

УДК 669.13:621.91

В. В. НЕТРЕБКО^{1*}

^{1*}Каф. «Оборудование и технология сварочного производства», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69063, тел. +38 (061) 270 95 20, эл. почта olgavvn@mail.ru, ORCID 0000-0003-3283-0116

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ

Цель. В работе проведен анализ изменений структуры и свойств высокохромистых чугунов под действием физических и тепловых факторов при механической обработке резанием. **Методика.** Разработана и применена методика оценки силового и теплового воздействия резца на обрабатываемый материал. Литые образцы предварительно обтачивались до диаметра 25 мм. На торцевой поверхности образца длиной 50 мм изготавливали микрошлиф. Для точения использовали стандартные пластины 10×10 мм из ВК8 по ГОСТ 19051-80. **Результаты.** Силовое воздействие на образцы из высокохромистого чугуна при обработке резанием вызывало образование наклепа. Воздействие температуры на структуру и свойства высокохромистого чугуна при обработке резанием вызывало повышение пластических свойств металлической основы в зоне резания, дробление карбидной фазы и устраняло наклеп. При точении с глубиной резания 0,8 мм происходило только силовое воздействие резца на образец. В поверхностном слое карбидные включения практически не претерпевали изменений, при этом металлическая основа наклепывалась до 1 100 HV₅₀. По мере удаления от поверхности точения микротвердость металлической основы понижалась и составила 500...520 HV₅₀ на расстоянии 1,2 мм от поверхности точения. На глубине более 3 мм наклеп не наблюдался. Увеличение глубины резания до 1,5 мм вызывало одновременное воздействие как силового, так и теплового факторов. Воздействие температуры проявилось в повышении пластичности металлической основы в поверхностных слоях образца. Наклеп нагретых поверхностных слоев не происходил. По мере удаления от поверхности резания влияние температурного фактора уменьшалось, а силового сохранялось. Пластичность основы понижалась, что вызывало появление наклепа. Металлическая основа наклепывалась до 490...520 HV₅₀. Общий нагрев образца уменьшил глубину наклепа до 0,4 мм. **Научная новизна.** Разработана методика оценки изменений структуры и свойств высокохромистого чугуна под действием физических и тепловых факторов при механической обработке резанием. **Практическая значимость.** Использование данной методики позволит разрабатывать рекомендации по выбору режимов и условий обработки чугуна резанием.

Ключевые слова: высокохромистый чугун; структура; свойства; резание; наклеп

Введение

Обработка резанием деталей из белых высокохромистых чугунов затруднена из-за их высокой твердости. Трудности, связанные с механической обработкой этих материалов, вынуждают ограничивать их применение или изменять химический состав, что приводит к снижению эксплуатационной стойкости [3, 15].

Экономное легирование чугунов [2, 5, 11, 13, 14] создает метастабильные структуры, обладающие повышенной износостойкостью. Воздействие физических и тепловых факторов в процессе механической обработки резанием может вызывать изменения структуры и свойств этих

чугунов, ухудшающие обрабатываемость. Применение смягчающих видов термической обработки удорожает стоимость литья, а иногда оказывается не эффективным [9].

В процессе механической обработки обрабатываемая деталь подвергается силовому воздействию резца, а также тепловому воздействию, которое вызвано трением. При силовом воздействии резца в обрабатываемом материале возникают внутренние напряжения, протекает пластическая деформация и упрочнение (наклеп). Повышение температуры в зоне резания может вызывать изменение структуры и свойств обрабатываемого материала.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Таким образом, в процессе резания в обрабатываемом материале возникают процессы упрочнения (в результате пластической деформации) и разупрочнения (при нагреве). Протекающие физические и тепловые процессы в обрабатываемом материале оказывают значительное влияние на обрабатываемость. Изучение изменений структуры и свойств, протекающих в белых высокохромистых чугунах при обработке резанием, позволит оптимизировать режимы резания и условия обработки (с применением СОЖ или без). Режимы резания, обеспечивающие максимальную производительность, не всегда обеспечивают минимальную себестоимость обработки [12]. Имеющиеся представления [1, 4, 6–8, 10] об изменениях структуры и свойств материалов при деформации и нагреве не позволяют объективно оценить изменения, происходящие в высокохромистых чугунах в процессе механической обработки резанием.

Цель

Цель работы заключалась в анализе изменений структуры и свойств высокохромистых чугунов под действием физических и тепловых факторов при механической обработке резанием.

