

## РАЗДЕЛ II ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.7.0142:669.112

DOI: 10.37142/2076-2151/2019-2(49)76

Миронова Т. М.  
Ашкелянecь А. В.  
Петруша А. А.  
Бояркін В. В.  
Моргун І. В.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОВЕДІНКИ ДВОШАРОВИХ ЧАВУННИХ ЗАГОТІВОК В ПРОЦЕСІ КУВАННЯ

Чавуни традиційно використовують в якості ливарних сплавів для виготовлення виробів, що працюють в різних галузях промисловості. Білі чавуни використовують для деталей з підвищеною зносостійкістю завдяки наявності в їх структурі великої кількості евтектичних карбідів, що розташовуються навколо дендритів твердого розчину і забезпечують високий рівень твердості і міцності. Утворення колоній ледебуриду у вигляді сітки обумовлює низький рівень здатності протистояти ударним навантаженням, сприяє викришуванню окремих «зерен» при абразивному зносі і обмежує застосування цих сплавів. Підвищенню рівня механічних властивостей сприяє легування карбидоутворюючими елементами такими, як хром, ванадій, ніобій, титан та інші. Ці елементи здатні утворювати карбіди типу  $Me_7C_3$  та  $MeC$ , на базі яких кристалізуються евтектики, що суттєво відрізняються від ледебуриду: матричною фазою в них є більш пластичний аустеніт, а в ледебуриті – крихкий карбід заліза [1–4]. Але ж для утворення таких структур необхідно високе легування, що значно підвищує собівартість виробництва. Альтернативою таким витратам є використання обробки тиском, що сприяє подрібненню евтектичної сітки в структурі білих чавунів та суттєво покращує комплекс механічних та експлуатаційних властивостей [5–7]. Перешкодою для широкого застосування деформування цих сплавів є їх низький рівень пластичності в литому стані. У зв'язку з вище сказаним актуальною проблемою є як створення нових складів сплавів з підвищеним рівнем пластичності, так і розроблення нових способів деформування заготовок, наприклад, в пластичній оболонці.

Метою даної роботи є дослідження впливу наявності більш пластичного поверхневого шару у вигляді оболонки на поведінку заготовки із білого чавуну при деформуванні куванням.

Деформацію сплавів здійснювали в лабораторії НМетАУ на кафедрі обробки металів тиском ім. акад. О. П. Чекмарьова, на пневматичному молоті з вагою падаючих частин 50 кг.

Спочатку проводили моделювання процесу кування чавунної заготовки. Було обрано наступну модель: чавун заливався в трубу із сталі 40Х, яка використовувалася як виливниця. Зовнішній діаметр труби 40 мм, а внутрішній 35 мм. Відповідно діаметр відлитого чавуну теж складає 35 мм. Для робочого інструменту було обрано сталь 5ХНМ. Кування проводили методом ковальської протяжки у плоских бойках, а також методом осадження осадочною плитою. Температурний інтервал було обрано в межах 1000–800 °С. Тертя між чавунною заготовкою й «оболонкою» було встановлене як повне прилипання оскільки чавун заливався в «оболонкою». Відповідно коефіцієнт тертя дорівнює 1. Початкову температуру інструменту було обрано 20 °С. Коефіцієнт тепловіддачі 50000 Вт/м<sup>2</sup>К.

Результати моделювання, для якого використовували програмне забезпечення QForm [8], показали, що при куванні протяжкою відбувається неконтрольована формозміна товщини стінки «оболонки», що, тим не менш, не впливає на формозміну металу. Оптимальним обтисненням при протяжці є обтиснення 10 %. При деформації більше 20 % відбувається руйнування стінки з пошкодженням поверхні поковки (рис. 1). В місці переходу діаметрів відбувається зменшення товщини оболонки, що досягає 90 % товщини стінки.

Заготовку чавунного виливку було протягнуто на брус прямокутного перетину  $25 \times 40$ .

За промодельованими двома технологіями було з'ясовано, що кування шляхом осадження має значні переваги в якості поверхні поковки проте куванням шляхом витяжки досягається отримання розмірів поковки по кутам в перетині, що є важливим фактором при куванні поковки. В обох випадках деформація розподіляється рівномірно. Проте в обох випадках є істотний недолік, це неопрацьованість середини поковки.

