

УДК 621.9.203

МОДЕЛЮВАННЯ КЕРОВАНОГО ПРОЦЕСУ РОТАЦІЙНОГО РІЗАННЯ

*Федотьева Л.П., асист.**Кременчуцький державний політехнічний університет**імені Михайла Остроградського**39600, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20.**E-mail: instrumentsv@yandex.ru*

Приведены материалы по установлению возможности создания условий для использования эффекта Баушингера в процессе ротационного резания высокомарганцевых сталей; получены зависимости угла наклона текстуры поверхностного слоя поверхности резания при прямом и обратном принудительном вращении режущей пластины и зависимости действительной скорости резания при прямом и обратном принудительном вращении режущей пластины; выявлена неоднозначность влияния отклонения направления вектора действительной скорости резания от направления вектора скорости детали (кинематического коэффициента К) на степень разупрочнения и наклепа поверхностного слоя обрабатываемой детали.

Ключевые слова: ротационное резание, высокомарганцевые стали, разупрочнение.

In article lead materials on establishment of possibility of creation of conditions for the use of Bauschinger effect in the process of the rotary cutting highmanganese steels; dependences of angle of slope of texture of superficial layer of surface of cutting in case of direct and reverse forced rotation of cutting plate and dependence of actual speed of cutting in case of direct and reverse forced rotation of cutting plate are got; ambiguity of influencing a rejection of direction of vector of actual speed of cutting from direction of vector of speed of detail (kinematics coefficient K) on degree of atimehardening and reasoned is exposed superficial to the layer of processed detail.

Key words: rotary cutting, highmanganese to steel, atimehardening.

Вступ. Незважаючи на те, що в останні роки досягнуті істотні успіхи в напрямку створення принципово нових матеріалів, особливо при використанні методів порошкової металургії, а також шаруватих і волокнистих композитів, питомих споживання в машинобудуванні литих сталей і чавунів залишається переважним. Сталь і чавун, як і раніше, є основними конструкційними матеріалами у виробництві великих корпусних виробів, виготовлення яких із цих матеріалів економічно доцільне, а, найчастіше, є єдино можливим.

Зі сталей, що мають специфічні властивості, на особливу увагу заслуговують сталі аустенітного класу, типовим представником яких є сталь 110Г13Л (сталь Гадфільда). Широке використання матеріалів такого типу обмежене, у тому числі через складності, пов'язані з їхньою механічною обробкою.

Мета роботи. Створення теоретичних передумов для високоефективного керованого процесу ротацийного різання високомарганцевих сталей.

Матеріал і результати дослідження. У процесі різання сталі Гадфільда шар, що зрізається, одержує велике зміцнення й здобуває властивості клепаного металу. Запас пластичності при цьому, значною мірою, вичерпується й відбувається зсув - руйнування, утворення елемента стружки. При наступному оберті деталі різець стикається зі вже зміцненим у певному ступені і на певну глибину шаром матеріалу [1], тому напевно зросте робота різання і, як наслідок, зусилля різання.

Відомо [2], що ефект Баушингера є одним із

виявів деформаційної анізотропії, яка виникає в процесі пластичного деформування анізотропного матеріалу. Анізотропія механічних властивостей виникає також у первісно ізотропних матеріалів, якщо вони витримали пластичну деформацію.

У загальному плані розвантаження матеріалу нелінійне. Нелінійним є й повторне навантаження. У роботі [2] наведений графік розтягування зразка з розвантаженням і повторним навантаженням (рис. 1).

Точка D на діаграмі має залишкову деформацію e_p . У розрахунках, зазвичай, використовують лінійний закон розвантаження, і за e_p приймають відрізок $OD' > OD$, що вносить у розрахунки певну похибку. На ділянці OA різниця може досягати 20...25 %.

При повторному навантаженні точка C' характеризує перехід від пружного до пластичного стану $S_{e'} = S'_T$ - називається місцевою межею плинності, а процес збільшення місцевої межі плинності - зміцненням або наклепом.

Якщо після розвантаження зразків прикласти до них напруження протилежного знаку, то крива деформування у пластичній області буде мати нахил дотичної більш високий, ніж при прямому навантаженні.

