

УДК 621.91

**Е. Посвятенко**

Професор, докт. техн. наук

**Н. Посвятенко**

Доцент, канд. техн. наук

Національний транспортний  
університет,  
м. Київ

## ДО МЕХАНІКИ КОМБІНОВАНОГО ПРОТЯГУВАННЯ

*Встановлено, що наріст, який виникає при різанні металевих матеріалів, має виключно деформаційну природу. Визначено, що основним способом керування наростоутворенням є попереднє холодне деформаційне зміцнення оброблюваного матеріалу. Запропоновано схему взаємозв'язку явищ при різанні металу, зміцненого холодною деформацією. Отримані результати можуть бути використані у процесах виготовлення деталей типу гільз з високим рівнем службових властивостей.*

**наріст, комбіноване протягування, холодне пластичне деформування, оброблена поверхня, деформувально-різальна протяжка**

**Вступ.** Відомо, що маловуглецеві леговані сталі відзначаються незадовільною оброблюваністю на низьких швидкостях різання [1]. До таких сталей належать: вуглецеві сталі типу сталь 10, сталь 20, сталь 35 і їм подібні; низьколеговані типу сталь 10ГН, сталь 20Х, сталь 20Г тощо; аустенітні сталі типу сталь 12Х18Н10Т, а також деякі інші. У процесах обробки, коли з технологічних міркувань неможливо підвищити швидкість різання (протягування, стругання, довбання, різе- та зубонарізання) обов'язково існує наріст. Функції цього явища, як це витікає з джерел літератури [2, 3], – подвійні. По-перше, наріст захищає найбільш уразливу частину різального інструмента – клин, від зношування та руйнування. По-друге, наріст погіршує якість обробленої поверхні (ОП), зокрема, шорсткість останньої.

Виходячи зі сказаного, автори сформулювали мету дослідження – знаходження найбільш ефективних шляхів керування наростом при надзвичайно продуктивному низькошвидкісному способі обробки матеріалів різанням – внутрішньому протягуванні глибоких отворів.

Перш за все, треба було відповісти на питання – чи можливе взагалі різання наростом при товщині зрізу порядку 0,01 – 0,03 мм. Думки відомих дослідників з цього питання різняться. До позитивної відповіді схилиється Д. К. Маргуліс у своїх працях, що стосуються

різального протягування [4]. Інші автори відповідають на це питання негативно. Проте, оскільки проблема має особливо важливе значення для проектування напівчистої та чистої частини протяжки, нами були поставлені відповідні дослідження.

**Методика та результати дослідження.\*** Попередні наші праці в цьому напрямі показали, що найбільш ефективним способом дії на наростоутворення є холодне деформаційне зміцнення (ХДЗ) сталі, зокрема, деформувальне протягування (дорнування) [5, 6]. Крім іншого, таке поєднання безстружкового та стружкоутворювального процесів дає можливість створити принципово новий інструмент – комбіновану деформувально-різальну протяжку.

На рис. 1 показано процес вільного ортогонального різання незміцненої сталі 35 при товщині зрізу 0,03 мм. У цих умовах коефіцієнт усадки стружки складає  $\xi=1,65$  при передньому куті  $\gamma_n=29^\circ$  і радіусі заокруглення різальної крайки наросту  $\rho_n=0,03$  мм. Відповідні значення переднього кута і радіуса заокруглення різальної крайки гострозаточеного інструмента:  $\gamma=13^\circ$  і  $\rho=0,008$  мм.

Наведені експериментальні дані свідчать про те, що навіть при малій товщині зрізу наріст не втрачає своїх

\* У дослідженні брав участь асистент Р. Будяк.

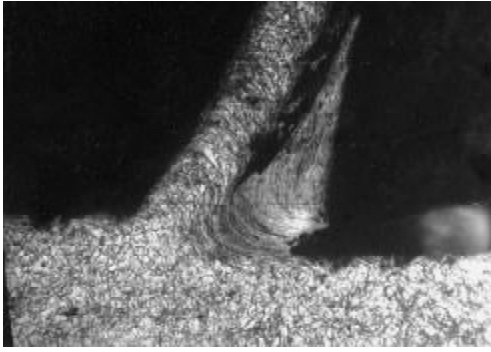


Рис. 1. Мікроструктура (x50) зони стружкоутворення при вільному ортогональному різанні сталі 35 у незміщеному стані ( $HV 187$ ):  $v=0,15$  м/с,  $S_z=0,03$  мм; різець – сталь Р6М5;  $g=13^\circ$ ;  $\rho=0,008$  мм;  $g_n=29^\circ$ ;  $\rho_n=0,03$  мм;  $\xi=1,65$ ; МОР – сульфозфрезол

різальних властивостей. Попереднє ХДЗ знижує ці властивості, проте, хоч істотно зменшує передній кут та радіус заокруглення наросту, залишає за останнім різальну роль. В умовах застосування ХДЗ, тобто в напівчистових і чистових процесах різального протягування, переважає абразивна форма механічного зношування.

