

Е.К. Посвятенко, д-р техн. наук, Н.І. Посвятенко, канд. техн. наук, Київ,  
Р.В. Будяк, Вінниця, Україна

## **ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІКИ РІЗАННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЗМІЦНЕНИХ ХОЛОДНОЮ ДЕФОРМАЦІЄЮ**

*Встановлено, що нарiст, який виникає при рiзаннi металевих матерiалiв, має виключно деформацiйну природу. Визначено, що основним способом управлiння наростотворенням є попереднє холодне деформацiйне змiцнення оброблюваного матерiалу. Запропоновано схему взаємозв'язку явищ при рiзаннi металу, змiцненого холодною деформацiєю. Отриманi результати можуть бути використанi у процесах виготовлення деталей типу гiльз iз високим рiвнем службових властивостей.*

*Показано, что нарост, возникающий при резании металлических материалов, имеет исключительно деформационную природу. Определено, что основным способом управления образованием нароста является холодное деформационное упрочнение обрабатываемого материала. Предложено схему взаимосвязи явлений при резании металла, упрочненного холодной деформацией. Полученные результаты могут быть использованы в процессах изготовления деталей типа гильз с высоким уровнем служебных свойств.*

*It is shown that the outgrowth arising at cutting of metal materials, has exclusively deformation nature. It is defined that the main way of management of formation of an outgrowth is cold deformation hardening of a processed material. It is offered the scheme of interrelation of the phenomena when cutting the metal strengthened by cold deformation. The received results can be used in processes of manufacturing of details such as sleeves with high level of office properties.*

**Стан питання. Постановка завдань дослідження.** Фізика та механіка обробки металевих матеріалів різанням вивчались фахівцями з цього напрямку технічних наук, починаючи практично з перших досліджень в середині ХІХ сторіччя. Відтоді і аж до кінця 20-х років ХХ ст., коли було створено принципово новий інструментальний матеріал – металокерамічні тверді сплави, науковці мали у своєму розпорядженні дослідницькі стенди на базі низькошвидкісних токарних та стругальних верстатів; перші прилади і методики: ще недосконалі динамометри, оптичні мікроскопи (Kurrein – 1905 р., Усачов – 1914 р.), штучні та комбіновані термометри, калориметри, мікроаналіз, статистичний аналіз результатів експериментів тощо; а також, що надзвичайно важливо, – сталений різальний інструмент. Оброблюваним матеріалом (ОМ) служили мало- та середньовуглецеві сталі, свинець, бронза і латунь. Тому результати тогочасних ретельно виконаних досліджень стосувались переважно низькошвидкісних і низькотемпературних (150–500 °С) процесів різання, тобто таких, що супроводжувались обов'язковим наростотворенням. Я.Г. Усачов, який розпочинав свою дослідницьку діяльність у Катеринославському вищому гірничому училищі в Україні, уперше вірно вказав на природу виникнення наросту, позитивну і негативну роль останнього у процесі рі-

зання, а також визначив важливий напрямок управління наростоутворенням – попереднє холодне деформаційне зміцнення ОМ [1].

Створення нових інструментальних матеріалів (твердих сплавів – 1927 р. – Німеччина; 1929 р. – СРСР; мінералокераміки – 1949 р. – СРСР; синтетичних алмазів – 1952 р. – Швеція; 1953 р. – США; 1960–1961 рр. – СРСР; а також низки інших надтвердих та композиційних матеріалів – у наступні роки) з одного боку; нових, переважно важкооброблюваних матеріалів – з другого, і удосконалення теоретичної та експериментальної бази призвело до зміщення акцентів науково-дослідницьких робіт у галузі. У першу чергу це торкнулося швидкостей і температур різання (відповідно: порядку 500 м/хв, і 500–1100 °С). Ці та інші фактори поставили питання щодо вивчення механіки різання матеріалів поза зоною наросту та в умовах іншої природи зношування, переважно теплової замість звичної фізико-механічної.

