

С.Є. Шейкін, д.т.н., проф.
С.Ф. Студенець, к.т.н.
І.Ю. Ростоцький, к.т.н., с.н.с.
В.В. Мельниченко, м.н.с.
Я.В. Мельниченко, інженер

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ

Закономірності локального деформаційного зміцнення трубчастих виробів з конструкційних сталей при формоутворенні пазів холодним пластичним деформуванням

Досліджено закономірності локального деформаційного зміцнення матеріалу трубчастих зразків з конструкційних сталей 20 та 45 при формоутворенні поздовжніх пазів на їх внутрішніх поверхнях холодним пластичним деформуванням (ХПД) (деформуючим прошиванням). На якісному рівні встановлено вплив технологічних параметрів процесу (геометрії робочої ділянки деформуючого інструменту та глибини занурення) на розподіл мікротвердості у стінці оброблюваної деталі по глибині та вздовж профілю перерізу інструмента. Виявлені закономірності можуть бути використані під час проектування та відпрацювання технологічних операцій формоутворення пазів у трубчастих виробках методами ХПД в умовах високих нормальних та дотичних контактних напружень з метою керування механічними властивостями оброблюваного матеріалу в локальних об'ємах виходячи з вимог щодо ефективності використання виробу. Наприклад, коли ефективність визначається деформаційним зміцненням та, як наслідок, залишковою пластичністю матеріалу та енергією, яка витрачається на руйнування виробу під дією внутрішнього тиску. Досліджені закономірності справедливі при формоутворенні пазів у трубчастих виробках з конструкційних сталей, що мають твердість у діапазоні НВ 110–200. В дослідженнях використано методи мікродюрометрії, оптичної металографії та комп'ютерна система аналізу зображень.

Ключові слова: холодне пластичне деформування; формоутворення; зона контакту; зміцнення; паз; втулка; розподіл мікротвердості.

У сучасній машинобудівній промисловості існує окрема група деталей, переважно типу втулок, функціональне призначення яких вимагає формування на їх внутрішній поверхні певної кількості концентраторів напружень у вигляді поздовжніх пазів. У переважній більшості випадків ефективність використання такого виробу напряму залежить від значення залишкової пластичності матеріалу в зонах формоутворення пазів, яка визначає кількість енергії, яка витрачається на їх руйнування під впливом розтягуючих навантажень [1].

Забезпечити утворення пазів на внутрішній поверхні виробів такого типу можливо литвом, різанням та пластичним деформуванням (гаряче та холодне радіальне кування, деформуюче протягування (прошивання) (ДП), редукування на фасонній оправці) [2].

Найбільш продуктивною схемою утворення пазів різанням є протягування. Але вартість різальних протяжок є значною, а стійкість достатньо обмежена.

Необхідно також зазначити, що методи литва та різання мають обмежені можливості впливу на механічні характеристики оброблюваного матеріалу в зоні утворення пазів.

Радіальне кування дозволяє забезпечити мінімальний відхід оброблюваного матеріалу в стружку, а також забезпечити достатньо високу продуктивність. При цьому під час холодного радіального кування відбувається деформаційне зміцнення оброблюваного матеріалу та зменшення його залишкової пластичності. Однак цей метод потребує застосування технологічного обладнання високої вартості та значних виробничих площ [3].

На наш погляд, використання такого технологічного способу холодного пластичного деформування, як ДП (рис. 1) для утворення поздовжніх пазів на внутрішній поверхні трубчастих виробів є дуже перспективним. Він не потребує спеціального обладнання високої вартості, а може бути реалізований на універсальному серійному обладнанні з використанням нескладного технологічного оснащення. Застосування ДП для утворення пазів на внутрішній поверхні трубчастих виробів здатне забезпечити високу продуктивність обробки та технологічне керування механічними характеристиками в локальних об'ємах матеріалу за рахунок технологічних параметрів процесу, а також суттєво підвищити коефіцієнт використання металу. При цьому точність обробки та шорсткість обробленої поверхні забезпечуються відповідними параметрами інструменту.

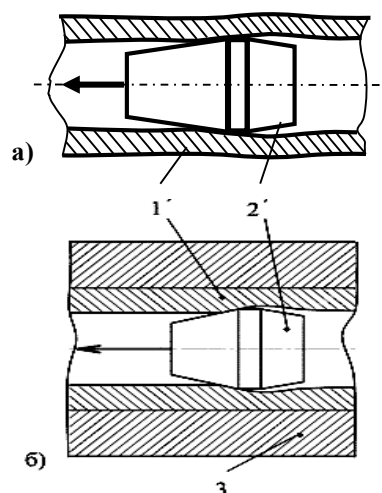


Рис. 1. Технологічні схеми ДП: а) без обмеження радіальної деформації зовнішньої поверхні; б) з обмеженням, в жорсткій обоймі; 1 – заготовка; 2 – інструмент; 3 – жорстка обойма

У процесі ДП відбувається анізотропне деформаційне зміцнення оброблюваного матеріалу, тобто формування необхідних механічних властивостей у заданому напрямку [4], утворення текстури, зменшення залишкової пластичності [5]. У випадку, коли ефективність використання виробів з концентраторами напруг визначається енергетичними характеристиками їх руйнування, спроможність технологічно керувати цими властивостями є надзвичайно важливим чинником [6, 7].

