

# Інструмент, порошки, пасты

---

УДК 621.919

**С. Ф. Студенець\*** (м. Київ)

**П. М. Єрьомін\*\*, О. В. Чернявський** (м. Кіровоград)

\*ism20zam@ukr.net, ism20@ism.kiev.ua

\*\*24124@mail.ru

## **Вплив умов деформування при обробці твердосплавними комбінованими протяжками на структуру та зміцнення поверхневого шару чавунів**

*Із застосуванням випробувального та металографічного обладнання, а також сучасного електронного растрового мікроскопа, досліджено стан металевої основи і графітних включень під час холодної пластичної деформації поверхневого шару зразків графітовмісних чавунів твердосплавним інструментом.*

**Ключові слова:** *твердий сплав, деформуюче-ріжуче протягування, графітовмісний чавун, холодна пластична деформація, структура поверхні.*

### **ВСТУП**

У сучасному машинобудуванні широко застосовується такий вид конструкційних матеріалів, як графітовмісні чавуни. Наприклад, з чавуну виготовляють такі відповідальні деталі, як гільзи двигунів внутрішнього згорання, корпуси гідророзподільвачів, втулки та ін. На сьогодні для обробки отворів у чавунних деталях все частіше використовують різні методи холодного пластичного деформування, зокрема розкочування, а також деформуюче протягування з використанням твердосплавного інструменту. Використання робочих елементів із твердого сплаву групи ВК в конструкції комбінованих деформуюче-ріжучих протяжок дозволяє підвищити їх стійкість до 100 разів порівняно з інструментом, виготовленим з швидкорізальних сталей, а також зменшити схильність до захоплення з оброблюваним матеріалом [1, 2].

Проектування нових, більш ефективних, конструкцій деформуючих та комбінованих деформуючи-ріжучих протяжок з робочими елементами із твердого сплаву неможливе без знань процесів, які відбуваються під час взаємодії інструменту та оброблюваної деталі [3]. Існуючі дослідження не розкривають в повній мірі особливості поведінки металу під час холодного пла-

стичного деформування графітовмісних чавунів. Оскільки деформування металу відбувається у замкненому просторі, то це значно ускладнює постановку та проведення подальших дослідів, крім того, вони не завжди дозволяють отримати реальну інформацію про досліджуваний об'єкт. В такому випадку використовують моделювання процесу за допомогою більш доступних методів обробки, в яких умови роботи інструменту подібні до досліджуваного. Тому дослідження процесу пластичної деформації графітовмісних чавунів та трансформації їх структурних включень під час обробки твердосплавними деформуючими елементами є актуальною задачею.

Попередніми дослідженнями встановлено, що процес деформування чавунів має певну специфіку, зокрема відбувається суттєва зміна структури матеріалу, що обробляється [4]. Важливим фактором, який впливає на такі структурні зміни для різних марок чавунів, є наявність вільного графіту характерної форми. З літературних джерел [5, 6] відомо, що під дією інструменту в поверхневих шарах оброблюваного виробу одночасно відбуваються два процеси – зміцнення матеріалу та його часткове руйнування внаслідок утворення та подальшого розвитку мікрodefektів у zdeformovanій зоні. Стан поверхневого шару чавуну після обробки деформуючим протягуванням можна охарактеризувати такими показниками, як поверхнева твердість, товщина зміцненого шару, а також показниками його мікроструктури. При проектуванні твердосплавних комбінованих деформуюче-ріжучих протяжок необхідно приймати до уваги ці фактори. Визначення меж, при яких настають зміни у поверхневому шарі оброблюваного матеріалу під впливом деформування, дозволяє ефективно розподіляти навантаження між деформуючими та ріжучими елементами протяжки, що, в свою чергу, покращує якість обробленої поверхні та підвищує стійкість інструменту. Використання твердого сплаву у якості інструментального матеріалу, особливо для виготовлення деформуючих елементів, дає змогу значно розширити діапазон застосування комбінованого протягування при обробці графітовмісних чавунів, суттєво зменшити кількість деформуючих елементів, але при цьому покращити якість обробленої поверхні.