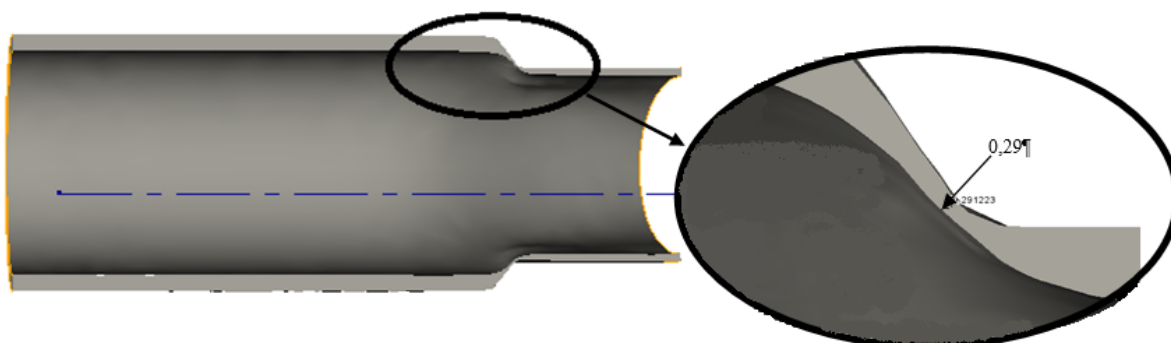


Рис. 1. Зміна товщини «оболонки»

Велику роль в куванні поковок відіграє розподіл напружень по перетину поковки (рис. 2). При куванні протяжкою напруження розподіляються з більшою нерівномірністю, причому найбільші напруження виникають ближче до поверхні поковки. При куванні осадженням теж спостерігається збільшення напруження при наближенні до поверхні, проте загалом розподіл по перетину досить рівномірний, що зменшує ризик руйнування поковки. В той самий час при куванні протяжкою існує ризик руйнування поковки внаслідок більшої нерівномірності напружень, що може призвести до утворення концентраторів напружень і, як наслідок, до руйнування поковки.

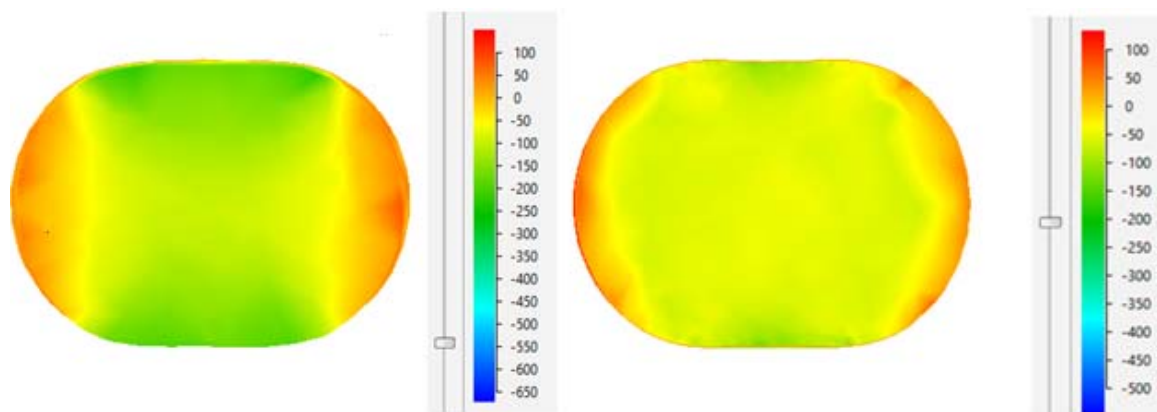


Рис. 2. Розподіл напруження за обома схемами кування

Враховуючи, що в умовах промислового виробництва в багатьох випадках необхідним є застосування при куванні протяжки, в роботі здійснювали комп'ютерне моделювання у програмі QForm протяжки заготовки за різними схемами, а саме: «з круга на круг» та «з круга на квадрат». Інструментом було обрано пневматичний молот з масою падаючих

частин (МПЧ) 50 кг. У якості заготовки, що деформується, був обраний циліндр з діаметром 70 мм та довжиною 162 мм. Також використовувався кувальний маніпулятор для утримання фіксованого положення заготовки.