Таким чином, дослідження, спрямовані на створення та вивчення технологічних методів керування механічними властивостями оброблюваного матеріалу під час формування концентраторів напруг холодним пластичним деформуванням мають зростаючу актуальність.

При реалізації технологічної схеми ДП інструмент у вигляді усіченого конуса, діаметр якого більше, ніж діаметр отвору, пропускають через отвір заготовки. На рисунку 1, а наведено схему ДП без обмеження радіальної деформації заготовки та з обмеженням жорсткою обоймою (1, б) відповідно. Залежно від технологічних умов ДП при формуванні фасонних внутрішніх поверхонь контактний тиск в зоні взаємодії інструменту та оброблюваного виробу може сягати до $9 \sigma_T$ оброблюваного металу. За цих умов можливо отримати шорсткість обробленої поверхні Ra 0,05–0,2 та точність отвору, що відповідає 6–7 квалітету [3].

У нашому дослідженні вивчали вплив основних технологічних чинників (геометрії інструменту, товщини стінки оброблюваної деталі, глибини занурення робочої частини інструменту) на локальне деформаційне зміцнення оброблюваної деталі при формуванні пазів за технологічною схемою ДП в жорсткій обоймі. Як дослідні зразки використовували втулки зі сталі 20 (НВ 130) та сталі 45 (НВ 190) з отвором $\varnothing 30..32$ мм та товщиною стінки 3 мм. Для формування повздовжніх пазів застосовували шестизубі двосекційні деформуючі інструменти з трьома зубцями в кожній секції (рис. 2).

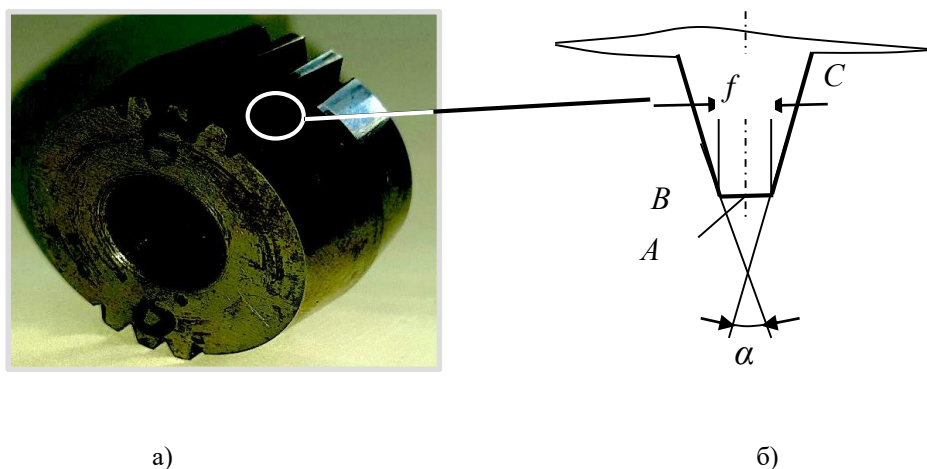


Рис. 2. Деформуючий інструмент для формування повздовжніх концентраторів напруг: а) фото інструменту; б) профіль зубця

Використання формуючого інструменту з неповним набором зубців дозволило уникнути перевантажень інструменту та технологічної оснастки в процесі проведення експериментів та використати один інструмент для утворення пазів з різною глибиною (0,5; 1,0 та 1,5 мм). Наявність трьох зубців в одній секції дозволила максимально наблизити умови локального пластичного деформування в стінці втулки середнім зубом до умов використання повнопрофільного інструменту.

Кут конусності інструменту складав 14° . Інструменти виготовляли зі сталі X12МФ ($HRC\ 62-64$). Формування зубців деформуючого інструменту проводилося фасонними алмазними крутами. Обробку дослідних зразків (втулок) проводили в жорсткій обоймі в два етапи. На першому етапі для вибору зазору між внутрішньою поверхнею обойми і зовнішньою циліндричною поверхнею втулки здійснювали прошивання втулки круглим деформуючим кільцем з натягом 0,3–0,5 мм. Далі використовували фасонний інструмент з зубцями. Кут профілю зубців інструменту становив $\alpha = 20, 40, 60^\circ$, довжина основи трапецієподібного перерізу зубців $f = 0,2, 0,8, 1,4$ мм (рис. 2, б). Глибина вдавлювання зубця інструменту в поверхню зразка складала 0,5; 1,0 та 1,5 мм та визначалася внутрішнім діаметром оброблюваних втулок. Використовували технологічне мастило такого складу: ХП-600 – 62 %; олеїнова кислота – 31 %; колоїдний графіт – 7 % + жир 5 % [8–10].

На рисунку 3 наведено фото фрагменту втулки з пазами.



