



УДК 669.15-194.56:664

DOI: 10.37128/2520-6168-2021-1-9

**РОЗШИРЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ВИРОБІВ ІЗ АУСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ У
ХАРЧОВІЙ ГАЛУЗІ**

Посвятенко Едуард Карпович, д.т.н., професор
Національний транспортний університет
Будяк Руслан Володимирович, к.т.н., доцент
Вінницький національний аграрний університет
Аксьом Петро Андрійович, к.т.н.
Національний транспортний університет

Eduard Posviatenko, Ph.D., Full Professor
National Transport University
Ruslan Budyak, Ph.D., Associate Professor
Vinnitsia National Agrarian University
Petro Aksom, Ph.D., Individual Entrepreneur
National Transport University

У статті розглядається підвищення оброблюваності аустенітних сталей шляхом поєднання попереднього холодного пластичного деформування з використанням екологічно чистих мастильно-охолоджувальних рідин на основі ріпакової олії. Показано, що шляхом легування пластичних сталей великою кількістю хрому, нікелю та марганцю можна знизити точку К'юрі до кімнатних температур. Розглянуто діаграми стану систем Fe – Mn та Fe – Cr – Ni після таких перетворень. В останньому випадку сталі будуть придатними для виробів і технологій галузей харчової промисловості, проте стануть важкооброблюваними в механічних технологіях.

Наведено дослідження сталей 12X15Г9НД (AISI 201); 08X18H10 (AISI 304); 110Г13Л (A128). Розроблено математичну модель об'єкту дослідження, де факторами процесу служили холодне пластичне деформування (ХПД), мастильно-охолоджувальна рідина (МОР) та швидкість різання. Параметрами оптимізації були усадка стружки та довжина контакту останньої з передньою поверхнею інструменту. Наводиться рівняння математичної моделі.

У роботі описано ряд сучасних установок і методів дослідження процесів, серед яких відзначаються нові, зокрема методи поперечного стискання, визначення кількості дислокацій, спектрального аналізу, різання сталей з використанням МОР рослинного походження. Визначена оптимальна марка екологічно чистої рослинної МОР. Це ріпакова олія разом з протизадирними та протизносними присадками.

Подано основні фізико-механічні характеристики різання аустенітних сталей у контексті впливу на них ХПД разом з МОР: сила тертя, нормальна сила, контактне напруження, контактний тиск, довжина контакту, коефіцієнт тертя, кути дії та зсуву. Показано, що ХПД з МОР впливає на зменшення температури різання на 30 – 50 °С, а складових сил різання на 30 – 50%. Вивчено дію вибраних трьох основних факторів процесу на наростування. Показано, що напружено-деформований стан системи «оброблюваний матеріал – інструмент – стружка» від дії цих факторів наближається до заданого стану, тобто інтенсивність наростування знижується.

У статті представлено отриманий у дослідженні взаємозв'язок основних явищ при різанні аустенітних сталей. Установлено, що для повернення початкових експлуатаційних властивостей аустенітних сталей слід рекомендувати середньотемпературне відпускання у захисному середовищі. Заключною (фінішною) операцією може стати обробка еластичним інструментом із надтвердих матеріалів.

Ключові слова: аустенітні сталі, холодне пластичне деформування, мастильно-охолоджувальна рідина, швидкість різання, усадка стружки, наріст.

Ф. 5. Рис. 10. Літ. 12

1. Постановка проблеми

Аустенітні сталі мають ряд специфічних унікальних властивостей. Серед яких: корозійно-, жаро- та зносостійкість, немагнітність, висока пластичність. Ці сталі застосовуються при виготовленні таких деталей, як: зубці ковшів екскаваторів, щоки каменедробарок, стрілкові рейкові



хрестовини, лопатки і ротори газових і парових турбін, броньовані плити, деталі транспортних засобів, у апаратах, виробках та технологіях харчової промисловості тощо. У той же час аустенітні сталі мають вкрай низьку оброблюваність різанням.

Поліпшення оброблюваності використанням попереднього холодного пластичного деформування (ХПД) указували Я.Г. Усачов, В.М. Подураєв, О.М. Розенберг, Ю.Г. Проскураков, Е.Н. Trent, Н.Е. Епаного та інші науковці. У той же час їх дослідження не мали системного характеру, стосувались лише напрямку поліпшення оброблюваності пластичних маловуглецевих і низьколегованих сталей. Не відзначалась також роль мастильно-охолоджувальних речовин (МОР) у поєднанні з холодною пластичною деформацією і екологічні проблеми обробки.

Тому перспективними методами поліпшення оброблюваності аустенітних сталей є ХПД та екологічно чисті МОР рослинного походження.

2. Мета дослідження

Метою дослідження – є розширення застосування виробів із аустенітних сталей у харчовій галузі промисловості за рахунок вивчення властивостей цих сталей і дослідження методів поліпшення оброблюваності останніх, а також побудови нового процесу обробки аустенітних сталей на основі наших досліджень.

3. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Як відомо [1,2], аустенітні сталі належать до окремого структурного класу, де через зниження критичних точок A_1 і A_3 аустенітна область на діаграмі стану простягається до кімнатних температур і нижче. Отже, це високовуглецеві сталі, леговані значною кількістю марганцю, наприклад, сталь Гатфільда (110Г13Л), комплексно леговані хромонікелеві маловуглецеві (12Х18Н10Т та ін.) і середньовуглецеві сталі (40Х14Н14В2М, 60Х22Н8Г2АМБФ тощо), або маломагнітні та немагнітні сталі спеціального призначення. Паралельно високе легування аустенітних сталей призводить до зниження критичної точки A_2 (точки К'юрі), при якій парамагнітний стан матеріалу при охолодженні переходить у феромагнітний стан. Таким чином, сталі аустенітного класу при звичайних і низьких температурах є немагнітними. Аустеніт має твердість порядку 170 – 200 НВ, досить високу міцність ($\sigma_s = 500 - 800$ МПа) і надзвичайно високу пластичність ($\delta \approx 50\%$; $\psi \approx 60\%$). Поєднання високих значень зносостійкості і в'язкості аустеніту з достатньою міцністю забезпечує необхідну довговічність виробів із високовуглецевих аустенітних сталей за умови абразивного зношування, посиленого ударними навантаженнями.

