

Є.В. Салогуб, асист.
А.М. Снитко, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

ПРОБЛЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ ЩОДО ДОСЯГНЕННЯ НЕОБХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ

(Представлено д.т.н., проф. Мельничуком П.П.)

У статті представлено структурну модель керування процесом торцевого фрезерування для досягнення необхідних параметрів стану поверхневого шару при обробці загартованих сталей.

Вступ. Сучасне машинобудування постійно зіштовхується з питаннями підвищення якості, надійності, довговічності та економічної ефективності як під час виготовлення, так і при майбутній експлуатації продукції. Вирішення даних питань можливе ще на етапі виробництва за рахунок керування технологічним процесом та оцінки випадкових і систематичних факторів, які безпосередньо впливають на основні показники якості й конкурентоспроможності продукції.

Параметри стану поверхневого шару – це комплекс показників, що формують необхідну якість поверхонь деталей машин і в подальшому визначають їхні основні параметри працездатності. На даний час спостерігається постійне підвищення вимог до якості та економічної ефективності продукції машинобудівних підприємств. Відповідно підвищуються і вимоги до параметрів стану поверхневого шару, що в подальшому безпосередньо впливають на надійність та довговічність продукції машинобудування. Разом з тим з'являється необхідність проведення більш точних досліджень щодо впливу технологічних факторів на формування параметрів стану поверхневого шару. Більшість раціональних рішень знайдено. Але разом з тим для отримання стабільних показників якості обробки не повністю вивчений або неоднозначно трактується вплив ряду факторів та явищ, що супроводять, зокрема, процес чистового торцевого фрезерування, при одночасній їх дії, цей вплив потребує додаткових досліджень.

Розвиток сучасного машинобудування обумовлює використання більш новітніх продуктивного обладнання, методів обробки, різального інструменту (PI) і, зокрема, матеріалу різальної частини. Для механічної чистової обробки плоских поверхонь чавунних, сталевих загартованих, різноманітних наплавлених і напиленних покриттів тощо ефективним є використання торцевих фрез, оснащених полікристалічними надтвердими матеріалами (ПНТМ) – композитами на основі алмазу й кубічного нітриду бору (КНБ). Основною перевагою таких фрез є можливість роботи при високих швидкостях різання, а також в умовах складного навантаження, тертя, високих температур. Шорсткість оброблених поверхонь при чистовому торцевому фрезеруванні інструментом, оснащеним ПНТМ, може знаходитися в межах $R_a = 0,32\text{--}2,5$ мкм. Це дозволяє в ряді випадків навіть відмовитися від операції плоского шліфування. Також, не дивлячись на високу вартість різальних пластин з ПНТМ, можливе зниження собівартості обробки за рахунок підвищення продуктивності процесу різання, що досягається високими зносостійкістю та теплостійкістю інструментального матеріалу, які дозволяють працювати при великих швидкостях різання.

Мета роботи. Розробити структурну модель, що забезпечує можливість керування параметрами стану поверхневого шару деталей із загартованих сталей на операціях торцевого фрезерування плоских поверхонь.

Викладення основного матеріалу. Поверхні, що підлягають механічній обробці в машинобудуванні, повинні відповідати певним вимогам [4, 7]. До таких вимог в основному відносять експлуатаційні показники: зносостійкість (при сухому, граничному та рідинному терті), втомлювальну міцність, контактну витривалість, жаростійкість, контактну жорсткість, вібростійкість, корозійну стійкість, міцність з'єднань, щільність з'єднань (герметичність), термовідбиття, обтікання газами та рідинами, міцність зчеплення покриття, якість посадок та ін.