Рис. 3. Фрагмент обробленої втулки з пазами

Розподіл мікротвердості вивчали на шліфах. Підготовка шліфів проводилася шліфуванням на наждачному папері з подальшою полірою на фетрових колах алмазними пастами до шорсткості $Ra\ 0,10-0,16$. Для обробки шліфів використовували машину моделі «Moraо260Е» виробництва *Jinan OBT Group Co Ltd*. Мікротвердість вимірювали на мікротвердомірі виробництва заводу «Мікротех» при навантаженні 1,98 кН. Накопичену деформацію визначали з градуовальних графіків, отриманих експериментально (рис. 4).

Як показали металографічні дослідження, в пластично деформованому металі приповерхневого шару пази утворюється волокниста структура (текстура), орієнтована уздовж профілю паза, що свідчить про високий ступінь деформації (рис. 5). Під «дном» профілю пазів щільність волокон є найбільш високою і текстурований шар має найбільшу товщину (~ 650–700 мкм). У безпосередній близькості до поверхні отвору перлітні колонки витягнуті у тонкі практично одномірні нитки карбідів. Зі збільшенням відстані від «дна» профіля паза у напрямку до зовнішньої поверхні та під боковими кромками паза товщина деформованих шарів з волокнистою структурою зменшується, але колонки перліту та зерна фериту також витягнуті. При цьому ті й інші на шліфі мають вигляд двомірних утворень.

