

УДК 669.13:620.22:656.223.2

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ЗАМІНИ МАТЕРІАЛУ З'ЄДНУВАЛЬНИХ РУКАВІВ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

УЗЛОВ К. І., *д.т.н.*

Кафедра матеріалознавства, Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (097) 950-14-08, +38 (095) 416-97-70, e-mail: konst.uzlov@gmail.com. ORCID ID: 0000-0003-0744-9890

Анотація. *Мета.* Метою роботи було вивчення структури та механічних властивостей чавунів з різною формою графітної складової, в тому числі при їх термічному зміцненні, для обґрунтування раціональної заміни матеріалу з'єднувальних рукавів гальмівної системи. *Методика.* Матеріалом досліджень були ковкі за ГОСТ 1215 та високоміцні за ДСТУ 3925 чавуни для виготовлення з'єднувальних рукавів гальмівної системи за ГОСТ 2593. Термічну обробку матриці чавунів проводили на лабораторному устаткуванні за прийнятими в індустріальній практиці режимами аустемперингу. Механічні випробування на статичний розтяг проводили згідно з ГОСТ 1497 на випробувальній машині «Instron». Випробування на ударний згин проводили згідно з ГОСТ 9454 на маятниковому копрі PSW-5. Твердість вивчали за допомогою твердоміра ТБ 5004 за вимогами ГОСТ 9012. Металлографічний аналіз проводили на виготовлених за стандартними методиками ГОСТ 3443 мікрошлифах за допомогою мікроскопу «Neophot-2». *Результати.* Аналіз даних дослідження мікроструктури та механічних випробувань продемонстрував суттєву залежність пластичності чавуну від форми графітних включень. При цьому показано, що відносне видовження мало змінюється в залежності від типу металевої матриці. Встановлено, що, натомість, твердість в основному визначається саме матрицею чавуну. Порівняльний аналіз механічних властивостей обох досліджених типів чавунів з різною формою графіту та різним типом металевої матриці зафіксував при переході від феритної структури до перлітної падіння відносного видовження майже в десять разів. В роботі показана безумовна перспективність ізотермічного гартування чавунів з графітною складовою з точки зору підвищення їх механічних та експлуатаційних властивостей. *Наукова новизна.* Встановлена безумовна перевага чавунів з кулястим графітом, як за показниками пластичних так і міцностних характеристик, у порівнянні з ковкими чавунами з компактною розгалуженою формою графіту. Досягнення чавунами з кулястим графітом після аустемперингу механічних характеристик, що переважають відповідні показники ковких чавунів дозволило розглядати термічне зміцнення методом ізотермічного гартування у якості додаткового аргументу на користь використання високоміцних чавунів в термозміцненому стані для виготовлення металевих елементів гальмівної системи рухомого складу залізниць. *Практична значимість.* Одержані в роботі результати стали підґрунтям для раціональної заміни матеріалу з'єднувальних рукавів гальмівної системи рухомого складу залізниць за ГОСТ 2593 на чавун з кулястим графітом за ДСТУ 3925. Таке технологічне впровадження очевидно можна розглядати і у якості преференційного з точки зору економії енерговитрат, в першу чергу – природного газу, приймаючи до уваги особливості технологічних процесів індустріального виробництва ковких та високоміцних чавунів.

Ключові слова: рукава гальмівної системи; рухомий склад залізниць; ковкі чавуни; чавуни з кулястим графітом; аустемперинг; мікроструктура; механічні властивості

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ЗАМЕНЫ МАТЕРИАЛА СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ РУКАВОВ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

УЗЛОВ К. И., *д.т.н.*

Кафедра материаловедения, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (097) 950-14-08, +38 (095) 416-97-70, e-mail: konst.uzlov@gmail.com. ORCID ID: 0000-0003-0744-9890

Аннотация. *Цель.* Целью работы было изучение структуры и механических свойств чугунов с различной формой графитной составляющей, в том числе при их термическом упрочнении, для обоснования рациональной замены материала соединительных рукавов тормозной системы. *Методика.* Материалом исследований были ковкие по ГОСТ 1215 и высокопрочные по ДСТУ 3925 чугуны для изготовления соединительных рукавов тормозной системы по ГОСТ 2593. Термическую обработку матрицы чугунов проводили на лабораторном оборудовании по принятым в промышленной практике режимам аустемперинга. Механические испытания на статическое растяжение проводили по ГОСТ 1497 на испытательной машине «Instron». Испытания на ударный изгиб проводили по ГОСТ 9454 на маятниковом копре PSW-5. Твердость изучали с помощью твердомера ТБ 5004 по требованиям ГОСТ 9012. Металлографический анализ проводили на изготовленных по стандартным методикам ГОСТ 3443 микрошлифах с помощью микроскопа «Neophot-2». *Результаты.* Анализ данных исследований микроструктуры и механических испытаний продемонстрировал существенную зависимость пластичности чугуна от формы графитных включений. При этом показано, что относительное удлинение слабо изменяется в зависимости от типа металлической матрицы. Установлено, что, напротив, твердость в основном определяется именно