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

З поданих на рис. 2 і рис. 3 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 холодної пластичної деформації (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 передньою поверхнею (ПП) зуба та середнім контактним тиском на цій поверхні. Їхній 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 змен-

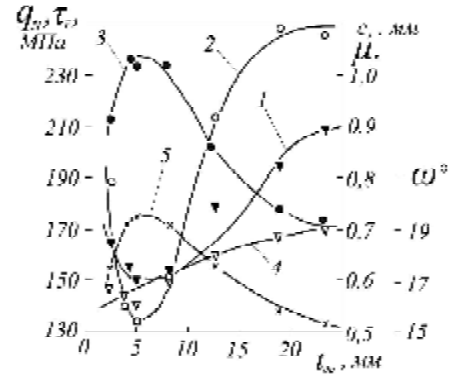


Рис. 2. Залежності контактних характеристик процесу різання від відстані  $t_{op}$  між ДЕ і зубом при протягуванні ступок із сталі 20Г зі швидкістю 0,15 м/с; МОР – сульфозфрезол: 1 – загальна довжина контакту стружки з ПП зуба  $s_c$ ; 2 – середній контактний тиск  $q_n$ ; 3 – середній коефіцієнт тертя на ПП зуба  $\mu_n$ ; 4 – середнє контактне тангенціальне напруження  $\tau_n$ ; 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

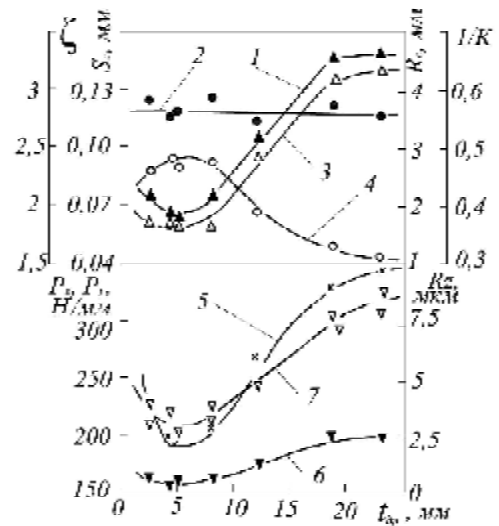
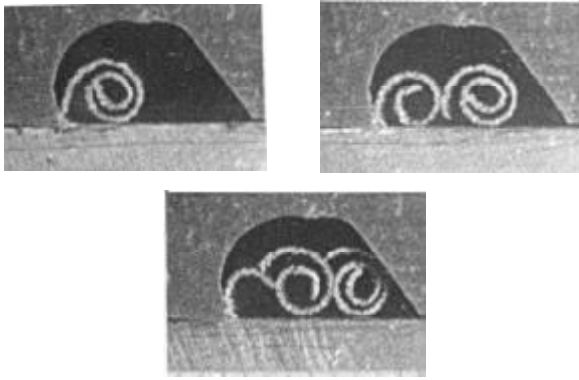


Рис. 3. Залежності характеристик процесу різання і ОП від відстані  $t_{op}$  між ДЕ і зубом при протягуванні ступок зі сталі 20Г зі швидкістю 0,15 м/с; МОР – сульфозфрезол: 1 – товщина зрізу  $S_z$ ; 2 – коефіцієнт усадки стружки  $\xi$ ; 3 – радіус валика стружки  $R_z$ ; 4 – допустимий ступінь заповнення стружкової канавки  $1/K$ ; 5, 6 – відповідно осьова  $P_z$  і радіальна  $P_y$  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

шення товщини зрізу і зростання ступеня ХДЗ на допустимий ступінь заповнення канавки. Середнє контактне тангенціальне напруження не істотно 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 контактного тиску, мають чітко виражені екстремуми. При сталому значенні переднього кута в наших експериментах у залежності для кута дії і коефіцієнта тертя корелюють.