Під час руху протяжки скрізь отвір деталі у зоні контакту між поверхнями оброблюваного виробу та деформуючого елемента виникає високий тиск. При цьому напружений стан оброблюваного матеріалу у осередку деформації близький до всебічного рівномірного стискання, що спричиняє зміну механічних та фізико-хімічних властивостей металу [7]. В той же час дослідним шляхом встановлено [8], що під час випробувань на вдавлювання кулькою у поверхневому шарі оброблюваного виробу також можливо досягти стану близького до всебічного стискання. Таким чином, однакову величину зміцнення оброблюваного матеріалу можливо отримати різними методами, незалежно від способу деформування [8].

Моделювання пластичної деформації з використанням твердосплавної кульки дозволяє значно спростити проведення дослідів і в той же час визначити реальні механічні характеристики чавунів.

Метою роботи було дослідження стану обробленої поверхні шляхом моделювання процесу холодного пластичного деформування виробів із графітовмісних чавунів із різною формою графіту.

### **МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ**

Досліджували сірий (СЧ20) та високоміцний (ВЧ50) чавуни, які широко використовуються у сучасному машинобудуванні для виготовлення відпові-

дальних деталей, а також ковкий чавун КЧ33-8 (для порівняння в методичних цілях). Початкова твердість оброблених матеріалів за Брінеллем дорівнювала для чавуну СЧ20 2,12 ГПа, ВЧ50 – 2,41 ГПа, КЧ33-8 – 1,52 ГПа.

Зразки для досліджень були у формі циліндра діаметром 30–35 мм і висотою 15 мм. Попередню обробку зразків виконували на токарному верстаті, а шліфування плоских поверхонь – на плоскошліфувальному верстаті. Далі досліджувану поверхню полірували на спеціальному верстаті. Твердість дослідних зразків вимірювали за методом Брінелля на твердомірі ТШ-2М при навантаженні 30 кН та діаметрі кульки 10 мм. Мікротвердість зразків у початковому та zdeформованому станах вивчали за методом Вікерса на мікротвердомірі “Shimadzu” (Японія). Навантаження на індентор (алмазну піраміду) складало при вимірюванні феритних включень 25 Г, а для перлітних – 100 Г. Для дослідження мікроструктури зразків та стану обробленої поверхні використовували металографічний мікроскоп МИМ-7, оптичний мікроскоп “Альтамі”, растровий електронний мікроскоп моделі РЭМ-106И виробництва ВАТ “SELMГ” (м. Суми) та інструментальний мікроскоп БМИ-1.

Zдеформовану зону зразка отримували на твердомірі ТШ-2М за методикою [9] при заглибленні з навантаженням 30 кН впродовж 30 с сферичного тіла (кульки)  $\varnothing$  10 мм з твердого сплаву марки ВК15. Після зняття навантаження заміряли розмір отриманого відбитка та оглядали zdeформовану зону біля його окрайки при збільшенні  $\times 200$ .

При виявленні початку руйнування (лушення) в цій зоні деформування зразка припиняли. Для зразків, на яких руйнування виявлено не було, проводили шліфування їх поверхонь до тих пір, поки діаметр отриманого відбитка не досягав половини свого початкового розміру. Після цього зразок встановлювали на твердомір та виконували повторні цикли навантаження.

Надалі zdeформовані зразки розрізали посередині відбитка у поперечній площині, заливали епоксидною смолою для збереження зони біля відбитка та полірували до дзеркального блиску. Вимірювання мікротвердості zdeформованої зони проводили у трьох зонах за напрямком від поверхні зразка до його середини до тих пір, поки твердість не досягала початкового рівня (рис. 1). Крок вимірювань складав  $\delta = 40$  мкм.

