

УДК 621.9

# ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО- МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОВЕРХНІ ГІЛЬЗ ПІСЛЯ ПРОТЯГУВАННЯ

**В. М. Бандура**

Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра «Процеси та обладнання  
переробних і харчових виробництв»\*

E-mail: vibration\_vin@mail.ru

**Р. В. Будяк**

Асистент\*

E-mail: vibration\_vin@mail.ru

\*Вінницький національний  
аграрний університет  
вул. Сонячна, 3, м. Вінниця,  
Україна, 21008

*Проведено експериментальні дослідження комбіновано-го протягування на сталях 10 і 35. Значення коефіцієнтів тертя на задній поверхні різального інструменту при протягуванні незміцнених сталей вибраного діапазону знаходиться в межах 0,5 – 0,7. Попереднє холодне деформаційне зміцнення знижує ці значення приблизно вдвоє (до 0,2 – 0,35). При цьому інтенсивність текстуроутворення різко падає. Перспективною з позицій якості обробленої поверхні є схема елементарної комірочки протяжки «деформуючий елемент – двох- трьохзуба різальна секція»*

*Ключові слова: сталь, різання, протяжка, текстура, зміцнення, мікротвердість, коефіцієнт тертя, комірочка, секція*

*Проведены экспериментальные исследования комбинированного режущего протягивания на сталях 10 и 35. Значение коэффициентов трения на задней поверхности режущего инструмента при протягивании неупрочненных сталей выбранного диапазона находится в пределах 0,5 – 0,7. Предыдущее холодное деформационное упрочнение уменьшает эти значения приблизительно вдвое (до 0,2 – 0,35). При этом интенсивность текстурирования резко падает. Перспективной с позиции качества обрабатываемой поверхности есть схема элементарной ячейки протяжки «деформирующий элемент – двух- трехзубая режущая секция»*

*Ключевые слова: сталь, резание, протяжка, текстура, упрочнение, микротвердость, коэффициент трения, ячейка, секция*

## 1. Вступ

У сучасних сільськогосподарських машинах широко застосовується гідропривід. Виконавчим органом гідросистеми машини при цьому найчастіше служить один або кілька силових та маніпуляційних гідродвигунів. Найбільш відповідальною і складною деталлю останніх з позиції виготовлення та ремонту є гільза, оскільки її отвір, що має, як правило, відношення довжини до діаметру понад 8–10, належить класу глибоких. Крім того, поверхня отвору повинна відповідати досить жорстким вимогам за показниками точності: некруглість в межах Н7–Н9 і відхилення від прямолінійності твірної (нециліндричність) до 0,015–0,25 мм на 1000 мм довжини отвору, а також шорсткість обробленої поверхні за показником *Ra* не вище 0,05–0,15 мкм.

## 2. Літературний огляд

У численних працях представників школи професора О. М. Розенберга наведено результати досліджень хвилі позаконтактної деформації. У загальному вигляді це явище, що обов'язково супроводжує деформуюче протягування конічними деформуючими елементами, пояснюється наступним чином. У місці переходу конічної (робочої) частини деформуючого елемента в циліндричну втрачається контакт матеріалу деталі з інструментом і цей матеріал «огинає» калібруючу

(неробочу) частину останнього [1, 2]. Деформуюче протягування, як це витікає з відомої науково-технічної літератури [3 – 6], можна віднести до методів модифікування поверхневого шару деталей машин за допомогою об'ємного холодного пластичного деформування шляхом ковзання. На відміну від більшості методів модифікування, деформуюче протягування є процесом об'ємним, тобто таким, що дозволяє змінювати всі три розміри деталі. Процес є силовим, завдяки чому придатним для безстружкової обробки високопластичних матеріалів. Це дозволяє змінити фізико-механічні властивості поверхневого шару серцевини деталей типу гільз і знизити некруглість отвору трубної заготовки, локалізувавши одночасно дефектний шар металургійного походження. Ресурсозберігаючий процес обробки глибоких отворів у гільзах гідродвигунів, виготовлених з трубопрокату, доцільно будувати за схемою «комбіноване протягування – розкочування роликовим інструментом». Разом з тим, в ході розробки протяжного інструменту слід вирішити ще кілька малодосліджених проблем, пов'язаних у кінцевому результаті з надійністю виробу, зокрема: зниження негативного впливу на прямолінійність отвору «пластичного шарніру», підвищення міцності і стійкості робочих елементів протяжок, зменшення рівня вібрацій інструменту при обробці гільзи, посилення радіальної жорсткості останньої технологічними методами, а також розробку програми розрахунку комбінованого інструменту. Комплекс властивостей гільзи, у першу чергу їхньої поверхні і