З іншого боку, мало- та середньовуглецеві аустенітні сталі є корозійностійкими та жаростійкими. При цьому висока корозійна стійкість досягається за рахунок утворення тонкої міцної оксидної плівки на поверхні сталі при забезпеченні доброго зчеплення плівки з основним металом. Введення у сталь великої кількості хрому ($\geq 13\%$) викликає пасивацію останньої, тобто припинення електрохімічної корозії (атмосферної, ґрунтової, під впливом водних розчинів кислот, лугів та солей). У жаростійкі сталі, крім хрому, додають також кремній та алюміній, що утворюють щільну плівку оксиду, яка перешкоджає проникненню кисню вглиб металу і припиняє корозію. Корозійностійкі, жаростійкі та жароміцні сталі використовуються у харчовій промисловості, побутовій техніці, хімічному обладнанні, хірургічному інструменті, лопатках парових і газових турбін, клапанах дизелів, деталях реактивних двигунів та ін.

Разом з тим, загальним недоліком сталей аустенітного структурного класу є їхня низька оброблюваність лезовим та абразивним різальним інструментом. Нами висунута гіпотеза, що пояснює це явище. До теперішнього часу різання металів аргументовано ідентифікується як процес глибоких пластичних деформацій, головним чином простого зсуву, отже, аустенітні сталі у зонах стружкоутворення та контакту мають пройти усі стадії цього процесу від початку до руйнування [3]. Але, оскільки сталі даного класу є високопластичними і, водночас, міцними, то процес їхнього різання є надзвичайно напруженим. Про це, зокрема, можна судити зі значень коефіцієнта усадки стружки, який квазікількісно характеризує процес, і може зазвичай сягати значень 5 і більших, а також з великих значень довжини контакту стружки по передній поверхні інструменту [4]. Крім того лезова обробка аустенітних сталей у зоні низьких та середніх швидкостей різання супроводжується інтенсивним наростоутворенням [5].

Найпоширеніші сталі аустенітного класу створені на основі систем Fe–Cr–Ni, Fe–Cr–Mn, Fe–Cr–Mn–N. Добре вивчені фізико–механічні властивості, відпрацьована технологія виготовлення з



них напівфабрикатів та виробів, роблять їх комерційно доступними. Розглянемо, як формується структура цих сталей на підставі аналізу відповідних діаграм стану.

Діаграма стану Fe–Mn. Залізо і марганець за високих температур утворюють неперервний ряд твердих розчинів з γ -раткою (рис. 1). Під час охолодження відбуваються алотропічні перетворення марганцю і заліза. Найбільший інтерес викликають сплави, багаті залізом. Марганець так само, як і нікель, належить до елементів, що розширюють γ -область.

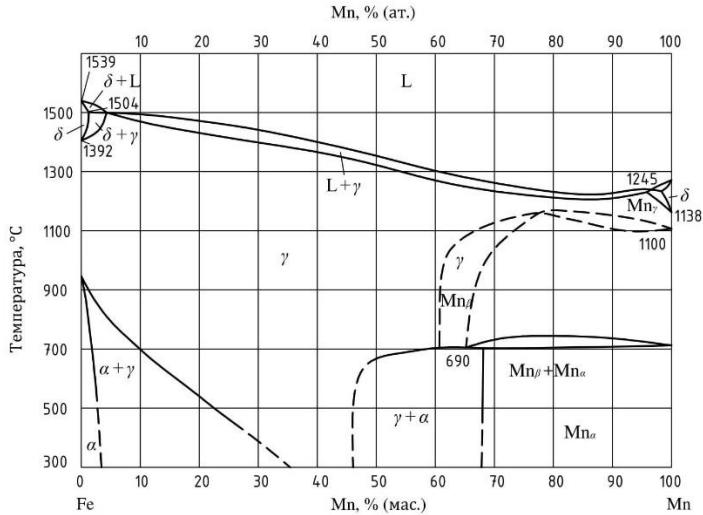


Рис. 1. Діаграма стану Fe – Mn

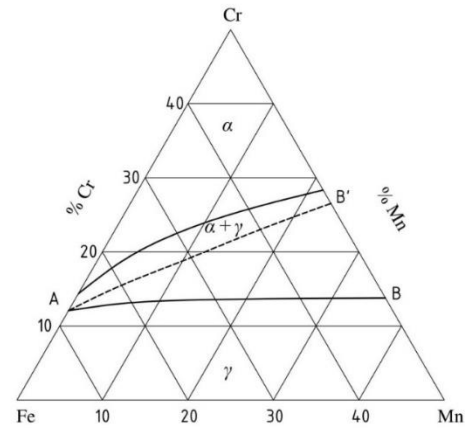


Рис. 2. Ізотермічний переріз при 1000 °C потрійної діаграми Fe – Cr – Mn (0,1% C)