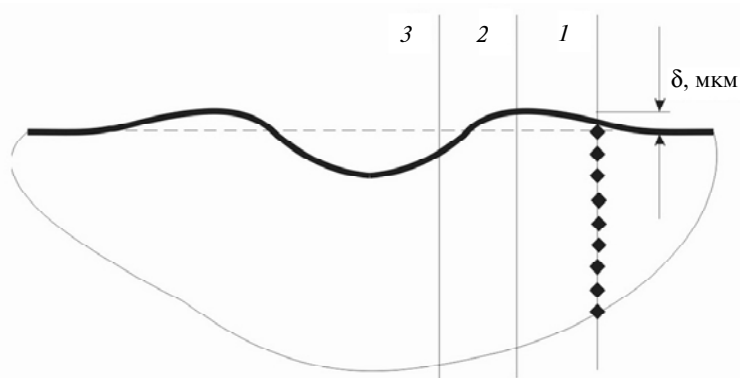


Рис. 1. Схема вимірювання мікротвердості зразків чавуну.

Після деформації на попередньо протравлених зразках обирали ділянки, які мали характерні включення фериту та перліту у початковому та zdeформованому станах.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На рис. 2 показано мікроструктуру досліджуваних зразків у початковому стані:

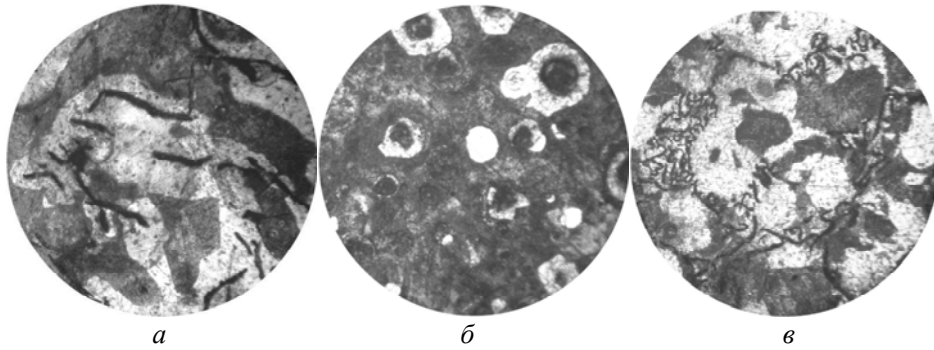


Рис. 2. Мікроструктура зразків чавуну СЧ20 (а), ВЧ50 (б) и КЧ33-8 (в);  $\times 380$ .

Стан поверхні дослідних зразків у зони окрайки відбитка після декількох циклів деформування показано на знімках (рис. 3), що було отримано на мікроскопі. Досліди показали, що поверхня ковкого чавуну КЧ33-8 біля окрайки відбитка почала руйнуватися вже після другого циклу деформування. Про це свідчить поява великої кількості тріщин в зоні максимального деформування та відокремлення частинок матеріалу від основи, які виділено стрілками (див. рис. 3, в). Для наочності окрайка відбитка на знімку позначена пунктирною лінією. Концентраторами напруги виступають включення графіту характерної форми, вздовж яких починається розвиток тріщин та зломів.

