

Металлургия

АШИНОСТРОЕНИЯ

№ 3
2020



• СОДЕРЖАНИЕ •

Интервью директора Кузнечного завода ПАО «КАМАЗ» А.А. Калашникова

• Interview of A.A. Kalashnikov, Director of the Forge Plant of KAMAZ PTC

...2

ПЛАВКА. ОБРАБОТКА РАСПЛАВА • MELTING. MELT TREATMENT

Немененок Б.М., Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А., Саленко И.Б. О применении V-содержащих

отходов для легирования Fe–C-сплавов • Nemenenok B.M., Slutsky A.G., Sheinert V.A.,

Salenko I.B. About use of V-containing waste for alloying Fe–C-alloys

...6

Джураев Т.Д., Газизова Э.Р., Хакдодов М.М., Рахимов Ф.К. Мелкокристаллическая лигатура

как матрица генома при модифицировании Al-сплавов • Dzhuraev T.D., Gazizova E.R.,

Hakdodov M.M., Rakhimov F.K. Small-crystalline ligature as a matrix of the genom in modification

of Al-alloys

...9

Лапоногова П.А., Колисова М.В., Гончаров А.В., Дзюба Г.С. Применение скандия

для модифицирования алюминиевых сплавов • Laponogova P.A., Kolisova M.V., Goncharov A.V.,

Dzyuba G.S. The application of scandium for the modification of aluminum alloys on the examples

...13

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ • MODERN MATERIALS

Марукович Е.И., Степенко В.Ю. Структура металлического расплава • Marukovich E.I.,

Stetsenko V.Y. Structure of metal melt

...15

Гаврилин И.В. О периодической системе дуальных элементов вещества и пространства

в металлах и газах • Gavrilin I.V. On the periodic system of dual elements of matter and space

...17

Новицкий В.Г., Шипицын С.Я., Лахненко В.А., Локтионов-Ремизовский В.А., Кальчук Н.А.,

Грибов Н.Н. Применение литой стали 120X15Ю для деталей насосного оборудования

• Novitsky V.G., Shipitsin S.Ya., Lakhnenko V.L., Loktionov-Remizovsky V.A., Kalchuk N.A.,

Gribov N.N. The use of 120X15Yu cast steel for parts of pumping equipment

...22

Тебякин А.В., Фоканов А.Н. Бериллий как легирующий элемент в сплавах, разработанных

в ФГУП «ВИАМ» • Tebyakin A.V., Fokanov A.N. Beryllium as the alloying element

in the alloys developed at FSUE «VIAM»

...24

Кукареко В.А., Григорчик А.Н., Марукович Е.И., Сазоненко И.О., Харьков В.А. Влияние

легирования на свойства медных сплавов • Kukareko V.A., Grigorchik A.N., Marukovich E.I.,

Sazonenko I.O., Kharkov V.A. An effect of alloying on the properties of copper alloys

...30

ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА • XXI CENTURY TECHNOLOGIES

Афанасьев В.К., Черныш А.П., Попова М.В., Сагалакова М.М., Малютин К.Г. О термической

обработке инструмента из доменного белого нелегированного чугуна • Afanasyev V.K.,

Chernysh A.P., Popova M.V., Sagalakova M.M., Malyutin K.G. About heat treatment of tools

made from blast furnace unalloyed white iron

...32

Дорошенко В.С. О порообразовании при производстве керамики для фильтрации

металлических расплавов • Doroshenko V.S. About pore formation in the production of ceramics

for filtering of metal melts

...37

ИНФОРМАЦИЯ. ХРОНИКА • INFORMATION. CHRONICLE

Игорь Александрович Насиковский

...45

Отечественное станкостроение – технологический капитал России будущего!

...46

оксидных природных соединений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.06. – Пермь, 2005. – 30 с.

2. **LANIK s.r.o.** Filtration technology. Filter types and scope of use. Czech Republic. URL: <http://www.lanik.eu>

3. **Анциферов В.Н., Артемов А.А., Порозова С.Е. и др.** Фильтрация серого чугуна через пенокерамические фильтры // Литейное производство. – 2001. – №1. – С. 11–12.

4. **Пат. 91197 Україна**, МПК В22С 9/02. Спосіб фільтраційного формування / О.Й. Шинський, В.С. Дорошенко. Опубл. бюл. 12/2014.