За допомогою моделювання встановлено, що при протяжці «з кола на коло» відбувається більший деформаційний розігрів у порівнянні із протяжкою «з кола на квадрат». Це у свою чергу вказує на більш високу ступінь пластичної деформації під час протяжки «з кола на коло» (рис. 3, рис. 4). В цьому випадку максимальне значення пластичної деформації досягало  $-2,47$ , а для протягнутої «з кола на квадрат» лише  $-1,32$ . Це у свою чергу вказує на більші значення інтенсивності напружень і пов'язано із тим, що мають місце великі розтягуючі напруження в осьовій частині, а також обраний тип бойків, а саме плоскі бойки, не підходить для осадження «з кола на коло». Максимальне значення напруження для заготовки, протягнутої «з кола на квадрат» становило  $-242$  МПа, а для протягнутої «з кола на коло»  $-316$  МПа.

Для здійснення експериментального кування чавунної заготовки необхідно було враховувати можливість утворення оксидної плівки при заливці чавуну в сталеву трубу. Тобто, бажано, щоб перехід між більш і менш пластичними шарами чавунного вилівка, тобто між оболонкою і основним металом, відбувався поступово.

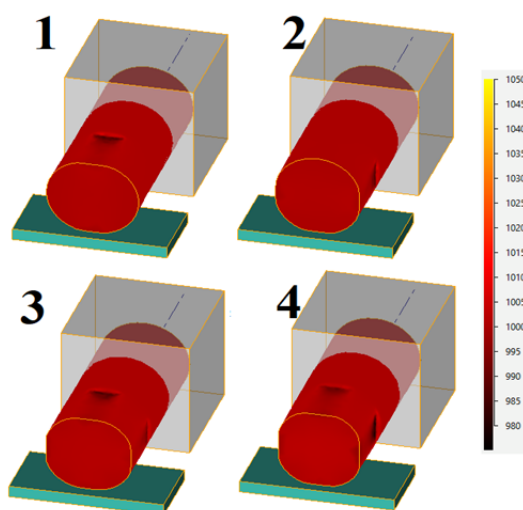


Рис. 3. Розподіл температур деформації при протяжці «з круга на квадрат» на молоті (удар 1–4)

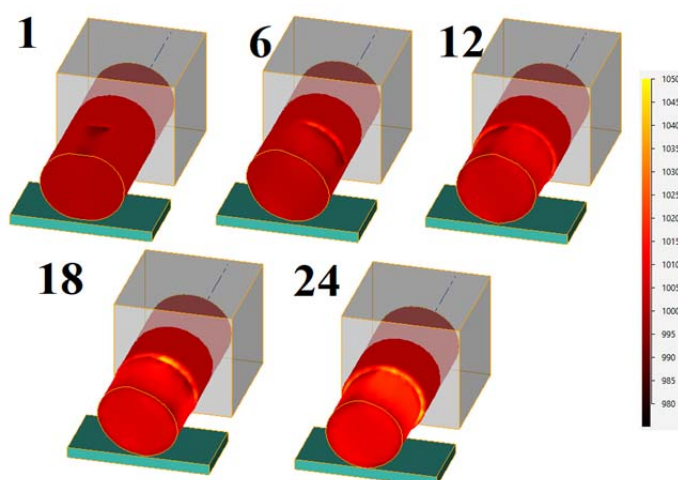


Рис. 4. Розподіл температур деформації при протяжці «з круга на круг» на молоті (удари 1, 6, 12, 18, 24)

В попередніх дослідженнях було встановлено [5], що зменшення ступеня евтектичності білого доевтектичного чавуну сприяє підвищенню його гарячої пластичності, що залежить від вмісту вуглецю (рис. 5). Таким чином, необхідно створити чавунну заготовку із меншим вмістом вуглецю в поверхневому шарі, а з більшим – в центральній частині. Таку макроструктуру можна отримати при застосуванні зневуглецювання під час відпалу перед пластичним деформуванням.