Пластичні деформації з'являються при напруженні $|S_{e'}|$, меншим не тільки місцевої межі плинності S_e , але й початкової межі плинності S_T . Це положення межі плинності відносно напруження

протилежного знаку називається ефектом Баушингера.

Процес різання призводить до деформації простого зсуву певного шару матеріалу деталі (рис. 2), кількісну характеристику (відносний зсув e) якого можна визначити за залежністю [3]:

$$e = \frac{v}{a} = ctg\psi \quad (1)$$

де ψ – характеристика текстури, яка визначає середню величину кута нахилу деформованих зерен мікроструктури в текстурованому шарі товщиною a .

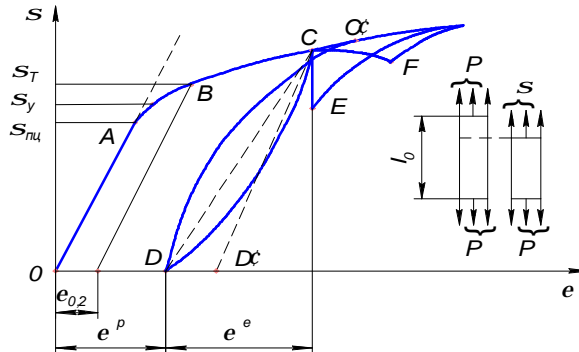


Рисунок 1 – Графічне зображення процесу навантаження і розвантаження зразка (розтягування)

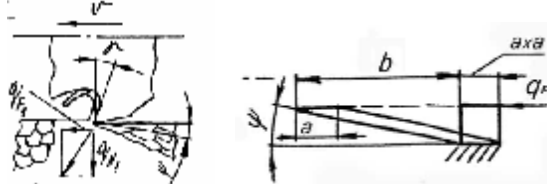


Рисунок 2 – Ілюстрація виникнення деформації простого зсуву при різанні

Якщо наступний акт зрізання попередньо деформованої поверхні буде відбуватись у протилежному напрямку, можна встановити прояви ефекту Баушингера і таким чином добитися зниження роботи різання. Але забезпечити такі умови при звичайному різанні можливо тільки при

реверсуванні обертання заготовки і перестановці різця, що призведе до значного зниження продуктивності. Виконання умов, наближених до вищезгаданих, можливе при проведенні ротаційного різання (рис.3).

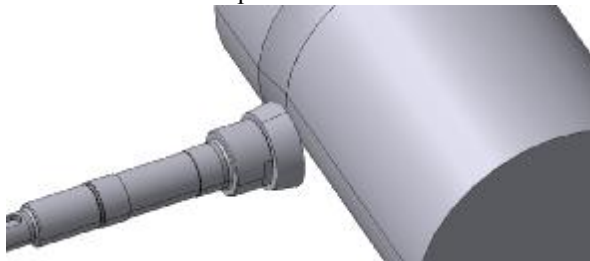


Рисунок 3 – Твердотільні моделі деталі та ротаційного різця в процесі обробки

Відомо, що оброблена при ротаційному різанні поверхня має чітко виражену витягнуту структуру, яка утворюється в результаті впливу нормальній сили і сили тертя між задньою поверхнею різальної чашки ротаційного різця і обробленою поверхнею виробу (рис. 4) [1]. Під впливом указаних сил відбувається пластичне деформування металу поверхневого шару в напрямку переміщення різального леза по обробленій поверхні. Вочевидь аналогічні процеси відбуваються і на поверхні різання. Напрямок текстури напевно співпадає з вектором дійсної швидкості різання [1]. Визначити напрямок і ступінь деформування поверхневого шару поверхні різання можна при проведенні моделювання процесу ротаційного різання. Необхідно знайти положення вектору дійсної швидкості різання при виконанні ротаційного різання за умови примусового обертання різальної

чашки ротаційного різця.