Методика

Исследовали влияние физических и тепловых процессов на структуру и свойства чугуна состава, масс. %: углерод 3,33; марганец 5,86; кремний 1,10; хром 19,20; никель 2,84; сера 0,02; фосфор 0,03. Чугун выплавляли в индукционной печи с основной футеровкой. В сухие формы отливали цилиндрические образцы диаметром 30 мм и длиной 400 мм. Литые образцы предварительно обтачивались до диаметра 25 мм. На торцевой поверхности образца длиной 50 мм, после изготовления микрошлифа и обработки травителем Марбле, наносили координатные риски через 2 мм (рис. 1) и измеряли микротвердость структурных составляющих, до и после механической обработки резанием, на приборе ПМТ-3 и Duramin-1. Анализ структуры выполняли на оптическом микроскопе Sigeta MM-700 и PEM 106И. Для точения использовали стандартные резцы 10×10 мм из ВК8 по ГОСТ 19051-80. Режимы резания: глубина резания – 0,8 и 1,5 мм; продольная подача – 0,2 мм/об, частота вращения шпинделя при

точении и сверлении – 400 об/мин. СОЖ не применяли. Точение образцов осуществляли от центра к торцевой поверхности (рис. 2).

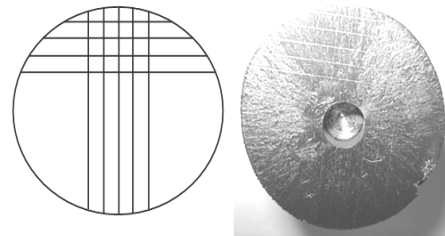


Рис. 1. Образец с насечками

Fig. 1. Specimen with notchings

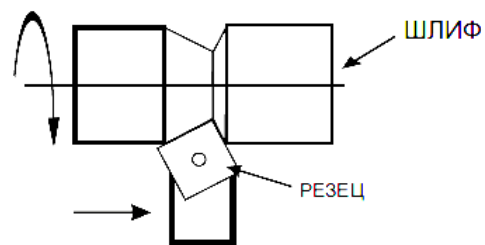


Рис. 2. Схема точения образца

Fig. 2. Specimen's turning scheme

Результаты

Структура высокохромистого чугуна состояла из карбидных включений эвтектического типа и аустенитной металлической основы (рис. 3, а). Микротвердость металлической основы составляла 400...430 HV₅₀.

При точении с глубиной резания 0,8 мм происходило только силовое воздействие резца на образец (температура нагрева до 100 °С). В поверхностном слое карбидные включения практически не претерпевали изменений, при этом металлическая основа наклепывалась до 1 100 HV₅₀ (рис. 4). По мере удаления от поверхности точения микротвердость металлической основы понижалась и на расстоянии 1,2 мм составила 500...520 HV₅₀ поверхности точения. На глубине более 3мм наклеп не наблюдался.

Увеличение глубины резания до 1,5 мм вызывало одновременное воздействие как силового фактора, так и теплового. Температура нагрева заготовки достигала 500 °С. Воздействие температуры проявилось в повышении пластичности металлической основы в поверхностных слоях

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

заготовки. Пластична металічна основа деформувалась в результаті силового впливу різця, при цьому хрупкі карбидні включення дробились і перемещались разом з металічною основою (рис. 3, б, в, з).

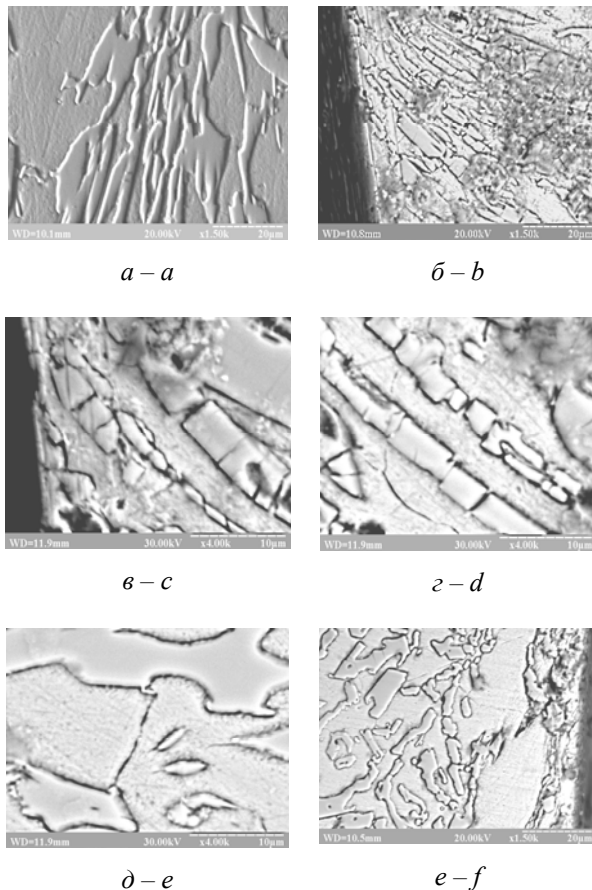


Рис. 3. Структура високохромистого чугуна, до і після різання. Увеличення: 1 500 (а, б, е), 4 000 (в, з, д):