Експлуатаційні показники, згідно з джерелом [7, с. 230], пов'язані з параметрами поверхонь, що контактують, – $h_1^i, h_2^i \dots$ ($i = 1, 2$), та параметрами стану поверхневого шару з'єднувальних деталей p_1, p_2, \dots

$$C = (h_1^1, h_2^1 \dots h_1^2, h_2^2, \dots, p_1, p_2 \dots). \quad (1)$$

Параметри стану поверхневого шару містять: точність, геометричні, фізико-хімічні та інші характеристики, що безпосередньо впливають на експлуатаційні властивості деталей машин. На рисунку

1 зображена схема умовного поділу параметрів стану поверхневого шару, що розроблена за вказівкою джерела [7, с. 7, 17].

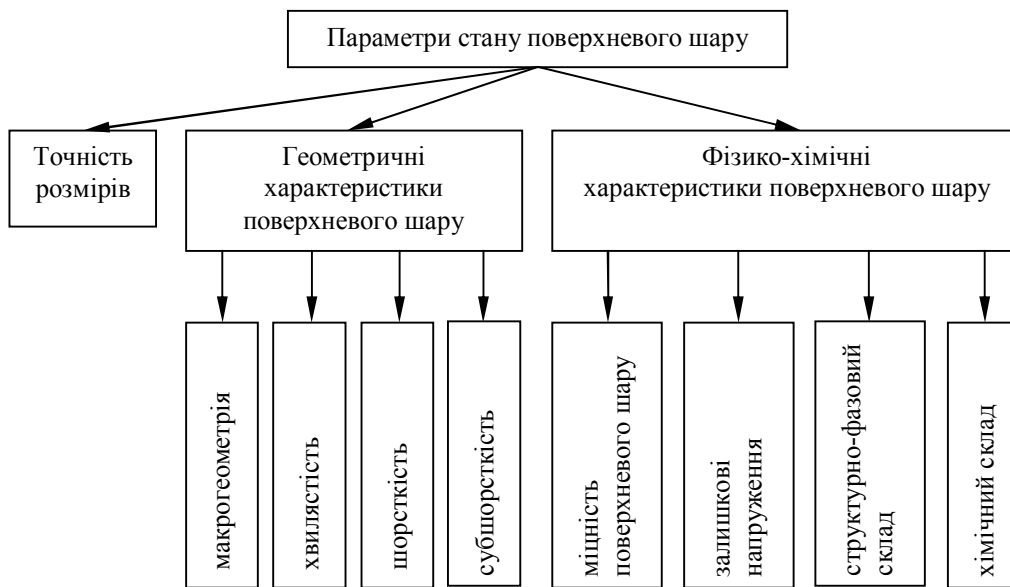


Рис. 1. Параметри стану поверхневого шару

На рисунку 2 зображена схема керування процесом фрезерування.

До параметрів, які характеризують процес фрезерування, можна віднести вхідні, функціональні та вихідні параметри. В свою чергу, вхідні параметри поділяються на визначальні, керовані та випадкові.

До визначальних параметрів належать: стан оброблюваної деталі, метод і схема механічної обробки, вимоги до точності та якості поверхневого шару. Керовані параметри можуть попередньо задаватися, а в окремих випадках змінюватися в процесі обробки. До них належать: можливості верстата, режими різання, інструмент, інструментальний матеріал, геометрія різальної частини та ін. До випадкових параметрів можна віднести нерівномірність геометричних та фізико-механічних властивостей, динамічну нестабільність процесу обробки та ін.

Визначальні, керовані та випадкові параметри оптимізуються певним чином та формують вхідні параметри, що задаються для процесу обробки.

У процесі обробки на деталь безпосередньо діють такі функціональні параметри, як сила різання, вимушені коливання системи, температура та стійкість інструментального матеріалу. В результаті обробки формуються вихідні показники: економічна ефективність, точність та якість поверхневого шару деталі. Якщо вихідні параметри не задовольняють необхідні вимоги, потрібно змінювати початкові параметри.