Тим не менше, на середину 60-х років минулого століття завдяки зусиллям кількох десятків вітчизняних учених, у першу чергу, О.М. Розенберга [2], М.М. Зорева, М.Ф. Полетики, М.Ф. Семка, Т.М. Лоладзе, склалася струнка система поглядів на взаємозв'язок явищ у процесі різання матеріалів, що набула світового визнання. Результати наукової діяльності у цьому напрямку технічних наук були підсумовані і викладені у фундаментальній монографії «Развитие науки о резании металлов» за редакцією М.М. Зорева, яку було опубліковано у 1967 р. Усі подальші дослідження відтоді і аж по теперішній час виконувалися і виконуються у розвиток положень цієї праці як класичної. Це стосується і низькошвидкісних процесів різання: протягування, різбонарізання, свердління, зубофрезерування, стругання, довбання тощо, при виконанні яких використовується сталний інструмент складного профілю, що більш, ніж удвічі за міцністю перевищує лезовий твердосплавний і, особливо, мінералокерамічний, алмазний та кубонітовий. Стійкість та надійність сталюго інструменту визначається не тільки сучасними металургійними технологіями і термообробкою, але й якісним заточуванням, застосуванням зміцнюючих і захисних покриттів та плівок, нових МОР, а також модифікуванням поверхневого шару методами інженерії поверхні.

Зважаючи на відзначене вище, завдання дослідження авторів, частина результатів якого викладена нижче, були сформульовані наступним чином. У першу чергу слід було уточнити природу наростоутворення, його позитивну і негативну роль у процесі різання та запропонувати методи управління цим явищем. Крім того, ставилось завдання перевірки існуючих уявлень щодо фізико-механічних факторів, які впливають на зношування сталюго інструменту в зоні низьких швидкостей різання. Необхідно було також визначити причинно-наслідкові зв'язки явищ при різанні металевих матеріалів, попередньо зміцнених холодною деформацією, як одним з ефективних методів інженерії поверхні деталей. Ставилось також завдання знайти практичне застосування результатів дослідження у конкретному низькошвидкісному процесі

– деформуюче-різальному протягуванні, який можна було б застосувати у виробництві.

**Методика експериментальних досліджень.** Основна частина досліджень була проведена за схемою ортогонального вільного різання інструментом із швидкорізальної сталі Р6М5, який заточувався і переточувався кубонітовими кругами з наступним поліруванням передньої та задньої поверхонь алмазною пастою АСМ 1/0. Досліджувані матеріали у незміщеному стані: сталь 10 ( $\zeta_{\text{в}} = 380$  МПа;  $\zeta_{\text{т}} = 230$  МПа;  $\delta = 40$  %); сталь 35 ( $\zeta_{\text{в}} = 530$  МПа;  $\zeta_{\text{т}} = 330$  МПа;  $\delta = 21$  %); сталь 20Г ( $\zeta_{\text{в}} = 450$  МПа;  $\zeta_{\text{т}} = 280$  МПа;  $\delta = 26$  %). В експериментах з моделювання різального протягування використовувався двохзубий інструмент зі стружковою канавкою традиційної форми. Зона стружкоутворення досліджувалась шляхом миттєвої зупинки процесу різання з наступними: мікроаналізом за допомогою оптичного мікроскопу, який було оснащено WEB-камерою EWEL(2,1 MPixels) та ПЕОМ; методу мікротвердості; мікрорентгеноспектрального аналізу за допомогою електронного мікроскопу –Самскан 4-DV”; графоаналітичної обробки ліній текстури на мікрошліфах. Контактні явища, сила різання, шорсткість поверхні, залишкові напруження в поверхневому шарі деталей вивчались із залученням відомих методик та приладів. Деформаційне зміцнення досліджуваних матеріалів виконувалось за допомогою багатоступеневого одноосного стискування зразків, а також одно- та кількациклового деформуючого протягування тврдосплавним інструментом.

**Результати дослідження.** Раніше нами було встановлено [3–6], що попереднє холодне деформаційне зміцнення (ХДЗ) суттєво знижує роботу деформації при обробці пластичних матеріалів різанням. Це має привести до зменшення коефіцієнта усадки стружки, сил і температури різання, поліпшення напружено-деформованого стану (НДС) зони стружкоутворення і, як наслідок, до покращення оброблюваності металевих матеріалів, здатних зміцнюватись холодною деформацією, а також набуття виробами з останніх високих фізико-механічних та службових властивостей.

Це підтверджується поданими, як приклад, на рис. 1 результатами досліджень НДС при вільному ортогональному різання сталі 10 у незміщеному стані та після попереднього ХДЗ.