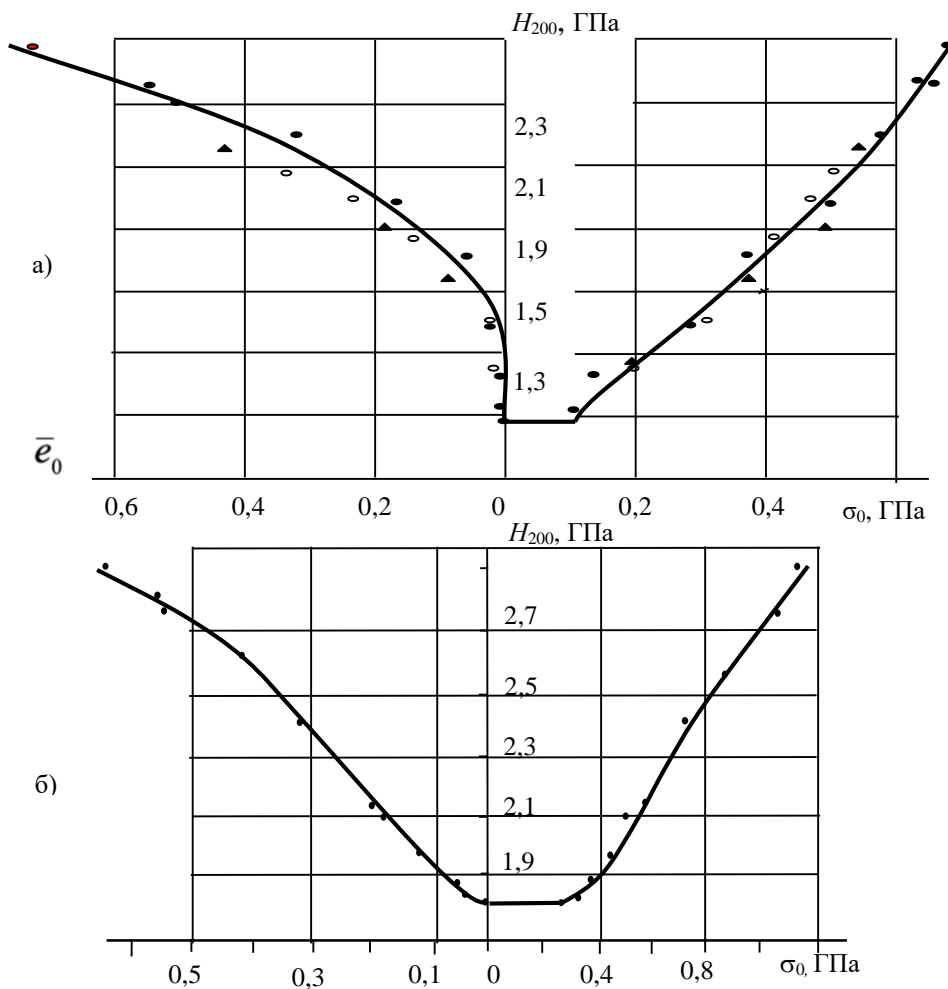


Рис. 4. Градувальні графіки: а) для сталі 20; б) для сталі 45

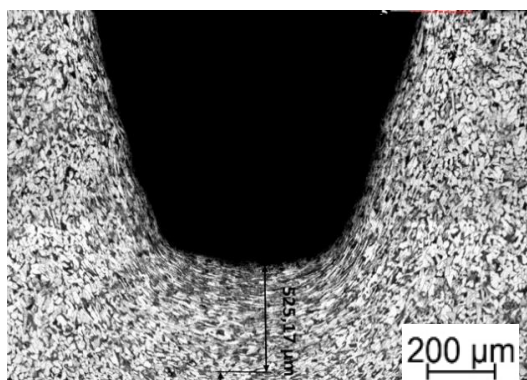
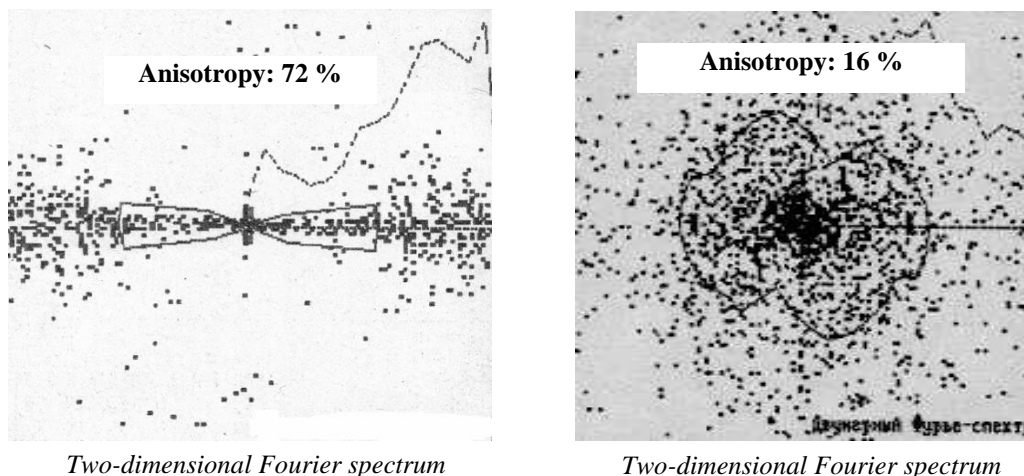


Рис. 5. Мікроструктура зразків сталі 20 після утворення пазу інструментом з $\alpha = 20^\circ$, $f = 0,2$ мм

Про високий ступінь деформації металу, розташованого під «дном» паза, також свідчать результати аналізу структури за допомогою функції Фур'є, яка відображає співвідношення довжини та ширини деформованих зерен. Як видно з рисунка 6, а в поверхневому шарі значення анізотропії сягає 72 %. У недеформованому металі цей показник становить 16 % (рис. 6, б), що, вірогідно, є наслідком технологічної спадковості.



а) б)
 Рис. 6. Результати аналізу анізотропії структури металу:
 а) двомірний Фур'є-спектр структури під «дном» паза;
 б) двомірний Фур'є-спектр вихідної структури сталі 20

Зауважимо, що під час обробки ДП відбувається підвищення агрегатної твердості виробів. Твердість зразків зі сталі 20 та 45 зростає до $\sim HV$ 1,9 ГПа та HV 2,4 відповідно. Причиною збільшення твердості є попередня деформація калібруючим кільцем та циліндричною ділянкою формоутворюючого інструменту. На рисунку 7 наведено розподіл мікротвердості та накопиченої деформації по товщині стінки оброблюваної втулки при використанні інструменту з $\alpha = 20^\circ, f = 1,4$ мм при зануренні зубців на глибину 1,5 мм.

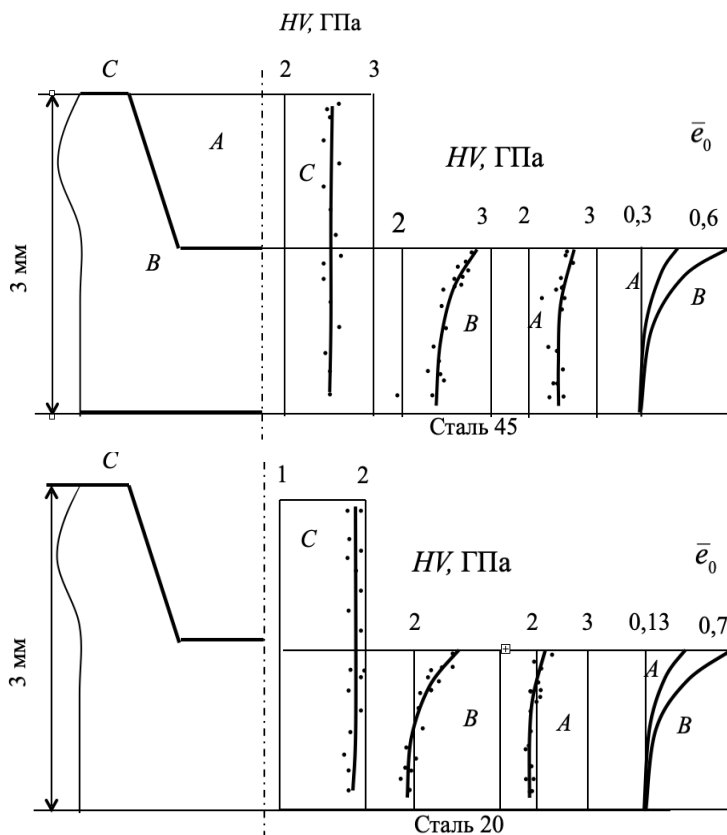


Рис. 7. Розподіл мікротвердості та накопиченої деформації по товщині стінки втулок зі сталі 45 та сталі 20 після обробки інструментом $\alpha = 20^\circ, f = 1,4$ на глибину 1,5 мм