Для отримання оптимальних умов фрезерування потрібно задати такі вхідні умови, за яких би досягалися необхідні параметри стану поверхневого шару, стійкість різального інструменту та економічна ефективність процесу обробки. Для цього необхідно для даного процесу накласти технологічні обмеження у вигляді лінійних функцій:

$$a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n + b = 0 \quad (2)$$

В роботі [9] автор пропонує певні технологічні обмеження при високошвидкісному фрезеруванні (ВШФ) тврдими сплавами сталі 9ХС (55 HRC), що стосуються режимів різання, якості поверхневого шару, точності оброблюваної поверхні та стійкості інструменту.

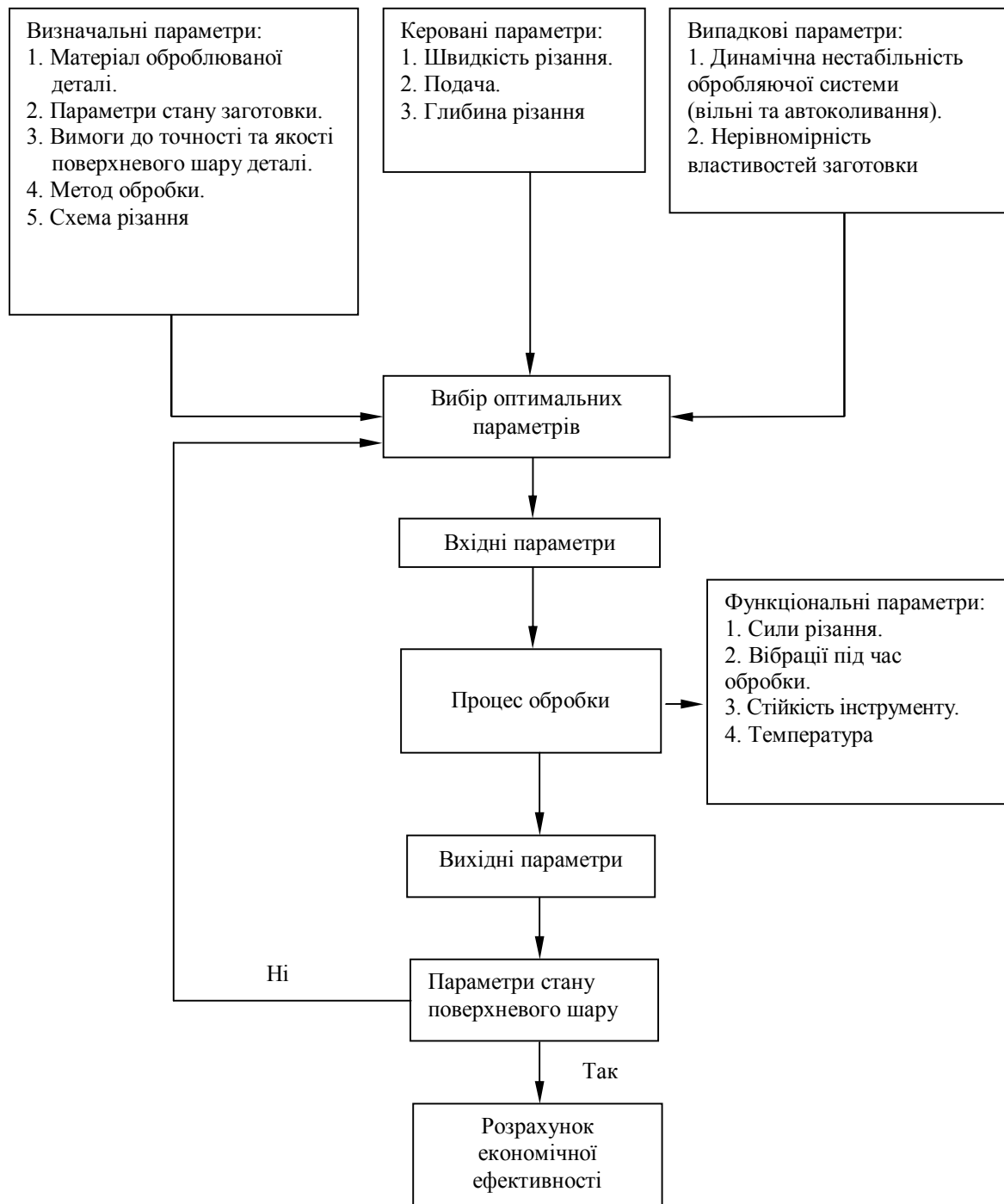


Рис. 2. Структурна модель керування процесом фрезерування

Питаннями, що пов'язані з фрезеруванням загартованих сталей інструментом з ПНТМ, займалися автори в роботах [1–4, 8]. Далі запропоновані обмеження, що стосуються процесу чистового фрезерування загартованих сталей інструментом з ПНТМ:

1. Обмеження за залишковими напруженнями у поверхневому шарі оброблюваної деталі, згідно з вказівкою в джерелі [9], не повинні перевищувати значення:

$$-200 \leq \sigma \leq -100 \text{ МПа.} \quad (3)$$

2. Обмеження за величиною шорсткості обробленої поверхні залежать від призначення деталі та технологічного процесу. Взагалі при косокутному фрезеруванні можливе досягнення шорсткості [1, с. 29] $R_a = 0,38$ для фрез косокутного різання. Відповідно шорсткість буде обмежуватися:

$$R_a(V, s, t, \varphi, R, r, \gamma) \geq [R_a], \quad (4)$$

де φ – головний кут у плані; R – радіус заокруглення різальної кромки; r – радіус при вершині; γ – передній кут.

3. Обмеження за ступенем зміцнення поверхневого шару (наклепу) та глибиною його залягання. Значення величини наклепу оброблюваного матеріалу, за вказівкою джерела [9], повинно знаходитися в межах від 35 до 60 МПа:

