

УДК 621.89: 621.762: 621.822

doi:10.20998/2413-4295.2022.02.02

## ПІДВИЩЕННЯ ОПОРУ ЗНОШУВАННЮ ПРИ ЛЕГУВАННІ МАРГАНЦЕМ ADI

К. О. ГОГАЕВ<sup>1</sup>, Ю. М. ПОДРЕЗОВ<sup>2</sup>, С. М. ВОЛОЩЕНКО<sup>1</sup>, М. Г. АСКЕРОВ<sup>1\*</sup>,  
М. В. МІНАКОВ<sup>2</sup>, Б. В. ШУРИГІН<sup>2</sup><sup>1</sup>відділ № 10, ІПМС НАН України, Київ, УКРАЇНА<sup>2</sup>відділ № 08, ІПМС НАН України, Київ, УКРАЇНА

\*e-mail: mukafatask@gmail.com

**АНОТАЦІЯ** Досліджено вплив вмісту марганцю на зносостійкість ADI, який був ізотермічно загартований при різних температурах. Аналізували зразки ADI з вмістом Mn 0,78% та 0,24%. Структура чавуну створювалася шляхом аустенізуючого нагрівання при 900 °C протягом 30 хвилин. і подальшого ізотермічного гартування в рідкому олові при температурах 310, 330, 350, 380 °C для зразків з високим вмістом марганцю і при 350, 370 °C для зразків з низьким вмістом. Показано, що збільшення вмісту марганцю збільшує кількість залишкового аустеніту за тих же умов загартовування. Це посилює позитивну роль впливу TRIP на процеси зміцнення та опір зношуванню. Дослідження зносостійкості проводили на лабораторному обладнанні, яке моделювало зношення сільськогосподарчої техніки під час оранки. Випробування проводились на зразках 10 x 10 мм<sup>2</sup> в сухому піску при навантаженні 5 кг і швидкості обертання зразків 2,93 м/с. Це приблизно дорівнює швидкості руху техніки при польових роботах. Цикл роботи складав 5 км пробігу. Після кожного циклу зразки зважувались на аналітичних вагах з точністю 0.1 мг. Встановлено, що за всіх умов гартування легування марганцем суттєво підвищує зносостійкість виробів з бейнітного чавуну за рахунок більш інтенсивного протікання деформаційного індукованого мартенситного перетворення в приповерхневих шарах деталей, що піддаються зношуванню. Рентгенівські дослідження показали, що в зразках з підвищеним вмістом марганцю вміст деформаційно індукованого мартенситу в поверхневих шарах збільшується вдвічі. Мікротвердість при поверхневого шару після зсувної деформації при зношуванні збільшується в 1,5 рази в порівнянні з вихідним зразком. Третина відбитків демонструє аномально високу мікротвердість  $H_{\mu, \text{ср}} = 700 - 900$ . Це відповідає твердості мартенситу в чавунах цього класу. Отримані результати лабораторних експериментів є передумовою до широкого практичного використання TRIP – ефекту, як ефективного механізму деформаційного зміцнення поверхневих шарів землеобробної техніки, що працює в режимі зношування.

**Ключові слова:** ADI матеріали; легування марганцем; ізотермічне гартування; TRIP ефект; залишковий аустеніт; мартенсит; опір зношуванню; мікротвердість

INCREASE IN WEAR RESISTANCE DUE TO MANGANESE ALLOYING  
OF ADI CAST IRONK. GOGAYEV<sup>1</sup>, Yu. PODREZOV<sup>2</sup>, S. VOLOSHCHENKO<sup>1</sup>, M. ASKEROV<sup>1\*</sup>, M. MINAKOV<sup>2</sup>,  
B. SHURIGIN<sup>2</sup><sup>1</sup>Department № 10, IPMS NAS of Ukraine, Kyiv, UKRAINE<sup>2</sup>Department № 08, IPMS NAS of Ukraine, Kyiv, UKRAINE