Очевидно, що найбільше значення твердості та, відповідно, накопиченої деформації спостерігається в куті профілю – точка *B* (рис. 2, б). Цей факт зафіксовано при обробці втулок з обох марок сталей під час обробки інструментами з кутами загострення зубців 20, 40 та 60° при $f = 1,4$ та 0,8 мм. При $f = 0,2$ мм твердість матеріалу уздовж основи перерізу практично не відрізняється. Порівнюючи розподіл мікротвердості в зразках після використання інденторів з різною величиною f , можна зробити висновок, що при зменшенні f , за інших рівних умов, накопичена деформація під основою трапеції збільшується, а глибина зони деформації зменшується.

На рисунку 8 наведено розподіл мікротвердості та накопиченої деформації в зразках з товщиною стінки 3 мм зі сталей 20 та 45 після формування паза інденторами з $\alpha = 20^\circ$, $f = 0,2$ мм та $f = 1,4$ мм.

З рисунка видно, що при використанні індентора з $f = 0,2$ мм максимальна накопичена деформація майже удвічі більша, ніж під час використання індентора з $f = 1,4$ мм. При цьому глибина розповсюдження деформації у другому випадку значно більша. Результати експериментів показали, що при зменшенні кута α пластична деформація в локальних об'ємах біля кутів паза збільшується під час зменшення глибини її розповсюдження. Аналіз отриманих результатів дозволяє також зробити висновок, що під час збільшення глибини занурення зубців інструменту глибина деформованої зони збільшується.

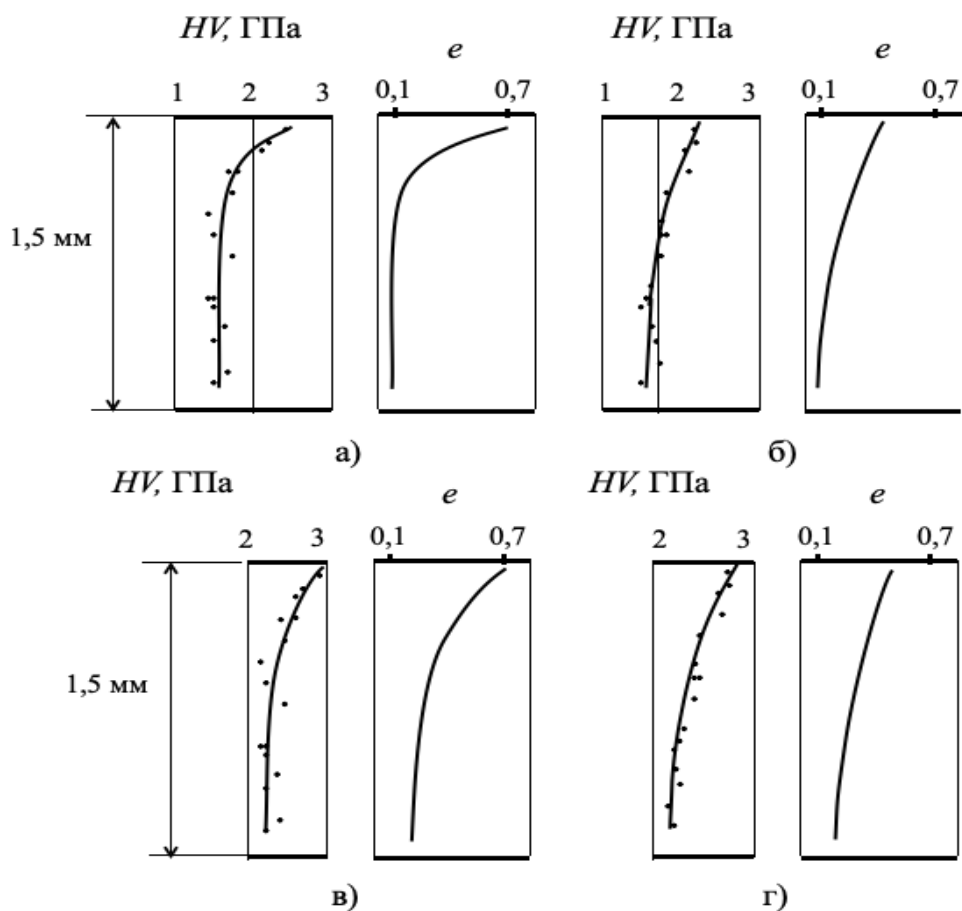


Рис. 8. Розподіл мікротвердості та накопиченої деформації в зразках з товщиною стінки 3 мм зі сталей 20 (а, б) та 45 (в, г) після формування паза інденторами з $\alpha = 20^\circ$ після занурення на 1,5 мм: а, в – $f = 0,2$ мм; б, г – $f = 1,4$ мм

На рисунку 9 наведено залежність глибини деформованої зони t від глибини занурення зуба при формоутворенні паза інструментом з $\alpha = 60^\circ$, $f = 1,4$ мм під час обробки зразків з товщиною стінки 3 мм. Видно, що результати, отримані при обробці зразків зі сталей 20 та 45, практично збігаються.