5. **Пат. 95319 Україна**, МПК В22С 9/02. Спосіб формування / В.С. Дорошенко, О.Й. Шинський. Опубл. бюл. 24/2014.

6. **Пат. 42546 Україна**, МПК С04В 7/32. Вогнетривка композиційна бетонна суміш / М.Г. Ілюха та ін. Опубл. бюл. 13/2009.

7. **Пат. 2304568 РФ**, МПК С04В38/06, С04В35/101. Способ изготовления фильтрующей пенокерамики / Б.Л. Красный, В.П. Тарасовский, А.Н. Кисляков. – Заявл. 10.02.2006; опубл. 20.08.2007.

8. **Моуала Х. и др.** Стальная пена с открытыми порами – изготовление и свойства // Металлургия машиностроения. – 2006. – №6. – С. 29–33.

9. **Пат. 77595 Україна**, МПК В22С 9/02. Спосіб виготовлення виробів з сипкого наповнювача / О.Й. Шинський, В.С. Дорошенко. Опубл. бюл. 4/2013.

10. **Пат. 77659 Україна**, МПК В22С 7/02. Спосіб виготовлення крижаних моделей / О.Й. Шинський, В.С. Дорошенко. Опубл. бюл. 4/2013.

11. **Дорошенко В.С.** Структура исследований по разработке технологии литья по ледяным моделям с использованием ряда особенностей и природных явлений // Процессы литья. – 2017. – №1. – С. 39–46.

12. **Формовочные процессы** / Б.Б. Гуляев, О.А. Корнюшкин, А.В. Кузин. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 264 с.

Сведения об авторе

Дорошенко Владимир Степанович – д-р техн. наук, ст. науч. сотр. ФТИМС НАН Украины. E-mail: doro55v@gmail.com

УЧРЕДИТЕЛИ

• **Н.И. Бех** • **И.А. Яскевич**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

• **Бех Николай Иванович** (председатель)
Д-р техн. наук, проф.

• **Афанасьев Владимир Константинович**
Д-р техн. наук, проф. кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства СибГИУ

• **Дмитриев Эдуард Анатольевич**

Д-р техн. наук, доцент, ректор Комсомольского-на-Амуре государственного университета

• **Марукович Евгений Игнатьевич**

Академик НАН Респ. Беларусь, зав. отделом ГНУ «Института технологии металлов НАН Беларуси»

• **Найдек Владимир Леонтьевич**

Академик НАН Украины, Советник директора Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины

• **Никитин Константин Владимирович**

Д-р техн. наук, проф., декан факультета Самарского политехнического университета

• **Петров Александр Юрьевич**

Канд. техн. наук, Генеральный директор ФГУП «Всероссийский электротехнический институт им. В.И. Ленина»

• **Поддубный Анатолий Никифорович**

Д-р техн. наук, Советник ген. директора ООО «ОЗНА-ОМЗ»

• **Ри Хосен**

Д-р техн. наук, проф. кафедры «Литейное производство и технология металлов» Тихоокеанского государственного университета

• **Тен Эдис Борисович**

Д-р техн. наук, проф. кафедры «Технологии литейных процессов» НИТУ «МИСиС»

• **Тихонов Аркадий Константинович**

Д-р техн. наук, проф., Советник ген. директора ГНЦ ФГУ «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»

• **Яскевич Инна Авдеевна**

Главный редактор

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «Литейное производство»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

И.А. Яскевич

ЖУРНАЛ ГОТОВИЛИ

А.И. Батышев, Е.В. Трушина, Ю.В. Федорова

НАШ АДРЕС

111396, Москва, Союзный пр-т, 14/9, 232

ТЕЛЕФОН/ФАКС

+7 (495) 303-85-81 E-MAIL: lp@niit.ru

САЙТ www.foundrymag.ru

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале, осуществляется только с разрешения редакции

Сдано в набор 01.04.2020

Подписано в печать 30.04.2020

Формат 60×80 1/8

Отпечатано в типографии ИП Симаков С.В.
142300, Московская обл,
г. Чехов, ул. Полиграфистов, д. 1

Цена договорная

При изучении литого инструмента из нелегированного белого чугуна установлена возможность существенного повышения твердости литых отрезных токарных резцов и наборных ножей дисковых фрез. Высокотемпературный нагрев уменьшает объемную долю цементита (светлого), увеличивает долю темного (перлит, переходное состояние и «графит»), что снижает твердость при закалке. Показано, что закалку надо проводить в подогретое масло, через воду в масло, горячую воду и водные растворы, так как закалка в холодную воду приводит к образованию трещин. Исследование особенностей воздействия термообработки (ТО) позволило сделать заключение о возможности получения литого инструмента из нелегированного БЧ.