Нижче наведено результати дослідження стадій формування стружки в стружкових канавках двозубого різця

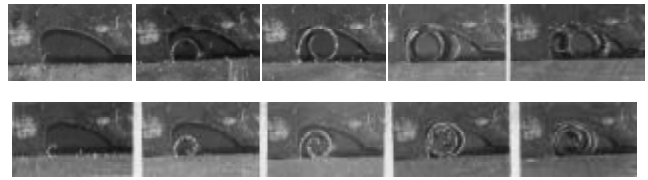


**Рис. 4.** Окремі стадії формування валика стружки в стружковій канавці глибиною  $h_c = 5$  мм (x2) при протягуванні незміцненої сталі 40X ( $HV 210$ ) з товщиною зрізання  $0,05$  мм при довжині різання зліва направо відповідно 30; 40 і 50 мм:  $v=0,15$  м/с; різець двозубий – сталь Р6М5; канавка стандартна, однорадіусна з кроком  $t_c=10$  мм;  $\gamma=15^\circ$ ;  $\alpha=1^\circ$ ;  $\xi=0,008$  мм; МОР – сульфозфрезол

при ортогональному різанні високопластичних сталей 10; 10ГН; 20Г і 35, що застосовуються при виготовленні деталей типу гідроциліндрів. Двозубий різець, як це доведено В. П. Деледівкою [7], добре моделює різальну частину внутрішньої протяжки, процеси в якій неможливо дослідити безпосередньо. Ще один пластичний матеріал – середньовуглецеву леговану сталь 40X в подальшому не вивчали з позицій формування стружки з наступної причини. Сталь 40X, що має феритно-перлітну структуру, дає неміцну суглобисту зливну стружку, яка легко ламається в стружкових канавках протяжки, що видно з наведених на рис. 4 окремих стадій формування. Тому при різальному протягуванні ця сталь не є проблемною і з цієї причини далі не вивчалась.

На рис. 5 показано окремі стадії формування валика стружки в однорадіусних стандартних канавках двозубого різця глибиною 3 мм і кроком 10 мм при протягуванні незміцненої сталі 10ГН (верхній ряд) і зміцненої сталі 10ГН (нижній ряд). Обробка цієї та інших пластичних сталей дослідженого ряду у зміцненому ХДЗ стані характерна утворенням кількох витків на валіку стружки ще до контакту з дном канавки. При збільшенні довжини протягування діаметр валіка стає рівним глибині канавки і в подальшому залишається незмінним. Його щільність збільшується за рахунок зменшення зазору між витками. У момент досягнення граничної довжини протягування (допустимого ступеня заповнення стружкової канавки) валік починає деформуватися, а його форма стає еліптичною. Протягування незміцнених сталей дослідженого ряду в однорадіусних стандартних канавках супроводжується формуванням лиш одного витка на валіку стружки. На початку утворення другого витка валік деформується, сплющується і, як правило, руйнується. Оскільки ці явища супроводжуються підвищенням сили протягування і характеристик шорсткості ОП, в даний момент слід фіксувати граничну довжину протягування і допустимий ступінь заповнення стружкової канавки.

Процес протягування зміцнених попереднім ХПД сталей нагадує процес формування валіка стружки при



**Рис. 5.** Окремі стадії формування валіка стружки (x2) в однорадіусних стандартних канавках двозубого різця глибиною 3 мм і кроком 10 мм при протягуванні незміцненої сталі 10ГН ( $H_n=1,9$  ГПа – верхній ряд; максимальна довжина протягування 120 мм) і зміцненої ХПД сталі 10ГН ( $H_n=2,5$  ГПа – нижній ряд; максимальна довжина протягування 155 мм):  $v=0,15$  м/с; різець двохзубий – сталь Р6М5;  $\gamma=15^\circ$ ;  $\alpha=1^\circ$ ;  $x=0,008$  мм; МОР – сульфозфрезол

протягуванні незміцнених сталей на заключній стадії. З рис. 5 витікає, що попереднім ХДЗ можна збільшити при протягуванні сталі 10ГН допустимий ступінь заповнення стружкової канавки до 35% (зі 115 до 155 мм).

У результаті дослідження, що відображають вплив ХДЗ ОМ на допустимий ступінь заповнення стружкової канавки при протягуванні для пластичних сталей досліджуваного ряду для різних товщин зрізування і глибин канавок, видно, що холодним деформаційним зміцненням можна підвищити  $1/K$  з  $0,17 - 0,32$  до  $0,65$ .

**Висновки.** Деформуюче протягування слід використовувати як засіб холодного деформаційного зміцнення трубчастих деталей з кінцевою товщиною стінки з пластичних конструкційних сталей, оскільки цей процес зміцнює їхню серцевину на 30 – 45%, а поверхневий шар товщиною до 0,2 мм – на 90 – 130%.

Оброблюваний матеріал, перетворюючись у наріст під дією великих пластичних деформацій, зберігає свою структуру; при цьому у тілі наросту не виявлено ніяких структурних та хімічних перетворень, а також наслідків інтенсивної теплової дії, впливу середовища та хімічного складу інструментального матеріалу. Таким чином, виняткові для оброблюваних матеріалів фізико-механічні і різальні властивості наросту мають виключно деформаційну природу.