Аналіз цих даних показує наступне. Попереднє ХДЗ сталі з деформація-ми  $\varepsilon$  порядку 0,1–1 викликає при її обробці різанням зменшення коефіцієнта усадки стружки у 1,5–2 рази, а радіуса округлення тіла наросту у 1,5–5 раз; наближення дійсного переднього кута до переднього кута інструмента на 5–15°; до повороту зони стружкоутворення через збільшення кута зсуву на 5–15° і зменшення її ширини по хорді зовнішньої границі у 4–10 раз, а довжини у 1,5–2 рази; до зростання опору зсуву на початковій границі зони стружкоутворення у 1,5–2 рази при практично незмінних значеннях цього опору на кінцевій границі зони. Застосування попереднього ХДЗ приводить до різкого

зниження інтенсивності процесу наростоутворення, що дозволяє використувати цей захід як ефективний метод боротьби з негативними властивостями наросту.

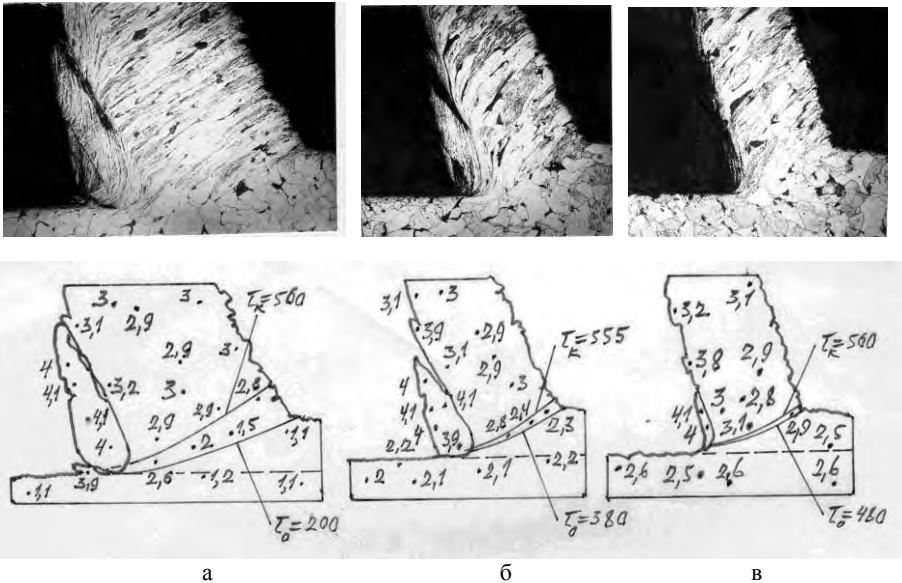


Рисунок 1 – Результати дослідження методами мікроструктурного аналізу (x50) і мікротвердості зони стружкоутворення при вільному ортогональному різанні сталі 10 у незміцненому (а – HV 1,1 ГПа) та після ХДЗ (б –  $\varepsilon = 0,25$ ; HV 2,1 ГПа; в –  $\varepsilon = 0,95$ ; HV 2,6 ГПа) стані:  $v = 0,15$  м/с,  $S_z = 0,15$  мм; різець – сталь Р6М5;  $\gamma = 15^\circ$ ;  $\rho = 0,008$  мм; МОР – сульфозфрезол; розмірності характеристик НДС:  $H_\mu$  – ГПа;  $\eta$ ,  $\eta_k$  – МПа

Щодо фізичної природи явища наростоутворення наше дослідження при протягуванні показало наступне.

Формування тіла наросту відбувається на початковій ділянці протягування з певного об'єму оброблюваного матеріалу (ОМ), який переходить під дією деформацій зсуву і стиску в пластичний стан, і практично закінчується після повного включення зубця протяжки у роботу. Довжину цієї ділянки можна визначати за характерним збільшенням товщини стружки на початку її валіка. На початковій ділянці протягування відбувається формування клиноподібної зони стружкоутворення. При цьому НДС ОМ біля різальної кромки таке, що матеріал, перетворюючись у наріст, набуває деформацій відносного зсуву  $\varepsilon = 20-50$  незалежно від ступеня зміцнення. Графоаналітична обробка ліній текстури на «коренях стружки» показує, що вказані значення деформацій на порядок вищі первинних деформацій зсуву у стружці ( $\varepsilon = 1,5-5$ ). Характерно, що і мікротвердість наросту значно перевищує мікротвердість струж-

ки і не залежить від ступеня зміцнення ОМ. Так, при протягуванні сталі 10 це перевищення досягає 30–35% (відповідно 3,8–4,1 ГПа і 2,8–3,1 ГПа). Відмінність процесів наростоутворення при різанні незміцненого і зміцненого металу полягає в розмірах і об'ємі тіл наросту (див. рис. 1).