$$35 \leq H(V, s, t, \varphi, R, r, \gamma) \leq 60 \text{ МПа.} \quad (5)$$

Між ступенем зміцнення та глибиною його залягання існує залежність:

$$h \approx K \frac{H_{Do}}{H_{D\ddot{a}\ddot{e}\ddot{o}}}, \quad (6)$$

де H_{Do} – мікротвердість обробленої поверхні; $H_{D\ddot{a}\ddot{e}\ddot{o}}$ – мікротвердість вихідного матеріалу деталі; K – коефіцієнт пропорційності, що залежить від властивостей оброблюваного матеріалу та умов перебігу пластичної деформації.

4. Обмеження за структурно-фазовим складом поверхневого шару. Структурні зміни виникають у поверхневому шарі під дією високих температур. За вказівкою в джерелі [9], температура в зоні різання не повинна перевищувати 230 °С. Отже, обмеження буде мати вигляд:

$$\Theta(V, s, t, \varphi, R, r, \gamma) \leq 230 \text{ °С.} \quad (7)$$

5. Обмеження за швидкістю різання. Швидкість різання не повинна перевищувати допустимих значень, встановлених для різального інструменту та можливостей обладнання, але вона має забезпечувати необхідну продуктивність та якість обробки:

$$\left. \begin{array}{l} V \leq V_{\max} \\ V \geq V_{\min} \end{array} \right\}. \quad (8)$$

6. Обмеження за подачею. При торцевому фрезеруванні значення подач не повинно перевищувати допустимих значень, що встановлені для верстата, забезпечуючи при цьому необхідну продуктивність процесу обробки та якість поверхневого шару:

$$\left. \begin{array}{l} S \leq S_{\max} \\ S \geq S_{\min} \end{array} \right\}. \quad (9)$$

7. Обмеження за потужністю. Потужність різання не повинна перевищувати потужність верстата:

$$P_{\partial\ddot{z}}(V, s, t, \varphi, R, r, \gamma) \leq P_{\ddot{a}\ddot{a}} \cdot \eta. \quad (10)$$

8. Обмеження за точністю обробки. Відхилення від точнісних показників, що виникають у процесі торцевого фрезерування, не повинні перевищувати значень, заданих конструктором.