Ключевые слова

Инструмент режущий, чугун доменный, термообработка, структура, твердость.

АННОТАЦИЯ

SUMMARY

The possibility of a significant increase in the hardness of cast cutting-off tools and ganged blades of disk cutters was stated when studying cast tools made of unalloyed white iron. High-temperature heating reduces the volume fraction of cementite (light) and increases the share of dark one (perlite, transition state and "graphite"), which reduces the hardness during quenching. It is shown that quenching should be made in heated oil, through water to oil, hot water and aqueous solutions, since quenching in cold water leads to the formation of cracks. The study of features of the heat treatment effect allowed us to conclude that it is possible to obtain cast tool from an unalloyed white iron capable of taking its rightful place among tool materials.

Key words

Cutting tool, blast furnace iron, heat treatment, structure, hardness.

УДК 669.131.2: 621.78

- В.К. Афанасьев, А.П. Черныш, М.В. Попова, М.М. Сагалакова, К.Г. Малютин
- V.K. Afanasyev, A.P. Chernysh, M.V. Popova, M.M. Sagalakova, K.G. Malyutin

О термической обработке инструмента из доменного белого нелегированного чугуна

About heat treatment of tools made from blast furnace unalloyed white iron

К настоящему времени доменная печь остается основным производителем чугуна. Этот чугун имеет черный излом, и поэтому его следует называть черным (ТЕМНОЕ – Т). До сих пор живет стальной передел, превращающий черный доменный чугун (Т) в сталь (СВЕТЛОЕ – С) – основной хребет нынешней цивилизации. Стальной передел появился, прежде всего, в связи с низкими прочностью и пластичностью черного чугуна. Обусловлено это было наличием большого количества Т в его структуре (перлит, переходные состояния, включения неметаллического «графита», которые зачастую являются готовыми нарушениями сплошности – трещинами).

Сравнительно давно, совместно с Западно-Сибирским металлургическим комбинатом, нами были разработаны технологические приемы превращения черного доменного чугуна в белый (С). Это был первый масштабный практический пример (Т → С) [1...3]. Получение БЧ не предусматривает специального легирования и поэтому далее он будет называться белым нелегированным чугуном (БНЧ).

БНЧ в сыром состоянии имеет довольно высокую твердость 43...52 HRC, но низкую пластичность, что характерно для таких инструментальных материалов, как углеродистая и быстрорежущая стали, твердые сплавы, нитрид бора.

ТО инструмента – сложный и ответственный вид работы мастера-термиста. Особенно сложная и поэтому дорогая ТО инструмента из быстрорежущих сталей (P18, P9, P6M5 и др.). Поэтому важно обратить особое внимание на возможности

Таблица 1

Время выдержки и среда охлаждения	HRC после нагрева, °C										
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
1 ч, печь	57	56	57	58	55	55,5	53,5	47	46,5	44,5	36
1 ч, воздух	57	58	56	55,5	56	56	52	47	48	53	39
1 ч, кипящая вода	57	57	57,5	57,5	55,5	54,5	53	48	64	62	49
1 ч, холодная вода	57	57	58	56	57	57	55	49	68	64	52
10 ч, печь	57	57,5	56	58	57	53	50	44	32	28	27
10 ч, воздух	57	58,5	58	56	58	54	49	47	30	26	25,5
10 ч, кипящая вода	57	58	57,5	57	56	54,5	48	46	58	54,5	54
10 ч, холодная вода	57	56,5	57	57	56	54	48	46	59	55,5	55

ТО инструмента из БНЧ на предмет вывода его в конкуренты углеродистого и быстрорежущего. В работе изложены результаты первичного изучения влияния основных видов ТО (отжига, закалки, отпуска) на некоторые свойства токарных отрезных резцов и ножей наборных дисковых фрез из БНЧ.

