

УДК 621.89: 621.762: 621.822

doi:10.20998/2413-4295.2020.04.04

ВПЛИВ ВМІСТУ МАРГАНЦЮ НА КІЛЬКІСТЬ ЗАЛИШКОВОГО АУСТЕНИТУ ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АДИ ПІСЛЯ РІЗНИХ РЕЖИМІВ ІЗОТЕРМІЧНОГО ГАРТУВАННЯ

**К. О. ГОГАЄВ¹, Ю. М. ПОДРЕЗОВ², С. М. ВОЛОЩЕНКО¹, М. Г. АСКЕРОВ^{1*},
М. В. МІНАКОВ², Ю. Ф. ЛУГОВСЬКИЙ³**

¹відділ № 10, ІПМ НАН України, Київ, УКРАЇНА

²відділ № 08, ІПМ НАН України, Київ, УКРАЇНА

³відділ № 59, ІПМ НАН України, Київ, УКРАЇНА

*e-mail: mukafatask@gmail.com

АНОТАЦІЯ Досліджено вплив вмісту марганцю на фазовий склад та механічні властивості АДИ матеріалів після ізотермічного загартування в діапазоні температур 310 -380 °С. Результати рентгеноструктурних досліджень показали, що за цих умов гартування вміст мартенситної фази збільшується з підвищенням температури гартування. Встановлено, що збільшення вмісту марганцю сприяє збільшенню кількості залишкового аустеніту за однакових умов гартування. Це сприяє посиленню дії TRIP ефекту на процеси зміцнення. Показано, що при однакових умовах гартування вищу границю плинності мають АДИ з малим вмістом Mn, тоді, як твердість вища у зразків з великим вмістом. Різна чутливість цих характеристик зміцнення до вмісту Mn пояснюється посиленням дії TRIP ефекту на швидкість зміцнення на початковій ділянці кривої навантаження в матеріалах з високим вмістом марганцю. Наслідком цього є підвищений рівень твердості в матеріалах з більш високим вмістом марганцю. Натомість, такі матеріали демонструють більш низькі механічні характеристики, які визначаються в момент руйнування. Деформація до руйнування та ударна в'язкість зменшуються практично вдвічі через окрихчуючу дію цього елемента. Вплив марганцю на границю втоми мени суттєвий, оскільки схильність до окрихчення компенсується фазовими перетвореннями в голові тріщини, яке сприяє виникненню стискаючих напружень біля вершини тріщини, і стримує її розповсюдження при втомі. Зважаючи на те, що марганець посилює дію TRIP ефекту але погіршує опір руйнуванню, в роботі пропонується використовувати чавун з підвищеним вмістом Mn у виробках землекоброблювальної техніки, які працюють в умовах зношування але не піддаються екстремальним навантаженням.

Ключові слова: АДИ матеріали; легування марганцем ізотермічна гарт; TRIP ефект; залишковий аустеніт; мартенсит; механічні властивості

INFLUENCE OF MANGANESE CONTENT ON THE AMOUNT OF RESIDUAL AUSTENITE AND MECHANICAL PROPERTIES OF ADI AFTER DIFFERENT MODES OF ISOTHERMAL HARDENING

**K. GOGAEV¹, Y. PODREZOV², S. VOLOSCHENKO¹, M. ASKEROV¹, M. MINAKOV²,
Yu. LUGOVSKIY³**

¹Department № 10, IPMS NAS of Ukraine, Kyiv, UKRAINE

²Department № 08, IPMS NAS of Ukraine, Kyiv, UKRAINE

³Department № 59, IPMS NAS of Ukraine, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The influence of manganese content on the phase composition and mechanical properties of ADI materials after isothermal quenching at temperatures of 310 -380 °C is investigated. The results of X-ray diffraction studies have shown that under these quenching conditions, the content of the martensitic phase increases with an increase in the quenching temperature. It was found that increasing the manganese content increases the amount of residual austenite under the same quenching conditions. This enhances the effect of TRIP on the strengthening process. The consequence is increased level of strengthening in materials with a higher manganese content. It is shown that under the same quenching conditions, ADI with a low Mn content has the highest yield strength, while the hardness is higher for samples with a high content. The different sensitivity of these hardening characteristics to the Mn content is explained by the increased influence of the TRIP effect on the hardening rate at the initial interval of loading curves in materials with higher manganese content. Instead, such materials exhibit lower mechanical properties, which are determined at failure. Deformation and impact strength are reduced by half due to the embrittlement action of this element. The effect of manganese on the fatigue is less significant, because the tendency to embrittlement is compensated by phase transformations in the crack tip, which create compressive stresses at the crack tip and inhibits its spread during fatigue. Due to the fact that