Згідно з даними в джерелі [7, с. 183], лезова обробка найкраще дозволяє керувати точністю, порівняно з іншими методами механічної обробки. Взагалі при тонкому торцевому фрезеруванні можливо отримати 6–8 квалітет точності [7, табл. 6.1].

9. Обмеження за стійкістю інструменту. Для інструментів з ПНТМ при чистовому фрезеруванні критерієм зношування є величина фаски зношування, яка, за вказівкою в роботах [1, 2], не повинна перевищувати 0,4–0,5 мм. З її збільшенням від 0 до 0,4 мм шорсткість обробленої поверхні збільшується від 0,8 до 1,4 мкм.

Також як варіант можна запропонувати обмеження за рівнем питомої енергії поверхневих дислокацій.

При механічній обробці відбувається поглинання поверхневим шаром деталі значної кількості енергії за короткий час. Це призводить до акумулювання надлишку енергії та нерівноважної структури. Нестійкі структури з високою енергією прагнуть досягти стану з меншою вільною енергією, яка забезпечує підвищення експлуатаційних характеристик поверхневого шару.

Приріст поверхневої енергії пов'язаний з надлишком дислокацій, що утворюються в поверхневому шарі деталі після лезової обробки [8]:

$$\Delta E_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{e}} = \frac{Gb^2(N_1^{2/3} - N_2^{2/3})}{16\pi} \left(\frac{2 - \mu}{1 - \mu} \right) \cdot \left(1,1 \cdot \ln \frac{R_{\max}}{r_o} + 1,05 \cdot \ln \frac{R_{\min}}{r_o} \right), \quad (11)$$

де N_1 – густина дислокацій на поверхні металу відразу після різання ($N_1 = 5 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-2}$); N_2 – густина дислокацій на поверхні металу до лезової обробки загартованих сталей ($N_2 = 10^{12} \text{ м}^{-2}$); μ – коефіцієнт Пуассона; G – модуль зсуву; r_o – радіус ядра дислокації; R_{\max} і R_{\min} – відповідно максимальна та мінімальна відстань від осі дислокації, на яку розповсюджується поле напружень дислокації; b – вектор Бюргерса, $b = 3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ (сталь); $R_{\max} = 10^{-2} \text{ м}$; $R_{\min} = 10^{-7} \text{ м}$.

В результаті розрахунків приріст поверхневої енергії складає для сталі 180–185 Дж/м².

Актуальність знаходження приросту поверхневої енергії, пов'язаного з надлишком дислокацій, що утворюється в процесі лезової обробки, обумовлена підвищеною активністю новоутвореної поверхні. Таку активність можна використовувати з метою модифікації поверхневого шару деталей. Направлена модифікація поверхневого шару, в свою чергу, дозволить отримати потрібні експлуатаційні характеристики.

За інформацією джерела [10, с. 30], підвищення щільності дислокацій різко зменшує міцність металу. Гранична щільність дислокацій, що може бути досягнута в кристалі, складає приблизно 10^{16} м^{-2} . Питома енергія питомих дислокацій для сталі 40Х, за вказівкою джерела [8, табл. 1], повинна знаходитися в межах:

$$0,62 \leq E_{\text{дислокацій}}(V, s, t, \varphi, R, r, \gamma) \leq 187,3 \text{ Дж/м}^2. \quad (12)$$

Залежно від необхідних експлуатаційних показників оброблюваних поверхонь до обмежень можна також віднести: макрогеометрію, хвилястість, хімічні властивості поверхневого шару та ін.