Для спрощення шуканих залежностей спочатку доцільно знехтувати кривизною леза і вивчати процес вільного різання інструментом з прямолінійною ріжучою кромкою (оскільки довжина контакту невелика), при якому в усіх її точках забезпечується постійність швидкісних і геометричних параметрів, а також однакова товщина шару, що зрізається. Тоді деталь у процесі обробки представляється нерухомою, а інструмент здійснює головний рух різання зі швидкістю $V_{інстр.}$ і дотичне переміщення зі швидкістю V_k уздовж власної різальної кромки. Вектор швидкості $V_{інстр.}$ розташований під кутом μ до вертикальної площини, обумовлений рухом подачі, що визначається за залежністю:

$$\mu = arctg s/D, \quad (2)$$

де s - подача; D -діаметр заготовки.

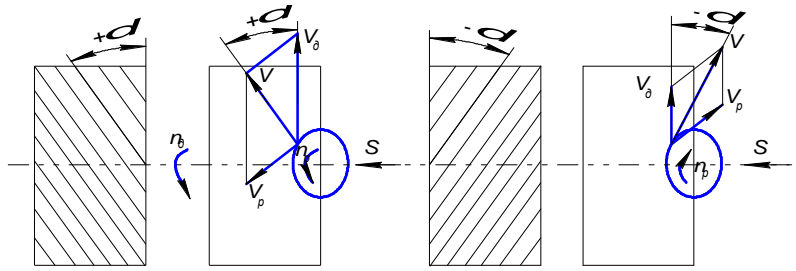


Рисунок 4 – Залежність куту нахилу текстури поверхневого шару поверхні різання від кінематичних параметрів ротаційного різання

Для подальшого визначення куту нахилу текстури на поверхні різання доцільно замінити криволінійну різальну крайку на прямолінійну (рис. 5). Унаслідок цього різальна крайка і вектор V_k

будуть розташовані під кутом β до горизонтальної площини, де кут β визначає положення умовної прямолінійної різучої кромки щодо вісі деталі.

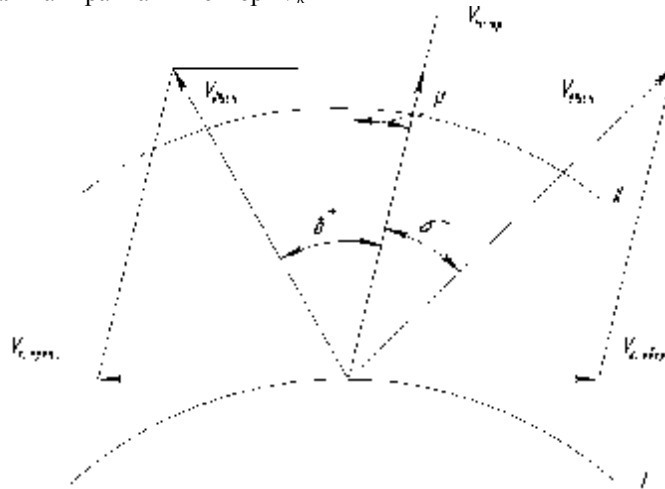


Рисунок 5 – Напрямок швидкостей різання в процесі обробки

Щоби визначити кут β , необхідно розв'язати трикутники, що складаються з відомих сторін і кутів (рис. 6). Отже відомі наступні величини:

$$AO = \frac{D}{2} - \text{радіус заготовки};$$

$$BO = \frac{D - 2t}{2} - \text{радіус деталі після проходу};$$

α – задній кут різальної чашки;

$$A'D = B'D = \frac{d_{p.n.}}{2} - \text{радіус різальної пластини};$$

μ – кут підймання гвинтової лінії;

V_k – окружна швидкість різальної пластини;

$V_{instp.}$ – окружна швидкість інструменту (деталі).