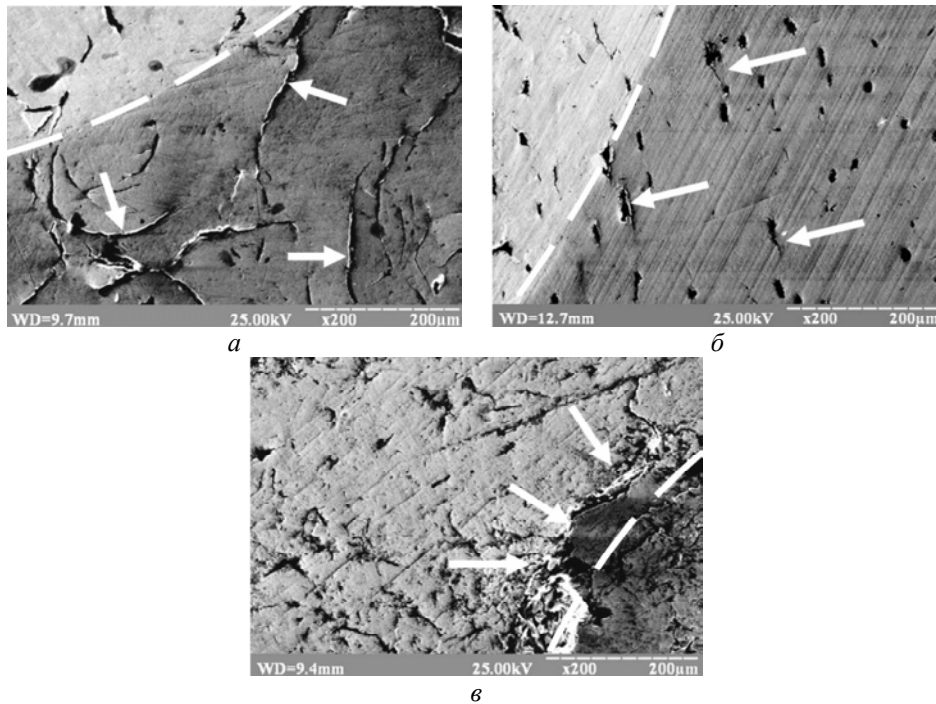


Рис. 3. Характер руйнування поверхні зразків чавуну СЧ20 (а), ВЧ50 (б) і КЧ33-8 (в);  $\times 200$ .

Сірий чавун СЧ20 почав руйнуватися після п'ятого циклу навантаження (див. рис. 3, *a*). Ознаками руйнування є поява дрібних тріщин на оброблюваній поверхні переважно вздовж графітних включень. Також можна відмітити, що окремі частинки металу починають відокремлюватись від зразка.

Ознаки руйнування ті ж самі, що й у чавуну марки КЧ. Графіт у вигляді пластинок значно послаблює металеву структуру чавуну та служить основним концентратором напруг в цьому місці. Відсутність руйнування обробленої поверхні зразка із високоміцного чавуну після шостого циклу навантаження (див. рис. 3, *б*) можна пояснити наступним чином. Компактна куляста форма графіту має найменше відношення площини його поверхні до об'єму зразка, внаслідок чого вона менше послаблює робочий перетин та не має великого впливу як концентратор напруг у металевій основі. Внаслідок цього прикладене навантаження розподіляється більш рівномірно. В результаті деформування поверхневого шару зразка на глибину до 1,0–1,5 мм спостерігається значна зміна форми феритних включень та розташованого біля них вільного графіту (рис. 4).

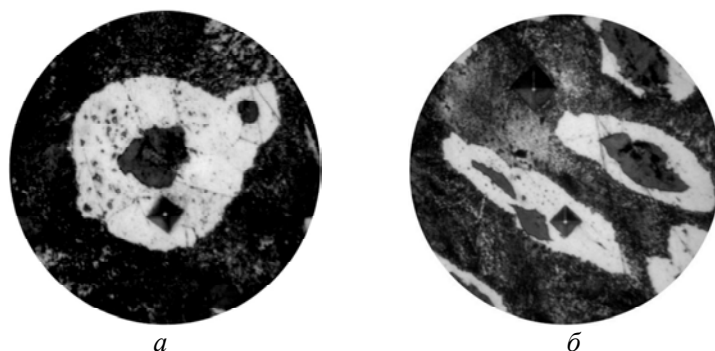


Рис. 4. Зерна фериту чавуна ВЧ50 у початковому стані (*a*) і zdeформовані (*б*);  $\times 380$ .

Куляста форма обох цих включень перетворюється у видовжені овали або витягнуті пластинки. Перлітні включення практично не змінюють свою форму (рис. 5), про що також свідчить незначна зміна мікротвердості відповідно у zdeформованій та необробленій зонах.

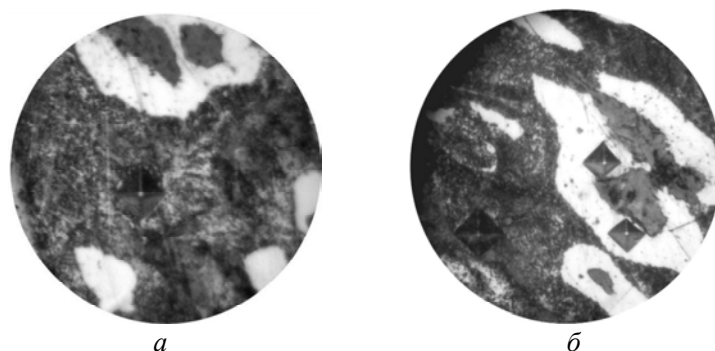


Рис. 5. Зерна перліту чавуну ВЧ50 у початковому стані (*a*) і zdeформовані (*б*);  $\times 380$ .