**ABSTRACT** The effect of manganese content on the wear resistance was studied on ADI materials, that are isothermally quenched at different temperatures. ADI samples with Mn content of 0.78% and 0.24% were analyzed. The final structure of the cast iron was created by austenitizing heating at 900 °C for 30 minutes. and subsequent isothermal quenching in liquid tin at temperatures of 310, 330, 350, 380 °C for samples with high manganese content and at 350, 370 °C for samples with low content. It is shown that increasing the manganese content increases the amount of residual austenite under the same quenching conditions. This enhances the positive role of the TRIP effect on the strengthening of the subsurface layer and wear resistance. Wear resistance studies were performed on laboratory equipment that simulated the wear of agricultural machinery during plowing. Wear resistance tests were performed on samples of 10 x 10 mm<sup>2</sup> in dry sand at a load of 5 kg at speed of 2.93 m/s which is approximately equal to the speed of machinery during agricultural work. The duration of the cycle corresponded to 5 km distance. After each cycle, the samples were weighed on analytical balances with an accuracy of 0.1 mg. It was found that under all conditions of quenching manganese alloying significantly increases wear resistance due to more intensive deformation-induced martensitic transformation in the near-surface layers. X-ray studies have shown that increasing the of manganese concentration doubles the content of deformation-induced martensite in the surface layers. The microhardness of the surface layer after shear deformation during wear increases by 1.5 times compared to the sample without wear. One third of the hardness impressions show abnormally high microhardness  $H_{\mu} = 700 - 900$ . These values correspond to the microhardness of martensite in cast irons of this class. The obtained results of laboratory experiments are a prerequisite for the wide practical use of TRIP - effect as an effective mechanism of deformation strengthening of the surface layers of agricultural machinery operating in the mode of wear.

**Keywords:** ADI materials; manganese alloying; isothermal quenching; TRIP effect; retained austenite; martensite; wear resistance; microhardness

## Вступ

Бейнітний чавун є одним з найважливіших конструкційних матеріалів, який поєднує

технологічність з високими фізико-механічними і експлуатаційними характеристиками. Його аномальне зміцнення пов'язане з реалізацією механізму

мартенситного перетворення індукованого пластичною деформацією (TRIP – ефект). Стандартні схеми об'ємного або поверхневого деформування бейнітного чавуна, значно підвищують параметри деформаційного зміцнення [1], але їх практичне застосування обмежено через значні технологічні ускладнення масового виробництва ливарних виробів. В наших попередніх роботах особлива увага приділена інтенсивному пластичному деформуванню поверхневих шарів виробів, які експлуатуються в режимі зношування [2-4].

З механіки деформування відомо [5], що зсувна компонента деформації (рис. 1) дозволяє накопичувати велику деформацію практично без зміни макроскопічних розмірів. Зокрема, чистий зсув зразка на  $45^\circ$  еквівалентний практично триразовому зменшенню товщини зразка при прокатці. Цей ефект широко використовується в сучасних схемах інтенсивної деформації [6,7], схемах поверхневого зміцнення шляхом протягування або накопчування [8,9].