а – вихідна структура; б – структура поверхнового шару після точення при $t = 1,5$ мм; в – дроблення карбидів в поверхновому шарі без наклепа металічної основи; з – дроблення карбидів, наклеп металічної основи і мікротріщини; д – мікротріщини у острокутних гранях карбидів; е – структура поверхнового шару після сверлення

Fig. 3. Structure of high-chromium cast iron before and after machining. Magnification: 1 500 (a, b, f), 4 000 (c, d, e):

а – initial structure; б – structure of the surface layer after turning at $t = 1.5$ mm; в – fragmentation of carbides in the surface layer without strain hardening of the metallic base; д – fragmentation of carbides, strain hardening of the metallic base and microcracks; е – microcracks at the acute-angled edges of carbides; ф – structure of the surface layer after turning

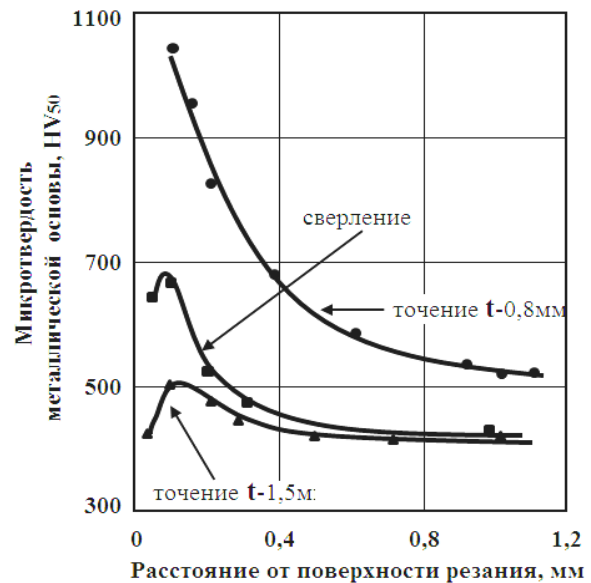


Рис. 4. Влияние различных видов механической обработки резанием на изменение микротвердости поверхностных слоев высокохромистого чугуна

Fig. 4. Influence of different mechanical machining types on the changes of the microhardness of high-chromium cast iron's surface layers

Наклеп нагрітих поверхневих шарів не відбувався. По мірі удалення від поверхні різання вплив теплового фактора зменшувався, а силового зберігалось. Пластичність основи знижувалась, що викликало появу наклепу. Протекаючі процеси деформування металічної основи викликали появу в структурі чугуна смуг сколювання і утворення мікротріщин (рис. 3, з, д). Мікротріщини спостерігались, в основному, у острокутних гранях карбидів (рис. 3, д). Сполучення силового і теплового впливу мало вплив на зміну микротвердості металічної основи при точенні (рис. 4). В поверхновому шарі зразка наклеп повністю відсутній. Зменшення впливу теплового фактора проявилось в підвищенні микротвердості (наклепу) металічної основи до 490...520 HV_{50} на глибині 0,1 мм від поверхні точення. Загальний нагрів зразка зменшив глибину наклепу до 0,4 мм.

Процес сверлення мав менший вплив на оброблюваний матеріал, ніж при точенні за рахунок менших зусиль різання. При сверленні, вплив силового і теплового факторів проявилось в меншій ступені, ніж при точенні, що пояснюється специфікою про-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

цесса сверления. Совместное влияние силового и теплового фактора распространялось на глубину до 0,1 мм. В поверхностном слое до 10 мкм наблюдалось дробление карбидов, за счет силового и теплового воздействия (рис. 3, е). Незначительный нагрев образца при сверлении не устранил силового воздействия сверла. Повышение микротвердости металлической основы чугуна, при сверлении, достигло 660...690 HV₅₀ на расстоянии 0,1 мм от поверхности отверстия (рис. 4). Изменение микротвердости распространялось на глубину до 0,5 мм.