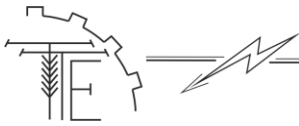
На відміну від нікелю, марганець при додаванні у хромисті сталі не розширює область існування γ -твердого розчину за підвищених температур. Лінія АВ на діаграмі (рис. 2) розділяє область існування γ -фази та $(\gamma+\delta)$ -фаз при 1000 °C. Пунктирною лінією показана область існування аустеніту в системі Fe–Cr–Ni при 1000 °C. Зокрема, в міру збільшення вмісту нікелю підвищується вміст хрому, за якого ще можливе існування чистої γ -фази. І навпаки, жодна хромомарганцева сталь не може мати суто аустенітну структуру при 1000 °C, якщо вона містить більше ніж 15% хрому. Марганець стабілізує аустеніт, який утворився за високої температури. Отже, сталь з 13–14% Cr при охолодженні набуває мартенситної структури, але залишається аустенітною, якщо в ній міститься достатня кількість марганцю. Можливість існування аустенітної структури залежить переважно від співвідношення між вмістом у сталі хрому і вуглецю. Наприклад, у сталі, що містить 18% Cr і 0,3% C, стабільність аустеніту зберігається у разі нагрівання до високих температур, але в результаті охолодження – відбувається мартенситне перетворення.

Для збереження аустенітної структури у сталі типу 18–8 (наприклад, сталі марок 12X18H9, 12X18H8T) під час легування до 3% Mo та за постійного вмісту хрому кількість нікелю необхідно збільшити на 4%. Тоді у структурі сталі утворюватиметься σ -фаза. Легування стабілізаторами (Ti та Nb) використовується переважно для зменшення схильності цих сталей до міжкристалічної корозії. Зокрема, вміст титану повинен бути у 6–8, а ніобію у 10–12 разів більший від вмісту у цих сталях вуглецю. Утворюючи стійкі карбіди, титан і ніобій зменшують кількість аустеніту і сприяють утворенню фериту. Тому для збереження у сплавах суто аустенітної структури необхідно відповідно підвищити вміст нікелю. Легування аустенітних хромонікелевих сталей вольфрамом у кількості до 3% підвищує їхню жароміцність та втомну міцність. Мікролегування бором інтенсифікує зміцнення цих сталей за механізмом дисперсійного тверднення.

У роботі досліджувались сталі наступних марок: сталь 12X15Г9НД (AISI 201); сталь 08X18H10 (AISI 304); сталь 40X13 (AISI 420); сталь 110Г13Л (А 128).

4. Виклад основного матеріалу

Для побудови математичної моделі процесу різання аустенітних сталей було обрано метод крутого сходження. Даний метод дозволяє отримувати статистичні математичні моделі крутого сходження. Даний метод дозволяє отримувати статистичні математичні моделі процесів, використовуючи факторне планування, регресивний аналіз та рух уздовж градієнту.



Для проведення дослідження необхідно мати можливість впливати на поведінку кібернетичної системи «чорний ящик». Способи такого впливу позначаються буквою x та називаються факторами. У нашому випадку – це ХПД (HV , H_{μ} , МПа), МОР (олії рослинного походження) та v (м/с), відповідають x_1 , x_2 , x_3 .

При вирішенні задачі використовувалась математична модель об'єкту дослідження, тобто рівняння, що пов'язує параметр оптимізації з факторами. Параметри оптимізації служили коефіцієнт усадки ζ стружки і повна довжина контакту c стружки з передньою поверхнею інструменту, які служать мірилом оброблюваності і пов'язані між собою залежність професора М.Ф. Полетики [4]:

$$\frac{c}{a} = \xi^l, \quad (1)$$

де $l = 1,5$ при $\zeta < 4$; $l = 1,3$ при $\zeta > 4$; a – товщина зрізу. При цьому ζ – це y_1 , а c – y_2 .

Для перевірки математичної моделі процесу різання аустенітних сталей на адекватність було внесено значення параметрів оптимізації, отриманих при експериментальних дослідженнях незміцнених зразків [6].

Використовувалися наступні рівні факторів: $x_1 = 220 HV$; $x_2 =$ сухе тертя; $x_3 = 5$ м/хв.

Після визначення всіх коефіцієнтів, рівняння математичної моделі набуває вигляду:

$$y = 4,31 + 0,00125x_1 - 0,02125x_2 - 0,06125x_3 - 0,00875x_1x_2 - \\ - 0,00375x_1x_3 + 0,04375x_2x_3 - 0,04375x_1x_2x_3. \quad (2)$$

У ході досліджень було використано ряд засобів для проведення експериментів та отримання коректних результатів. Серед цих засобів: стаціонарний пристрій для визначення хімічного складу металів SPECTROMAXx, металографічний мікроскоп МИМ-7 для вивчення мікроструктури металів оптичними методами, електронний мікроскоп РЕМ-106И для дослідження мікроструктури матеріалів, твердомір ХПО-250 для визначення твердості матеріалу за методом Віккерса, мікротвердомір ПМТ-3 для визначення мікротвердості досліджуваних зразків, гідравлічний прес ПММ-200 (рис. 3) для проведення холодної пластичної деформації, фрезерувальний верстат 6Н13П для проведення дослідів з різання, різці Р6М5 з примусовим формуванням стружки, мікроскоп МПБ-2 для визначення довжини контакту стружки з різцем, токарно-гвинторізний верстат 16К20 для виготовлення досліджуваних зразків, установка для отримання металографічних шліфів Beta Grinder-Polisher (рис. 4), виробництва фірми Buehler, фотокамера Olympus F-320, ПК Asus X550VX.



Рис. 3. Гідравлічний прес ПММ – 200.



Рис. 4. Установа для отримання металографічних шліфів Beta Grinder-Polisher

Серед нових методів дослідження слід відзначити наступні: метод поперечного стиску матеріалу (рис. 5), метод спектрального аналізу досліджуваних марок аустенітної сталі, метод визначення кількості дислокацій на електронному мікроскопі, метод різання сталей з використанням МОР рослинного походження.