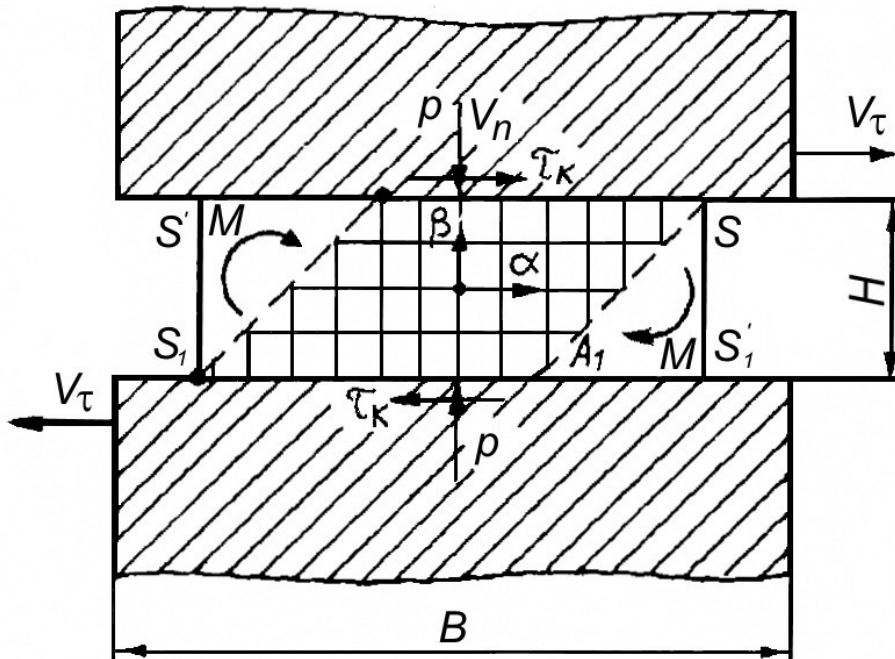


Рис. 1 – Схема зсувної деформації

Структурні зміни в поверхневому шарі після інтенсивного протягування були продемонстровані в роботах О.А. Розенберга з співр. [9] з використанням оптичної металографії. Результати досліджень наочно демонструють велику зсувну деформацію в

поверхневих шарах, де кут нахилу зерен значно перевищує  $45^\circ$  (рис. 2). Наступні електронно-мікроскопічні дослідження [8] показали, що в цих шарах формується деформаційна наноструктура, яка притаманна сильно деформованим матеріалам.

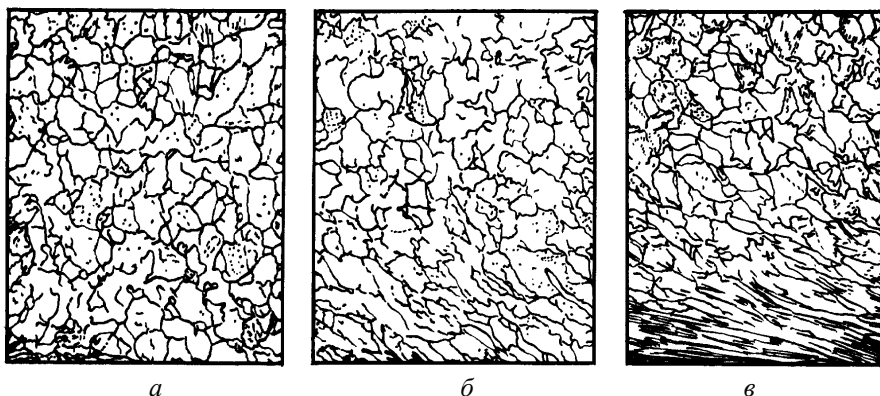


Рис. 2 – Інтенсивний зсув в приповерхневих шарах:  
а – вихідна структура, б – після 10 циклів, в- після 40 циклів [9]

Подібні деформаційні процеси відбувають при поверхневих шарах при терті. В цьому випадку інтенсивна пластична деформація сприяє реалізації TRIP ефекту з утворенням великої кількості мартенситу, наявність якого призводить до різкого збільшення твердості в при поверхневих шарах. Важливо, що за межами деформованої зони структура матеріалу залишається незмінною (рис. 2). При цьому, розмір (глибина) деформованого шару пропорційний зусиллю в робочій зоні та залежить від сили тертя.

Розглянуті вище особливості впливу структури на комплекс механічних характеристик слід враховувати при розробці оптимальних складів та режимів обробки сільськогосподарських виробів. Зокрема, при розробці принципів раціонального мікро легування доцільно звернути увагу на позитивний вплив легування марганцем на реалізацію деформаційно індукованого мартенситного перетворення [10]. Саме марганець найкраще серед металів знижує температуру мартенситного перетворення. В нашій роботі [11] ми показали, що додаткове легування марганцем ADI – чавунів дозволяє підвищити вміст залишкового аустеніту та значно збільшити швидкість деформаційного зміцнення. Отриманий результат було пояснено збільшенням впливу TRIP-ефекту на формування механічних властивостей. Проте, залишилось не вирішеним важливе практичне питання про вплив легування марганцем на зносостійкість.



а



б

а – в зборі; б – складові частини

Рис. 3 – Установка для моделювання зносу металу при роботі на різних ґрунтах

За допомогою рентгенівського аналізу на ДРОН 3М було визначено вміст залишкового аустеніту на вихідних зразках, отриманих за різних режимів термообробки, та після експериментів на зносостійкість в приповерхневому шарі біля області тертя. Випробування мікротвердості проводили на приладі ПМТ-3 з зусиллям на індентор 20 та 100 г,

щоб оцінити глибину мартенситного прошарку за методикою, описаною в роботі [2].