manganese enhances the TRIP effect but impairs the resistance to fracture, it is proposed to use ADI with high Mn content in tillage products that operate in conditions of wear but are not exposed to extreme loads.

Keywords: ADI materials; manganese alloying; isothermal hardening; TRIP effect; retained austenite; martensite; mechanical properties

Вступ

Мартенситні фазові перетворення під дією деформації в останні роки привертають особливу увагу матеріалознавців. На пружній ділянці навантаження перетворення аустенітної фази в мартенситну (stress induced martensite) використовується для створення нових класів надпружних матеріалів, які мають великий попит в медичній галузі [1,2]. Перетворення під дією пластичної деформації, яке найчастіше реалізується в сталях та чавунах, отримало назву TRIP (transformation induce plasticity) ефект. Зазначені особливості структурних перебудов при деформації в сталях використовуються для покращення технології виготовлення виробів автомобільної промисловості [3-5]. В ADI (austempered ductile iron) чавунах цей ефект реалізується, безпосередньо в процесі експлуатації виробів, що піддаються деформації в умовах силових навантажень (особливо це стосується елементів конструкцій, що працюють на зношування) [6,7].

Головною умовою реалізації TRIP – ефекту є наявність залишкового аустеніту, а продуктивність його дії визначається часткою мартенситу, що утворився в наслідок перетворення. Серед факторів, які впливають на кількісні та якісні показники перетворення зазвичай виділяють: температуру ізотермічного гартування [6,7], ступень пластичної деформації [7-9], положення мартенситних точок відносно температури гартування та температури деформації [8-9], а також температуру аустенізації [10] та розмір зерна аустеніту [10]. Безумовно, запорукою успішного використання цього ефекту в великій мірі є вдалий вибір складу чавуну. Розроблені за декілька десятиріч базові принципи структуроутворення дозволили регламентувати вміст найбільш важливих елементів в ADI [6,7]. Проте, зростаюча зацікавленість в цьому матеріалі, яка сприяє розширенню спектру його використання, мотивує подальшу модернізацію складу шляхом легування.

Серед елементів, які найбільше впливають на мартенситне перетворення в сплавах заліза, окрім вуглеці, чий вплив найбільший, зазвичай виділяють Mn та Ni. Ці елементи впливають на мартенситні точки значно сильніше, ніж інші метали [11]. В TRIP-assisted сталях [4,5] залишковий аустеніт стабілізується марганцем. Існують сталі з: малим - до 2%, середнім –до 10% або великим –до 22% вмістом Mn. В чавунах за наявності великої кількості вуглецю, великий вміст стабілізатора аустеніту не потрібен. Але, зважаючи на можливість додаткового покращення властивостей, в декількох дослідженнях

[8,9] вивчали вплив додаткового легування ADI нікелем.

Стосовно марганцю серед дослідників до останнього часу існував певний песимізм [10]. Підвищення вмісту Mn сприяє його сегрегації на границях, посилює карбідоутворення та робить аустеніт нестійким. Кінцевим ефектом є погіршення механічних властивостей та погана оброблюваність. Проте, в декількох роботах київської наукової школи [11] відзначається позитивний вплив марганцю на властивості високоміцного чавуну. Враховуючи, що Mn є елементом, який має сильний вплив на загартованість, за певних умов експлуатації, зазначені вище недоліки можливо компенсувати перевагами в реалізації TRIP ефекту.

Мета роботи

Мета досліджень: дослідження впливу вмісту марганцю на кількість залишкового аустеніту та механічні властивості ADI після різних режимів ізотермічного гартування.