Поперечний стиск – метод деформування досліджуваного матеріалу, при якому зразок піддається стисненню в напрямку, перпендикулярному осі (рис. 5) [7]. При цьому деформація є більш об'ємною та рівномірною, що підтверджується дослідженнями мікротвердості в площі поперечного перерізу зразка. Також такий підхід забезпечує більшу кількість матеріалу для досліджень.

Метод визначення кількості та густини дислокацій. Для цього зразки підготовлювали для дослідження на електронному мікроскопі РЕМ-106И. Після отримання якісних фотографій



мікроструктури металу при збільшенні від $\times 2000$ до $\times 10000$ разів, виокремлювалася певна площа на фотографії та підраховувалася кількість дислокацій на зразках до та після деформації.

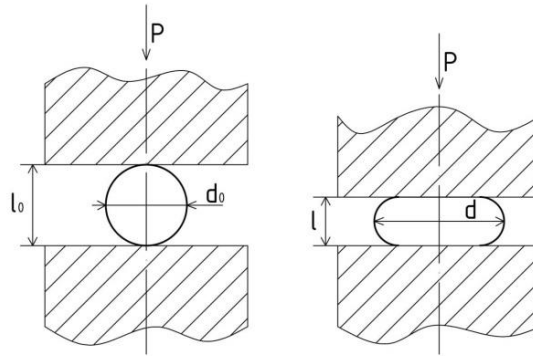


Рис. 5. Схема поперечного стиснення зразків

Для визначення густини дислокацій у структурі металу було використано електронний мікроскоп РЕМ–106И. Отриманні фотографії (рис. 6) оброблювалися за допомогою комп'ютерної програми та вираховувалась фактична кількість дислокацій на одиницю площі. Потім, пропорційно вираховувалася густина дислокацій для більшої площі металу [8].

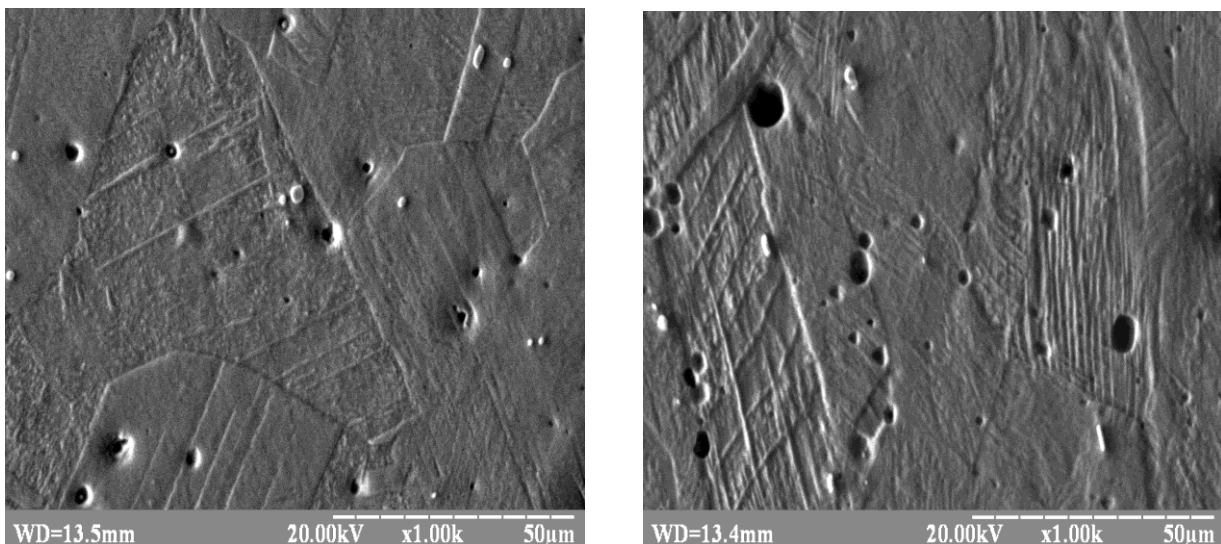


Рис. 6. Дослідження густини дислокацій на РЕМ–106И

Метод різання аустенітних сталей з використанням МОР рослинного походження. Для підвищення оброблюваності аустенітних сталей в зону різання подавалися МОР рослинного походження, а саме: ріпакова, соняшникова та олія льону. Цей підхід дозволив більш, ніж в 2 рази знизити усадку стружки та довжину контакту стружки з передньою поверхнею різального інструменту.

Різання проводилося за схемою вільного прямокутного різання на фрезерному верстаті (рис. 7). Це дозволяло відкинути вплив несуттєвих факторів на процес різання [9].

Різець зі сталі Р6М5 затискався в патроні верстату, а зразок, установлений у лещатах, подавався на різець переміщенням столу. Геометричні параметри різця були наступними: ширина 10 мм, передній кут 15° , задній кут 6° , радіус округлення різальної кромки – 10 мкм. Швидкість різання – 26,5 м/год. Товщина зрізуваного шару 0,02 – 0,03 мм.

Дослідження зміни фазового складу сталі при аустенітно-мартенситних перетвореннях проводились з використанням рентгенівського дифрактометра Rigaku Ultima IV.

У експериментах застосовувалися також методи природньої термопари, миттєвої зупинки процесу різання за допомогою «падаючого різця» та визначення сил різання стаціонарним динамометром УДМ – 600.



Рис. 7. Процес вільного прямокутного різання.

Отже, аналіз джерел літератури та наші попередні теоретичні та експериментальні дослідження показали, що розширення застосування виробів із корозійностійких аустенітних сталей полягає у поліпшенні оброблюваності таких сталей. Головними засобами цього є сумісне застосування попереднього ХПД, використання при різанні екологічно чистих МОР на рослинній основі і повернення початкових властивостей сталей фінішною прецизійною термообробкою.