### Результати експериментів

На рис. 4 наведені рентенограми для зразків ADI з різним вмістом Mn, які загартовані при 350 °С протягом 90 хв.

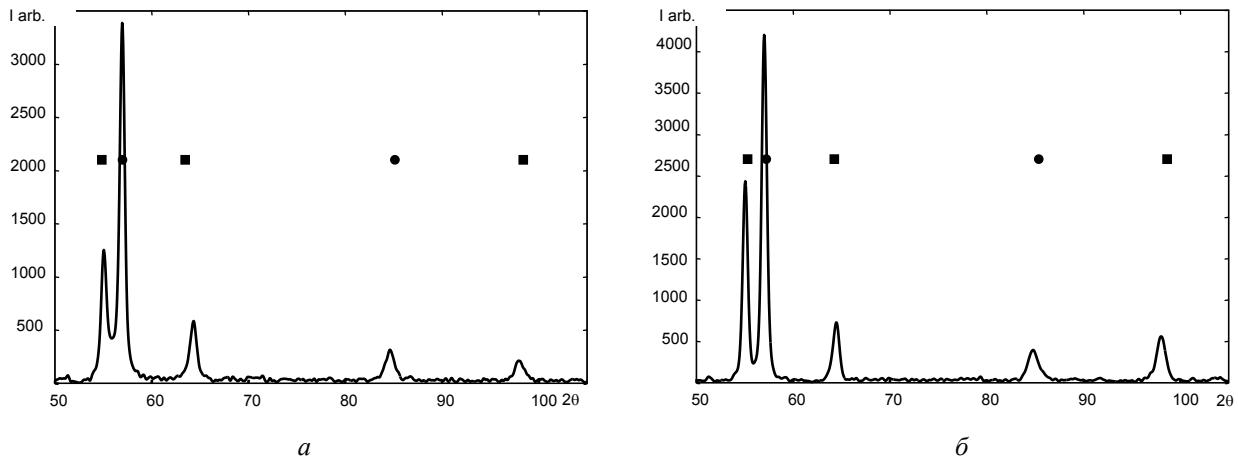


Рис. 4 – Рентгенограми зразків ADI з вмістом Mn: 0,24 % (а) та 0,78% (б) які загартовані при 350 °С з витримкою протягом 90 хв. ■ – лінії аустеніту, ● – лінії фериту [11]

Наведені в таблиці результати рентгенівського аналізу показують, що за однакових умов гартування при збільшенні вмісту марганцю кількість залишкового аустеніту підвищується. В усіх досліджених випадках підвищенням температури гартування веде до збільшення вмісту залишкового аустеніту.

Границя плинності та твердість збільшується з температурою зменшуються з температурою

гартування, тоді, як пластичність ударна в'язкість – збільшуються. З табл. 1 видно, що такі закономірності зберігаються незалежно від складу, але кількісні значення цих характеристик в великій мірі залежать від вмісту Mn. В усіх випадках збільшення вмісту марганцю веде до збільшення твердості, але зменшує ударну в'язкість.

Таблиця – Фазовий склад, механічні властивості та параметри зношування ADI з різним вмістом Mn

T <sub>із</sub> втр., °С	Mn	Аустеніт вихідний	Аустеніт після тертя	Мартенсит після тертя	Середня трата ваги на км	НВ	КС
	% ваг	% об.	% об.	% об.	г		
330	0,78	42,7	24,4	18,3	7,55	365	45
350	0,78	43,9	27,8	16,1	15,0	347	55
380	0,78	46,6	31,2	15,4	16,9	323	90
330	0,24	34,6	20,7	13,9	16,2	345	67
350	0,24	37,5	28,4	9,1	25,3	327	85
370	0,24	38,7	30,7	8,0	26,4	312	125

Проведений в роботі [11] аналіз діаграм навантаження зразків, які випробувані на одновісний розтяг, показав, що при всіх деформаціях, де працює TRIP ефект, швидкість зміцнення в зразках з великим вмістом марганцю збільшується приблизно вдвічі. Прискорення утворення деформаційно індукваного мартенситу в зразках з підвищеним вмістом марганцю відбувається як за рахунок більшого вмісту залишкового аустеніту так і через зниження температури мартенситного перетворення. Це прискорює зміцнення поверхневого шару при терті і підвищує його зносостійкість. З наведених в таблиці даних випливає, що при всіх умовах гартування

зразки з більшим вмістом Mn зношуються вдвічі повільніше.