На ділянці стабільного протягування (між ділянками входу і виходу інструменту) тіло наросту перебуває в пружному стані, оскільки напруження, що діють на його передній та задній поверхнях, завдяки надзвичайно високому градієнту зміцнення матеріалу наросту недостатні для переведення останнього у пластичний стан. Навпаки, у контактному шарі стружки і поверхневому шарі деталі, які межують з наростом, відбуваються глибокі пластичні деформації, про що свідчить текстура, що виникає в них, і зростання мікротвердості. Так, в зоні вторинної деформації стружки значення мікротвердості наближаються до значень мікротвердості наросту.

Результати досліджень дозволили відповісти на одне з основних питань учення про наріст – чому можливим в принципі є різання певного матеріалу наростом з того ж матеріалу. Сталь 10, що використовувалась в даному дослідженні, мала структуру із зернами фериту 4–5 балів (40–80 мкм), оточеними карбідною сіткою з невеликою кількістю зерен перліту розміром 15–30 мкм. Це створило зручності для вивчення мікроструктур на оптичному і растровому електронному мікроскопах.

Вивчення мікрофотографій «коренів стружки» показало, що ОМ, перетворюючись у наріст під дією великих пластичних деформацій, зберігає свою структуру. Тіло наросту складається із сильно витягнутих зерен фериту, оточених карбідною сіткою, що повністю збереглася, і дещо менш деформованих зерен перліту. Характеристичні лінії заліза на мікро-рентгеноспектрограмах сталі 10 у початковому стані, після зміцнення, у стружці і у тілі наросту повністю співпадають. На досліджених зразках не виявлено ніяких ознак структурних або хімічних перетворень, а також наслідків інтенсивної теплової дії.

Такими чином, наріст має ту саму структуру і хімічний склад, що і ОМ у початковому стані. Так, мікротвердість наросту у 3–5 раз перевищує мікротвердість ОМ. Тим не менше, виняткові для звичайних конструкційних і маловуглецевих сталей фізико-механічні і різальні властивості наросту мають виключно деформаційну природу.

Більшість дослідників (Я.Г. Усачов, О.М. Розенберг, М.М. Зорев, М.Ф. Полетика та ін.) відзначають подвійну – позитивну і негативну роль наросту у процесі різання. З одного боку, наріст захищає найбільш уразливу частину інструменту – різальну кромку і прилегли до неї ділянки передньої та задньої поверхонь від зношування, теплових перевантажень і надмірних контактних напружень. Крім того, збільшуючи передній кут, тобто, зменшуючи кут різального клину, наріст поліпшує НДС процесу. Проте, тут слід зауважити, що одночасне значне збільшення радіуса округлення кромки наросту спричиняє зворотній процес. З іншого боку, нульові значення заднього кута і

періодичні зриви частинок тіла наросту та їх відхід через задню поверхню (ЗП) різко погіршують характеристики якості обробленої поверхні (ОП): шорсткість, точність та фізико-механічні властивості. Сказане підтверджується мікрофотографіями «кореня стружки» при вільному ортогональному різанні сталі 10 у незміщеному стані, отриманими за допомогою растрового електронного мікроскопу скануючого аналізатора «Camscan 4-DV» (рис. 2).

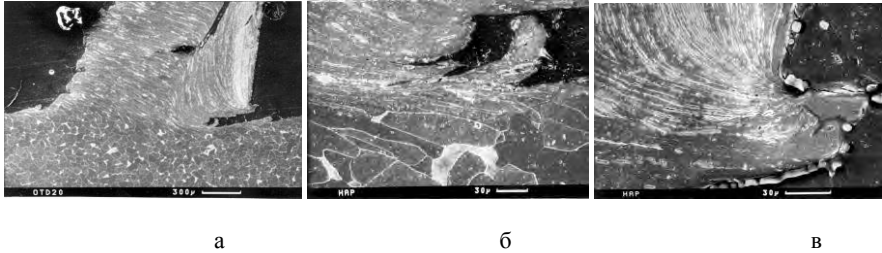


Рисунок 2 – Мікрофотографії зони стружкоутворення при вільному ортогональному різанні сталі 10 у не зміщеному стані ( $HV = 1,1$  ГПа;  $v = 0,15$  м/с;  $S_z = 0,25$  мм; різець – сталь Р6М5;  $\gamma = 15^\circ$ ;  $\rho = 0,008$  мм; МОР – сульфозрезол): а – загальний план зони стружкоутворення; б – частинка наросту, що залишилась на ОП; в – частинка наросту, що нависає над ЗП інструменту.