Анализ проведенных исследований позволяет рекомендовать проведение черновой обработки резанием деталей из высокохромистого чугуна, с большой глубиной резания без применения СОЖ (с нагревом детали), что позволит получить поверхностный слой с низкой твердостью. Чистовую обработку целесообразно проводить с глубиной резания до 1 мм с применением СОЖ, что позволит получить рабочую поверхность высокой твердости.

Научная новизна и практическая значимость

Разработана и применена методика оценки изменений структуры и свойств высокохромистого чугуна под действием физических и тепловых факторов при механической обработке резанием. Использование данной методики позволит разрабатывать рекомендации по выбору режимов и условий обработки чугуна резанием.

Выводы

1. Сочетание силового и теплового воздействия определяет процессы упрочнения и разупрочнения поверхностных слоев высокохромистого чугуна. Воздействие силового фактора, повышающего микротвердость поверхностных слоев чугуна, нивелируется нагревом.

2. Силовое воздействие на структуру и свойства высокохромистого чугуна при обработке резанием вызывает наклеп. Зона повышенной микротвердости металлической основы высокохромистого чугуна наблюдается до 3 мм от поверхности резания.

3. Воздействие температуры на структуру и свойства высокохромистого чугуна при обработке резанием проявляется в повышении пластических свойств металлической основы в зо-

не резания, дроблении карбидной фазы и устранении наклепа.

4. Черновую обработку деталей из высокохромистого чугуна целесообразно проводить с большой глубиной резания без применения СОЖ с целью облегчения последующей чистовой обработки. Чистовую обработку целесообразно проводить с глубиной резания до 1 мм с применением СОЖ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бунин, К. П. Металлография / К. П. Бунин, А. А. Баранов. – Москва : Металлургия, 1970. – 256 с.
2. Волчок, И. П. Особенности легирования марганцем износостойких высокохромистых чугунов / И. П. Волчок, В. В. Нетребко // Литье и металлургия. – 2012. – № 3. – С. 162–165.
3. Гарбер, М. Е. Износостойкие белые чугуны / М. Е. Гарбер. – Москва : Машиностроение, 2010. – 280 с.
4. Гарост, А. И. Железоуглеродистые сплавы / А. И. Гарост. – Минск : Беларус. наука, 2010. – 252 с.
5. Гарост, А. Н. Механизм структурообразования в экономнолегированных износостойких чугунах / А. Н. Гарост // Литье и металлургия. – 2012. – № 3. – С. 101–113.
6. Гуляев, А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. – Москва : Металлургия, 1978. – 648 с.
7. Нетребко, В. В. Влияние марганца на структуру высокохромистых чугунов / В. В. Нетребко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 42. – С. 167–169.
8. Сильман, Г. И. Материаловедение / Г. И. Сильман. – Москва : Академия, 2008. – 336 с.
9. Чабак, Ю. Г. Влияние режима отжига на микроструктуру и твердость высокохромистых чугунов с повышенным содержанием аустенитообразующих элементов / Ю. Г. Чабак // Стр-во, материаловед., машиностроение : сб. науч. тр. / ПГАСА. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 67. – С. 188–192.
10. Чабак, Ю. Г. Структурные изменения в комплекснолегированном белом чугуне при дестабилизирующем нагреве / Ю. Г. Чабак, В. Г. Ефременко, Р. Р. Станишевский // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вып. 38. – С. 229–232.
11. Чейлях, А. П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие техноло-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

- гии / А. П. Чейлях. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 2003. – 212 с.
12. Ящерицын, П. И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах / П. И. Ящерицын, М. Л. Еременко, Е. Э. Фельдштейн. – Минск : Выш. шк., 1990. – 512 с.
 13. Analysis of the Structure and Abrasive Wear Resistance of White Cast Iron With Precipitates of Carbides / D. Копуцінський, М. Kawalec, A. Szczęśny [et al.] // Archives of Metallurgy and Materials. – 2013. – Vol. 58. – Iss. 3. – P. 973–976. doi: 10.2478/amm-2013-0113.
 14. Belikov, S. Manganese influence on chromium distribution in high-chromium cast iron / S. Belikov, I. Volchok, V. Netrebko // Archives of Metallurgy and Materials. – 2013. – Vol. 58. – Iss. 3. – P. 895–897. doi: 10.2478/amm-2013-0095.
 15. Gierek, A. Zeliwo stopowe jako tworzywo konstrukcyjne / A. Gierek, L. Bajka. – Katowice : Slask, 1976. – 230 p.