Висновки. В роботі представлена структурна модель керування процесом торцевого фрезерування, що дає можливість отримати необхідні зв'язки між параметрами стану поверхневого шару та вхідними й функціональними параметрами процесу обробки. Описані технологічні обмеження дозволять спростити вибір оптимальних умов для процесу фрезерування, за яких досягаються необхідні показники якості поверхневого шару.

Запропонована структурна модель і технологічні обмеження дадуть можливість створити математичну модель процесу обробки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Мельничук П.П. Наукові основи чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.01 / П.П. Мельничук. – К., 2002. – 36 с.
2. Вигovskyй Г.М. Підвищення працездатності торцевих фрез для чистової обробки плоских поверхонь : дис. ... канд. техн. наук / Г.М. Вигovskyй. – К. : НТУУ «КПІ», 2000. – 178 с.
3. Кушніров І.В. Повышение эффективности торцевого фрезерования широких плоских поверхностей путем увеличения жесткости элементов технологической системы : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / И.В. Кушніров; [Сумский гос. ун-т]. – Сумы, 1996. – 208 с.
4. Лоев В.Ю. Удосконалення фінішної обробки плоских поверхонь деталей комбінуванням різання з поверхневим пластичним деформуванням : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / В.Ю. Лоев; [ЖДТУ]. – К., 2005. – 250 с.
5. Яцерицын П.И. Технологическое наследование эксплуатационных параметров деталей машин / П.И. Яцерицын // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. пр. – 2005. – № 1. – С. 260–267.
6. Клименко С.А. Обработка материалов лезвийным инструментом / С.А. Клименко. – Т. 5. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «Алкон» НАНУ, 2006. – 316 с.
7. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А.Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 2000. – 320 с.
8. Мельничук П.П. Особливості технології фінішної обробки плоских поверхонь деталей комбінуванням різання, легування та поверхневого пластичного деформування / П.П. Мельничук, В.Ю. Лоев, Є.В. Салогуб // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2008. – 2(45). – С. 12–19.
9. Кирюшин И.Е. Оптимизация процесса высокоскоростной обработки закаленных сталей с учетом особенностей формообразования в условиях локального термопластического сдвига / И.Е. Кирюшин, Д.Е. Кирюшин, Т.Г. Насад // Известия Челябинского научного центра / Проблемы машиностроения. – 2008. – 2(40). – С. 1–4.
10. Дьяченко С.С. Физические основы прочности металлов / С.С. Дьяченко, В.Б. Рабухин. – Харьков : Вища школа, изд-во при Харьк. ун-те, 1982. – 200 с.

САЛОГУБ Євген Вікторович – асистент кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- властивості поверхневого шару металевих конструкційних матеріалів.

СНИТКО Андрій Миколайович – аспірант кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- властивості поверхневого шару металевих конструкційних матеріалів.

Подано 17.08.2010

Салогуб В.Є., Снитко А.М. проблеми керування процесом торцевого фрезерування загартованих сталей щодо досягнення необхідних параметрів стану поверхневого шару

Салогуб Е.В., Снитко А.Н. Проблемы управления процессом торцевого фрезерования закаленных сталей, для достижения необходимых параметров состояния поверхностного слоя.

Salogub E.V., Snitko A.M. Problems of process control for flat milling of hardened steel in order to achieve required parameters of surface layer state.

УДК 621.914: 621.9.015

Проблемы управления процессом торцевого фрезерования закаленных сталей, для достижения необходимых параметров состояния поверхностного слоя / Е.В. Салогуб, А.Н. Снитко

В статье рассмотрена структурная модель управления процессом торцевого фрезерования для достижения необходимых параметров состояния поверхностного слоя при обработке закаленных сталей.

УДК 621.914: 621.9.015

Problems of process control for flat milling of hardened steel in order to achieve required parameters of surface layer state / E.V. Salogub, A.M. Snitko

The article considers a structural model of process control for flat milling to achieve necessary parameters of surface layer while processing of hardened steel.