матрицей чугуна. Сравнительный анализ механических свойств обоих исследованных типов чугунов с разной формой графита и разным типом металлической матрицы зафиксировал при переходе от ферритной структуры к перлитной падение относительного удлинения почти в десять раз. В работе показана безусловная перспективность изотермической закалки чугунов с графитной составляющей с точки зрения повышения их механических и эксплуатационных свойств. **Научная новизна.** Установлено безусловное преимущество чугунов с шаровидным графитом, как по показателям пластических, так и прочностных характеристик, в сравнении с ковкими чугунами с компактной разветвленной формой графита. Достижение чугунами с шаровидным графитом после аустемперинга механических характеристик, которые превосходят соответствующие показатели ковких чугунов позволило рассматривать термическое упрочнение методом изотермической закалки в качестве дополнительного аргумента в пользу применения высокопрочных чугунов в термоупрочненном состоянии для изготовления металлических элементов тормозной системы подвижного состава железных дорог. **Практическая значимость.** Полученные в работе результаты были приняты за основу для рациональной замены материала соединительных рукавов тормозной системы подвижного состава железных дорог по ГОСТ 2593 на чугун с шаровидным графитом по DSTU 3925. Такое технологическое внедрение очевидно можно рассматривать и в качестве преимущественного с точки зрения экономии энергетических затрат, в первую очередь – природного газа, принимая во внимание особенности технологических процессов промышленного производства ковких и высокопрочных чугунов.

Ключевые слова: рукава тормозной системы; подвижной состав железных дорог; ковкие чугуны; чугуны с шаровидным графитом; аустемперинг; микроструктура; механические свойства

SUBSTANTIATION OF RATIONAL REPLACEMENT MATERIAL FOR CONNECTING HOSES BRAKE SYSTEM OF RAILWAYS ROLLING STOCK

UZLOV K. I., *Dr. Sc. (Tech.)*.

Materials science department, National metallurgical academy of Ukraine, pr. Gagarina, 4, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (097) 950-14-08, +38 (095) 416-97-70, e-mail: konst.uzlov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0744-9890

Abstract. Purpose. Purpose of the work was study of structure and mechanical properties of cast irons with different shape of graphite including their thermal treatment, to support rational replacement material connecting hoses brake system. **Methodology.** Material studies were malleable according to GOST 1215 and high strength according to DSTU 3925 irons for the manufacture of hoses brake system according to GOST 2593. Heat treatment of cast irons matrix conducted on lab equipment according to adopted in industrial practice modes of austempering. Mechanical tests on static tension conducted according to GOST 1497 on testing machine «Instron». Impact toughness tests were carried out in accordance with GOST 9454 on pendulum machine PSW-5. Hardness studied using testing equipment TB 5004 according to requirements of GOST 9012. Metallographic analysis was carried out on manufactured according to standard methods of GOST 3443 microscopic specimens by using of microscope «Neophot-2». **Findings.** Data analysis of microstructure research and mechanical trials demonstrated a significant dependence of the plasticity of cast iron from graphite inclusions form. This shows that elongation insignificantly varies depending on the type of metal matrix. It was discovered that, instead, the hardness is mainly determined by the matrix of iron. Comparative analysis of mechanical properties of both the investigated types of cast irons with various graphite shape and different type of metal matrix fixed during the transition from the ferrite structure to pearlite falling relative elongation in almost ten times. It was shown in the work unconditional perceptiveness of cast irons with graphite component isothermal hardening in terms of their mechanical and exploitations properties increasing. **Originality.** Absolute advantage of cast irons with nodular graphite iron, both in terms of plastic and strength characteristics compared with malleable irons with compact branched form of graphite has been determined. Achievement of nodular graphite iron after austempering mechanical characteristics, that prevailing relevant indicators for malleable cast irons allowed considering the thermal strengthening by isothermal quenching method as an additional argument in favor of use the high-strength cast irons in heat treated condition for metal elements manufacturing for railways rolling stock brake system. **Practical value.** Obtained in the work results were the basis for rational replacement of material connecting hoses brake system rolling stock of railways according to GOST 2593 by globular graphite iron according to DSTU 3925. Such a technological implementation clearly can be seen also as a preferential for use in terms of saving energy, in the first place – natural gas, taking into account the peculiarities of technological processes of industrial production of malleable and high strength cast irons.

