

**ГОГАЄВ**

**Казбек Олександрович** — член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, завідувач відділу Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

**ВОЛОЩЕНКО**

**Сергій Михайлович** — кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

УДК .89:621.762:621.822

## БЕЙНІТНИЙ ЧАВУН ДЛЯ ШВИДКОЗНОШУВАНИХ ЗМІННИХ ДЕТАЛЕЙ ҐРУНТООБРОБНОЇ СІЛЬГОСПТЕХНІКИ

*Розглянуто розроблену в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України технологію виробництва литих лемешів і лап культиваторів з високоміцного бейнітного чавуну. Наведено результати досліджень впливу термічної обробки на властивості високоміцного чавуну з бейнітною структурою та дані польових випробувань литих зразків змінних деталей ґрунтообробної техніки.*

**Ключові слова:** бейнітний чавун, термічна обробка, висока зносостійкість, ґрунтообробна техніка.

В агропромисловому комплексі України широко використовують ґрунтообробну техніку з різним навісним і напівнавісним устаткуванням — культиватори, копачі, розпушувачі, плуги тощо. Безпосередньо для обробки ґрунту застосовують змінні деталі — лемеші на плугах, лапи культиваторів, диски для дискових плугів, борін, копачів тощо. Незважаючи на значне (з 30 до 18 млн га) зменшення оброблюваних площ, щорічна потреба у таких змінних деталях тримається на досить високому рівні: 700—750 тис. шт. лап культиваторів, 600—650 тис. шт. дисків для дискових плугів, близько мільйона лемешів. Якість змінних деталей вітчизняного виробництва, на жаль, залишає бажати кращого, середній наробіток сталевих лемешів з наплавленим лезом становить 30—35 га, а без наплавлення — менш як 20 га. Аналогічна картина спостерігається і для інших змінних деталей ґрунтообробної техніки. Імпортні навісні деталі мають у кілька разів вищий ресурс, але вони в 5—8 разів дорожчі і, крім того, не придатні для встановлення на устаткування вітчизняного виробництва.

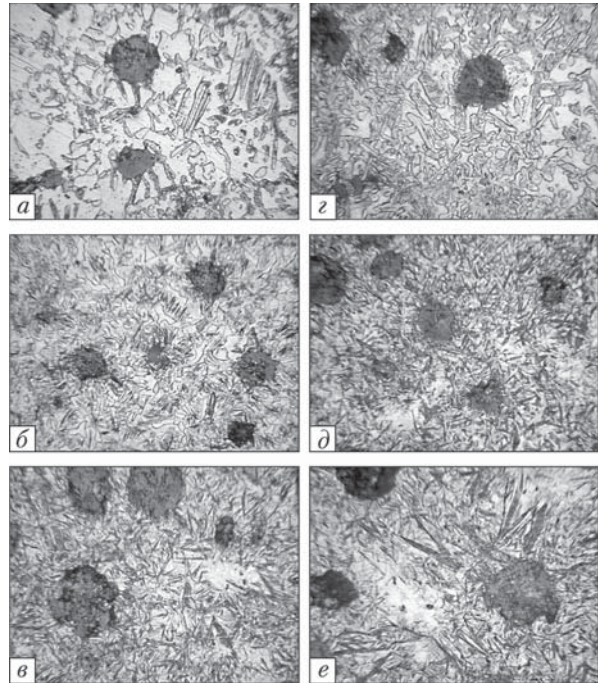
У зв'язку з цим значний практичний інтерес становить використання бейнітного високоміцного чавуну з кулястим графітом для виробництва лемешів та інших деталей ґрунтообробної техніки, які потребують високої зносостійкості й міцності.

Цей матеріал широко застосовують для важко-навантажених деталей, що працюють в умовах абразивного зносу [1–7], на заміну виробів з легованих сталей. Високий ресурс та необхідна експлуатаційна надійність деталей з бейнітного чавуну залежать від структурно-фазового стану, що формується в процесі лиття та подальшої термічної обробки [1, 8].

В Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України було розроблено технологію виробництва литих лемешів і лап культиваторів з високоміцного бейнітного чавуну. Дослідні зразки лемешів і лап культиваторів, виготовлені за цією технологією, випробовувалися в агрогосподарствах Київської, Черкаської, Одеської та Полтавської областей України. Фактичний наробіток литих лемешів з бейнітного високоміцного чавуну з кулястим графітом за період з 2009 по 2011 р. (5 сільськогосподарських сезонів) становив понад 102 га на одиницю. Для порівняння, першим лемешем у 8-корпусному плузі ПЛН-8-35 встановлювали сталевий леміш з наплавленням серійного виробництва, і його наробіток був на рівні лише 18–21 га, що потребувало його постійної заміни.

Аналогічні результати отримано під час експлуатації литих лап культиваторів з урахуванням зміненої конструкції робочої частини при виготовленні. Культивацію проводили на високогумусних чорноземах. Використовували культиватори КПС-4ПП, на яких встановлювали 9 литих лап і 9 лап серійного виробництва зі сталі 65Г (загартування в маслі). За час випробувань упродовж 2011–2014 рр. (шість сезонів) наробіток на одну дослідну лопу становив 150 га, тоді як серійні сталеві лапи лише за період експлуатації з 2011 по 2012 р. довелося поміняти чотири рази. При цьому литі лапи мають гостру робочу кромку, особливо в носовій частині, і можуть експлуатуватися надалі, на відміну від серійних, які втрачають робочу форму внаслідок зносу та вигину.

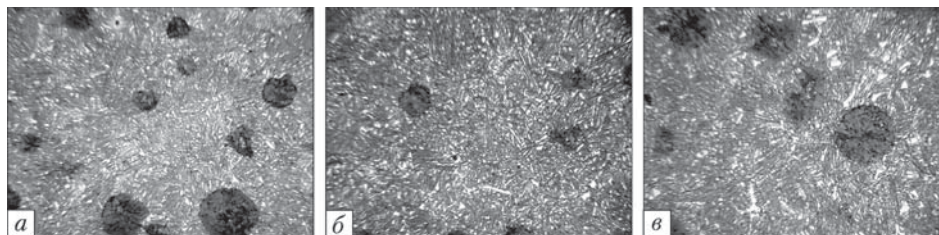
Нещодавно на замовлення приватного підприємства органічного землеробства «Агро-екологія» було виготовлено дослідно-промислово партію лап культиваторів удосконаленої



**Рис. 1.** Мікроструктура бейнітного чавуну після загартування в маслі від температури аустенізації 860, 880, 920 °С з витримкою: а–в – 20 хв; г–е – 40 хв (×500)

конструкції, що забезпечує підрізання кореневої системи бур'яну на глибинах 20–40 мм. Цю партію у кількості 200 шт. призначено для обробітку 10 000 га орних угідь агропідприємства в Полтавській області.

За запропонованою нами технологією литі лемеші і лапи культиваторів виготовляли з бейнітного високоміцного чавуну такого хімічного складу: 3,1–3,2% С; 2,4–3,2% Si; 0,3% Mn; 0,01–0,02% Cr; 0,02% P; 0,02% S. З огляду на економічну доцільність вміст легуючих компонентів обмежили до 0,4–0,6% Ni; 0,3–0,5% Cu; 0,2–0,35% Mo. Плавку проводили в індукційній електропечі ІСТ-0,4, температуру рідкого чавуну перед випуском контролювали за допомогою термопари і підтримували на рівні 1460–1480 °С. Рідкий чавун виливали з печі в ківш, прогрітий заздалегідь до 700–800 °С. З метою отримання кулястого графіту на дно ковша вводили виготовлений методом прокатки композиційний комплексний моди-



**Рис. 2.** Мікроструктура бейнітного чавуну після аустенізації за температури 890 °С з витримкою 30 хв і загартування в олові за температури 310 °С з ізотермічною витримкою: *а* – 1 год; *б* – 2 год; *в* – 3 год (×500)

фікатор у кількості 2,0–2,2 % від маси рідкого металу. Метод прокатки дозволяє виготовляти модифікатори із заданим складом, що забезпечує стабільність результатів модифікування [9]. Модифікатор МКК1 містить 8,5 % Mg; 8 % Ca; 2,5 % Ba; 17 % Al; 12 % Fe; 15 % феросиліцію ФС-75; 3,5 % рідкісноземельних металів; 12 % флюориту.