В связи с тем, что главный недостаток БНЧ – наличие Т в его структуре, изучали влияние отжига: нагрев до 600...1000°C, медленное охлаждение с печью. **Ниже** показано, что объемная доля цементита (С) с повышением температуры отжига плавно уменьшается, особенно, при 1000°C. В противоположность этому, объемная доля Т увеличивается. Обработку расплава передельного чугуна при получении БНЧ проводили с применением интенсивного наводороживания расплава (вариант I) и наводороживания с 10-мин дегазацией (вариант II). Видно, что дегазация уменьшает падение объемной доли С, по сравнению с наводороженным состоянием, т.е. дегазация стабилизирует цементит (см. **ниже**). Можно считать это проявлением наследственности.

Проведенная ТО заключалась в нагреве токарных резцов при 100...1000°C в течение 1 и 10 ч, с последующим охлаждением в печи, на воздухе, в кипящей и холодной воде. На **рис. 1** и в **табл. 1** показано, что предварительный нагрев до 500°C включительно, практически не изменяет твердость образцов, а после нагрева в интервале 500...700°C она плавно снижается, с небольшим различием между нагревами в 1 и 10 ч. Наиболее резко твердость изменяется после охлаждения с 800, 900 и 1000°C.

Температура, °C (время отжига, ч)	Объемная доля цементита, %, варианты I/II
Без отжига	69,5 / 73,0
600 (6,5)	66,2 / 69,5
700 (7)	66,7 / 68,4
800 (7)	60,6 / 60,6
900 (1)	57,4 / 64,4
1000 (1)	41,6 / 44,5

Примечание. Вариант I – интенсивное наводороживание расплава, II – наводороживание с 10-мин дегазацией.

Охлаждение в кипящей и холодной воде существенно повышает твердость, но лучший здесь 1-ч нагрев. Максимальное значение твердости после 1-ч нагрева при 800 и 900°C составляет 63...68 HRC, что равно или несколько превышает твердость самой распространенной в настоящее время стали Р6М5 после окончательной ТО.

Обращает на себя внимание повышение твердости после 1-ч нагрева при 900°C и охлаждения на воздухе.

Таким образом, нагрев при 1000°C (1 и 10 ч) и при 800...900°C в течение 10 ч нежелательны, а охлаждение после 10-ч нагрева на воздухе и в масле вообще не применимы. Это происходит потому, что уже при 1000°C (1 и 10 ч) протекает процесс «графитизации», а 10-ч нагрев при 800...900°C сильно увеличивает объемную долю Т. На основании этого сделано

предположение, что, видимо, для такого материала, как БНЧ, короткий нагрев под закалку (< 10 ч) достаточен.

Для выяснения способности БНЧ работать в качестве инструментального материала изучали влияние высоких температур (900 и 1000°C) порознь и совместно. Поскольку БНЧ, как и быстрорежущая сталь, малотеплопроводный материал, при их охлаждении возможно образование закалочных трещин. **Ниже** приведены результаты 1-ч закали резцов с 900°C, в разных средах. Прежде всего, следует отметить, что резцы из БНЧ даже при охлаждении на воздухе или повышенную твердость, а после закалки на воздухе она увеличивается с 43 до 54...55 HRC. Почти такую же твердость быстрорежущая сталь имеет после нагрева в соляной ванне и охлаждении через воду в масло. Полученные результаты позволяют рекомендовать закалку в подогретое трансформаторное масло, кипящую воду и водные растворы, а для дальнейших научных разработок – охлаждение в холодной воде, для выяснения возможности дальнейшего повышения твердости до 70 HRC и более.