Провести кількісний аналіз структурних змін при терті достатньо складно через малу товщину деформованого поверхневого шару, в якому відбулось мартенситні перетворення. При відносно малому навантаженні на інструмент, яке для культиваторів та плугів сягає 2-8 МПа глибина деформованого шару складає 2-5 мкм [2]. Це унеможлиблює використання звичайних для металографічного аналізу процедур: шліфування – через внесення додаткових деформаційних дефектів; полірування та травлення – через часткове видалення матеріалу поверхневих шарів. Аналіз отриманих в роботі результатів з

використанням рентгенівського аналізу та вимірювання мікротвердості також потребує їх адаптації до умов експерименту.

Наведені в таблиці дані рентгенівського аналізу демонструють значний вміст мартенситу в при поверхневому шарі. Його кількість збільшується в сплавах з підвищеним вмістом марганцю, що підтверджує гіпотезу про позитивний вміст марганцю на TRIP – ефект. Кількість перетвореного мартенситу значно вища, ніж спостерігалось нами [2,3] та іншими авторами [12] при об'ємних схемах деформування. Наприклад, при стисненні на 25% зразка, загартованого при 330 °С, вміст мартенситу складав 5%. Згідно теорії Коена Олсона [13] кількість утвореного мартенситу пропорційна ступеню деформації. Отже, зсувна деформація поверхневого шарі досягає великих значень. Але рентгенівські дані, на жаль, дають дещо занижені значення вмісту мартенситу в поверхневому шарі, оскільки, як відомо, рентгенівські промені здатні проникати на глибину до 20 мкм, де зсувна деформація відсутня. Крім того, така специфіка рентгенівських досліджень ускладнює аналіз градієнтного характеру деформації та зміну вмісту мартенситу по глибині.

В роботах [2,14] нами було запропоновано аналізувати градієнтні зміни структури та властивостей в тонкому приповерхневому шарі з використанням схем мікро та наноіндентування. Основна ідея полягає в тому, що глибина занурення індентора є співставною з глибиною зміцненого шару. При збільшенні прикладеного зусилля індентор потрапляє в недеформований шар і виміряне значення твердості зменшується. Запропонована в роботі [2] спрощена двошарова схема градієнтної структури дозволяє по результатам вимірювання твердості визначати товщину зміцненого шару. Цей метод був успішно використаний нами при оцінці товщини шару в деформованому ADI – чавуні і в незмінному вигляді планувався для використання в даній роботі. Проте, дослідження мікротвердості, виконані на зразках з великим вмістом марганцю, продемонстрували великий розбіг значень через притаманну цьому елементу значну неоднорідність розподілу по структурі. Тому в основу експерименту було покладено порівняльний статистичний аналіз достатньо великих масивів даних вимірювання твердості поверхневих шарів.

Вимірювання твердості проводили на зразку з підвищеним вмістом марганцю, який був загартований при температурі 330 °С. Згідно даним наведеним в таблиці цей зразок після тертя продемонстрував найменше зношування та найбільший вміст мартенситу в при поверхневому шарі. Величина твердості розраховувалась, як усереднення від експериментальних значень, отриманих на 40 відбитках. Експерименти проводили на поверхні, яка не піддавалась зношуванню та на поверхні того ж зразка після в зношування за режимом, що описаний в методичному розділі.

Індентування проводили зусиллями 20 та 100 г. Оскільки розкид значень детермінований хімічною та структурною неоднорідністю по перерізу, окрема увага приділялась розподілу твердості в отриманому ансамблі значень.