Вивчення структури і механічних властивостей проводили на зразках, вирізаних з клиноподібних проб. Фазовий склад бейнітного чавуну вивчали за допомогою рентгенофазового аналізу на дифрактометрі HZG-4 в Со-Ка випромінюванні за стандартною методикою.

Для визначення оптимального режиму термічної обробки, який забезпечує необхідний комплекс властивостей, було розглянуто такі варіанти: ізотермічне загартування від оптимальної температури аустенізації в олові за температури 300 і 350 °С і витримки 1, 2 і 3 год. Оптимальну температуру аустенізації визначали за максимальною твердістю та мікроструктурою після загартування зразків у маслі від 860, 880 і 920 °С з витримкою в печі впродовж 20, 40 і 60 хв (рис. 1). Мікроструктура металевої матриці в литому стані – феритноперлітна з кулястим графітом. Твердість зразків у литому стані, вирізаних з клиноподібної проби, становила 22–23 HRC (230–240 HB). Твердість HRC після загартування за температури аустенізації 920 °С і витримки від 20 до 60 хв у зв'язку з появою залишкового аустеніту має тенденцію до зниження (від 57–58 до 54–55 HRC). З аналізу мікроструктури та за даними з твердості, оптимальним режимом

загартування було прийнято такі параметри: температура аустенізації – 880 °С, витримка – 40 хв.

На рис. 2 наведено мікроструктури, отримані на зразках бейнітного чавуну після аустенізації за  $890 \pm 10$  °С. Мікроструктура матриці після ізотермічного загартування в олові як за температури 310 °С, так і за температури 350 °С складається з дрібногочастого бейніту і кулястого графіту.

Лемеші та лапи культиваторів, як і інші деталі навісного устаткування, під час оранки зазнають великих динамічних навантажень та зносу. Працездатність лемешів залежить передусім від таких показників механічних властивостей матеріалу, як міцність, ударна в'язкість, пластичність і зносостійкість.

Як відомо [1, 8], наявність залишкового аустеніту в мікроструктурі бейнітного чавуну впливає на механічні характеристики. Метастабільний залишковий аустеніт у процесі роботи при навантаженнях може переходити в мартенсит і впливати на механічні властивості робочої поверхні, що підвищує зносостійкість виробу. За даними фазового рентгеноструктурного аналізу, після ізотермічного загартування в олові за температури 310 °С та витримки 1 год кількість залишкового аустеніту становить близько 37%. Зі збільшенням часу витримки кількість залишкового аустеніту знижується до 28% після 3 год витримки, а після загартування за 350 °С і за таким самим часом витримки його кількість становить 35%.

Лабораторні випробування зносостійкості дослідних зразків проводили з використанням

різних абразивних середовищ, які моделюють знос лемешів під час орних робіт у різноманітних ґрунтах [10]. Зносостійкість досліджуваних матеріалів визначали ваговим методом, зважуючи зразки до і після випробування. За репер брали дані, отримані в аналогічних умовах для зразка, який вирізували із серійного сталевого лемеша.

За результатами виконаних досліджень, для виробництва литих лемешів і лап культиваторів з бейнітного високоміцного чавуну з кулястим графітом оптимальним режимом

термообробки визначено ізотермічне загартування за температури 340–350 °С і витримки не менш як 2 год. При цьому аустенітизація має відбуватися за температури 880–890 °С. У структурі вихідного чавуну не повинно бути первинної карбідної фази (вибілу).

Отже, розроблена технологія виробництва литих лемешів і лап культиваторів забезпечує підвищення ресурсу експлуатації змінних деталей як мінімум у 5 разів порівняно із серійними деталями вітчизняного виробництва при майже однакових цінах.