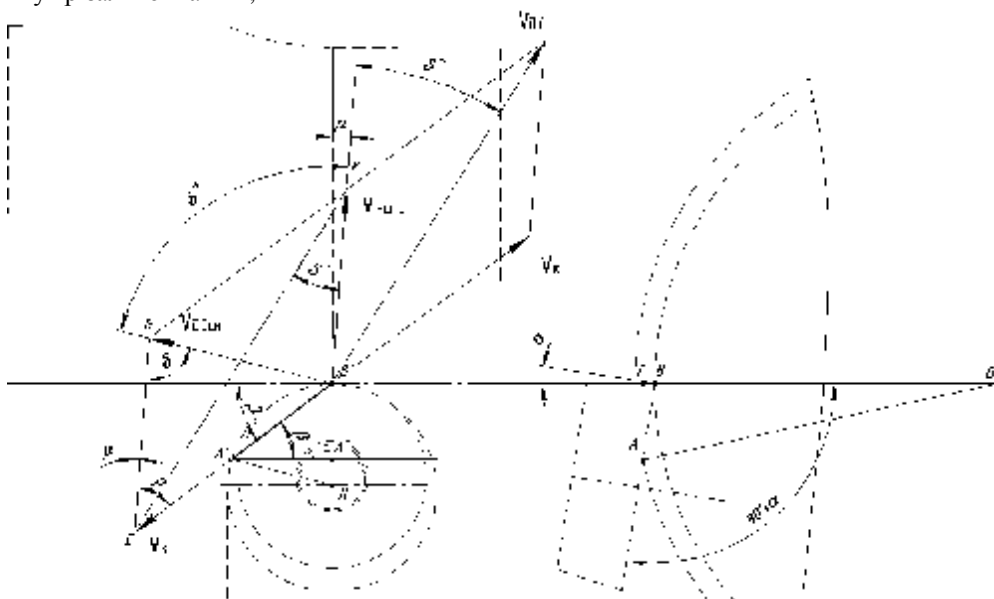


Рисунок 6 – Схема ротаційного різання для визначення куту нахилу текстури поверхневого шару поверхні різання

Із ΔOAB за теоремою косинусів, шляхом розв'язання квадратного рівняння отримаємо:

$$AB = \sqrt{OB^2 \cdot \cos^2(90+a) + AO^2 - OB^2} - OB \cdot \cos(90+a).$$

Далі з прямокутного ΔABC отримаємо:

$$AC = AB \cdot \cos a.$$

Із рис. 6 видно, що

$$A''B' = AC = AB \cdot \cos a,$$

і

$$A''D = B'D - A''B' = \frac{d_{p.n.}}{2} - AB \cdot \cos a.$$

Отже, з прямокутного $\Delta A'DA''$ знаходимо $A'A''$, а з $\Delta A'A''B'$ - кут β :

$$b = \arctg \frac{AB \cdot \cos a}{\sqrt{d_{p.n.} \cdot AB \cdot \cos a - AB^2 \cdot \cos^2 a}}.$$

Розглянемо тепер $\Delta GEB'$. Визначимо з цього трикутника кут ρ , за теоремою косинусів – дійсну швидкість різання $V_{\text{дійсн.}}$ і за теоремою синусів – кут нахилу текстури поверхневого шару поверхні різання при прямому примусовому обертанні різальної пластини d^+ :

$$r = 90 - b - m;$$

$$V_{\text{дійсн.}}^+ = \sqrt{V_{\kappa}^2 + V_{\text{інстр.}}^2 - 2 \cdot V_{\kappa} \cdot V_{\text{інстр.}} \cdot \cos r}; \quad (3)$$

$$d^+ = \arcsin \frac{V_{\kappa} \cdot \sin(90 - b - m)}{\sqrt{V_{\kappa}^2 + V_{\text{інстр.}}^2 - 2 \cdot V_{\kappa} \cdot V_{\text{інстр.}} \cdot \cos r}}. \quad (4)$$

Визначимо тепер дійсну швидкість різання $V_{\text{дійсн.}}$ за теоремою косинусів із $\Delta KEB'$ і за теоремою синусів – кут нахилу текстури поверхневого шару поверхні різання при оберненому примусовому обертанні різальної пластини d^- :

$$V_{\text{дійсн.}}^- = \sqrt{V_{\kappa}^2 + V_{\text{інстр.}}^2 - 2 \cdot V_{\kappa} \cdot V_{\text{інстр.}} \cdot \cos(90 + b + m)}; \quad (5)$$

$$d^- = \arcsin \frac{V_{\kappa} \cdot \sin(90 + b + m)}{\sqrt{V_{\kappa}^2 + V_{\text{інстр.}}^2 - 2 \cdot V_{\kappa} \cdot V_{\text{інстр.}} \cdot \cos(90 + b + m)}}. \quad (6)$$