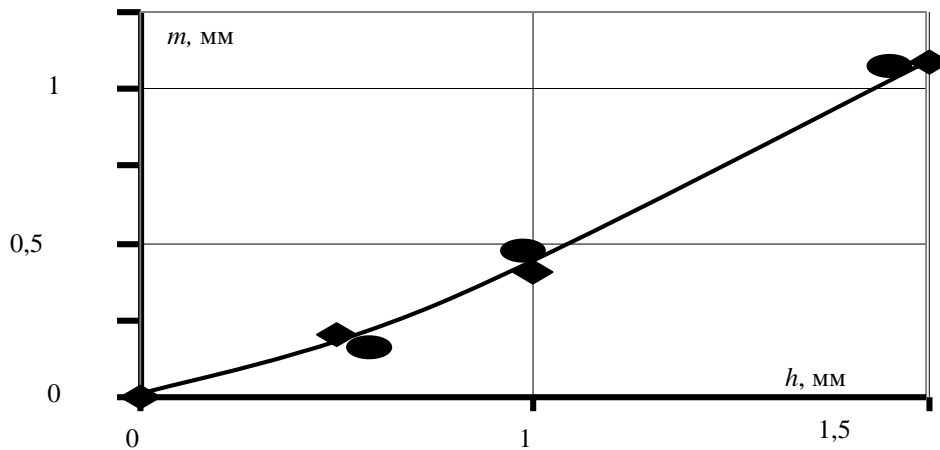


Рис. 9. Залежність глибини деформованої зони від глибини занурення зубця інструменту при обробці зразків зі сталей 20 та 45: ♦ – сталь 20; ● – сталь 45

Також встановлено, що в разі, коли деформація від занурення індентора досягає зовнішньої поверхні зразка, який контактує з жорсткою обоймою, відбувається зростання твердості внаслідок накладення зворотної хвилі деформацій з деформацією занурення. На рисунку 10 наведено розподіл мікротвердості по товщині стінки втулок зі сталі 45 та сталі 20 після обробки інструментом $\alpha = 60^\circ$, $f = 1,4$ після занурення індентора на глибину 1,5 мм. Видно, що в зоні, що прилягає до зовнішньої поверхні зразка, твердість збільшується.

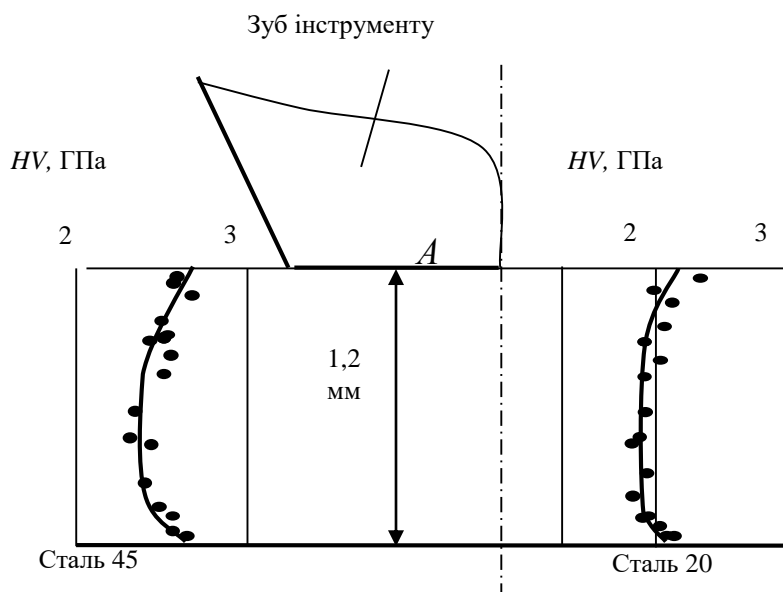


Рис. 10. Розподіл мікротвердості по товщині стінки втулок зі сталі 45 та сталі 20 після обробки інструментом з $\alpha = 60^\circ$, $f = 1,4$ на глибину 1,5 мм

Висновки:

1. При формоутворенні пазів у трубчастих виробках з конструкційних сталей холодним пластичним деформуванням пластична деформація в локальних об'ємах, прилеглих до точок злому контуру паза, може сягати значних величин (до $e = 7$);

2. На якісному рівні встановлено основні чинники, що впливають на ступінь деформації матеріалу та характер розповсюдження зон пластичної деформації при формуванні пазів у втулках виробів, виготовлених з конструкційних сталей:

- у розглянутому діапазоні кутів загострення зубців інструменту ($20-60^\circ$) при зменшенні кута α та основи трапецієподібного перерізу зубця f пластична деформація збільшується при зменшенні глибини її розповсюдження;

- при використанні інструменту з зубцями трапецієподібного перерізу найбільший ступінь деформації оброблюваного матеріалу має місце біля кутів;

- в разі, коли деформація від занурення індентора досягає зовнішньої поверхні зразка, який контактує з жорсткою обіймою, відбувається накладення зворотної хвилі деформацій з деформацією занурення та зростання твердості;

3. Отримані закономірності справедливі при формоутворенні пазів у трубчастих виробках з конструкційних сталей, що мають твердість, яка знаходиться в діапазоні HB 110–200;

4. Виявлені закономірності можуть бути використані під час проектування технологічних операцій формоутворення пазів методами ХПД та корегування технологічних режимів, виходячи з вимог до механічних характеристик матеріалу виробу, що забезпечують ефективність використання виробу, наприклад, залишкова пластичність та енергія руйнування.