Для проведення експериментальних досліджень використовували білий чавун, що містив 2,8...3,2 % C; 2,7 % V; 0,65 % Si. Цей сплав належить до дактильованих ледебуритних економнолегованих чавунів [5–8]. Дактильованими було названо новий клас економнолегованих чавунів з підвищеною пластичністю, що створено завдяки використанню карбідних перетворень, які відбуваються в евтектичному цементиті. Рівень метастабільності карбіду заліза підвищується при введенні в сплав невеликої кількості карбідоутворюючих елементів [5, 6]. Сумарна кількість легувальних елементів не перевищує 3...4,5 %. Такої кількості недостатньо для заміни ледебуриту на евтектики на базі спеціальних карбідів.

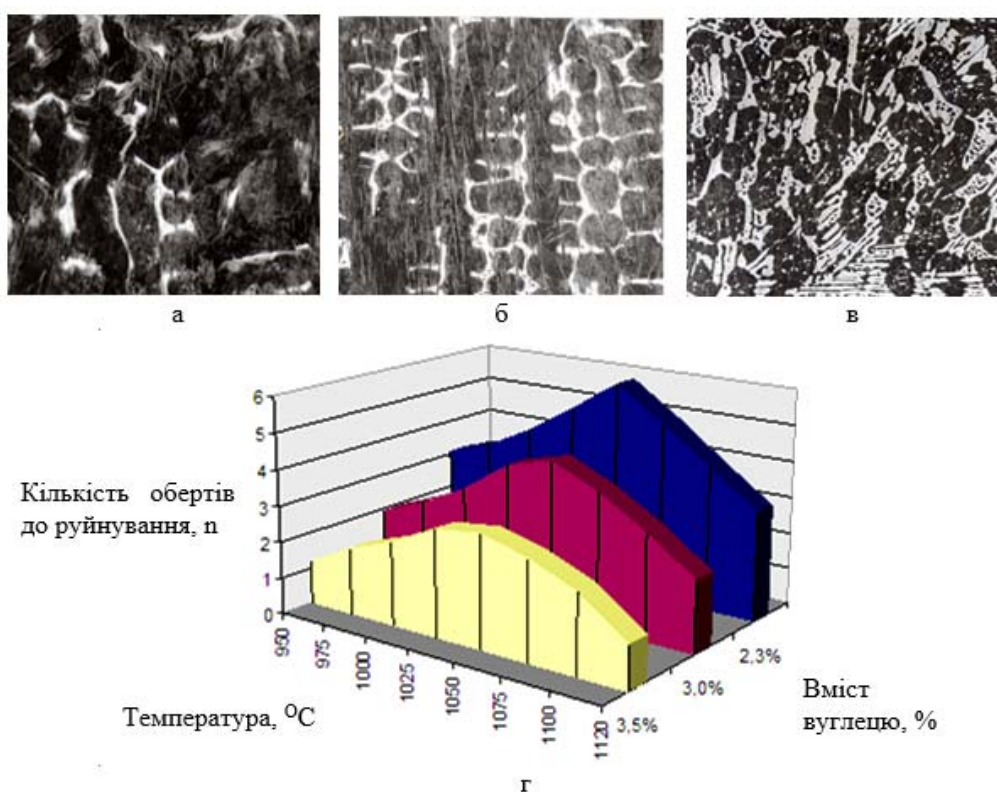


Рис. 5. Структура доевтектичних білих чавунів та залежність їх пластичності (n) при гарячому крученні від температури і вмісту вуглецю:  
а – 2,3 % C; б – 3,0 % C; в – 3,5 % C; × 200;

Проте розчиняючись в цементиті, такі елементи, як, наприклад, ванадій підвищують його метастабільність, а при високотемпературному нагріванні та безпосередньо під час гарячого деформування в ньому відбувається утворення дрібнодисперсних карбідів ванадію. Монолітність цементитної матриці в ледебуритних колоніях порушується за рахунок утворення нових міжфазних меж, по яких полегшується їх подрібнення при деформуванні.

Структура такого чавуну в литому стані при температурі деформування 1050...950 °C складається з дендритів первинного аустеніту, ледебуритних колон в кількості 25...30 % та в незначній кількості залишків ванадієвокарбідної евтектики. При високотемпературному нагріванні в евтектичному цементиті відбувається фазове перетворення  $(Fe,V)_3C \rightarrow VC + A + Fe_3C$  [9]. Процес розпаду цементиту інтенсифікується в поверхневих шарах чавунної заготовки в результаті зневуглецювання при високотемпературному відпалі перед куванням.