5. Основні результати дослідження

У рамках досліджень проведено досліди з різними екологічно чистими МОР, серед яких: ріпакова олія, олія льону та соняшникова олія. В порівнянні з класичними МОР – сульфозфрезолом Р та мінеральним маслом И-20, отримано суттєве зменшення сил різання, усадки стружки та довжини контакту. Це свідчить про кращі мастильно-охолоджуючі властивості даних МОР рослинного походження. Ріпакова олія є також найбільш доцільною з позицій вартості (16,5 тис. грн. за тону у цінах 2018 року).

Ріпакова олія – прозора, олієподібна рідина від жовтого до коричневого кольору, зі слабким горіховим запахом та приємним смаком, до складу якої входить комплекс природних кислот: ліноленова, олеїнова, ерукова (35-40%), ліолева (10-13%). Характеристики цієї олії, ДСТУ 53457-2009: густина 915 кг/м³; температура спалаху 225 °С; температура застигання – 0 – 10 °С; кінематична в'язкість 87,2 x 10⁻⁶ м²/сек [10].

У процесі експериментального дослідження вивчалась дія попереднього ХПД, екологічно чистої МОР і швидкості різання на явища при різанні аустенітних сталей. Всі експерименти було проведено при обробці незміцнених, попередньо зміцнених до деформацій $\varepsilon = 40\%$ і 67% аустенітних сталей 3-х марок 12X15Г9НД (AISI 201), 08X18Н10 (AISI 304) та 110Г13Л (A128) при швидкостях різання 5–50 м/хв в умовах МОР на основі ріпакової олії. Процес різання був вільним ортогональним, передній кут γ і товщина зрізу s_z , були постійними, відповідно $\gamma = 15^\circ$, $s_z = 0,03$ мм, а інструментом служив різець із швидкорізальної сталі Р6М5 з плоскою передньою поверхнею.

Середня температура різання, була нижчою при різанні сталей, попередньо зміцнених холодною деформацією, на 30–50°С.

На рис. 8 подані основні фізико-механічні характеристики різання аустенітної сталі 08X18Н10 у незміцненому та зміцненому ХПД з різними деформаціями.

Попередня обробка ХПД за методом поперечного стиску викликає зниження складових P_z і P_y сил різання у середньому на 25–30%.

Експериментальне дослідження коефіцієнта усадки стружки ζ та повної довжини контакту останньої по передній поверхні інструменту c є прямим. Зниження коефіцієнта усадки стружки на 25–35% і повної довжини контакту на 15–20%. Це є свідченням про суттєве поліпшення оброблюваності аустенітних сталей.

Дані експериментів, що отримані при дослідженні складових P_z і P_y сили різання і повної довжини контакту c послужили для визначення контактних характеристик процесу: контактного тиску q_N , контактного напруження τ_F і середнього коефіцієнту тертя μ_n за залежностями:

$$q_N = \frac{P_z \cos \gamma - P_y \sin \gamma}{cb}, \quad (3)$$

$$\mu_n = \operatorname{tg}(\gamma + \operatorname{arctg} P_y/P_z), \quad (4)$$



$$\tau_F = \mu q_N.$$

(5)

де $b = 1$ мм – ширина контакту по передній поверхні.

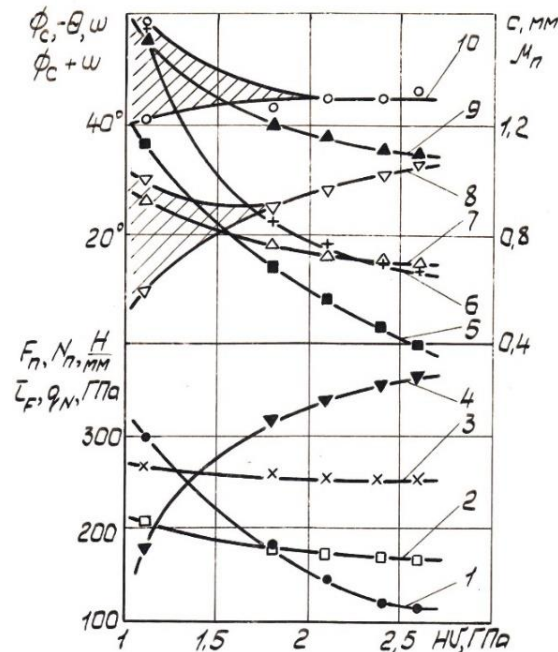


Рис. 8. Залежності сили тертя F_f (1), нормальної сили N_n (2), контактної напруженості τ_F (3), контактної тиску q_N (4), довжини контакту c (5), коефіцієнта тертя μ_n (6), кута дії ω (7), кута зсуву ϕ_c (8), кута θ (9) і суми кутів ϕ_c і ω (10) від твердості HV сталі 08X18H10, зміцненої ХПД

На рис. 9 подано як приклад мікрофотографію типового «корня стружки», $\times 70$, отриманого при вільному ортогональному різанні доєвтиктоїдної сталі на швидкості 10 м/хв.



Рис. 9. Мікрофотографія «корня стружки», $\times 70$, при вільному ортогональному різанні доєвтиктоїдної сталі на швидкості 10 м/хв. Світлі зерна – ферит, темні – перліт

Наріст має ту саму структуру, що і оброблюваний матеріал у початковому стані. Мікротвердість наросту у 3-5 раз перевищує мікротвердість оброблюваного матеріалу.