Матеріал і методика

Дослідження проводилися на зразках чавуну (3,44% C; 2,62% Si; 0,024 Cr; 0,54% Cu; 0,71% Ni) з різним вмістом Mn: 0,73% та 0,24. Куляста форма графіту була отримана за рахунок застосування модифікатора, який складався з 7,5% Mg, 35% SK25, 17% Al. Структура чавуну створювалася в результаті аустенізуючого відпалу при 900 ° C з витримкою протягом 30 хв та подальшого ізотермічного загартування в рідкому олові при температурах 310, 330, 350, 380 °C для зразків з великим вмістом марганцю та при 350, 370 °C для зразків з малим вмістом. На зразках, отриманих за різних режимів термообробки, за допомогою рентгенівського аналізу на ДРОН 3М було визначено вміст залишкового аустеніту а також проведений комплекс досліджень механічних властивостей. Випробування на розтягування виконувалися на випробувальній машині UTS - 100, вимірювання твердості, НВ, методом Брінелля за стандартною методикою, ударної в'язкості на копрі КД-300 Опір втомі, σ_{-1} , при консольному вигині на частоті 2 кГц проводили за методикою та на обладнанні, описаному в роботі на кількості коливань $N = 10^7$ [13].

Результати експериментів

Фазовий склад та механічні властивості ADI, що містять різну кількість Mn, наведені в табл. 1. Спостерігається збільшення вмісту залишкового аустеніту з підвищенням температури гартування.

Така поведінка визначається особливостями перерозподілу фериту та аустеніту під час гартування. Саме такий характер впливу умов гартування зазвичай спостерігається в експериментах [6-9]. Кількість аустеніту залежить від вмісту легуючих елементів в ADI. Зокрема, в роботі [9] показано, що збільшення вмісту Ni сприяє збільшенню вмісту залишкового аустеніту за однакових умов гартування. Така сама тенденція спостерігається в наших експериментах при зміні вмісту Mn. При цьому вплив марганцю потужніший, при перерахунку на відсоток легуючого елемента. Це і не дивно, адже цей елемент

більш сильно знижує мартенситну точку та більш сильно стабілізує аустеніт [10].

На ці особливості перерозподілу фаз слід звернути увагу при аналізі механічної поведінки досліджених матеріалів. Як зазначалось в попередніх публікаціях [14,15], температура ізотермічного гартування характерним чином впливає на комплекс механічних властивостей: границя плинності та твердість зменшуються з температурою, тоді, як пластичність ударна в'язкість – зменшуються. З табл. 1 видно, що такі закономірності зберігаються незалежно від складу, але кількісні значення цих характеристик в великій мірі залежать від вмісту Mn.

Таблиця 1 – Фазовий склад та механічні властивості ADI з різним вмістом Mn

T _{із витр.} , °C	Mn	Аустеніт	σ_{02}	σ_m	δ	НВ	КС	H/ σ_{02}	σ_{-1}
	% ваг	% об.	МПа	МПа	%		Дж/см ²		МПа
310	0,78	34,65	910	1237	3,4	397	51,5	0,436	280
330	0,78	42,67	824	1116	2,8	345	45	0,419	470
350	0,78	43,88	751	1041	3,2	347	55	0,462	-
380	0,78	46,59	673	880	3,8	323	90	0,480	-
350	0,24	37,52	847	1124	6,8	327	85	0,385	540
370	0,24	38,68	757	1057	9,0	312	125	0,415	510

Аналіз результатів свідчить про те, що чутливим до вмісту марганцю виявляють, перш за все проявляють, так звані, граничні механічні характеристики, тобто ті, що визначаються в момент руйнування – це деформація до руйнування, ударна в'язкість та характеристика σ_{-1} , що визначає опір втомі. Перші дві характеристики зменшуються практично вдвічі при збільшенні вмісту Mn, що можна пояснити окрихчиючою дією цього елемента [10]. Вплив марганцю на границю втоми менш суттєвий, оскільки негативний вплив структурних факторів, які сприяють окрихченню компенсується фазовими перетвореннями в голові тріщини, що стримує її розповсюдження при втомі. Очевидно, що ця захисна дія збільшується при посиленні TRIP ефекту.