Якщо розглянути поперечний перетин відбитка у зоні максимальної деформації металу, то можна відмітити ділянки, на яких добре видно zdeформовані зерна графіту (рис. 6)

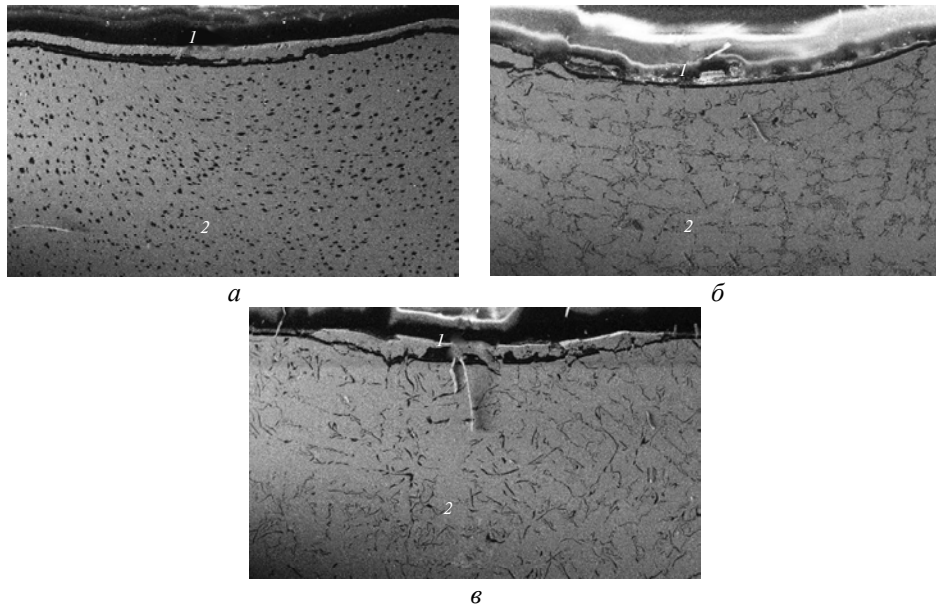


Рис. 6. Здеформована зона зразків чавуну СЧ20 (а), ВЧ50 (б) и КЧ33-8 (в) у поперечному розрізі відбитку: 1 – компаунд (епоксидна смола), 2 – тіло зразка;  $\times 25$ .

Результати вимірювання твердості поверхні після кожного циклу деформування наведено на рис. 7.

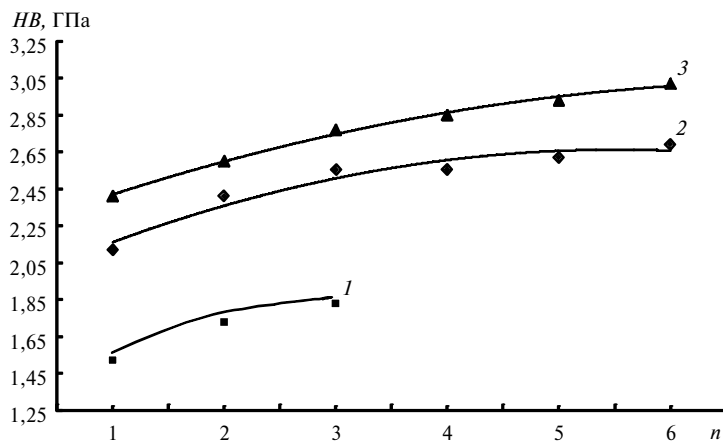


Рис. 7. Твердість оброблених зразків чавуну КЧ33 (1), СЧ20 (2) і ВЧ50 (3) за Брінеллем після кожного циклу навантаження твердосплавною кулькою;  $n$  – кількість циклів навантаження.