Основними геометричними характеристиками наросту є радіус округлення створеного у процесі стабільного різання нового клину ρ_n , нового переднього кута γ_n та довжини підшви наросту c_n , тобто пластичної частини контакту стружки з передньою поверхнею інструменту. Динаміка зміни цих характеристик попередньою холодною деформацією та застосуванням екологічно чистих МОР рослинного походження дозволяє у кілька разів знизити характеристики наросту. Тим самим НДС системи «оброблювальний матеріал – інструментальний матеріал – стружка» максимально наближається до заданої. Зона пластичного контакту стружки з передньою поверхнею зменшується, параметри різального клину набувають значень, близьких до початкових (створюваних



заточуванням), а шорсткість обробленої поверхні поліпшується за параметром Rz у 5–20 разів.

У результаті проведених досліджень було запропоновано взаємозв'язок основних явищ при різанні аустенітних сталей, який подано на рис. 10 [11,12].

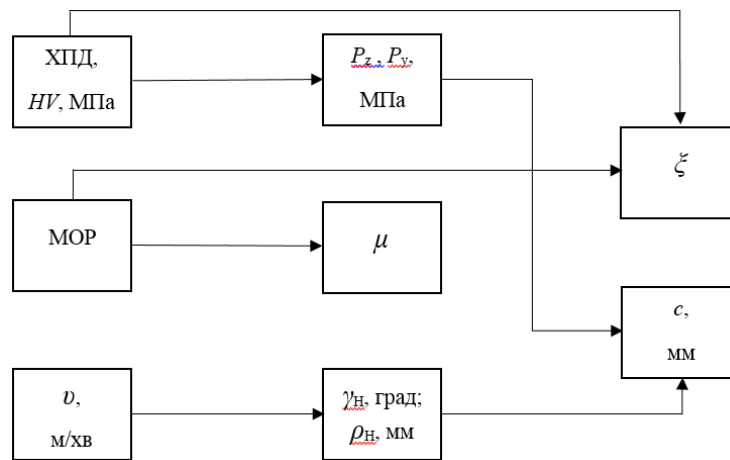


Рис. 10. Взаємозв'язок основних явищ і характеристик при різанні аустенітних сталей.

Для повернення початкових експлуатаційних властивостей аустенітних сталей слід рекомендувати середньотемпературне відпускання у захисному середовищі. Заключною фінішною операцією деталей із аустенітних сталей при необхідності може стати алмазно-абразивна обробка еластичним інструментом.

6. Висновки

Розроблено математичну модель процесу обробки аустенітних сталей різанням, що визначає вплив значимих факторів: величини попередньої холодної пластичної деформації, виду екологічно чистої мастильно-охолоджувальної рідини рослинного походження та швидкості різання у межах 5–50 м/хв.

Уперше встановлена роль збільшення густини дислокацій на один–два порядки та фазових структурних перетворень «аустеніт – мартенсит», ініційованих холодною пластичною деформацією, на поліпшення оброблюваності аустенітних сталей за рахунок поліпшення контактних процесів на передній поверхні інструменту, зокрема зменшення повної довжини контакту на 50–60% і середнього коефіцієнта тертя з 2–2,5 до 0,9–1,5.

Встановлено, що використання мастильно-охолоджувальних рідин на основі рослинних масел у порівнянні із застосуванням рідин на основі мінеральних масел призводить до поліпшення оброблюваності аустенітних сталей, причому оптимальними у розробленому ранжувальному ряді є екологічно чисті рідини на основі ріпакової олії.

Досліджено параметри різання аустенітних сталей, зміцнених холодною пластичною деформацією при застосуванні ріпакової олії, причому при передньому куті інструменту із сталі Р6М5 $\gamma = 15\text{--}20^\circ$, швидкостях різання 5–50 м/хв, забезпечується зниження середньої температури різання до 10%; складових сил різання P_z та P_y на 10–30%; коефіцієнта усадки стружки до 1,8; повної довжини контакту по передній поверхні до 1,9 раз; і зниження інтенсивності наростуотворення до 20 раз.

Розроблено метод об'ємного холодного пластичного деформування металевих матеріалів, який полягає у поперечному стисканні циліндричних заготовок перпендикулярно осі. При силах стиснення до 63 МН забезпечується величина деформації до 90%.

Розроблено і запропоновано для виробництва процес виготовлення та відновлення деталей засобів транспорту за наступною послідовністю основних операцій: холодне пластичне деформування – обробка різанням – повернення початкових властивостей деталей середнім відпусканням у захисному середовищі на основі аргону. Технологія рекомендується для розширення застосування виробів із аустенітних сталей у харчовій галузі промисловості.

Список використаних джерел

1. Прикладне матеріалознавство: підручник / Сушко О. В., Посвятенко Е. К., Кюрчев С. В., Лодяков С. І. Мелітополь : ТОВ "Forward press", 2019. 352 с.
2. Дурягіна З. А., Лизун О. Я. Сплави з особливими властивостями. Львів : Львівська політехніка, 2007. 236 с.