Несподіваний і не логічний, на перший погляд, результат дає порівняльний аналіз значень границі плинності та твердості зразків, що загартовані при однаковій температурі, але мають різний вміст Mn. Отримані результати протирічать твердженню, що між твердістю та границею плинності існує не тільки якісний, але і кількісний зв'язок. З даних табл. 1 видно, що вищу границю плинності мають ADI з малим вмістом Mn тоді, як твердість вища у зразків з великим вмістом. Така невідповідність пояснюється з урахуванням сучасних уявлень про особливості пластичної деформації в області індентора, з яких випливає, що середня деформація в області відбитку твердості дорівнює 8% [16]. Тому фізично

обґрунтований кількісний зв'язок існує між твердістю та деформаційним напруженням, яке вимірюється при 8% деформації. В розглянутому вище випадку це означає, що при великому вмісті Mn швидкість деформаційного зміцнення в області деформацій від 0 до 8% значно вища, ніж при малому. При аналізі механізмів зміцнення чавунів неодноразово [7,14,15] наголошувалось на визначальну роль TRIP ефекту в підвищенні швидкості зміцнення ADI.

Таким чином збільшення вмісту залишкового аустеніту збільшує кількість утвореного при деформації мартенситу, а це, в свою чергу, значно збільшує швидкість зміцнення. Сучасні уявлення про позитивний вплив TRIP ефекту на зношування виробів з ADI базуються на уявленнях про різке зміцнення поверхневого шару за рахунок фазових перетворень в області контактів, що робить привабливим використання чавуна з великим вмістом Mn у виробках, які не піддаються екстремальним навантаженням.

Висновки

Збільшення вмісту марганцю сприяє збільшенню вмісту залишкового аустеніту за однакових умов гартування. Цей вплив є більш потужним, ніж вплив нікелю.

Деформація до руйнування та ударна в'язкість при збільшенні вмісту Mn зменшуються практично вдвічі, що можна пояснити окрихчиючою дією цього

елементу. Вплив марганцю на опір втомі менш суттєвий, оскільки негативний вплив структурних факторів, які сприяють окрихченню компенсується фазовими перетвореннями в голові тріщини, що стримує її розповсюдження при втомі.

При однакових умовах гартування вищу границю плинності мають ADI з малим вмістом Mn, тоді, як твердість вища у зразків з великим вмістом. Різна чутливість цих характеристик зміцнення до вмісту Mn пояснюється посиленням дії TRIP ефекту на швидкість зміцнення на початковій ділянці навантаження в матеріалах з високим вмістом марганцю.