Keywords: coupling brake hoses system; railways rolling stock; malleable cast irons; nodular graphite cast iron; austempering; microstructure; mechanical properties

Вступ

Залізниця є базовою галуззю економіки України. На них припадає 88% вантажообігу (без урахування трубопровідного транспорту) та 50% пасажирообігу на відміну від країн ЄС, де частка залізниць становить біля 8% [2]. Однак, ситуація ускладнюється тим, що знос рухомого складу, термін

експлуатації якого складає 25 – 30 років, досягає 70%. Це призводить до збільшення витрат на його ремонт та на забезпечення безпеки руху, проти нормативних, більш ніж у 2 рази. Як правило, вплив на розвиток механізму залізнично-транспортної пригоди [13] має технічний стан лише однієї з систем рухомого складу, або його певних елементів, наприклад гальмівної системи. Тому «Комплексною

програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки» [2], пріоритетом в оновленні рухомого складу встановлене забезпечення залізниць України рухомим складом переважно нового покоління. Для створення та освоєння виробництва вантажного рухомого складу нового покоління та його складових частин Програмою були висунуті базові принципи [2], щодо технічних вимог до литих деталей, які повинні задовольняти більш жорсткі вимоги за рахунок розроблення оптимального складу, структури і властивостей чавунів.

Рукава з'єднувальні гальмівної системи рухомого складу залізниць виготовляють згідно до вимог ГОСТ 2593 [8]. У якості основного матеріалу за ГОСТ 2593 для виготовлення рукавів з'єднувальної гальмівної систем передумовлені ковкі чавуни КЧ35-10 та КЧ50-5 за ГОСТ 1215 [6]. Як відомо [5], ковкі чавуни одержують завдяки багатогодинному графітизуючому відпалу у газових печах при температурах 850...950 °С доєвтектичного білого чавуну. При цьому в структурі формуються графітні кристали компактної, але розгалуженої форми, що забезпечує за вимогами ГОСТ 1215 [6] механічні властивості чавуну КЧ35-10: тимчасовий опір розриву ≥ 362 МПа, відносне видовження ≥ 10 %, твердість 100...163 НВ. Враховуючи небезпеку пошкодження цих елементів вагону при динамічному впливі зовнішніх факторів в експлуатації, бажаною є, згідно до вимог Програми [2], раціональна зміна матеріалу що забезпечує підвищені проти вказаного показники пластичності та межі міцності. Пошук альтернативного матеріалу має враховувати, також, економічні показники технологічних процесів з точки зору коштовності газових витрат на графітизуючий відпал.

Мета

Метою роботи було вивчення структури та механічних властивостей чавунів з різною формою графітної складової, в тому числі при їх термічному зміцненні, для обґрунтування раціональної заміни

матеріалу з'єднувальних рукавів гальмівної системи рухомого складу залізниць з урахуванням економічності технологічних процесів їх отримання.

Методика

Матеріалом досліджень були ковкі за ГОСТ 1215 [6] та високоміцні за ДСТУ 3925 [1] чавуни для виготовлення з'єднувальних рукавів гальмівної системи за ГОСТ 2593 [8]. Термічну обробку матриці чавунів проводили на лабораторному устаткуванні за режимами детально розглянутими в [14].

Металографічний аналіз проводили на виготовлених за стандартними методиками ГОСТ 3443 [9] мікрошліфах за допомогою мікроскопу «Neophot-2».

Механічні випробування на статичний розтяг проводили згідно з ГОСТ 1497 [7] на випробувальній машині «Instron». Випробування на ударний згин проводили згідно з ГОСТ 9454 [11] на маятниковому копрі PSW-5. Твердість вивчали за допомогою твердоміра ТБ 5004 за вимогами ГОСТ 9012 [10].

Результати

Рукава з'єднувальні гальмівної системи рухомого складу залізниць виготовляють згідно до вимог ГОСТ 2593 [8]. За вимогами вказаного нормативного документу виробі повинні відповідати працездатності при температурі навколишнього середовища від -55 °С до +70 °С, а при безперервному впливі температури від -55 °С до -60 °С – на протязі 48 годин. У якості основного матеріалу за ГОСТ 2593 для виготовлення рукавів з'єднувальної гальмівної систем передумовлені ковкі чавуни КЧ35-10 та КЧ50-5 за ГОСТ 1215 [6] (табл. 1).