На рис. 8 представлено результати вимірювання мікротвердості в напрямку від обробленої поверхні на глибину.

Аналіз отриманих даних показує, що після кількох циклів деформації поверхневого шару на всіх досліджуваних зразках відбувається підвищення твердості у зоні отриманого відбитка до певної межі, після чого твердість стає сталою величиною. Це можна пояснити тим, що перезміцнення обробленої поверхні призводить до зсуву та відокремлення частинок чавуну вздовж концентраторів напруги – а саме графітних включень. Щодо розподілу мікротвердості, то для сірого та ковкого чавунів вона зростає від поверхні зразка

до глибини 280–400 мкм, після чого починає зменшуватися до початкової величини. Вимірювання твердості на зразках високоміцного чавуну ВЧ50 показало, що максимальна мікротвердість спочатку росте до 380 МПа на глибині 150–250 мкм, а далі вона починає зменшуватись до 320 МПа. Це свідчить про перехід від zdeформованої та перезміцненої зони до шару металу, який не зазнав змін.

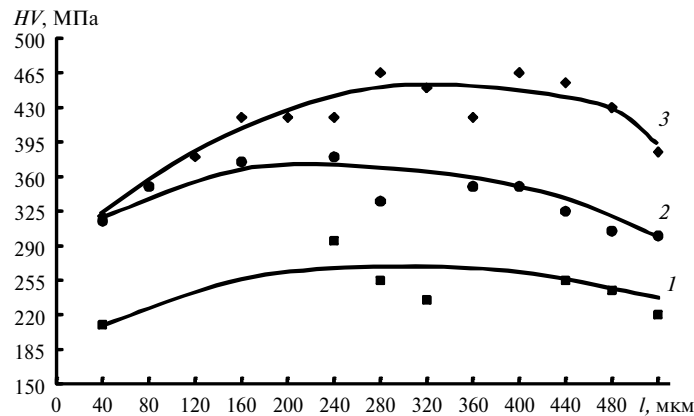


Рис. 8. Розподіл мікротвердості зразків чавуну за Вікерсом по глибині: КЧ33 (1), ВЧ50 (2) и СЧ20 (3).

Отримані результати використані авторами при розробці конструкції комбінованої деформуюче-ріжучої протяжки з твердосплавними деформуючими елементами [10] (рис. 9), яку застосовували для обробки отвору у втулці із сірого чавуну СЧ20.

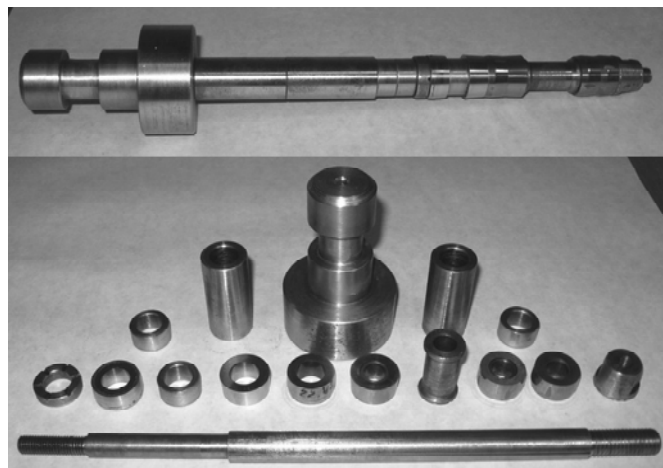


Рис. 9. Комбінована протяжка для обробки круглих отворів.

Порівняно із протяжками, які оснащено робочими елементами із швидко-різальних сталей, такий інструмент має підвищену стійкість завдяки використанню твердого сплаву. Збірна конструкція протяжки забезпечує гнучкість її перенастроювання на інший розмір оброблюваного отвору та можливість швидкої заміни зношених робочих елементів. Кількість деформуючих елементів та натяги на них, а також припуски для ріжучих зубців протяжки, оби-

раються залежно від марки оброблюваного матеріалу, дозволяючи тим самим отримувати оброблену поверхню необхідної якості.