Глибина знеуглецьованого шару після відпалу 3...7 год в атмосфері CO<sub>2</sub> складає 2...5 мм. Мікроструктура цього шару складається із аустеніту і дрібних часток VC (рис. 6, а). В перехідному шарі спостерігаються залишки цементиту, що не встиг розпастись (рис. 3, б).

Твердість знеуглецьованого шару – 20...21 HRC, в той час як твердість чавуну в центральній частині заготовки не менше 40 HRC. Таким чином, відбувається утворення пластичної оболонки, в якій відбувається подальше деформування.

Під час протяжки пластичний шар поступово тоншає до 0,5 мм, при цьому поверхня не має будь-яких тріщин. В перехідній та центральній зоні заготовки структура суттєво змінюється.

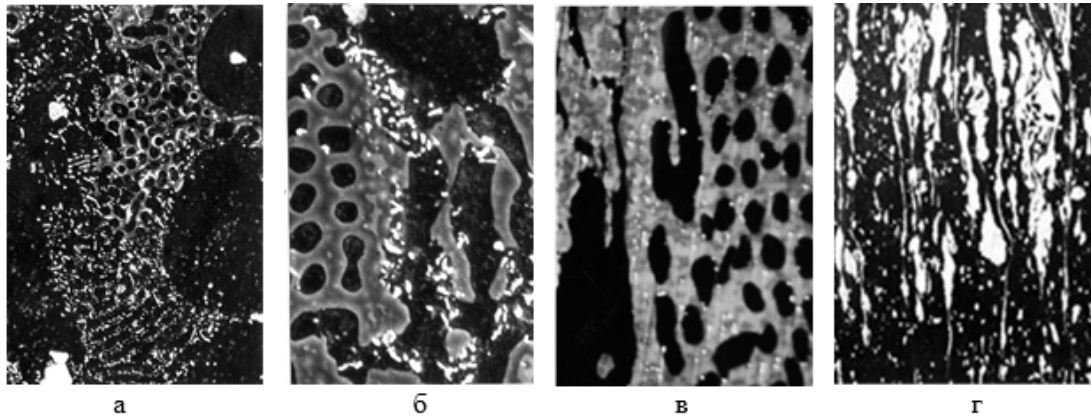


Рис. 6. Мікроструктура чавуну, що містить 2,8...3,2 % С; 2,7 % після знеуглецювання: А – в поверхневому шарі; б – в перехідній зоні; в – в центральній частині заготовки; × 850, г після кування, × 250

При збільшенні ступеню деформування вслід за зернами твердого розчину ледебуритні колонії також витягаються в напрямку розтягуючих напружень (рис. 6, г). При цьому не відбувається ні руйнувань, ні утворення тріщин. Монолітність евтектичної сітки поступово зникає. Формується майже «композитна» структура, що складається із стрічок карбідних утворень, що розташовані поміж продуктів розпаду аустеніту. Для деяких деталей, наприклад, прокатних валків утворення такої будови може зменшити викришування поверхні та підвищити експлуатаційну стійкість. Під час остаточного шліфування поверхні шар більш м'якої оболонки повністю видаляється.

Запропонована схема дозволяє, зберігаючи високу твердість і зносостійкість поковки, значно підвищити деформуємість заготовок з дактильованого чавуну.

## ВИСНОВКИ

1. Результати математичного моделювання процесу кування двошарової чавунної заготовки в більш пластичній оболонці показали, що при використанні методу осадження відбувається більш рівномірний розподіл деформації по перетину поковки, ніж при куванні методом протяжки.

2. Встановлено, що при застосуванні протяжки «з кола на коло» відбувається більший деформаційний розігрів у порівнянні із протяжкою «з кола на квадрат». Максимальне значення пластичної деформації для заготовки, протягнутої «з кола на коло» досягало –2,47, максимальне значення напруження – 316 МПа а «з кола на квадрат» лише – 1,32 та 242 МПа відповідно. Таким чином, ступінь пластичної деформації та інтенсивність напружень значно більша в першому випадку, тобто при протяжці «з кола на коло».

3. При куванні чавунної заготовки методом протяжки використання схеми «з кола на квадрат» є більш бажаним. При необхідності отримання заготовки круглого перетину використання такого методу виправдане в якості проміжного.