Механічні властивості деяких ковких чавунів за вимогами ГОСТ 1215 [6] у порівнянні з відповідними показниками високоміцних чавунів за ДСТУ 3925 [1] наведені в таблиці 1. Мікроструктура ковкого чавуну з ферито-перлітною матрицею представлена на рисунку 1, а.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз механічних властивостей ковкого чавуну за ГОСТ 1215-79 та високоміцного чавуну за ДСТУ 3925-99 / Comparative analysis of mechanical properties of malleable cast iron according to GOST 1215-79 and high strength cast iron per DSTU 3925-99

№ з/п	Марка чавуну	Нормативний документ	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_{10} , %	Твердість, НВ
1	КЧ 35-10	ГОСТ1215-79	362	Не регламентується	10	100-163
2	КЧ 50-5	ГОСТ1215-79	490	Не регламентується	5	170-230
3	КЧ 80-1,5	ГОСТ1215-79	784	Не регламентується	1,5	270-320
4	ВЧ 350-22	ДСТУ 3925-99	350	230	22	140-170
5	ВЧ 500-7	ДСТУ 3925-99	500	340	7	153-245
4	ВЧ 1000-2	ДСТУ 3925-99	1000	700	2	270-360

Аналіз даних таблиці 1, у відповідності до фундаментальних положень [4], свідчить про те, що міцність чавуну з графітною складовою визначається будовою металевої матриці і формою графітних включень.

- ковкий чавун з компактною розгалуженою морфологією графітом $\delta_{10} = 1,5 \dots 12 \%$,
- високоміцний чавун з кулястим графітом $\delta_{10} = 2 \dots 22 \%$.

При цьому відносне видовження мало змінюється в залежності від типу металевої матриці [3].

Натомість, твердість в основному визначається саме матрицею чавуну і досягає значень:

- до 163 ... 170 НВ для феритної матриці,
- до 230 ... 245 НВ для ферито-перлітної,
- до 320 ... 360 НВ для перлітної.

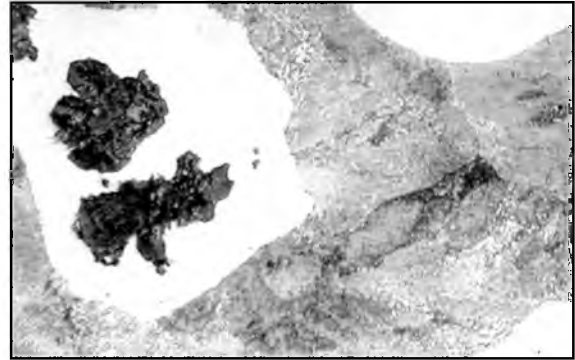
Тобто, твердість суттєво не визначається формою графітних включень.

В чавуні з кулястим графітом (рис. 2), у протилежність ковкому чавуну, відсутні гострі концентратори напруг у структурі, через те, що графітні кристали у даному випадку не пластинчасті розгалужені, хоча і компактні, а сферичні.

Порівняльний аналіз механічних властивостей чавунів з компактною розгалуженою формою графіту з різним типом металевої матриці свідчить про те, що перехід від феритної структури до перлітної обумовлює падіння відносного видовження майже в десять разів: КЧ35-10 з відносним видовженням $\delta_{10} = 10 \%$ і КЧ80-1,5 з відносним видовженням $\delta_{10} = 1,5 \%$ (табл. 1, пп. 1, 3). Така сама залежність спостерігається і для чавунів з кулястим графітом: ВЧ350-22 - відносне видовження $\delta_{10} = 22 \%$, а для ВЧ1000-2 відносне видовження $\delta_{10} = 2 \%$ (табл. 1). При цьому зіставний аналіз механічних властивостей КЧ та ВЧ (табл. 1) демонструє кількісну не однаковість абсолютних значень властивостей, що аналізуються.

Дійсно, якщо перлітні КЧ та ВЧ мають майже однакові показники $\delta_{10}=1,5 \%$ та $\delta_{10}=2 \%$, то КЧ і ВЧ з феритною матрицею демонструють в два рази перевагу ВЧ350-22 ($\delta_{10}=22 \%$) проти КЧ35-10 ($\delta_{10}=10 \%$) за цією характеристикою. Крім того, дані таблиці 1 ілюструють той факт, що при зіставному рівні $\sigma_B=362$ МПа для КЧ35-10 та $\sigma_B=350$ МПа для ВЧ350-22 (тобто для чавунів з феритною матрицею), перлітний чавун ВЧ1000-2 має значення тимчасового опору руйнування у 1,5 рази вище за відповідний показник для КЧ80-1,5 ($\sigma_B=1000$ МПа проти $\sigma_B=784$ МПа, відповідно).