Список літератури

1. Otsuka K., Ren X. Physical metallurgy of Ti–Ni–based shape memory alloys. *Progress in Materials Science*. 2005. Vol. 50. P. 511-678. doi: 10.1016/j.pmatsci.2004.10.001.
2. Ramarolahy A., Castany Philippe, Prima F., Laheurte P., Péron Isabelle, et al. Microstructure and mechanical behavior of superelastic Ti-24Nb-0.5O and Ti-24Nb-0.5N biomedical alloys. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2012. 9. P. 83-90. doi: 10.1016/j.jmbbm.2012.01.017.
3. Blondé R., Jimenez-Melero E., Zhao L., Wright J. P., Brück E., Van der Zwaag S., van Dijk N. H. Mechanical stability of individual austenite grains in TRIP steel studied by synchrotron X-ray diffraction during tensile loading. *Materials Science & Engineering*. 2014. A618. P. 280–287. doi: 10.1016/j.msea.2014.09.008.
4. DeMoor E., Gibbs P. J., Speer J. G., Matlock D. K. Strategies for third generation advanced high strength steel development. *AIST Trans*. 2010. 7. P. 133–144.
5. Lee K. Y. Tensile properties of different chemical compositions for TRIP-assisted multiphase steel for automobile structures. *Int. J. Automot. Technol*. 2008. 9. P. 87–93. doi: 10.1007/s12239-008-0011-z.
6. Гогаєв К. О., Подрезов Ю. М., Волощенко С. М. Новые области использования высокопрочных чугунов. *Наука про матеріали: досягнення та перспективи*. Т.1. Редкол.: Лабанов та ін; НАН України. К.: Академпер., 2018. 652с.
7. Adel Nofal. Advances in the Metallurgy and Applications of ADI. *Journal of Metallurgical Engineering (ME)*. 2013. Vol. 2. Issue 1. P. 1-18
8. Saal P., Meier L., Li X. H., Hofmann M., Hoelzel M., Wagner J. N. and Volk W. In Situ Study of the Influence of Nickel on the Phase Transformation Kinetics in Austempered Ductile Iron. *Metall. Mater. Trans. A*. 2016. Vol. 47. P. 661-671. doi: 10.1007/s11661-015-3261-1.
9. 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). *Metall. Mater. Trans. A*. 2017. doi:10.1007/s11661-017-4420-3.
10. Raghavan V. and Antia D. The driving force for martensitic transformations in low alloy steels. *Metallurgical and Materials Transactions A*. 1996. Vol. 27. no. 4. P. 1127–1132. doi: 10.1007/BF02649781.
11. Kowalski A., Biel-Gołaska M. Shaping the Structure and Properties of ADI with High Mn Content through Changes in Chemical Composition and Heat Treatment. *Advanced*

- Materials Research*. 1997. Vol. 4-5. P. 259-268. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.4-5.259.
12. Бубликов В. Б., Ясинский А. А., Сыропоршнев Л. Н., Козак Д. С., Бачинский Ю. Д. Влияние содержания марганца и скорости охлаждения на кристаллизацию, структурообразование и механические свойства высокопрочного чугуна. *Процессы литья*. 2009. № 6. С. 28-34.
13. Луговойской Ю. Ф. Методика усталостных испытаний композиционных материалов при изгибе полученных электронно-лучевым испарением. *Проблемы спец. Электрометаллургии*. 1987. №4. С. 61–65.
14. Подрезов Ю. М., Волощенко С. М., Гогаєв К. О., Мінаков М. В. Вплив температури ізотермічного гартування на деформаційне зміцнення ADI. *Металознавство та обробка металів*. 2020. № 1. С.15-22.
15. Гогаєв К. А., Подрезов Ю. Н., Волощенко С. М., Аскеров М. Г., Мінаков Н. В., Луговойской Ю. Ф. Анализ деформационного упрочнения ADI при температурах изотермической закалки. Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 3-8. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.01.
16. Мильман Ю. Н., Галанов О. Н., Чугунова С. И., Гончарова И. В. Определение механических свойств малопластичных материалов методом индентирования. *Ceramics 50, Polish ceramic bulletin 12*. Краков: изд-во польской академии наук. 1996. С.95-102

References (transliterated)

1. Otsuka K., Ren X. Physical metallurgy of Ti–Ni–based shape memory alloys. *Progress in Materials Science*, 2005, Vol. 50, pp. 511-678, doi: 10.1016/j.pmatsci.2004.10.001.
2. Ramarolahy A., Castany Philippe, Prima F., Laheurte P., Péron Isabelle, et al. Microstructure and mechanical behavior of superelastic Ti-24Nb-0.5O and Ti-24Nb-0.5N biomedical alloys. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 2012, 9, pp. 83-90, doi: 10.1016/j.jmbbm.2012.01.017.
3. Blondé R., Jimenez-Melero E., Zhao L., Wright J. P., Brück E., Van der Zwaag S., van Dijk N. H. Mechanical stability of individual austenite grains in TRIP steel studied by synchrotron X-ray diffraction during tensile loading. *Materials Science & Engineering*, 2014, A618, pp. 280–287, doi: 10.1016/j.msea.2014.09.008.
4. DeMoor E., Gibbs P. J., Speer J. G., Matlock D. K. Strategies for third generation advanced high strength steel development. *AIST Trans*, 2010, 7, pp. 133–144.
5. Lee K. Y. Tensile properties of different chemical compositions for TRIP-assisted multiphase steel for automobile structures. *Int. J. Automot. Technol.*, 2008, 9, pp. 87–93, doi: 10.1007/s12239-008-0011-z.
6. Gogaev K. O., Podrezov Yu. M., Voloshchenko S. M. Novie oblasti ispolzovaniya vysokoprochnykh chuhunov. *Nauka pro materialy: dosiagnennia ta perspektyvy*, Vol. 1. Redkol. Labanov ta in; NAN Ukrainy. K., Akademper., 2018. 652 p.
7. Adel Nofal. Advances in the Metallurgy and Applications of ADI. *Journal of Metallurgical Engineering (ME)*, 2013, Vol. 2, Issue 1, pp. 1-18
8. Saal P., Meier L., Li X. H., Hofmann M., Hoelzel M., Wagner J. N. and Volk W. In Situ Study of the Influence of Nickel on the Phase Transformation Kinetics in