Список використаної літератури:

1. Special features of shaping longitudinal slots on inner surfaces of tubular workpieces by cold plastic deformation / O.A. Rozenberg, V.G. Delevi, S.E. Sheikin and other // *Nadtverdi materialy*. – 1997. – Vol. 19, № 1. – P. 30–37.
2. Добрянський С.С. Проектування та виробництво заготовок : підручник / С.С. Добрянський, Ю.М. Малафеев, С.С. Пуховський. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 353 с.
3. On the Contact Interaction between Hard-Alloy Deforming Broaches and a Workpiece during the Shaping of Grooves in the Holes of Tubular Products / S.Ye. Sheykin, V.V. Melnichenko, S.F. Studenets and other // *Journal of Superhard Materials*. – 2021. – Vol. 43, Issue 3. – P. 222–230. DOI: 10.3103/S1063457621030096.
4. Проблеми механічної обробки / В.І. Солодкий, В.В. Вовк, О.А. Плівак, С.О. Яцук. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 202 с.
5. Технологія відновлення карданних валів дизель-поїздів на основі методу холодного пластичного деформування / О.О. Розенберг, А.Д. Крицький, В.В. Мельниченко, С.Ф. Студенець // *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету*. – Кіровоград : КДТУ, 2003. – Вип. 12. – С. 63–68.
6. Грушко О.В. Критерії деформовності з врахуванням властивостей матеріалу в параметрі напруженого стану / О.В. Грушко, І.Ю. Кириця // *Обробка матеріалів тиском*. – 2022. – № 1. – С. 30–37.
7. Грушко О.В. Моделювання напруженого стану в процесах вісесиметричного пластичного деформування із врахуванням карти матеріалу / О.В. Грушко, О.В. Гуцалюк // *Обробка матеріалів тиском*. – 2020. – № 1 (50). – С. 18–23.
8. Improving the Performance of Hard-Alloy Deforming Broaches Using Modified Technological Lubricants / Ye. Sheykin, I. Yu. Rostotskiy, V. T. Protsyshyn and other // *Journal of Superhard Materials*. – 2020. – Vol. 42, № 4. – P. 276–282. DOI: 10.3103/S1063457620040085.
9. Ростоцький І.Ю. Шляхи підвищення оброблюваності при формоутворенні складнопрофільних та гладких отворів трубчастих виробів зі збройних сталей деформуючим протягуванням / І.Ю. Ростоцький // *Розвиток науки і техніки: проблеми та перспективи : збірник тез Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції з нагоди відзначення Дня науки – 2021 в Україні, 20 травня*. – Київ : ДНДІ МВС України, 2021. – 299–301с.
10. Деякі принципи розробки технологічних мастил для формування внутрішніх пазів в трубчастих виробках деформуючим протягуванням / В.С. Гаврилова, С.Є. Шейкін, І.Ю. Ростоцький та ін. // *Актуальність та особливості наукових досліджень в умовах воєнного стану : збірник III Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції з нагоди відзначення Дня науки – 2023 в Україні, 23 травня*. – Житомир, 2023. – С. 475–479.

References:

1. Rozenberg, O.A., Delevi, V.G., Sheikin, S.E. et al. (1997), «Special features of shaping longitudinal slots on inner surfaces of tubular workpieces by cold plastic deformation», *Nadtverdi materialy*, Vol. 19, No. 1, pp. 30–37.
2. Dobrianskiy, S.S., Malafieiev, Yu.M. and Pukhovskiy, Ye.S. (2014), *Proektuvannia ta vyrobnytstvo zahotovok*, підручник, NTUU «KPI», K., 353 p.
3. Sheikin, S.Ye., Melnichenko, V.V., Studenets, S.F. et al. (2021), «On the Contact Interaction between Hard-Alloy Deforming Broaches and a Workpiece during the Shaping of Grooves in the Holes of Tubular Products», *Journal of Superhard Materials*, Vol. 43, Issue 3, pp. 222–230, doi: 10.3103/S1063457621030096.
4. Solodkiy, V.I., Vovk, V.V., Plivak, O.A. and Yatsuk, S.O. (2019), *Problemy mekhanichnoi obrobky*, KPI im. Ihoria Sikorskoho, Kyiv, 202 p.
5. Rozenberh, O.O., Krytskiy, A.D., Melnychenko, V.V. and Studenets, S.F. (2003), «Tekhnolohiia vidnovlennia kardannykh valiv dyzel-poizdiv na osnovi metodu kholodnoho plastychnoho deformuvannia», *Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyziatsiia*, zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho derzhavnogo tekhnichnoho universytetu, KDTU, Kirovohrad, Issue 12, pp. 63–68.
6. Hrushko, O.V. and Kyrytsia, I.Yu. (2022), «Kryterii deformovnosti z vrakhuvanniam vlastyvostei materialu v parametri napruzhenoho stanu», *Obrobka materialiv tyskom*, No. 1, pp. 30–37.
7. Hrushko, O.V. and Hutsaliuk, O.V. (2020), «Modeliuvannia napruzhenoho stanu v protsesakh visesyetrychnoho plastychnoho deformuvannia iz vrakhuvanniam karty materialu», *Obrobka materialiv tyskom*, No. 1 (50), pp. 18–23.
8. Sheikin, Ye., Rostotskiy, I.Yu., Protsyshyn, V.T. et al. (2020), «Improving the Performance of Hard-Alloy Deforming Broaches Using Modified Technological Lubricants», *Journal of Superhard Materials*, Vol. 42, No. 4, pp. 276–282, doi: 10.3103/S1063457620040085.