3. Интегрированные процессы обработки материалов резанием : учебник / А.И. Грабченко и др. ; за ред. А. И. Грабченко, В. А. Залого. Сумы : Университетская книга, 2017. 451 с.
4. Полетика М. Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. М. : Машиностроение, 1969. 148 с.
5. Кузнецов В. Д. Наросты при резании и трении: монография. М. : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1956. 284 с.
6. Посвятенко Е. К., Аксьом П. А., Будяк Р. В. Математична модель обробки деталей транспортних засобів із аустенітних сталей. *Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика: Матеріали 16-й Міжнародної науково-практичної конференції, 20-23 вересня 2016 г.*, г. Одеса. Київ : АТМ України, 2016. С. 122–126.
7. Аксьом П. А. Дослідження холодного пластичного деформування методом поперечного стискання. *Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатація машинобудівних конструкцій: Матеріали конференції*. Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2016. С. 16–17.
8. Посвятенко Е. К., Аксьом П. А., Мельник О. В. Про вплив дислокацій на фізико-механічні властивості феритних та аустенітних сталей. *Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Матеріали 17-го Міжнародного науково-технічного семінара, 20-24 лютого 2017 г.*, г. Сваліява. Київ : АТМ України, 2017. С. 239–241.
9. Посвятенко Е. К., Аксьом П. А., Будяк Р. В. Основні напрямки поліпшення оброблюваності деталей із аустенітних сталей. *Вісник Національного транспортного університету. Серія: "Технічні науки"*. К. : НТУ, 2016. Вип. №1 (34). С. 370–377.
10. Посвятенко Е. К., Аксьом П. А., Посвятенко Н. І. Вплив попередньої холодної деформації і рослинних мастильно-охолоджуючих рідин на фізико-механічні та технологічні властивості аустенітних сталей. *Резание и инструмент в технологических системах: Міжнарод. науч.-техн. сб.* Х. : НТУ "ХП", 2018. Вип. 88. С. 172–178.
11. Посвятенко Е. К., Посвятенко Н. І., Аксьом П. А. Поліпшення властивостей аустенітних сталей як конструкційного матеріалу. *Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Monografia nr 6 seria: Transport, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2015*, s. 113–118.
12. Posviatenko E., Posviatenko N., Budyak R., Shvets L., Paladiichuk Ju., Aksom P., Rybak I., Sabadash B., Hryhoryshen V. Influence a material and the technological factors on improvement of operation properties of machine parts by reliefs and film coatings. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2018. № 5/12 (95). P. 48–56.

References

- [1] Sushko, O. V., Posvyatenko, E. K., Kyurchev, S. V., Lodyakov, S. I., (2019). Applied Materials Science: textbook. Melitopol : LLC "Forward press". [in Ukrainian].
- [2] Duryagina, Z.A., Lizun, O.Y. (2007). Alloys with special properties. Lviv : Lviv Polytechnic. [in Ukrainian].
- [3] Grabchenko, A.I., Zaloga, V.A. (2017). Integrated processes of material processing by cutting: textbook. Sumy : University Book, 451 p. [in Russian].
- [4] Poletika, M. F. (1969). Contact loads on the cutting surfaces of the tool. M. : Mechanical engineering. [in Russian].
- [5] Kuznetsov, V. D. (1956). Growths during cutting and friction: monograph. M. : State publishing house of technical and theoretical literature. [in Russian].
- [6] Posvyatenko, E. K., Aksyom, P. A., Budyak, R.V. (2016). Mathematical model of processing of details of vehicles from austenitic steels. *Quality, standardization, control: theory and practice: Proceedings of the 16th International Scientific and Practical Conference, September 20-23, 2016, Odessa*. Kyiv : ATM of Ukraine, 122–126. [in Russian].
- [7] Aksyom, P. A. (2016). Investigation of cold plastic deformation by the method of transverse compression. *Theory and practice of rational design, manufacture and operation of machine-building structures: Conference proceedings*. Lviv : KINPATRI LTD, 16–17. [in Ukrainian].
- [8] Posvyatenko, E. K., Aksyom, P. A., Melnik, O. V. (2017). On the influence of dislocations on the physical and mechanical properties of ferritic and austenitic steels. *Modern problems of production and repair in industry and transport: Proceedings of the 17th International Scientific and Technical Seminar, February 20-24, 2017, Svalyava*. Kyiv : ATM of Ukraine, 239–241. [in Ukrainian].
- [9] Posvyatenko, E. K., Aksyom, P. A., Budyak, R. V. (2016). The main directions of improving the machinability of parts made of austenitic steels. *Bulletin of the National Transport University. Series: "Technical Sciences"*. К. : NTU, №1 (34). 370–377. [in Ukrainian].



- [10] Posvyatenko, E. K., Axsyom, P. A., Posvyatenko, N. I. (2018). Influence of preliminary cold deformation and vegetable lubricating and cooling liquids on physical-mechanical and technological properties of austenitic steels. *Cutting and tools in technological systems*: International. scientific and technical Sat. H. : NTU "KhPI", 88. 172–178. [in Ukrainian].
- [11] Posvyatenko, E. K., Posvyatenko, N. I., Axsyom, P. A. (2015). Improving the properties of austenitic steels as a structural material. *Systems and means of self-propelled transport*. Selected items. Monograph. 6 series: Transport, Publishing House of the Rzeszów University of Technology, Rzeszów, 113–118. [in Ukrainian].
- [12] Posviatenko, E, Posviatenko, N., Budyak, R., Shvets, L., Paladiichuk, Ju., Aksom, P., Rybak, I., Sabadash, B., Hryhoryshen, V. (2018). Influence a material and the technological factors on improvement of operation properties of machine parts by reliefs and film coatings. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 5/12 (95). 48–56. [in English].

EXPANSION OF APPLICATION OF AUSTENITE STEEL PRODUCTS IN THE FOOD INDUSTRY

The article considers the increase of machinability of austenitic steels by combining preliminary cold plastic deformation with the use of environmentally friendly lubricating and cooling fluids based on rapeseed oil. It is shown that by fusing plastic steels with a large amount of chromium, nickel and manganese, the Curie point can be reduced to room temperature. State diagrams of Fe - Mn and Fe - Cr - Ni systems after such transformations are considered. In the latter case, steels become suitable for products and technologies of the food industry, but they are difficult to process in mechanical technologies.

The study of steels 12X15G9ND (AISI 201) is given; 08X18H10 (AISI 304); 110G13L (A128). A mathematical model of the object of study was developed, where the process factors were cold plastic deformation (COD), lubricating and cooling fluid (MPC) and cutting speed. The optimization parameters were the shrinkage of the chips and the length of contact of the latter with the front surface of the tool. The equation of the mathematical model is given.