Отже за отриманими залежностями можливо визначати кут між напрямком текстури при прямому і оберненому ротаційному різанні, що складає

$$c = d^+ + d^-. \quad (7)$$

Очевидно, що для максимального прояву розміщення поверхневого шару на поверхні різання за рахунок деформаційної анізотропії (ефекту Баушингера) необхідно досягти значень кута $c = 90^\circ$ [4]. Але внаслідок зростання відхилення напрямку дійсної швидкості різання від напрямку швидкості деталі (збільшення кінематичного коефіцієнту $K = V_{\kappa}/V_{\text{інстр.}}$ [1]) буде зростати ступінь та глибина наклепаного шару [1], що визначається за відомими емпіричними залежностями [1]:

$$\Delta H = 16,2 + 13,8(K + 0,2)^2; \quad (8)$$

$$h = 24,3 + 25,5(K + 0,2)^2. \quad (9)$$

Коефіцієнт K для ротаційного різання приймається в діапазоні від +1 до -1,4 [1]. Шляхом нескладних розрахунків отримаємо графічні залежності ступеня та глибини наклепаного шару від кінематичного коефіцієнту (рис. 7).

Для якісної оцінки явища деформаційної анізотропії можливо використовувати теорію

пластичності Прагера [5], згідно з якою межа плинності при розтягуванні і при стисканні в напрямку, перпендикулярному до первісного розтягування, визначається за залежністю:

$$\frac{s}{s_T} = -\frac{a-1}{2} \pm \sqrt{1 - \frac{3}{4}(a-1)^2}, \quad (10)$$

де $a = \frac{s_T + \frac{3}{2}ce^p}{s_T}$ - перевищення межі плинності в

напрямку розтягування над первинною;

$$c = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_T}{1 - \frac{E_T}{E}};$$

$e^p = e - \frac{s}{E}$ - величина пластичної деформації;

E_T - модуль зміцнення.

При цьому знак «+» у рівнянні (10) приймається для розтягування, а «-» - для стискання.

Отже, наприклад, при $a = 1,20$, отримуємо

$\frac{s}{s_T} = 0,885$ - при розтягуванні і $\frac{s}{s_T} = -1,085$ - при

стисканні. Отже, в результаті розтягування матеріалу до величини напружень, на 20% більших межі плинності, межа його текучості при розтягуванні в напрямку, перпендикулярному первинному розтягуванню, зменшується на 11,5%, а при стисненні в тому ж напрямку - збільшується на 8,5%.

Щоби перейти до межі плинності при зсуві, можна використати умову Губера-Мізеса [4]:

$$t_T = \frac{s_T}{\sqrt{3}}, \quad (11)$$

і таким чином якісно оцінити явища деформаційної анізотропії при зсуві.

Відомо, що визначити силу тертя F_n та нормальну силу N (рис. 8) на передній поверхні різального інструменту при звичайному різанні можливо за формулами [6]:

$$F_n = t_p a_1 b_1 \left\{ \frac{\cos g + \sin g}{B} - \cos g + \sin g \right\}; \quad (12)$$

$$N = t_p a_1 b_1 \left\{ \frac{\cos g - \sin g}{B} + \cos g + \sin g \right\}, \quad (13)$$

де $B = tg b_1$ - величина, що характеризує ступінь пластичних деформацій металу припуску, що знімається, і поверхневого шару оброблюваної деталі;

b_1 - кут нахилу умовної площини зсуву;

g - передній кут різця;

a_1 - товщина зрізу;

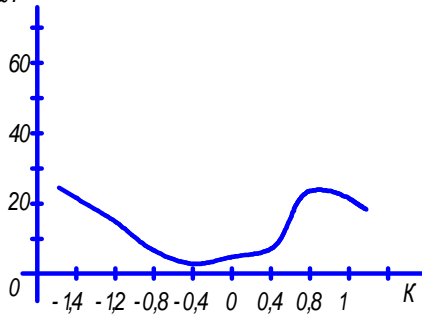
b_1 - ширина зрізу.