За результатами досліджень можна зробити наступні висновки:

– Найбільш високий приріст твердості оброблюваної поверхні відбувається під час пластичної деформації чавунів із феритною структурою, в меншій мірі зміцнюється оброблюваний матеріал, який має перлітну структуру.

– Пластичне деформування матеріалу досить наглядно підтверджується зміною форми графітових включень, які характерні для всіх графітовмісних чавунів. Слід зазначити, що пластичне деформування поверхневого шару металу розповсюджується на зону, яка знаходиться під обробленою поверхнею.

– Здатність графітовмісного чавуну до перезміцнення та подальшого лушення безпосередньо залежить від форми графітних включень. Оброблювана поверхня зразків з ковкого чавуну починає руйнуватись вже після 1–2 циклів деформування. Для досягнення подібного ефекту на зразках сірого та високоміцного чавунів необхідно виконати 5–6 циклів деформування.

– Результати дослідження дозволяють, в залежності від марки оброблюваного чавуну, визначити кількість твердосплавних деформуючих елементів та розподілити на них, враховуючи допустиму кількість циклів деформування, при використанні комбінованої деформуюче-ріжучої схеми протягування, а також розробити конструкцію інструмента з використанням розвантаженого ріжучого зубця.

*С применением испытательного и металлографического оборудования, а также современного электронного растрового микроскопа исследовано состояние металлической основы и графитных включений во время холодной пластической деформации поверхностного слоя образцов из графитсодержащих чугунов твердосплавным инструментом.*

**Ключевые слова:** *твердый сплав, деформирующе-режущее протягивание, графитсодержащий чугун, холодная пластическая деформация, структура поверхности.*

*With using of the test and metallographic equipment, as well as modern scanning electron microscope to study the behavior of the metal substrate and the graphite inclusions during cold plastic deformation of the surface layer of the samples of graphite cast iron carbide tools.*

**Keywords:** *carbide distorting elements, deforming-cutting broaching, graphite cast iron, cold plastic deformation, surface structure.*

1. Колкер Я. Д. Чистовая обработка отверстий в чугунных деталях холодным пластическим деформированием. – К.: Техника, 1972. – 44 с.
2. Розенберг А. М., Посвятенко Э. К., Бусел Ю. Ф. и др. Расчет и проектирование твердосплавных деформирующих протяжек и процесса протягивания. – К.: Наук. думка, 1978. – 256 с.
3. Розенберг О. А., Студенец С. Ф., Мельниченко В. В. Особенности использования комбинированного протяжного инструмента для обработки внутренних полостей крупных чугунных цилиндров // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – Вып. 11. – С. 428–433.
4. Позднякова И. В., Кривонос А. Я. Исследование процесса дорнования малопластичных материалов // Размерно-чистовая и упрочняющая обработка поверхностным деформированием. – Минск: Министерство станкостроения и инструментальной промышленности, 1968. – С. 109–115.
5. Антонюшин Ю. Т. Пластическая деформация чугуна. – Минск: Наука и техника, 1989. – 119 с.



6. Ламашевский В. П., Маковецкий И. В. Деформирование и прочность ковкого чугуна при сложном напряженном состоянии // Проблемы прочности. – 2005. – № 5. – С. 71–84.
7. Розенберг А. М., Розенберг О. А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. – К.: Наук. думка, 1990. – 320 с.
8. Марковец М. П. Определение механических свойств металлов по твердости. – М.: Машиностроение, 1979. – 191 с.
9. Розенберг А. М., Розенберг О. А., Кривошея В. В. Упрочнение поверхности при деформирующем протягивании втулок с бесконечной толщиной стенки и способ определения предельного упрочнения // Резание и инструмент: Респ. межвед. науч-техн. сб. – 1985. – Вып. 33. – С. 103–107.
10. Срьомін П. М., Чернявський О. В., Гречка А. І. Розширення технологічних можливостей комбінованого протягування отворів у деталях із малопластичних металів // Вісник СумДУ. Серія “Технічні науки” – 2010. – Вип. 4. – С. 52–54.

Ін-т надтвердих матеріалів  
ім. В. М. Бакуля НАН України  
Кіровоградський національний технічний ун-т

Надійшла 19.11.14