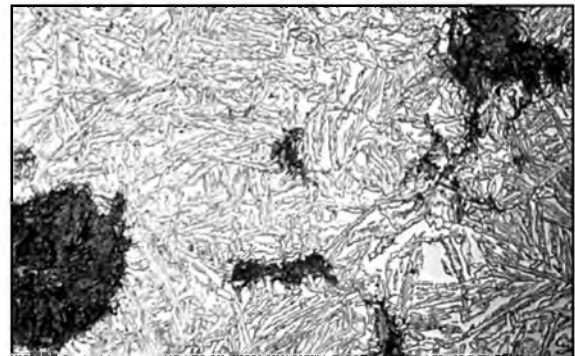
Аналіз механічних властивостей чавунів з різною формою графітної складової підтверджує основні положення попередніх досліджень [14] про безумовну перевагу високоміцних чавунів з кулястим графітом (як за показниками пластичних так і міцностних характеристик) у порівнянні з ковкими чавунами з компактною розгалуженою формою графіту.



a



б

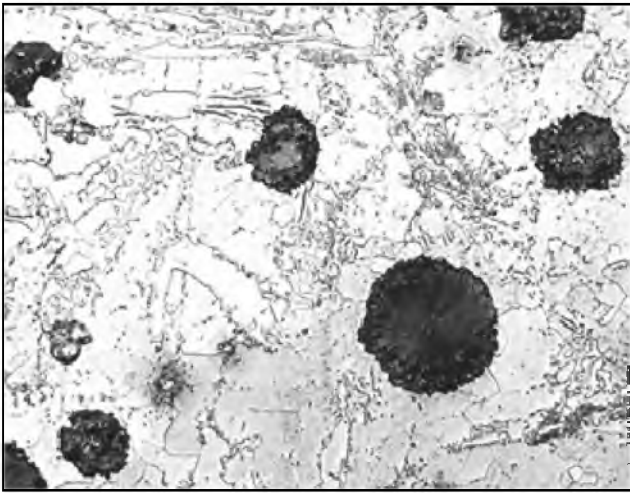


в

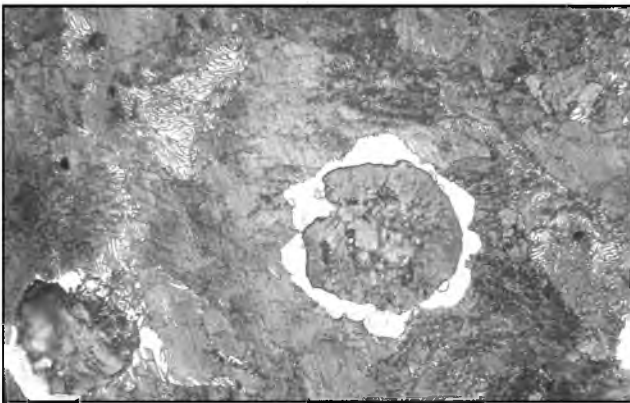
a – ферито-перлітна матриця / ferrite-pearlite matrix, б – нижній бейніт / lower bainite, в – верхній бейніт / upper bainite

Рисунок 1 - Мікροструктура ($\times 500$) ковкого чавуну КЧ50-5 за ГОСТ 1215 у вихідному стані (а), після аустемперингу при 300 °С (б) та при 400 °С (в) / Microstructure ($\times 500$) of malleable cast iron KCh50-5 per GOST 1215 in original condition (a), after austempering at 300 °C (b) and at 400 °C (в)

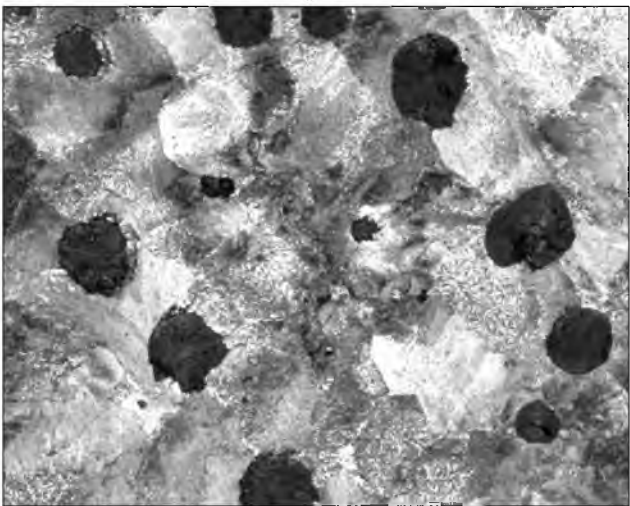
Очевидно, що термічна обробка чавуну з графітною складовою не змінює форму графітних включень. Змінення структури металевої основи в результаті термічної обробки помітно відображається на його властивостях. Для чавунів КЧ та ВЧ принципово можливі всі види термічної обробки, такі як і для сталі. Їх застосовують для покращення властивостей виробів [12].