9. Rostotskyi, I.Yu. (2021), «Shliakhy pidvyshchennia obrobluvanosti pry formoutvorenni skladnoprofilnykh ta hladkykh otvoriv trubchastykh vyrobiv zi zbroinykh staley deformuiuchym protiahuvanniam», *Rozvytok nauky i tekhniki: problemy ta perspektyvy*, zbirnyk tez Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii z nahody vidznachennia Dnia nauky – 2021 v Ukraini, 20 travnia, DNDI MVS Ukrainy, Kyiv, pp. 299–301.
10. Havrylova, V.S., Sheikin, S.Ye., Rostotskyi, I.Yu., et al. (2023), «Deiaki pryntsypy rozrobky tekhnolohichnykh mastyl dlia formuvannia vnutrishnikh paziv v trubchastykh vyrobakh deformuiuchym protiahuvanniam», *Aktualnist ta osoblyvosti naukovykh doslidzen v umovakh voiennoho stanu*, zbirnyk III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii z nahody vidznachennia Dnia nauky – 2023 v Ukraini, 23 travnia, Zhytomyr, pp. 475–479.

Шейкін Сергій Євгенович – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу «Формування прецизійних елементів складнопрофільних виробів» Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ.

<https://orcid.org/0000-0001-9958-4293>.

Наукові інтереси:

- холодне поверхнєве пластичне деформування;
- модифікація поверхневого шару;
- підвищення експлуатаційних характеристик.

Студенець Сергій Федорович – кандидат технічних наук, заступник завідувача відділу «Формування прецизійних елементів складнопрофільних виробів» Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ.

<https://orcid.org/0009-0000-2126-5903>.

Наукові інтереси:

- холодне поверхнєве пластичне деформування;
- модифікація поверхневого шару;
- підвищення експлуатаційних характеристик.

Ростоцький Ігор Юрійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу «Формування прецизійних елементів складнопрофільних виробів» Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ.

<https://orcid.org/0000-0003-3454-8990>.

Наукові інтереси:

- холодне поверхнєве пластичне деформування;
- модифікація поверхневого шару;
- підвищення експлуатаційних характеристик.

Мельниченко Володимир Васильович – молодший науковий співробітник відділу «Формування прецизійних елементів складнопрофільних виробів», Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ.

Наукові інтереси:

- холодне поверхнєве пластичне деформування;
- модифікація поверхневого шару;
- підвищення експлуатаційних характеристик.

Мельниченко Ярослав Володимирович – інженер відділу «Формування прецизійних елементів складнопрофільних виробів» Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ.

Наукові інтереси:

- холодне поверхнєве пластичне деформування;
- модифікація поверхневого шару;
- підвищення експлуатаційних характеристик.

Sheikin S.Ye., Studenets S.F., Rostotskyi I.Yu., Melnychenko V.V., Melnychenko Y.V.

Regulations of local deformation strengthening of tubular products made of structural steel during the formation of grooves by cold plastic deformation

The work is devoted to the study of the formation of stress concentrators on the inner surfaces of "tube"-type parts, the main function of which is to ensure the minimum consumption of fracture energy under the influence of tensile loads. The work shows the effectiveness of the application of deforming broaching (stitching) and technological lubricant specially developed for forming stress concentrators under the action of high contact loads, which are accompanied by deformation. The patterns of deformation hardening of the material during the formation of longitudinal grooves on the inner surfaces of parts such as bushings by deforming broaching are studied. At the qualitative level, the influence of technological parameters of the process on the distribution of microhardness along the depth of the wall of the processed part and along the cross-section profile of the tool was established. The identified regularities can be used in the design of technological operations of forming grooves by methods of cold plastic deformation and correction of technological regimes based on the requirements for mechanical characteristics that ensure the efficiency of product use. The studied regularities are valid for forming grooves in tubular products made of structural steels with a hardness in the range of HB 110-200.

Keywords: cold plastic deformation, forming, contact zone, strengthening, groove, tube, distribution of microhardness.

Стаття надійшла до редакції 12.04.2024.