- Austempered Ductile Iron. *Metall. Mater. Trans. A*, 2016, Vol. 47, pp. 661-671, doi: 10.1007/s11661-015-3261-1.
9. 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). *Metall. Mater. Trans. A*, 2017, doi:10.1007/s11661-017-4420-3.
 10. Raghavan V. and Antia D. The driving force for martensitic transformations in low alloy steels. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 1996, Vol. 27, no. 4, pp. 1127–1132, doi: 10.1007/BF02649781.
 11. Kowalski A., Biel-Gońska M. Shaping the Structure and Properties of ADI with High Mn Content through Changes in Chemical Composition and Heat Treatment. *Advanced Materials Research*, 1997, Vol. 4-5, pp. 259-268, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.4-5.259.
 12. Bublykov V. B., Yasynskiy A. A., Syroporshnev L. N., Kozak D. S., Bachynskiy Yu. D. Vliyanye sodержaniya margantsa i skorosti ohlazhdeniya na krystallyzatsiyu, strukturoobrazovanie y mekhanycheskie svoystva vysokoprochnogo chuhuna. *Protsessi lytia*, 2009, 6, pp. 28-34.
 13. Luhovskiy Yu. F. Metodika ustalostnykh ispytaniy kompozitsyonykh materialov pri izghibe poluchenykh elektronno-luchevym isparenem. *Problemy spets. Elektrometallurhiy*, 1987, 4, pp. 61–65.
 14. Podrezov Yu. M., Voloshchenko S. M., Gogaev K. O., Minakov M. V. Vpliv temperatury izotermichnogo gartuvania na deformatsiine zmitsnenia ADI. *Metaloznnavstvo ta obrobka metaliv*, 2020, 1, pp. 15-22.
 15. 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.
 16. Mylman Yu. N., Halanov O. N., Chuhunova S. Y., Honcharova Y. V. Opredelenie mekhanicheskikh svoystv maloplastichnykh materialov metodom indentirovaniya. *Ceramics 50, Polish ceramic bulletin 12*. Krakov. Izd-vo polskoi akademii nauk, 1996, pp. 95-102.

Відомості про авторів (About authors)

Гогаєв Казбек Олександрович - доктор технічних наук, професор, Інститут проблем матеріалознавства НАН України, зав. відділом № 10 ІПМ НАН України, г. 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. Department №10 of IPM of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine; e-mail: gogaev@ipms.kiev.ua

Волощенко Сергій Михайлович – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, Інститут проблем матеріалознавства НАН України, провідний науковий співробітник відділу №10 ІПМ НАН України, г. 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, Leading Researcher, Division 10 of IPM of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine; e-mail: volosch@ipms.kiev.ua

Аскеров Мукафат Гейбат огли - кандидат технічних наук, Інститут проблем матеріалознавства НАН України, старший науковий співробітник відділу №10 ІПМ НАН України, г. 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, Kiev, Ukraine; e-mail: mukafatask@gmail.com

Подрезов Юрій Миколайович-доктор ф.-м. наук, старший науковий співробітник, Інститут проблем матеріалознавства НАН України, зав. відділу №8 ІПМ НАН України, г. Київ, Україна; e-mail: yupodrezov@ukr.net