a



б



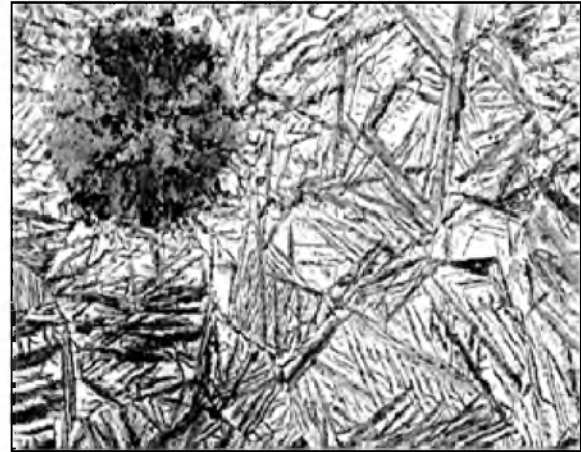
в

a – феритна матриця / ferrite matrix ($\times 500$), *б* – ферито-перлітна матриця / ferrite-pearlite matrix ($\times 500$), *в* – перлітна матриця / pearlite matrix ($\times 250$)

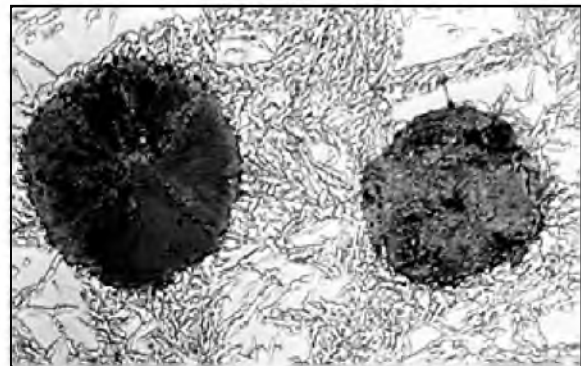
Рисунок 2 - Мікроструктури чавунів з кулястим графітом VCh350-22 (a), VCh500-7 (б) та VCh1000-2 (в) / Microstructure of cast iron with nodular graphite VCh350-22 (a), VCh500-7 (б) and VCh1000-2 (в)

Найбільш поширеним у світовій практиці [16] методом термічного зміцнення чавунів з кулястим графітом є їх ізотермічне гартування (аустемперинг) з формуванням матриці верхній або нижній бейніт.

Мікроструктури ковкого чавуну КЧ50-5 після аустемперингу в нижній та верхній областях зсувно-дифузійного перетворення аустеніту представлені на рисунках 1 б, в. Відповідні мікроструктури матриць нижній та верхній бейніт БЧКГ за ТУ У 27.1-23365425-604:2006 «Чавун з кулястим графітом ізотермічно зміцнений методом аустемперингу для виливків» [15] наведені на рисунку 3.



a



б

a – нижній бейніт / lower bainite, *б* – верхній бейніт / upper bainite

Рисунок 3 - Мікроструктура ($\times 500$) БЧКГ за ТУ У 27.1-23365425-604:2006 після аустемперингу при 300 °C (a) та 400 °C (б) / Microstructure ($\times 500$) of ADI per TU U 27.1-23365425-604:2006 after austempering at 300 °C (a) and 400 °C (б)

Таблиця 2 містить експериментальні дані щодо механічних властивостей ковкого КЧ50-5 та високоміцного ВЧ1000-2 чавунів в ізотермічно загартованому стані.

Аналіз даних таблиці 2 свідчить про безумовну перспективність ізотермічного гартування чавунів з графітною складовою з точки зору підвищення їх механічних та експлуатаційних властивостей.

Аустемперинг ковких чавунів підвищує рівень їх міцності до $\sigma_b = 600-1150$ МПа та твердості до 270-380 НВ (в залежності від температури ізотермічного гартування). Однак, в цих чавунах з компактным розгалуженим графітом навіть аустемперинг не може підвищити пластичність вище за $\delta_{10} = 6,2-6,4$ %.

Таблиця 2

Механічні властивості термозміцнених методом аустемперингу ковких та високоміцних чавунів / Mechanical properties of heat treated by austempering malleable and high strength cast irons

Марка чавуну	Тип матриці*	σ_b , МПа	δ_{10} , %	Твердість, НВ
КЧ50-5	НБ	1150	6,2	382
КЧ50-5	ВБ	609	6,4	270
ВЧ1000-2	НБ	1480	10,5	480
ВЧ1000-2	ВБ	1080	18,0	305

*) - НБ – нижній бейніт, ВБ – верхній бейніт

Формування в чавуні графіту сферичної форми дозволяє при ізотермічному гартуванні одержувати вироби, які, при очевидно преференційному рівні пластичності, в декілька разів перевищують відповідні характеристики тимчасового опору руйнуванню $\sigma_b = 1000-1500$ МПа та твердості 300-480 НВ, в залежності від температури аустемперингу (табл. 2).