Вивчення зони стружкоутворення, поданої на мікрофотографіях наведених вище, дозволяє стверджувати наступне. Частинки наросту, що залишаються на ОП (див. рис. 2а і 2б) з певною періодичністю, стають, по-перше, вершинами виступів на цій поверхні, тобто формують характерну для низькошвидкісних процесів різання (протягування, стругання, довбання тощо) «лускатість» чи «крокодилячу шкіру». У наведеному прикладі вершини лусочок утворювались з кроком 0,47–0,49 мм при висоті мікровиступів 35–40 мкм. По-друге, ці частинки наросту, руйнуючись приблизно навпіл, генерують абразивний матеріал високої твердості, що разом з «лускатістю» погіршує якість ОП. Ще одним наслідком процесу наростоутворення є зависання його частини над ЗП інструменту (див. рис. 2в). У цьому випадку, захищаючи останній від зношування, нарост у той же час створює нульові значення заднього кута, тобто ініціює інтенсивне тертя та адгезійні явища у контактній зоні системи «інструмент–ОП».

Взаємозв'язок явищ при різанні матеріалів після ХДЗ схематично подано на рис. 3.

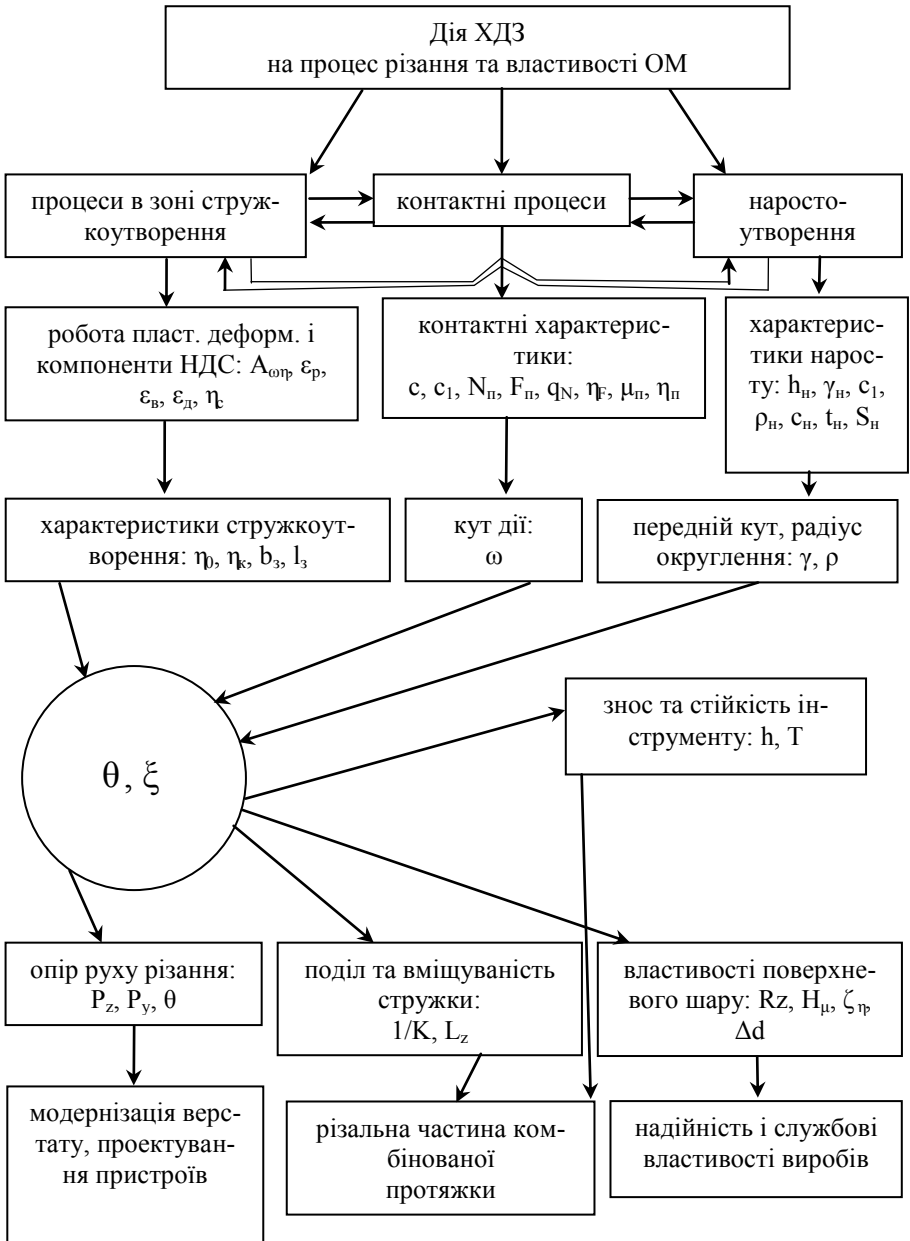


Рисунок 3 – Схема взаємозв'язку явищ при різанні металу, зміцненого холодною деформацією