поверхневого шару, формує надійність гідроциліндрів. Насамперед, це стосується мікротвердості і текстурованості поверхневого шару після комбінованого протягування або просто текстури. Цим терміном, у нашому випадку, визначається явище витягування окремого зерна структури пластичного матеріалу, а значить, і поверхневого шару і в цілому, під дією механічної деформації, яка виникає при русі інструменту. Тут слід обмовитись, що йтиметься про текстуру, яка створюється зубцями різальної частини протяжки, оскільки механізм зміни картини структури при деформуючому протягуванні вивчено О. М. Розенбергом та його учнями досить детально [7, 8].

### 3. Мета роботи

Основною метою роботи є дослідження фізико-механічних властивостей поверхні гільз після протягування та визначення залишкових напружень.

### 4. Матеріал і результати досліджень фізико-механічних властивостей поверхні гільз після протягування

Серед фазових складових залізовуглецевих сплавів схильними до пластичної деформації, а значить, до виникнення текстури при температурі, яка характерна для протягування, є тверді розчини вуглецю у залізі – ферит і аустеніт. Цементит, як хімічна сполука заліза з вуглецем, є твердим і крихким, тому при значних деформаціях руйнується. Перліт, як евтектоїдна суміш фериту і цементиту, деформується за рахунок пластин фериту. Виходячи зі сказаного, сталі обраного нами ряду, які мають у незагартованому стані феритно-перлітну структуру, при різальному протягуванні схильні до виникнення текстури.

Це добре видно із наведеної на рис. 1 мікрофотографії, де показана оброблена поверхня деталі зі сталі 10.

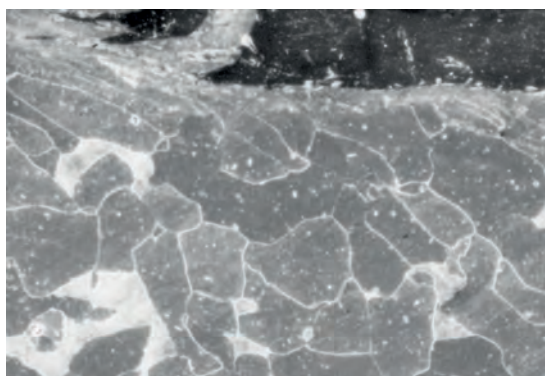


Рис. 1. Мікрофотографія обробленої поверхні деталі зі сталі 10 після протягування (x 300)

У роботі [9] подано модель утворення текстури при різальному протягуванні сталі 45, з якою можна погодитись, взявши її за основу. Проте слід зауважити, що і в цій моделі не враховано наростоутворення і вказано, що коефіцієнт тертя у зоні контакту задньої поверхні різального інструменту з оброблюваним матеріалом

знаходиться в діапазоні 0,07 – 0,15, тобто є явно заниженим.

Результати наших експериментів щодо утворення текстури і пов'язаного з цим явищем зміцнення обробленої поверхні деталі на сталях 10 і 35 подано на рис. 2.

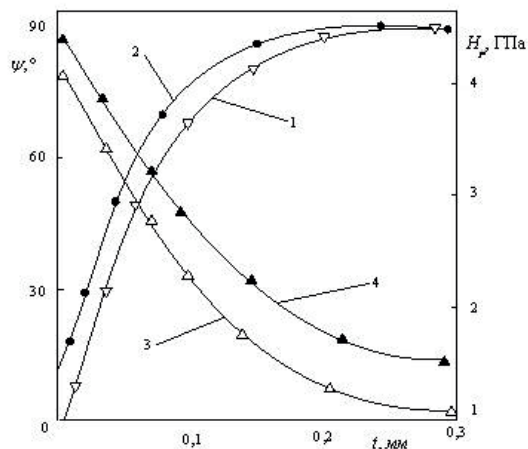


Рис. 2. Залежності кута нахилу зерен текстури  $\psi$  та мікротвердості  $H_p$  сталі 10 (відповідно криві 1, 3) та сталі 35 (відповідно криві 2, 4) при різальному протягуванні ( $v = 0,15$  м/с;  $S_z = 0,04$  мм; інструментальний матеріал – сталь Р6М5;  $\gamma = 15^\circ$ ;  $\rho = 0,008$  мм; МОР – сульфозфрезол)