A number of modern installations and methods of process research are described. Among the research methods, new ones are noted, in particular, methods of transverse compression, determination of the number of dislocations, spectral analysis, cutting of steels using MPAs of plant origin. The optimal brand of ecologically pure vegetable MPA is determined. It is rapeseed oil together with anti-emergency and anti-wear additives.

The main physical and mechanical characteristics of cutting austenitic steels in the context of the impact of HPD together with MPA are presented: friction force, normal force, contact stress, contact pressure, contact length, coefficient of friction, angles of action and shear. It is shown that HPD with coolant reduces the cutting temperature by 30 - 50 °C, and the components of the cutting forces by 30 – 50%.

The effect of selected three main factors of the process on growth is studied. It is shown that the stress-strain state of the system "machined material - tool - chips" from the action of these factors approaches the specified state. That is, the intensity of growth decreases. The relationship between the main phenomena in the cutting of austenitic steels obtained in the study is presented.

It is established that medium temperature tempering in a protective environment should be recommended to restore the initial performance properties of austenitic steels. The final finishing operation can be processing with an elastic tool made of superhard materials.

Key words: austenitic steels, cold plastic deformation, lubricating and cooling liquid, cutting speed, chip shrinkage, outgrowth.

F. 5. Fig. 10. Ref. 12

РАСШИРЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ В ПИЩЕВОЙ ОТРАСЛИ

В статье рассматривается повышение обрабатываемости аустенитных сталей путем сочетания предварительного холодного пластического деформирования с использованием экологически чистых смазочно-охлаждающих жидкостей, содержащих рапсовое масла. Показано, что путем легирования пластических сталей большим количеством хрома, никеля и марганца можно снизить точку Кюри до уровня комнатной температуры. Рассмотрены диаграммы состояния систем Fe - Mn и Fe - Cr - Ni после таких преобразований. В последнем случае стали становятся пригодными для изделий и технологий отрасли пищевой промышленности, однако становятся труднообрабатываемыми в механических технологиях.

Приведены исследования сталей 12X15Г9НД (AISI 201) 08X18H10; (AISI 304); 110Г13Л (A128). Разработана математическая модель объекта исследования, где факторами процесса служили холодное пластическое деформирование (ХПД), смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ) и скорость



резки. Параметрами оптимизации были усадка стружки и длина контакта последней с передней поверхностью инструмента. Приводится уравнение математической модели.

В работе описан ряд современных установок и методов исследования процессов, среди которых отмечаются новые, в частности методы поперечного сжатия, определения количества дислокаций, спектрального анализа, резки сталей с использованием СОЖ растительного происхождения. Определена оптимальная марка экологически чистого растительного СОЖ. Это рапсовое масло вместе с противозадирными и противоизносными присадками.

Представлены основные физико-механические характеристики резки аустенитных сталей в контексте влияния на них ХПД вместе с СОЖ: сила трения, нормальная силы, контактное напряжение, контактное давление, длина контакта, коэффициент трения, углы действия и смещения. Показано, что ХПД с СОЖ влияет на уменьшение температуры резания на 30 - 50°C, а составляющих сил резания на 30 - 50%.

Изучено действие избранных трех основных факторов процесса наростообразования. Показано, что напряженно-деформированное состояние системы «обрабатываемый материал - инструмент - стружка» под действием этих факторов приближается к заданному состоянию, то есть интенсивность наростообразования снижается. В статье представлена полученная в исследовании взаимосвязь основных явлений при резке аустенитных сталей.

Установлено, что для возвращения начальных эксплуатационных свойств аустенитных сталей следует рекомендовать среднетемпературный отпуск в защитной среде. Заключительной (финишной) операцией может быть обработка эластичным инструментом из сверхтвердых материалов.

Ключевые слова: аустенитные стали, холодное пластическое деформирование, смазочно-охлаждающая жидкость, скорость резки, усадка стружки, нарост.

Ф. 5. Рис. 10. Лит. 12

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Посвятенко Едуард Карпович – доктор технічних наук, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство» Національного транспортного університету (вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010, Україна, e-mail: natali1963@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6606-1365>)

Будяк Руслан Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Агроінженерії та технічного сервісу» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: rusbudyak.vnau@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3633-7583>)

Аксом Петро Андрійович – кандидат технічних наук, фізична-особа підприємець (вул. В. Стуса, 8, м. Мукачево, 89600, України, e-mail: petro.aksom@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5270-6812>)

Посвятенко Едуард Карпович – доктор технических наук, профессор кафедры «Производство, ремонт и материаловедение» Национального транспортного университета (ул. М. Омеляновича-Павленка, 1, г. Киев, 01010, Украина, e-mail: natali1963@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6606-1365>).

Будяк Руслан Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерии и технического сервиса» Винницкого национального аграрного университета (ул. Сонячна, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: rusbudyak.vnau@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3633-7583>)

Аксом Петр Андреевич – кандидат технических наук, физическое-лицо предприниматель (ул. В. Стуса, 8, г. Мукачево, 89600, Украина, e-mail: petro.aksom@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5270-6812>).

Posviatenko Eduard – Ph.D., Full Professor of the Department "Manufacturing, Repair and Materials Engineering" of the National Transport University (1, Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka str., Kyiv, Ukraine, 01010, e-mail: natali1963@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6606-1365>).

Budyak Ruslan – Ph.D., Associate Professor of the Department «Agricultural Engineering and Technical Service» of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnychna str., Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: rusbudyak.vnau@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3633-7583>)

Aksom Petro – Ph.D., Individual Entrepreneur, (8 V. Stusa Street, Mukachevo, 89600, Ukraine, e-mail: petro.aksom@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5270-6812>)