Позначення характеристик на рисунку 3:

$A_{от}$  – питома робота пластичної деформації;

$\varepsilon_p$  – відносний зсув;

$\varepsilon_e$  – головна деформація відносного видовження;

$\varepsilon_0$  – головна деформація дійсного видовження;

$\tau_c$  – максимальні напруження в зоні стружкоутворення;

$c, c_1$  – загальна довжина і довжина пластичної ділянки контакту стружки з передньою поверхнею (ПП);

$N_n, F_n$  – нормальна сила і сила тертя на ПП;

$q_N, \tau_F$  – контактний тиск і питома сила тертя на ПП;

$\mu_n, \eta_n$  – середній коефіцієнт тертя та кут тертя на ПП;

$\tau_0, \tau_k$  – опір зсуву на початковій та кінцевій границях зони стружкоутворення;

$b_3, l_3$  – ширина зовнішньої границі зони стружкоутворення та довжина останньої;

$h_n, \gamma_n, \rho_n, c_n, t_n, S_n$  – характеристики наросту відповідно: висота, передній кут, радіус округлення, довжина контакту зі стружкою, висота нависання над ЗП і площа у поперечному перерізі;

$\omega, \gamma, v$  – кути дії, передній і зсуву;

$\rho$  – радіус округлення різального клину;

$\xi$  – коефіцієнт усадки стружки;

$h, T$  – ширина фаски зносу по задній поверхні інструменту та стійкість останнього;

$P_z, P_y, \theta$  – складові сили та температура різання;

$1/K, L_z$  – допустимі коефіцієнт заповнення стружкової канавки та довжина протягування;

$Rz, H_v, \sigma, \Delta d$  – властивості поверхневого шару після деформуюче-різальної обробки відповідно: параметр шорсткості, мікротвердість, залишкові напруження, усадка (розбивка) отвору.

Зміна властивостей ОМ деформаційним зміцненням впливає на узагальнюючі критерії оброблюваності через процеси у зоні стружко-утворення, контактні процеси на ПП та наростоутворення. Зниження величини роботи пластичної деформації у зоні стружкоутворення і зменшення об'єму останньої приводять до збільшення кута зсуву за рахунок повороту цієї зони. ХДЗ ОМ впливає також на контактні процеси. Так, зниження інтенсивності адгезійних процесів і сили тертя на ПП приводять до зменшення коефіцієнта тертя удвоє. Це зближує вектори сили стружкоутворення і швидкості різання, тобто зменшує кут дії. Деформаційне зміцнення ОМ призводить до різкого зниження інтенсивності наростоутворення, яке полягає у зменшенні об'єму тіла наросту і наближенні переднього кута та радіуса округлення останнього до відповідних характеристик гостро заточеного інструменту.

Отже, ХДЗ ОМ викликає зміну усіх факторів, що безпосередньо сильно впливають на процес різання: властивостей матеріалу, кута дії та переднього



кута. Через кут зсуву і деформацію зрізуваного шару ці фактори діють на усі узагальнюючі критерії оброблюваності: опір руху різання, поділ та вміщуваність стружки, знос та стійкість інструменту, якість та властивості поверхнього шару. При цьому зміна усіх основних характеристик процесу різання: сил і температури, допустимого ступеню заповнення стружкової канавки і допустимої довжини протягування, стійкості інструменту, геометричних, фізико-механічних та службових властивостей ОП і виробу в цілому свідчать про позитивний вплив ХДЗ Ом на його оброблюваність.

У процесі дослідження вивчалась також взаємодія деформуючого елемента (ДЕ) та різального зуба при комбінованому протягуванні трубчастих деталей. Виявилось, що розміщення зуба протяжки відносно ДЕ суттєво впливає на усі характеристики процесу різання, які залежать від двох наступних факторів. По-перше, це дійсна товщина зрізу, що визначається радіальним переміщенням поверхні отвору в зоні хвилі позаконтактної деформації (ХПД), яка обов'язково супроводжує рух ДЕ. По-друге, на процес різання впливає фактор змінної твердості по товщині стінки деталі після проходження ДЕ. Однак, дією останнього фактору допустимо знехтувати через незначну товщину текстурованого шару.