В. В. НЕТРЕБКО^{1*}

^{1*} Каф. «Обладнання та технологія зварювального виробництва», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69063, тел. +38 (061) 270 95 20, ел. пошта olgavvn@mail.ru, ORCID 0000-0003-3283-0116

ВПЛИВ ФІЗИЧНИХ І ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОХРОМИСТОГО ЧАВУНУ ПРИ ОБРОБЦІ РІЗАННЯМ

Мета. В роботі проведено аналіз перетворень структури та властивостей високохромистих чавунів під впливом фізичних та теплових факторів, які виникають під час механічної обробки різанням. **Методика.** Розроблена та застосована методика оцінки силового та теплового впливу різця на оброблюваний матеріал. Вилівки попередньо оброблювались різанням до діаметру 25 мм. На торцевій поверхні зразка довжиною 50 мм було зроблено мікрошліф. Для точіння використовували стандартні пластини 10×10 мм з ВК8 згідно ГОСТ 19051-80. **Результати.** Силовий вплив на зразки з високохромистого чавуну під час обробки різанням викликав утворення наклепу. Вплив температури на структуру та властивості високохромистого чавуну під час обробки різанням викликав підвищення пластичних властивостей металевої основи в зоні різання, дроблення карбідної фази та усував наклеп. При точінні з глибиною різання 0,8 мм відбувався тільки силовий вплив різця на зразок. У поверхневому шарі включення карбідів майже не зазнавали змін, в той час як металева основа наклепувалась до 1 100 HV₅₀. При віддаленні від поверхні точіння мікротвердість металевої основи знижувалась та становила 500...520 HV₅₀ на відстані 1,2 мм від поверхні точіння. На відстані від поверхні понад 3 мм наклеп не виявили. Збільшення глибини різання до 1,5 мм викликало одночасний вплив як силового, так і теплового факторів. Вплив температури виявився у збільшенні пластичності металевої основи в поверхневих шарах зразка. Наклеп нагрітих поверхневих шарів не відбувався. При віддаленні від поверхні різання вплив температурного фактора зменшувався при збереженні силового. Пластичність основи зменшувалась, що призвело до виникнення наклепу. Твердість металевої основи підвищилась до 490...520 HV₅₀. Загальний нагрів зразка зменшив глибину наклепу до 0,4 мм. **Наукова новизна.** Розроблена методика оцінки змін у структурі та властивостях високохромистого чавуну під дією фізичних та теплових факторів які виникають під час механічної обробки різанням. **Практична значимість.** Використання даної методики дозволить розробляти рекомендації з вибору режимів і умов обробки чавуну різанням.

Ключові слова: високохромистий чавун; структура; властивості; різання; наклеп

V. V. NETREBKO^{1*}

^{1*}Dep. «Equipment and Technology of Welding Production», Zaporizhzhia National Technical University, Zhukovskiy St. 64, Zaporizhzhia, Ukraine, 69063, tel. +38 (061) 270 95 20, e-mail olgavn@mail.ru, ORCID 0000-0003-3283-0116

INFLUENCE OF PHYSICAL AND HEAT PROCESSES ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF HIGH-CHROMIUM CAST IRON DURING MACHINING

Purpose. Analysis of changes of high-chromium cast irons' structure and properties under the influence of physical and heat factors during mechanical machining. **Methodology.** The methodology of evaluation of the cutting tool's force and heat influence on the machined material has been developed and applied. Cast specimens underwent preliminary turning to obtain the diameter of 25 mm. The microsection was made on the end surface of the specimen with the length of 50 mm. Standard plates with sizes 10×10 mm made of VK8 according to the State Standard 19051-80 were used in the turning process. **Findings.** Force influence on the specimens made of high-chromium cast iron caused strain hardening during machining. Temperature influence on the structure and properties of high-chromium cast iron during machining caused increase of the plasticity characteristics of the metallic base in the cutting area, fragmentation of the carbide phase and elimination of the strain hardening. During turning with cutting depth 0.8 mm only force influence of the cutting tool on the specimen took place. Carbide inclusions in the surface layer didn't undergo sufficient changes; at the same time the metallic base was strain-hardened to 1 100 HV₅₀. As it was drawn away from the turning surface, the microhardness of the metallic base was decreasing and equaled to 500...520 HV₅₀ at the distance of 1.2 mm from the turning surface. Strain hardening was not observed at the depth of more than 3mm. Cutting depth increase up to 1.5 mm caused simultaneous influence of force and heat factors. The temperature influence revealed in increasing of metallic base plasticity in the specimen's surface layers. Strain hardening of heated surface layers didn't occur. While drawing away from the cutting surface, the influence of the temperature factor decreased, when the influence of force factor remained the same. Due to the base plasticity decrease the strain hardening occurred. The metallic base strain was hardened to 490...520 HV₅₀. The overall heating of the specimen caused the decrease of strain hardening depth to 0.4 mm. **Originality.** The methodology of change evaluation of high-chromium cast iron structure and properties under the influence of physical and heat factors during mechanical machining has been elaborated. **Practical value.** This methodology allows developing the recommendations for choices of high-chromium cast iron machining modes and conditions.