Отже при аналізі залежностей (8, 9) та (12, 13) приходимо до висновку, що використання ротаційного різання з примусовим обертанням різальної пластини є перспективним методом для керування не тільки силами на передній поверхні різця, а й для керуванням глибиною та ступенем наклепу поверхневого шару. Але неоднозначність

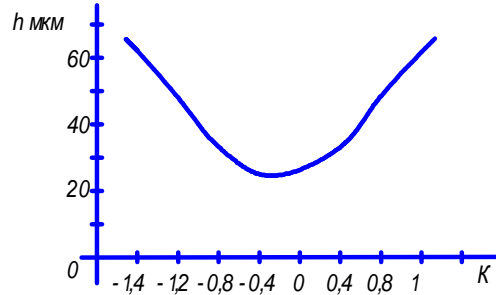
впливу відхилення напрямку вектору дійсної швидкості різання від напрямку вектора швидкості деталі (кінематичного коефіцієнту K) на ступінь розміщення і наклеп поверхневого шару

оброблюваної деталі вимагає подальших експериментальних досліджень щодо встановлення залежностей між технологічними та якісними показниками процесу різання.

$\sigma_{\text{н}}$:



а)



б)

Рисунок 7 – Графіки залежності ступеня (а) та глибини (б) наклепу від кінематичного коефіцієнта при ротаційному різанні з примусовим обертанням різальної чашки

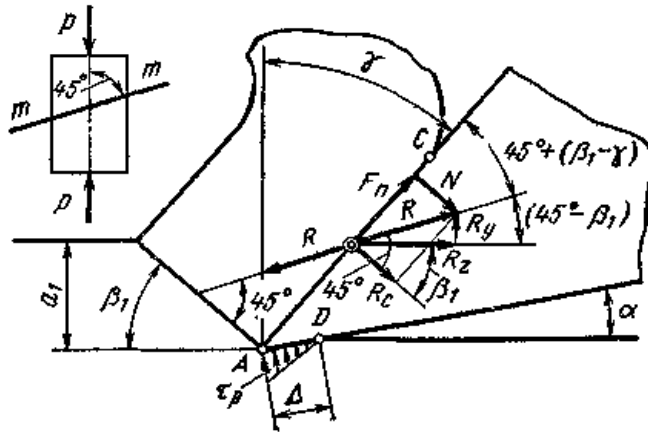


Рисунок 8 – Схема дії сил на передній поверхні інструменту

Висновки. У результаті проведеного теоретичного аналізу:

1) встановлено можливість створення умов підґрунтя використання ефекту Баушинґера в процесі ротаційного різання високомарганцевих сталей;

2) отримано залежності кутів нахилу текстури поверхневого шару поверхні різання при прямому та оберненому примусовому обертанні різальної пластини d^+ та d^- , залежності дійсної швидкості різання $V_{\text{дійсн.}}$ при прямому та оберненому примусовому обертанні різальної пластини;

3) виявлено неоднозначність впливу відхилення напрямку вектору дійсної швидкості різання від напрямку вектора швидкості деталі (кінематичного коефіцієнту K) на ступінь розміщення і наклеп поверхневого шару оброблюваної деталі.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицын П.И., Борисенко А.В., Дривотин И.Г., Лебедев В.Я. Ротационное резание материалов. – Мн.: Наука и техника, 1987. – 229 с.
2. Зубчанинов В.Г. Основы теории упругости и пластичности: Навч. посібник. – М.: Высшая школа, 1990.- 368 с.
3. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. – К.: Наукова думка, 1990. – 320 с.
4. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести: учебник для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
5. Прагер А., Ходж Ф. Г. Теория идеально пластических тел. - М.: Изд. иностр. лит., 1956. - 398 с.
6. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания. - М.: Машиностроение. 1976. - 278 с.

Стаття надійшла 20.03.2007р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Драгобецьким В.В.