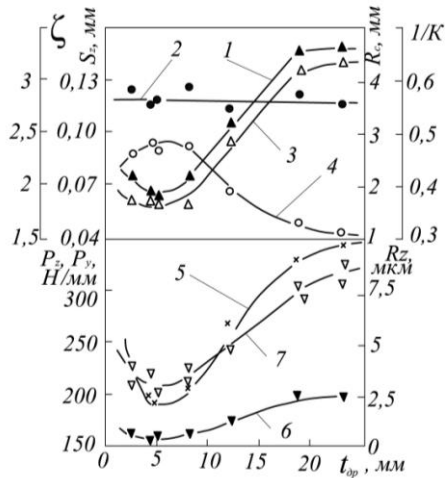


Рисунок 4 – Залежності характеристик процесу різання і ОП від відстані  $t_{op}$  між ДЕ і зубом при протягуванні ступок із сталі 20Г зі швидкістю 0,15 м/с; МОР – сульфорезол: 1– товщина зрізу  $S_z$ ; 2 – коефіцієнт усадки стружки  $\zeta$ ; 3 – радіус валика стружки  $R_c$ ; 4 – допустимий ступінь заповнення стружкової канавки  $1/K$ ; 5, 6 – відповідно осьова  $P_z$  і радіальна  $P_r$  складові сили протягування; 7 – параметр  $R_z$  шорсткості ОП. Характеристики ХПД:  $l_2 = 5,6$  мм;  $l_3 = 19,0$  мм. Геометричні параметри зуба:  $\gamma = 15^\circ$ ;  $\alpha = 3^\circ$ ; глибина стружкової канавки  $h_c = 5$  мм.

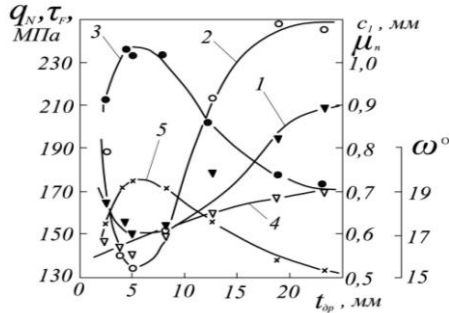


Рисунок 5 – Залежності контактних характеристик процесу різання від відстані  $t_{dp}$  між ДЕ і зубом при протягуванні ступок із сталі 20Г зі швидкістю 0,15 м/с; МОР – сульфозфрезол: 1 – загальна довжина контакту стружки з ПП зуба  $c_f$ ; 2 – середній контактний тиск  $q_N$ ; 3 – середній коефіцієнт тертя на ПП зуба  $\mu_n$ ; 4 – середнє контактне тангенціальне напруження  $\tau_T$ ; 5 – кут дії  $\omega$ . Характеристики ХПД:  $l_2 = 5,6$  мм;  $l_3 = 19,0$  мм. Геометричні параметри зуба:  $\gamma = 15^\circ$ ;  $\alpha = 3^\circ$ ; глибина стружкової канавки  $h_c = 5$  мм.

Із поданих на рис. 4 і рис. 5 експериментальних даних витікає наступне.

Більша частина факторів процесу різання у позаконтактній зоні має екстремальний характер. Найменша товщина зрізу відповідає найбільшому переміщенню поверхні деталі в зоні ХПД. При віддаленні зуба в обидва боки від максимуму хвилі радіальне переміщення цієї поверхні зменшується, тому товщина зрізу зростає. За межами позаконтактної зони товщина зрізу не залежить від відстані між ДЕ та зубом. Подібний характер мають залежності радіуса валика стружки, складових сили різання, шорсткості ОП, загальної довжини контакту стружки з ПП зуба та середнім контактним тиском на цій поверхні. Їх характер визначається зміною залежності товщини зрізу, причому у мінімумі кривих помітно посилюється вплив ХДЗ. Коефіцієнт усадки стружки у позаконтактній зоні та за її межами залишається незмінним, оскільки незмінною є швидкість різання, а дії товщини зрізу і ХДЗ на усадку взаємно нівелюються. При наближенні зуба до максимуму хвилі поліпшуються умови вміщуваності стружки у канавках протяжки, що свідчить про позитивний вплив зменшення товщини зрізу і зростання ступеня ХДЗ на допустимий ступінь заповнення канавки. Середнє контактне тангенціальне напруження не суттєво залежить від відстані між ДЕ та зубом, що узгоджується з положенням М.Ф. Полетики про незалежність цієї характеристики від більшості факторів, що впливають на процес різання. Криві, що описують зміну середнього коефіцієнта тертя і середнього контактного тиску мають чітко виражені екстремуми. При постійному значенні переднього кута в наших експериментах в залежності для кута дії і коефіцієнта тертя корелюють.