Yuriy Podrezov - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Institute for Problems of Materials Science of the National Academy of Sciences of Ukraine, head. Department No. 8 of IPM of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine; e-mail: yupodrezov@ukr.net

Мінаков Микола Веніамінович - кандидат технічних наук, Інститут проблем матеріалознавства НАН України, старший науковий співробітник відділу №8 ІПМ НАН України, г. Київ, Україна; e-mail: vbyfrjd86@gmail.com

Mukola Minakov - candidate of technical sciences, Institute for Problems of Materials Science of the National Academy of Sciences of Ukraine, senior researcher of the department №8 of IPM of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine; e-mail: vbyfrjd86@gmail.com

Лугоський Юрій Федорович - доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, відділ №59 ІПМ НАН України, м. Київ, Україна; e-mail: mukafatask@gmail.com

Yuriy Lugovskiy - doctor of technical sciences, provincial scientific researcher, of the department No. 59 IPM of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine; e-mail: mukafatask@gmail.com

Будь ласка посилайтеся на цю статтю таким чином:

Гогаєв К. О., Подрезов Ю. М., Волощенко С. М., Аскеров М. Г., Мінаков М. В., Лугоський Ю. Ф. Вплив вмісту марганцю на кількість залишкового аустеніту та механічні властивості АДІ після різних режимів ізотермічного гартування. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 4 (6). С. 28-33. doi:10.20998/2413-4295.2020.04.04.

Please refer to this article as follows:

Gogaev K., Podrezov Y., Voloshchenko S., Askerov M., Minakov N., Lugovskoy Y. Influence of manganese content on the amount of residual austenite and mechanical properties of ADI after different modes of isothermal hardening. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 4 (6), pp. 28-33, doi:10.20998/2413-4295.2020.04.04.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Гогаев К. А., Подрезов Ю. Н., Волощенко С. М., Аскеров М. Г., Минаков Н. В., Луговской Ю. Ф. Влияние содержания марганца на количество остаточного аустенита и механические свойства ADI после различных режимов изотермической закалки. *Вестник Национального технического университета «ХПИ».* Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 4 (6). С. 28-33. doi:10.20998/2413-4295.2020.04.04.

АННОТАЦИЯ Исследовано влияние содержания марганца на фазовый состав и механические свойства ADI материалов после изотермической закалки в диапазоне температур 310 -380 °С . Результаты рентгеноструктурных исследований показали, что при этих условиях закалки содержание мартенситной фазы увеличивается с повышением температуры закалки. Установлено, что увеличение содержания марганца способствует увеличению количества остаточного аустенита при одинаковых условиях закалки. Это способствует усилению действия TRIP эффекта на процессы упрочнения. Показано, что при одинаковых условиях закалки высший предел текучести имеют ADI с малым содержанием Mn, тогда как твердость выше у образцов с большим содержанием. Различная чувствительность этих характеристик упрочнения к содержанию Mn объясняется усилением действия TRIP эффекта на скорость упрочнения на начальном участке кривой нагружения в материалах с высоким содержанием марганца. Следствием этого является повышенный уровень твердости в материалах с более высоким содержанием марганца. Зато такие материалы демонстрируют более низкие механические характеристики, которые определяются в момент разрушения. Деформация до разрушения и ударная вязкость уменьшаются практически вдвое из-за охрупчивающего действия этого элемента. Влияние марганца на предел усталости менее существенный, поскольку склонность к охрупчиванию компенсируется фазовыми превращениями в вершине трещины, которое способствует возникновению сжимающих напряжений у вершины трещины и сдерживает ее распространения при усталости. Поскольку марганец усиливает действие TRIP эффекта, но ухудшает сопротивление разрушению, в работе предлагается использовать чугуны с повышенным содержанием Mn в изделия для почвообрабатывающей техники, которые работают в условиях износа, но не подвергаются экстремальным нагрузкам.

Ключевые слова: ADI материалы; легирование марганцем; изотермическая закалка; TRIP эффект; остаточный аустенит; мартенсит; механические свойства

Надійшла (received) 01.01.2020