4. Наявність більш пластичної оболонки, що отримана за допомогою знеуглецювання поверхневої зони, забезпечує успішне деформування двошарової чавунної заготовки.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Щербединский Г. В. Чугун как перспективный материал XXI столетия. *МиТОМ*. Москва, 2005. 7. С. 83–93.
2. Бунин К. П., Малиночка Я. Н., Таран Ю. Н. Основы металлографии чугуна. Москва. Metallurgy, 1969. 415 с.
3. Таран–Жовнир Ю. Н. Строение эвтектик и создание новых сплавов эвтектического типа. *Сучасне матеріалознавство XXI сторіччя*. Київ, 1998. С. 176–197.
4. Сильман Г. И. Белые легированные чугуны с композиционной структурой. *МиТОМ* : Москва, 2005. 7. С. 94–100.
5. Миронова Т. М., Куцова В. З. Структура и свойства деформируемых чугунов. Днепропетровск : Дриант, 2009. 190 с.
6. Миронова Т. М., Рябчий М. М. Управление формированием структуры в белых ледебуритных чугунах на различных этапах деформационного передела. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2008. 4. С. 79–81.
7. Миронова Т. М., Ашкелянец А. В., Чухліб В. Л., Петруша А. А. Дослідження впливу розмірних параметрів чавунних заготовок та режимів деформування на формування структури в процесі кування. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. 2018. 31 (1307). С. 30–35.
8. Qform-2D/3D. URL: <http://www.qform3d.ru/products/qform>
9. Миронова Т. М., Донская Т. Р., Сидорова А. Ю. О механизмах влияния фазовых переходов на поведение эвтектических карбидов при деформировании. *Вісник Дніпропетр. ун-ту. Сер.: Фізика, Радіоелектроніка*. Дніпропетровськ. 2012. Т. 20. 2. С. 97–104.

## REFERENCES

1. Scherbedinsky G.V. Cast iron as a promising material of the XXI century. *Metal Science and Heat Treatment*. 2005, 7, pp. 83–93. (in Russian).
2. Bunin K.P., Malinochka Y.N., Taran Yu.N. Foundations of cast iron metallography. Moscow. Metallurgy. 1969, 415 p. (in Russian).
3. Taran–Zhovnir Yu.N. The structure of eutectics and the creation of new alloys of the eutectic type. *Scientific Material Science of the 21st Century*. Kyiv. 1998, pp. 176–197. (in Russian).
4. Silman G.I. White alloy cast iron with a composite structure. *Metal Science and Heat Treatment*. 2005, 7, pp. 94–100. (in Russian).
5. Mironova, T.M., Kutsova V.Z. Structure and properties of deformable cast irons. Dnepropetrovsk: Driant. 2009, 190 p. (in Russian).
6. Mironova T.M., Ryabchiy M.M. Structure formation control in white ledeburite cast irons at various stages of deformational redistribution. *Metallurgical and mining industry*. 2008, 4, pp. 79–81. (in Russian).
7. Mironova T.M., Ashkelianets A.V., Chukhlib V.L., Petruscha A.A. Investigation of the influence of dimensional parameters of pig-iron billets and deformation modes on the formation of structure in the forging process. *Bulletin of the NTU "KhPI"*. 2018, 31(1307), pp. 30-35. (in Ukrainian).
8. Qform-3D. Available at: <http://www.qform3d.ru/products/qform>.
9. Mironova T.M., Donskaya T.R., Sidorova A.Yu. On the mechanisms of the influence of phase transitions on the behavior of eutectic carbides during deformation. *Bulletin of DSU*. Ser.: Physics, Radio Electronics. Dnepropetrovsk. 2012, 20, 2, pp. 97–104. (in Russian).

Миронова Т. М. – д-р техн. наук, проф. каф. матеріалознавства НМетАУ;

Ашкелянец А. В. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМТ НМетАУ;

Петруша А. А. – аспірант каф. матеріалознавства НМетАУ;

Бояркін В. В. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМТ НМетАУ;

Моргун І. В. – студент каф. ОМТ НМетАУ.

НМетАУ – Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна.

E-mail: [ashkelianets@gmail.com](mailto:ashkelianets@gmail.com)