Із рис. 1 і 2 витікає, що товщина текстурованого, після різального протягування, шару може досягати 0,2 мм. При цьому товщина додаткового зміцнення поверхні деталі добре корелює з товщиною текстури. Значення коефіцієнтів тертя на задній поверхні різального інструменту при протягуванні незміцнених сталей вибраного діапазону знаходиться в межах  $\mu_z = 0,5 - 0,7$ . Попереднє холодне деформаційне зміцнення знижує ці значення приблизно вдвоє (до 0,2 – 0,35). При цьому інтенсивність текстуроутворення різко падає. Таким чином, надзвичайно перспективною з позицій якості обробленої поверхні є схема елементарної комірки протяжки «деформуючий елемент – двохтрьохзуба різальна секція».

Що стосується залишкових напружень, то наші дослідження тут побудовані на наступних наукових положеннях попередників. По-перше, позитивну роль на надійність деталей машин виявляють стискаючі напруження у поверхневих шарах. По-друге, наскрізне деформуюче протягування з розбивкою загальної деформації на кілька джерел обов'язково призводить до виникнення стискаючих напружень. По-третє, низькошвидкісні процеси різання, зокрема різальне протягування, викликають розтягуючі залишкові напруження [7 – 10]. Тому вплив комбінованої обробки, що поєднує дію на оброблену поверхню деформуючого елемента та зубців протяжки, залежатиме від того, який з цих двох факторів переважатиме.

Експерименти були проведені на деталях із сталі 35 з перерізом реального гідроциліндру, що використовувався у гідросистемах машин, за методикою М. М. Давиденкова [11]. Слід додати, що знак тангенціальних залишкових напружень першого роду якісно можна

визначити шляхом розрізання кільця шириною 8 – 12 мм із досліджуваної гільзи після протягування отвору. Збільшення діаметру кільця після розрізання свідчить про превалювання стискаючих напружень і навпаки. Про перше можна також судити за усадкою отвору.

Для того, щоб виключити вплив спадковості виготовлення заготовок, усі три групи останніх перед експериментами були піддані нормалізації у вакуумі аби виключити втрати вуглецю з поверхні отвору. Травлення кільцевих зразків товщиною 10 – 12 мм під час експериментів здійснювалось тільки з боку отвору. Найменший крок замірів після травлення складав 0,005 мм (особливо біля поверхні отвору).

Із рис. 3, де подані результати експериментів, випливає, що різальне протягування незміцненої сталі 35 при підйомі на зуб  $S_z = 0,05$  мм призводить до виникнення у поверхневому шарі деталі розтягуючих тангенціальних залишкових напружень з максимумом  $\sigma_\tau = 350$  МПа на глибині порядку 0,02 мм (крива 1).

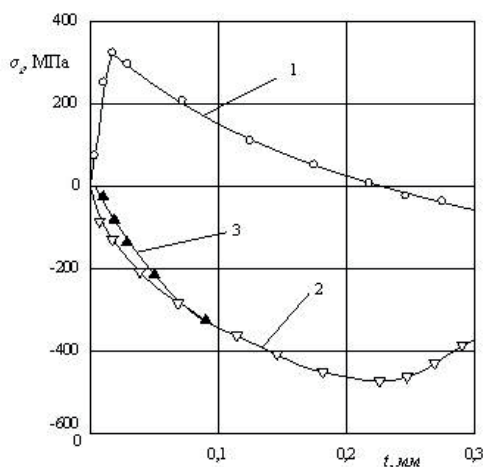


Рис. 3. Неповна еюра залишкових тангенціальних напружень першого роду  $\sigma_\tau$  у поверхневому шарі гільзи гідроциліндра зі сталі 35 перерізом 110 x 7,5 ( $t$  – товщина стінки деталі, мм) після різального ( $S_z = 0,05$  мм, крива 1), деформуючого ( $a_e = 0,2$  мм, крива 2) та комбінованого (крива 3) протягування