Досягнення чавунами з кулястим графітом після аустемперингу механічних характеристик, що переважають відповідні показники ковких чавунів як за рівнем пластичних так і міцностних характеристик є підґрунтям для раціональної заміни матеріалу з'єднувальних рукавів гальмівної системи рухомого складу залізниць за ГОСТ 2593-2009 на чавун з кулястим графітом за ДСТУ 3925-99 або на БЧКГ за ТУ У 27.1-23365425-604:2006.

Крім того, таке технологічне впровадження очевидно можна розглядати і у якості

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3925 – 99 «Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки»
DSTU 3925 – 99 «Spheroidal graphite iron for casting. Grades»
http://www.ukmdnc.org.ua/index.php?option=com_ushop&Itemid=69&grp=1054&pgpr=1063&lstdsu=1065
2. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки [Текст] / Укрзалізниця. – Київ, 2009. – 299 с.
Kompleksna programma onovlennya zallzничного ruhomogo skladu Ukrayiny na 2008 – 2020 roki [The complex program of updating of railway rolling stock of Ukraine on 2008 - 2020] Ukrzaliznitsya, Kyiv, 2009. 299 p.
<http://www.mtu.gov.ua/ru/news/print/9092.html>
3. Узлов К. І. Аналіз фундаментальних положень та сучасних уявлень про зсувано-дифузійну перекристалізацію аустеніту у залізовуглецевих сплавах / К. І. Узлов // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. — Дніпропетровськ.: ІЧМ НАН України, 2008. — Вип. 18. — С. 186-199.
Uzlov K. I. Analiz fundamentalnih polozhen ta suchasnih uyavlen pro zsuvano-difuziyну perekristalizatsiyu austenitu u zalizovugletsevih splavah [Analysis of fundamental provisions

преференційного з точки зору економії енерговитрат (в першу чергу – природного газу), приймаючи до уваги особливості технологічних процесів індустріального виробництва ковких та високоміцних чавунів.

Висновки

1. За допомогою аналізу мікроструктури та механічних властивостей чавунів з різною формою графітної складової встановлена безумовна перевага чавунів з кулястим графітом (як за показниками пластичних так і міцностних характеристик) у порівнянні з ковкими чавунами з компактною розгалуженою формою графіту.

2. Одержані в наявній роботі результати є підґрунтям для раціональної заміни матеріалу з'єднувальних рукавів гальмівної системи рухомого складу залізниць за ГОСТ 2593-2009 на чавун з кулястим графітом за ДСТУ 3925-99.

3. Досягнення чавунами з кулястим графітом після аустемперингу механічних характеристик, що переважають відповідні показники ковких чавунів дозволяє розглядати термічне зміцнення методом ізотермічного гартування у якості додаткового аргументу на користь використання високоміцних чавунів в термозміцненому стані для виготовлення металевих елементів гальмівної системи рухомого складу залізниць.

4. Встановлено, що таке технологічне впровадження очевидно можна розглядати і у якості преференційного з точки зору економії енерговитрат (в першу чергу – природного газу), приймаючи до уваги особливості технологічних процесів індустріального виробництва ковких та високоміцних чавунів.

and modern ideas about shear – diffusion recrystallization of austenite in iron - carbon alloys] Fundamentalnye i prikladnye problemy chernoy metallurgii: Sb. nauchn. tr. — Dnipropetrovsk.: IChM NAN Ukrayiny, 2008, issue 18, P. 186-199

<http://dspace.nbu.gov.ua/xmlui/handle/123456789/62722>

4. Бунин К. П. Основы металлографии чугуна / К. П. Бунин, Я. Н. Малиночка, Ю. Н. Таран. – М. : Металлургия, 1969. – 416 с.

Bunin K. P., Malinochka Ya. N., Taran Yu. N. Osnovy metallografii chuguna [Basics of cast iron metallographic analysis] Moscow, Metallurgiya, 1969. 416 p.

<http://www.libex.ru/detail/book535001.html>

5. Бунин К. П. Строение чугуна / К. П. Бунин, Ю. Н. Таран. – М. : Металлургия, 1972. – 160 с.

Bunin K. P., Taran Yu. N. Stroenie chuguna [Structure of cast iron] Moscow, Metallurgiya, 1972. 160 p.

