — величина шорсткості R_{\max} , на j -му оберті; $D_{кр}$ — діаметр круга j -му оберті; H_{dj} — розмір деталі (наприклад, товщина); Π_j — припуск, що залишився до j -го оберта; δ_{cbj} — глибина профілю круга на j -му оберті.

Для забезпечення якості виробів вектор параметрів стану Z_{ij} повинен знаходитися в припустимій області $Z_{\min(j)} \leq Z_{i(j)} \leq Z_{kpi(j)}$ (зв'язки типу нерівностей).

Стабільність параметрів ТС також можна розглядати як один з показників її якості.

Критичне значення вектора $Z_{kpi(j)}$ на будь-якому оберті (проході) визначають обмеження, які складаються з технічних вимог до деталі і інструменту, умовами протікання обробки і припустимими режимами роботи устаткування.

$$Z_{kpi(j)} F[S_{i(j)}, Z_{np}, u_{np}^n]$$

Для характеристики критичного значення вектора при шліфуванні можуть бути використані наступні обмеження:

$$\begin{aligned} h_{dj} &\leq h_{dnp} + \Pi_j; \\ R_{aj} &\leq R_{anp} + \Pi_j; \\ R_{\max j} &\leq R_{\max np} + \Pi_j; \\ \delta_{cbj} &\geq \delta_{cbnp}; \\ &\dots\dots\dots \\ 0 &\leq u^n \leq u_{np}^n. \end{aligned}$$

де u_{np}^n - максимально припустимі значення керуючих дій, генерованих устаткуванням.

Технологічні процеси чистового і тонкого шліфування повинні забезпечувати високі якісні показники обробки, які залежать від умов шліфування. Ці умови конкретизуються конструктивними особливостями верстата, пристосування, способу базування; характеристик інструменту (режимів і засобів його правки); ЗОР, точністю поступаючої заготовки, що, призначених режимів, різання (параметрів робочого циклу), які є зв'язуючими ланками між умовами шліфування і результатами точності та якості обробки.

При системному аналізі операції шліфування особливе місце належить аналізу області взаємодії круга і деталі — зоні контакту. У цій зоні відбувається видалення матеріалу з поверхні заготовки, формування всіх її якісних характеристик, змінюються параметри інструменту, тощо.

Унаслідок того, що поточні параметри форми зерен та їх розташування, як і всього шліфувального круга, в цілому є випадковими, то і процеси, визначені взаємодією зерен з матеріалом заготовки, є стохастичними.

До параметрів стану зони контакту шліфувального круга і заготовки відносяться її розміри і форма, співвідношення видаленої і невидаленої частин металу в кожній області зони, фізичні процеси формоутворення, у тому числі: стружкоутворення, тепловиділення пластичних деформацій оброблю-

ваного матеріалу, зносу і руйнування інструментального матеріалу, фізичної і хімічної дії на матеріали ЗОР.

Стабільність параметрів якості поверхонь при чистовому і тонкому шліфуванні в істотній мірі залежить від зміни фактичної глибини мікро різання t_{fi} , яка з одного боку представляє сполучну ланку між вихідними параметрами процесу і управляючими діями, з іншого боку визначає найважливіші обмеження.

$$0 \leq t_{fi} \leq \delta_{cbj}$$

Коливання фактичної глибини різання приводять до розкиду показників якості виробів.

Висновки. Забезпечення якості й підвищення стабільності операцій чистового й тонкого шліфування можливо тільки на основі розробки комплексних динамічних моделей, шляхом вивчення поведінки технологічної операції, як системи, при впливі на немінливіх вхідних, керуючих, і обурюючих впливів, обліку й визначення параметрів протікаючих стохастичних процесів.

Необхідне комплексне вирішення цих завдань, сукупність яких є не вирішеною до теперішнього часу проблемою.

Література

1. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. – Севастополь: Из-во СевНТУ 2012. – 304 с.
2. Ларшин В.П. Статистический контроль работоспособности технологических систем по критерию стабильности./ В.П. Ларшин. //Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Труды 5-й международной научно-технической конференции ХНПК «ФЭД».-Харьков, 2002 – С.31-32
3. Братан С. М. Концепция решения задач управления оборудованием на операциях шлифования./ С.М. Братан //Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. тр. ; Севастоп. гос. техн. уи-т. — Севастополь, 1999.- Вып.2. – С.124-129
4. Демкин Н.Б. Контактное шероховатых поверхностей / Н.Б. Демкин. – М.: Наука. 1970. – 244с.
5. Крагельский И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480с.
6. Рыжов Э.З. Контактная жесткость деталей машин / Э.З. Рыжов – М.: Машиностроение, 1966. – 194с.