Експерименти показали, що для вихідного зразка середнє значення мікротвердості складає  $H_{\mu\text{сер}} = 489$ . Розкид значень змінюється в діапазоні 390 – 620. Після зношування середнє значення значно підвищується до  $H_{\mu\text{сер}} = 692$ , розкид складає 460 – 977. Важливо, що у третині відбитків твердість на поверхні зношування вища, ніж найбільше значення твердості вихідного зразка. Тобто, ці відбитки отримані з областей структури, в яких відбулось деформаційно індуковане мартенситне перетворення. Такі великі значення мікротвердості є характерними для мартенситу, який утворюється в бейнітному чавуні. Кількість місць, де мартенсит визначається за високими значеннями твердості, дещо більша, ніж об'ємний вміст мартенситу, отриманий з рентгенівських вимірювань.

Збільшення навантаження на індентор до 100 г практично не вплинуло на значення твердості вихідного зразка  $H_{\mu\text{сер}} = 480$ , але дещо знизило виміряні параметри твердості зразка, що піддавався експериментам на зношування  $H_{\mu\text{сер}} = 590$ . Це свідчить про наявність градієнта структурних змін в приповерхневому шарі під час зношування.

## Висновки

Легування марганцем дозволяє суттєво підвищити зносостійкість виробів з бейнітного чавуну за рахунок більш інтенсивного протікання деформаційного індукованого мартенситного перетворення в при поверхневих шарах деталей, що піддаються зношуванню.

Реалізація інтенсивної пластичної деформації в приповерхневих шарах дозволяє за оптимальних умов дозволяє перетворити більшу частину аустеніт в мартенсит. При цьому твердість поверхневого шару зростає вдвічі і відповідним чином зростає зносостійкість.

Зміцнення за рахунок мартенситного перетворення має градієнтний характер, твердість поступово зменшується від максимальних значень на поверхні до значень, характерних для структури вихідного чавуну за межами деформованого шару.

Отримані результати лабораторних експериментів є передумовою до широкого практичного використання TRIP – ефекту, як ефективного механізму деформаційного зміцнення поверхневих шарів землекобробної техніки.

## Список літератури

1. Adel Nofal. Advances in the Metallurgy and Applications of ADI. *Journal of Metallurgical Engineering (ME)*. 2013. Vol. 2. Issue 1. P. 1-18.

2. Гогаєв К. О., Подрезов Ю. М., Волощенко С. М. *Новые области использования высокопрочных чугунок*. Наука про матеріали: досягнення та перспективи. Т.1. К.: Академпер., 2018. 652 с.
3. Гогаєв К. О., Подрезов Ю. М., Волощенко С. М., Аскеров М. Г., Мінаков М. В., Луговський Ю. Ф. Аналіз деформаційного зміцнення АДИ при температурах ізотермічного загартування. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 3-8. doi: 10.20998/2413-4295.2020.03.01.
4. Волощенко С. М. Бейнітний високоміцний чавун для ґрунтообробної техніки. *Агроперспектива*. 2006. № 7. С. 50-51.
5. Segal V. M. Materials processing by simple shear. *Materials Sci. Eng. A*. 2002. 197. P. 157-164.
6. Kopilov V. I. Application of ECAP — Technology for Producing Nano- and Microcrystalline Materials. *In: Investigation and Application of Severe Plastic Deformation. Proc. of NATO ARW. 1999*. Moscow, Russia, 2-7 August 1999. P. 23-27. doi: 10.1007/978-94-011-4062-1.
7. Beygelzimmer Y., Varyukhin V., Orlov D. On Ultrafine Grained Materials: Properties and Structure. *In: Proceedings of the Second Int. Symp., Los Alamos Nat. Lab. Edition, 2002*. P. 234-238.
8. Розенберг О. А., Цеханов Ю. А., Шейкин С. Е. *Технологическая механика деформирующего протягивания*. Гос. технол. акад. Воронеж, 2001. 203 с.
9. Розенберг О. А., Новиков Н. В., Шейкин С. Е., Фирстов С. А., Подрезов Ю. Н., Даниленко Н. В. Формирование градиентной наноструктуры на поверхности деталей методом пластического деформирования. *Металлофиз. новейшие технол.* 2004. 26. № 11. С. 1493-1500.
10. Suh D. W., Ryu J. H., Joa M. S., Yang H. S., Lee K. Y., Bhadeshia H. K. D. H. Medium alloy manganese rich transformation induced plasticity steels. *Metall. Mater. Trans. A*. 2013. 46. P. 286- 293. doi: 10.1007/s11661-012-1402-3.
11. Гогаєв К. О., Подрезов Ю. М., Волощенко С. М., Аскеров М. Г., Мінаков М. В. Вплив вмісту Mn на фазовий склад та механічні властивості бейнітного чавуну (ADI). *Металознавство та обробка металів*. 2021. № 27(100). С. 3-15. doi: 10.15407/mom2021.04.003.
12. Li X. H., Saal P., Gan W. M., Hoelzel M., Volk W., Petry W., and Hofmann M. Strain-Induced Martensitic Transformation Kinetic in Austempered Ductile Iron (ADI). *Metallurgical and Materials Transactions A*. 2017. V. 49(8). P. 94-104. doi: 10.1007/s11661-017-4420-3.
13. Olson G. B., Cohen M. Kinetics of strain - induced martensitic nucleation. *Metall Trans A*. 1975. 6. 791. doi: 10.1007/BF02672301.
14. Danylenko M., Gorban V., Podrezov Yu., Firstov S. A., Rosenberg O., Shejkin S., Morito F., Yamabe-Mitarai Yoko. Gradient Structure Formation by Severe Plastic Deformation. *Materials Science Forum*. 2006. Vol. 503-504. P. 787–792. doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.503-504.787.