Keywords: high-chromium cast iron; structure; properties; machining; strain hardening

REFERENCES

1. Bunin K.P., Baranov A.A. *Metallografiya* [Metallography]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1970. 256 p.
2. Volchok I.P., Netrebko V.V. Osobennosti legirovaniya margantsem iznosostoykikh vysokokhromistykh chugunov [Peculiarities of alloying of high-chromium cast irons with manganese]. *Litye i metallurgiya – Foundry and metallurgy*, 2012, no. 3, pp. 162-165.
3. Garber M.Ye. *Iznosostoykiye belyye chuguny* [Wear resistant white cast irons]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2010. 280 p.
4. Garost A.I. *Zhelezouglerodistyie splavy* [Iron-carbon alloys]. Minsk, Belaruskaya nauka Publ., 2010. 252 p.
5. Garost A.N. Mekhanizm strukturoobrazovaniya v ekonomnolegировannykh iznosostoykikh chugunakh [Structure formation mechanism in the sparingly alloyed wear resistant cast irons]. *Litye i metallurgiya – Foundry and metallurgy*, 2012, no. 3, pp. 101-113.
6. Gulyayev A.P. *Metallovedeniye* [Physical metallurgy]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 648 p.
7. Netrebko V.V. Vliyaniye margantsa na strukturu vysokokhromistykh chugunov [Manganese influence on the structure of high-chromium cast irons]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 167-169.
8. Silman G.I. *Materialovedeniye* [Material Science]. Moscow, Izdatelskiy tsentr «Akademiya» Publ., 2008. 336 p.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

9. Chabak Yu.G. Vliyaniye rezhima otzhiga na mikrostrukturu i tverdosť vysokokhromistykh chugunov s povyshennym sodержaniyem austenito-obrazuyushchikh elementov [Annealing mode's influence on the microstructure and hardness of high-chromium cast irons with increased content of austenite-forming elements]. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye* [Construction, material science, machine building], 2013, issue 67, pp. 188-192.
10. Chabak Yu.G., Yefremenko V.G., Stanishevskiy R.R. Strukturnyye izmeneniya v kompleksnolegirovannom belom chugune pri destabiliziruyushchem nagreve [Structure changes in the complex-alloyed white cast iron during destabilizing heating]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 38, pp. 229-232.
11. Cheylyakh A.P. *Ekonomnolegirovannyye metastabilnyye splavy i uprochnyayushchiye tekhnologii* [Sparingly alloyed metastable alloys and strengthening technologies]. Kharkov, NNTs KhFTI Publ., 2003. 212 p.
12. Yashcheritsyn P.I., Yeremenko M.L., Feldshteyn Ye.E. *Teoriya rezaniya. Fizicheskiye i teplovyie protsessy v tekhnologicheskikh sistemakh* [Machining theory. Physical and heat processes in technological systems]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1990. 512 p.
13. Kopyciński D., Kawalec M., Szczęśny A., Gilewski R., Piasny S. Analysis of the Structure and Abrasive Wear Resistance of White Cast Iron With Precipitates of Carbides. *Archives of Metallurgy and Materials*, 2013, vol. 58, issue 3, pp. 973-976. doi: 10.2478/amm-2013-0113.
14. Belikov S., Volchok I., Netrebko V. Manganese influence on chromium distribution in high-chromium cast iron. *Archives of Metallurgy and Materials*, 2013, vol. 58, issue 3, pp. 895-897. doi: 10.2478/amm-2013-0095.
15. Gierek A., Bajka L. *Zeliwo stopowe jako tworzywo konstrukcyjne*. Katowice, Slask Publ., 1976. 230 p.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. А. А. Митяевым (Украина); д.т.н., проф. И. А. Вакуленко (Украина)

Поступила в редколлегию: 22.08.2014

Принята к печати: 27.10.2014