<https://books.google.com.ua/books?id=AqioGWAACAAJ&dq=Бунин.+Таран+Строение+чугунов&hl>

6. ГОСТ 1215 – 79 «Отливки из ковкого чугуна. Общие технические условия»

GOST 1215 – 79 «Malleable iron castings. General specifications»

<http://vsegost.com/Catalog/24/24204.shtml>

7. ГОСТ 1497 – 84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение»

GOST 1497 – 84 «Metals. Methods of tension test»
<http://vsegost.com/Catalog/30/30103.shtml>

8. ГОСТ 2593 – 2009 «Рукава соединительные для тормозов железнодорожного состава. Технические условия»

GOST 2593 – 2009 «Coupling air brake hoses for railway rolling stock. Specifications»
<http://vsegost.com/Catalog/49/49788.shtml>

9. ГОСТ 3443 – 87 «Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры»

GOST 3443 – 87 «Cast iron castings with graphite of different form. Methods of structure determination»
<http://vsegost.com/Catalog/30/30103.shtml>

10. ГОСТ 9012 – 59 «Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю»

GOST 9012 – 59 «Metals. Method of Brinell hardness measurement»
<http://vsegost.com/Catalog/30/30103.shtml>

11. ГОСТ 9454 – 78 «Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах»

GOST 9454 – 78 «Metals. Method for testing the impact strength at low, room and high temperature»
<http://vsegost.com/Catalog/30/30103.shtml>

12. Неижко И. Г. Термическая обработка чугуна / И. Г. Неижко. – Киев : Наук. думка, 1992. – 208 с.

Neizhko I. G. Termicheskaya obrabotka chuguna [Cast iron heat treatment] Kiev, Nauk. dumka, 1992. 208 p.
<http://ntb.misis.ru:591/OpacUnicode/index.php?url=/notices/index/IdNotice:111820/Source:default>

13. Сокол Э. Н. Механизм железнодорожно-транспортного происшествия: его содержание и форма / Э. Н. Сокол // Залізничний транспорт України. – 2008. – № 4. – С. 58-60.

Sokol E. N. Mehanizm zheleznodorozhno-transportnogo proisshestviya: ego sodержanie i forma [Mechanism of rail accident: its content and form] Zaliznichniy transport Ukrayiny, 2008, № 4, P. 58-60.

<http://scbist.com/knigi-i-zhurnaly/1571-zheleznodorozhnyi-transport.html>

14. Узлов К. И. Сравнительный анализ механических свойств термоупрочнённых чугунов с различной формой графитной составляющей / К. И. Узлов, А. Н. Хулин, Ж. А. Деметьева // В сб. 6-й Международной Конференции «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов», ч. II, Харьков, 2005. – С. 13-15.

Uzlov K. I., Hulin A. N., Dementeva Zh. A. Sravnitelnyiy analiz mekhanicheskikh svoystv termouprochnykh chugunok s razlichnoy formoy grafitnoy sostavlyayushey [Comparative analysis of mechanical properties of heat treated cast irons with different shapes of graphite component] V sb. 6-y Mezhdunarodnoy Konferentsii «Oborudovanie i tehnologi termicheskoy obrabotki metallov i splavov», ch. II, [6th International Conference «Equipment and technology of metals and alloys heat treatment»] Harkov, 2005. P. 13-15.
www.ottom.com.ua

15. Узлов К. И. Разработка нормативной документации на изотермически закалённый высокопрочный чугун с бейнитной матрицей / К. И. Узлов, А. Н. Хулин, Ж. А. Деметьева, [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2007. – № 3. – С. 46-48.

Uzlov K. I., Hulin A. N., Dementeva Zh. A. [i dr.] Razrabotka normativnoy dokumentatsii na izotermicheski zakalennyiy vyisokoprochnyy chugun s beynitnoy matritsey [Elaboration of normative documentation for isothermally hardened cast iron with bainite matrix] Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost [Metallurgical and mining industry] 2007. № 3. P. 46-48.
<http://www.metaljournal.com.ua/mgp-02-2007/>

16. Elliott R. Cast Iron Technology / R. Elliott. - London, Boston, Singapore, Sydney, Toronto, Wellington: Butterworths, 1988. - 244 p.

Elliott R. Cast Iron Technology. London, Boston, Singapore, Sydney, Toronto, Wellington: Butterworths, 1988. 244 p.
<http://trove.nla.gov.au/work/13611346?selectedversion=NBD5646233>

Статья рекомендована к публикации докт. техн. наук, проф. В. И. Большаковым (Украина); докт. техн. наук, проф. Д. В. Лаухиным (Украина)

Поступила в редколлегию 21.01.2015

Принята к печати 24.03.2015