## References (transliterated)

1. Adel Nofal. Advances in the Metallurgy and Applications of ADI. *Journal of Metallurgical Engineering (ME)*, 2013, Vol. 2, Issue 1, pp. 1-18.
2. Gogaev K. O., Podrezov Yu. M., Voloshchenko S. M. *Novye oblasti ispol'zovaniya vysokoprochnyh chugunok*. Nauka pro materiali: dosyagnennyya ta perspektivi. V.1. K. Akademp., 2018. 652 p.
3. Gogaev K., Podrezov Y., Voloshchenko S., Askerov M., Minakov N., Lugovskoy Y. Analysis of strain hardening of ADI at isothermal hardening temperatures. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1 (3), pp. 3–8, doi: 10.20998/2413-4295.2020.03.01.
4. Voloshchenko S. M. Bejnitnij visokomicnij chavun dlya gruntoobrobnoj tekhniki. *Agrooperspektiva*, 2006, 7, pp. 50-51.
5. Segal V. M. Materials processing by simple shear. *Materials Sci. Eng. A*, 2002, 197, pp. 157-164.
6. Kopilov V. I. Application of ECAP — Technology for Producing Nano- and Microcrystalline Materials. *In: Investigation and Application of Severe Plastic Deformation. Proc. of NATO ARW, 1999*. Moscow, Russia, 2-7 August 1999, pp. 23-27, doi: 10.1007/978-94-011-4062-1.
7. Beygelzimmer Y., Varyukhin V., Orlov D. On Ultrafine Grained Materials :Properties and Structure. *In: Proceedings of the Second Int. Symp., Los Alamos Nat. Lab. Edition, 2002*, pp. 234-238.
8. Rozenberg O. A., Cekhanov Yu. A., Shejkin S. E. *Tekhnologicheskaya mekhanika deformiruyushchego protyagivaniya*. Gos. tekhnol. akad. Voronezh, 2001. 203 p.
9. Rozenberg O. A., Novikov N. V., Shejkin S. E., Firstov S. A., Podrezov Yu. N., Danilenko N. V. Formirovanie gradientnoj nanostrukturny na poverhnosti detalej metodom plasticheskogo deformirovaniya. *Metallofiz. noveishie tekhnol.*, 2004, 26, 11, pp. 1493-1500.
10. Suh D. W., Ryu J. H., Joa M. S., Yang H. S., Lee K. Y., Bhadeshia H. K. D. H. Medium alloy manganese rich transformation induced plasticity steels. *Metall. Mater. Trans. A*, 2013, 46, pp. 286- 293, doi: 10.1007/s11661-012-1402-3.
11. Gogaev K. O., Podrezov Yu. M., Voloshchenko S. M., Askerov M. G., Minakov M. V. Sensitivity to Mn content mechanical properties of phase composition of ADI. *Metalozn. obrobka met.*, 2021, 27(100), pp. 3-15, doi: 10.15407/mom2021.04.003.
12. Li X. H., Saal P., Gan W. M., Hoelzel M., Volk W., Petry W., and Hofmann M. Strain-Induced Martensitic Transformation Kinetic in Austempered Ductile Iron (ADI). *Metallurgical and Materials Transactions A*, 2017, V. 49(8), pp. 94-104, doi: 10.1007/s11661-017-4420-3.
13. Olson G. B., Cohen M. Kinetics of strain - induced martensitic nucleation. *Metall Trans A*, 1975, 6, 791, doi: 10.1007/BF02672301.
14. Danylenko M., Gorban V., Podrezov Yu., Firstov S. A., Rosenberg O., Shejkin S., Morito F., Yamabe-Mitarai Yoko. Gradient Structure Formation by Severe Plastic Deformation. *Materials Science Forum*, 2006, Vol. 503-504, pp. 787–792, doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.503-504.787.