Деформуюче протягування з натягами  $a_e = 0,2$  мм дозволяє отримати епюру сприятливих позитивних залишкових напружень з максимумом порядку  $\sigma_\tau = 490$  МПа на глибині 0,25 мм (крива 2). Практично такі ж значення залишкових напружень і профіль кривої дає комбіноване деформуюче-різальне протягування (крива 3). На позитивний характер кривої 3 впливають два фактори: попереднє деформуюче протягування як генератор стискаючих напружень і деформуюче протягування як фактор холодного деформаційного зміцнення, який зменшує негативний вплив наросту на ці напруження.

## 5. Висновок

Визначено вплив фізико-механічних та геометричних властивостей поверхні гільз після комбінованого протягування, що передуватиме фінішній розкатці, на надійність гідроциліндрів. Товщина холодного зміцнен-

ня і текстурованості поверхневого шару сягає 0,2 мм, а коефіцієнт тертя на задню поверхню різального інструменту зубця протяжки знижується попереднім холодним деформаційним зміцненням з 0,5 – 0,7 до 0,2 – 0,35. Це дозволяє рекомендувати схему елементарної комірки комбінованої протяжки у вигляді: «деформуючий елемент – двох-трьохзуба секція». Деформуюче-різальне протягування сприяє виникненню у поверхневому шарі трубної заготовки сприятливих тангенціальних залишкових напружень першого роду.

## Література

1. Розенберг, О. А. Механика взаимодействия инструмента с изделием при деформирующем протягивании [Текст] / О. А. Розенберг. – К. : Наук. думка, 1981. – 288 с.
2. Розенберг, А. М. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания [Текст] / А. М. Розенберг, О. А. Розенберг; отв. ред. П. Р. Родин. – К. : Наук. думка, 1990. – 320 с.
3. Розенберг, О. А. Деформирующее протягивание стали X18H10T [Текст] / Э. К. Посвятенко, Ю. Ф. Бусел, А. Д. Крицкий // Технология и организация производства. – 1977. – № 1. – С. 29–30.
4. Кроха, В. А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации [Текст] / В. А. Кроха. – М.: Машиностроение, 1980. – 157 с.
5. Посвятенко, Е. К. Особливості механіки різання матеріалів, зміцнених холодною деформацією [Текст] / Е. К. Посвятенко, Н. І. Посвятенко, Р. В. Будяк // Резание и инструмент в технологических системах. – 2012. – Вып. 81. – С. 238–248.
6. Посвятенко, Е. Фізико-механічні властивості поверхні гільз гідроциліндрів після протягування [Текст] / Едуард Посвятенко, Руслан Будяк // Systemy i srodki transportu samochodowego: Wybrane zagadnienia / pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. – Rzeszow, 2013. – С. 403–406.
7. Розенберг, А. М. Качество поверхности, обработанной деформирующим протягиванием [Текст] / А. М. Розенберг, О. А. Розенберг, Э. И. Гриценко, Е. К. Посвятенко. – К. : Наукова думка, 1977. – 188 с.
8. Канарчук, В. Є. Деформаційне зміцнення конструкційних і легованих сталей [Текст] / В. Є. Канарчук, Е. К. Посвятенко, Ю. М. Иванов // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту та експлуатації автомобілів. – К. : НТУ. – 2002. – Вып. 13. – С. 7–12.
9. Проскуряков, Ю. Г. Технология упрочняюще-калибрующей и формообразующей обработки металлов [Текст] / Ю. Г. Проскуряков. – М. : Машиностроение, 1971. – 208 с.
10. Проскуряков, Ю. Г. Остаточные напряжения и точность деталей, обработанных дорнованием [Текст] / Ю. Г. Проскуряков, А. Н. Исаев, Л. В. Попов, Ф. Ф. Валяев // Вестник машиностроения. – 1973. – № 7. – С. 57–60.
11. Розенберг, О. А. Влияние деформирующей обработки на формирование остаточных напряжений в поверхностных слоях деталей [Текст] / О. А. Розенберг, Э. К. Посвятенко, Ф. П. Смагленко // Технология и автоматизация машиностроения. – 1975. – Вып. 15. – С. 82–84.