### Висновки.

Встановлено, що оброблюваний матеріал, перетворюючись у наріст під дією великих пластичних деформацій, зберігає свою структуру; при цьому у тілі нарісту не виявлено ніяких структурних та хімічних перетворень, а також наслідків інтенсивної теплової дії, впливу середовища та хімічного складу інструментального матеріалу. Таким чином, виняткові для оброблюваний

матеріалів фізико-механічні і різальні властивості наросту мають виключно деформаційну природу.

Визначені наступні основні способи управління процесом наростоутворення при різанні: вплив на властивості ОМ попереднього холодного пластичного деформування, термообробки (поліпшення) або поєднання цих процесів; оптимізація геометричних параметрів інструменту, в першу чергу, кута різання та форми передньої поверхні; вплив на температуру процесу через режими різання, зокрема швидкості різання; управління контактними явищами та процесом тертя застосуванням ефективних МОР, спеціальних покриттів та плівок на робочих поверхнях інструмента та оптимізації заточування останнього. Встановлено, що найбільш ефективним з цих способів є холодне деформаційне зміцнення ОМ.

Зміна властивостей ОМ деформаційним зміцненням впливає на узагальнюючі критерії оброблюваності через процеси у зоні стружко-утворення, контактні процеси на ПП та наростоутворення. ХДЗ ОМ викликає зміну усіх факторів, що безпосередньо сильно впливають на процес різання: властивостей матеріалу, кута дії та переднього кута. Через кут зсуву і деформацію зрізуваного шару ці фактори діють на усі узагальнюючі критерії оброблюваності: опір руху різання, поділ та вміщуваність стружки, знос та стійкість інструменту, якість та властивості поверхневого шару. При цьому зміна усіх основних характеристик процесу різання: сил і температури, допустимого ступеню заповнення стружкової канавки і допустимої довжини протягування, стійкості інструменту, геометричних, фізико-механічних та службових властивостей ОП і виробу в цілому свідчать про позитивний вплив ХДЗ ОМ на його оброблюваність.

Результати дослідження можуть бути використані при створення процесу комбінованого деформуєче-різального протягування деталей типу гільз. Кожна окрема секція протяжного інструменту повинна складатися з групи: «деформуєчий елемент – 2–3 різальні зубці», при цьому останні працюють за схемою –мінного різання. Позитивна дія ХДЗ на процес різання та властивості ОМ повинна враховуватись при модернізації верстату та проектуванні пристроїв, а також при визначенні надійності та службових властивостей виробів.

**Список використаних джерел:** 1. Усачев Я.Г. Явления, происходящие при резании металлов / Я.Г. Усачев // Русские ученые – основоположники науки о резании металлов: Монография / Под ред К.П. Панченко. – М.: Машгиз, 1952. – С. 356–384. 2. Розенберг А.М. Элементы теории процесса резания металлов: Монография / А.М. Розенберг, А.Н. Еремин. – Москва–Свердловск: Машгиз, 1956. – 320 с. 3. Качество поверхности обработанной деформирующим протягиванием / А.М. Розенберг, О.А. Розенберг, Э.И. Гриценко, Э.К. Посвятенко. – К.: Наук. думка, 1977. – 188 с. 4. Посвятенко Э.К. Исследование характеристик процесса резания при деформирующе-режущем протягивании / Э.К. Посвятенко, И.В. Лунгол // Повышение эффективности протягивания. – Рига: Рижский. политехн. ин-т, 1988. – С. 64–74. 5. Посвятенко Э.К. Наростообразование при протягивании стали, упрочненной холодной деформацией / Э.К. Посвятенко, И.В. Лунгол // Резание и инструмент в технологических системах: междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: ХГПУ. – 1997. – Вып. 51. – С. 195–198. 6. Серета Л.П. Основи розробки ресурсозберігального процесу та комбінованого інструменту для отримання якісних поверхонь глибоких отворів гільз гідроциліндрів / Л.П. Серета, Р.В. Будяк // Промислова гідраліка і пневматика. – 2010. – № 4. – С.84–88.

*Поступила в редакцію 15.06.2012*