**Відомості про авторів (About authors)**

**Гогаєв Казбек Олександрович** - доктор технічних наук, чл. кор. НАН України, професор, Інститут проблем матеріалознавства НАН України, зав. відділом № 10 ІПМ НАН України, м. Київ, Україна; e-mail: gogaev@ipms.kiev.ua.

**Kazbek Gogaev** - doctor of technical, professor, Institute of Problems of Materials Science of NAS of Ukraine, head of Department №10 of IPM of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; e-mail: gogaev@ipms.kiev.ua.

**Подрезов Юрій Миколайович** - доктор фізико-математичних наук, Інститут проблем матеріалознавства НАН України, зав. відділом № 08 ІПМ НАН України, м. Київ, Україна; e-mail: yupodrezov@ukr.net.

**Yuriy Podrezov** - Doctor of Physics and Mathematics, Institute of Materials Science, NAS of Ukraine, Head of Department № 08 of the IPM NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; e-mail: yupodrezov@ukr.net.

**Волощенко Сергій Михайлович** - доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, Інститут проблем матеріалознавства НАН України, старший науковий співробітник відділу №10 ІПМ НАН України, м. Київ, Україна; e-mail: volosch@ipms.kiev.ua.

**Sergey Voloshchenko** - doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, Institute for Problems of Materials Science of the National Academy of Sciences of Ukraine, Senior Researcher, Department №10 of IPM of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; e-mail: volosch@ipms.kiev.ua.

**Аскеров Мукафат Гейбат оглы** - кандидат технічних наук, Інститут проблем матеріалознавства НАН України, старший науковий співробітник відділу № 10 ІПМ НАН України, м. Київ, Україна; e-mail: mukafatask@gmail.com.

**Askerov Mukafat Geibat ogly** - candidate of technical sciences, Institute for Problems of Materials Science of the National Academy of Sciences of Ukraine, senior researcher of the department №10 of IPM of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; e-mail: mukafatask@gmail.com.

**Мінаков Миколай Веніамінович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут проблем матеріалознавства НАН України, відділ № 08 ІПМ НАН України, м. Київ, Україна; e-mail: vbyfrjd86@gmail.com

**Nikolay Minakov** – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Institute for Problems of Materials Science of the National Academy of Sciences of Ukraine, Department № 08 of IPM of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; e-mail: vbyfrjd86@gmail.com.

**Шуригін Борис Вікторович** - науковий співробітник, Інститут проблем матеріалознавства НАН України, відділ №08 ІПМ НАН України, м. Київ, Україна; e-mail: vbyfrjd86@gmail.com.

**Boris Shurigin** - Researcher, Institute for Problems of Materials Science of the National Academy of Sciences of Ukraine, Department № 08 of IPM of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; e-mail: bvsch@l.ua

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

Гогаєв К. О., Подрезов Ю. М., Волощенко С. М., Аскеров М. Г., Мінаков М. В., Шуригін Б. В. Підвищення опору зношуванню при легуванні марганцем ADI. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (12). С. 10-16. doi:10.20998/2413-4295.2022.02.02.

*Please cite this article as:*

Gogaev K., Podrezov Y., Voloshchenko S., Askerov M., Minakov N., Shurigin B. Increase in wear resistance due to manganese alloying of ADI cast iron. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2022, no. 2(12), pp. 10–16, doi:10.20998/2413-4295.2022.02.02.

*Надійшла (received) 05.06.2022*