Основним і найбільш ефективним способом керування процесом наростотворення при низькошвидкісному різанні є вплив на властивості ОМ попереднього холодного деформування.

При низькошвидкісному різанні незміцненого пластичного матеріалу існують два види механічного зношування, що конкурують, – адгезійне і абразивне при високій шорсткості ОП. Природа гребінців («крокодилячої шкіри»), головним чином, полягає у періодичному виникненні останніх завдяки наростові. Вершини гребінців взаємно зношуються з абразивними частинками, утвореними наростом. При попередньому холодному зміцненні переважає абразивне зношування, яке при деформаціях понад 5 – 20 стає домінуючим. Шорсткість ОП при цьому падає на 1 – 2 порядки.

Зміна властивостей ОМ деформаційним зміцненням впливає на узагальнюючі критерії оброблюваності через процеси у зоні стружкоутворення, контактні процеси на передній поверхні та наростотворення. Холодне деформаційне зміцнення ОМ викликає зміну усіх факторів, що

безпосередньо сильно впливають на процес різання: властивості матеріалу, кут дії та передній кут. Через кут зсуву і деформацію зрізаного шару ці фактори діють на усі узагальнюючі критерії оброблюваності: опір руху різання, поділ та вміщуваність стружки, знос та стійкість інструмента, 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 інструмента, геометричних, фізико-механічних та службових властивостей ОП і виробу в цілому свідчать про позитивний вплив ХДЗ ОМ на його оброблюваність.

Допустимий ступінь заповнення стружкової канавки при протягуванні деталей з пластичних сталей дослідженого ряду для різної товщини зрізування і глибин канавок, використовуючи ХПД, можна підвищити з 0,17 до 0,65.

Наведені вище результати слід використовувати при створенні процесу комбінованого деформувально-різального протягування деталей типу гільз. Кожна окрема секція протягувального інструмента повинна складатися з групи: «деформувальний елемент (ДЕ) – 2 – 3 різальні зубці», при цьому останні працюють за схемою змінного різання. Різальні зубці слід розміщувати зразу ж за хвилиною позаконтактної деформації від ДЕ, щоб унеможливити негативний вплив роботи останнього на «вході – виході» інструмента, що може призвести до погіршення якості ОП. Позитивна дія ХДЗ на процес різання та властивості ОМ повинна враховуватись при модернізації верстата і проектуванні пристроїв, а також при визначенні надійності та службових властивостей виробів.

1. Усачев Я.Г. Явления, происходящие при резании металлов // Русские ученые – основоположники науки о резании металлов: Монография / Под ред К.П. Панченко. – М.: Машгиз, 1952. – С. 356–384.

2. Розенберг А.М., Еремин А.Н. Элементы теории процесса резания металлов. – М.–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. Маргулис Д.К. Протяжки переменного резания. – М.–Свердловск: Машгиз, 1962. – 269 с.

5. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. – К.: Наук. думка, 1990. – 320 с.

6. Проскураков Ю.Г., Романов В.Н., Исаев А.Н. Объемное дорнование отверстий. – М.: Машиностроение, 1984. – 224 с.

7. Розенберг А.М., Розенберг О.А., Деледидка В.П. Твердосплавные режущие прошивки для обработки точных отверстий в деталях из чугуна. – К.: УкрНИИТИ, 1968. – 36 с.

30.10.2012

*E. Posviatenko, N. Posviatenko*

**To mechanics of the combined pulling**

*National Transport University, Kyiv*

*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.*

## Інформація

### IX Международная конференция СТРАТЕГИЯ КАЧЕСТВА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ОБРАЗОВАНИИ

31 мая – 07 июня 2013 г.

Технический университет-Варна, Болгария

#### 1. Качество в промышленности:

- теоретические и прикладные результаты научных исследований, инновационные разработки и технологии для базовых отраслей промышленности;
- современные технологии и оборудование для предприятий металлургии и машиностроения, обеспечение качества и конкурентоспособности продукции;
- перспективные конструкционные материалы и перспективные технологии обработки материалов;
  - энергосберегающие технологии в промышленности;
  - экология и охрана окружающей среды;
- вопросы стандартизации, оценки соответствия и аккредитации в промышленности.

#### 2. Качество в образовании.

#### 3. Информационные технологии в промышленности и образовании.

#### 4. Теоретические и прикладные аспекты развития экономической теории и ее инновационно-инвестиционный потенциал в сферах техники, технологии, технического регулирования и обеспечения качества.

#### Контактная информация

Тел. +38 056 372-79-74; факс +38 0562 36-07-64

E-mail: [st@gipo.dp.ua](mailto:st@gipo.dp.ua)