## REFERENCES:

- Bobro Yu.G., Pivovarov V.M. *Isothermal Hardening Iron*. (Kharkov: Fakel, 1968). [in Russian]. [Бобро Ю.Г., Пивоваров В.М. *Изотермическая закалка чугуна*. Харьков: Факел, 1968].
- Voloshchenko M.V., Korobko B.P. *Efficiency of production and application of ductile iron*. (Kyiv, 1990). [in Russian]. [Волощенко М.В., Коробко Б.П. *Эффективность производства и применения высокопрочного чугуна*. К.: УкрНИИИТИ Госплана УССР, 1990].
- Gundlach R.V. *Giesserei-Praxis*. 1984. **19**: 317.
- Motz I.M., Kress E. *Thyssen Technologiен*. 1995. **1**: 50.
- Forrest R.D. *Foundry Trade J. Int.* 1983. **8**: 138.
- Chobaut J.-P., Brenot P. *Hommes et fonderie*. 2000. **304**: 14.
- Voloshchenko M.V., Pshonnyy A.P., Sychevskiy I.A., Voloshchenko S.M. In: *Increase physical and mechanical properties of cast iron service in castings through their alloying and modification, heat and high-energy treatment*. Proc. Conf. (Kyiv, 1995). [in Russian]. [Волощенко М.В., Пшонный А.П., Сычевский И.А., Волощенко С.М. Молотки из бейнітного высокопрочного чугуна для помола абразивных материалов. В кн.: *Повышение физико-механических и служебных свойств чугунов в отливках путем их легирования и модифицирования, термической и высокоэнергетической обработки*: тезисы Всеукр. конф. К., 1995. С. 40–41].
- Naydek V.L., Gavrilyuk V.P., Neizhko I.G. *Bainite ductile iron*. (Kyiv, 2008). [in Russian]. [Найдек В.Л., Гаврилюк В.П., Неижко И.Г. *Бейнітний высокопрочний чугун*. К.: ФТИМС, 2008].
- Voloshchenko S.M., Gogaev K.A., Radchenko A.K. Complex modifiers produced by rolling of powder mixtures for iron–carbon steels. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2009. **48**(1–2): 100–104. [in Russian]. [Волощенко С.М., Гогаев К.А., Радченко А.К. Комплексные модификаторы, изготавливаемые прокаткой порошковых смесей для железоуглеродистых сплавов. *Порошковая металлургия*, 2009. № 1–2. С. 128–133].
- Voloshchenko S.M., Gogaev K.A., Radchenko A.K., Askerov M.G. *Visnyk Donbaskoyi derzhavnoyi mashynobudivnoyi akademiyi*. 2008. (1): 56–61. [in Ukrainian]. [Волощенко С.М., Гогаев К.О., Радченко О.К., Аскеров М.Г. Дослідження властивостей високоміцного чавуну для лемешів в залежності від хімічного складу та режимів термічної обробки. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. 2008. № 1. С. 56–61].

Стаття надійшла 20.04.2015.

*К.А. Гогаев, С.М. Волощенко*

Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины  
ул. Кржижановского, 3, Киев, 03680, Украина

БЕЙНИТНЫЙ ЧУГУН ДЛЯ БЫСТРОИЗНАШИВАЮЩИХСЯ  
СМЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ СЕЛЬХОЗТЕХНИКИ

Рассмотрена разработанная в Институте проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины технология производства литых лемехов и лап культиваторов из высокопрочного бейнитного чугуна. Приведены результаты исследований влияния термической обработки на свойства высокопрочного чугуна с бейнитной структурой и данные полевых испытаний литых образцов сменных деталей почвообрабатывающей техники.

**Ключевые слова:** бейнитный чугун, термическая обработка, высокая износостойкость, почвообрабатывающая техника.

*K.A. Gogayev, S.M. Voloshchenko*

Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of National Academy of Sciences of Ukraine  
3 Krzhizhanovskiy St., Kyiv, 03680, Ukraine

BAINITE CAST-IRON FOR WEARING REPLACEABLE COMPONENTS  
OF SOIL-CULTIVATING EQUIPMENT

This article relates the results of research and experiments in the field of influence of thermal processing on qualities of high-resistant cast-iron with bainite structure. The data of field experiments and tests of bainite high-resistant cast-iron moulded samples of plough-shares and also cultivator-sweeps are presented in this article.

**Keywords:** bainite cast-iron, thermal processing, tempering, wear-resistancy.