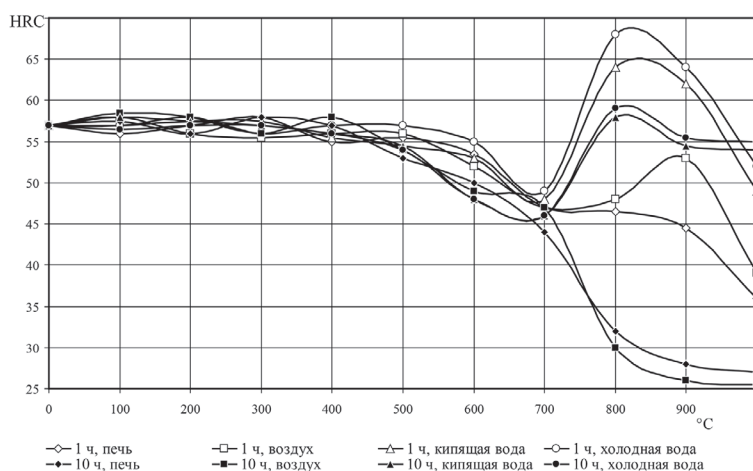


Рис. 1. Влияние нагрева и среды охлаждения на твердость резцов из БНЧ, HRC

Изучали влияние нагрева при 900°C в течение 0,5...5 ч, с охлаждением в кипящую воду. Получена стабильно высокая твердость (см. **ниже**), что позволяет считать возможным замену сложной ТО (во вредных соляных ваннах, в первую очередь), применяемому для инструмента из Р6М5, на весьма простую 1...5-ч закалку с 900°C в кипящую воду для инструмента из БНЧ. При времени нагрева 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 и 5,0 ч твердость была равна 61...63; 64...66; 66...67; 65...66; 64...66 и 67...68 HRC, соответственно.

Необходимость проведения отпуска закаленных резцов потребовала изучения влияния последующего нагрева на их твердость (см. **ниже**).

Установлено, что даже 1-ч отпуск при 500°C позволяет сохранить высокую твердость, несмотря на существенные различия в охлаждении отпущенных резцов (в кипящую воду, на воздухе, с печью). Отпуск при 600°C сохраняет значения для тепловой пробы (600°C, 4 ч, воздух, 58 HRC) быстрорежущей стали. Изучали также возможность применения термического удара на процесс последующей закалки с 900°C. Совершенно новым здесь является применение короткого времени нагрева под закалку – до 3 мин (**табл. 2**). Видно (**табл. 3**), что после термического удара (1000°C, 1 мин, масло) и последующих двух закалок с 900°C, 1 мин, на воздухе, в масло, через воду в масло и в воду, только закалка в воду и через воду в масло обеспечивает получение наиболее высокой твердости 63,5...66,0 HRC.

Среда охлаждения	Твердость HRC	Наличие трещин
Сырой	43,3	–
Кипящий водный раствор 1,5% CH ₃ COOH	64...66	Нет
Трансформаторное масло (80...100°C)	64...66	Нет
Холодная вода	66...69	Есть
Воздух	54...55	Нет

Температура отпуска, °C	Твердость, HRC, после охлаждения
	в кипящей воде/на воздухе/с печью
Без отпуска	64...66/64...66/64...66
300	63...64/64...66/63...65
400	61...62/63...64/63...64
500	60...61/61...63/61...63
600	57...58/55...58/54...57
700	51...52/50...52/49...51

Следует отметить, что в практике ТО быстрорежущей стали после 25-с нагрева при 1240...1260°C в ванне с расплавленной $BaCl_2$ охлаждение проводили до 900°C на воздухе, а с 900°C – через воду в масло. Такая ТО требовала от термиста наивысшей квалификации и таила в себе опасность получения брака.

Наряду с термическим ударом, изучали влияние длительного отжига при 1000°C, последующей закалки (900°C, 1 ч) и отпуска (550°C, 1 ч, воздух) на твердость резцов (см. **ниже**).

Вариант наводороживания	Твердость, HRC, после термоциклической обработки, количество циклов
	0 / 1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6 / 10
I	50...52/61...63/61...62/61...63/61...62/62...63/62...63/61...63
II	50...52/60...61/60...61/61...63/61...63/62...63/63...64/62...63

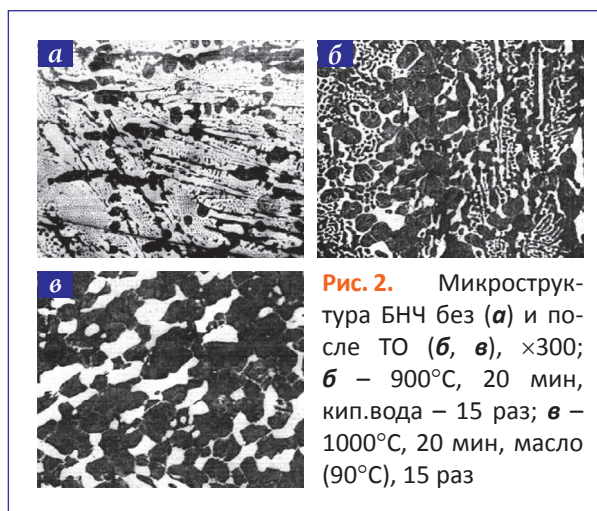


Рис. 2. Микроструктура БНЧ без (а) и после ТО (б, в), $\times 300$; б – 900°C, 20 мин, кип.вода – 15 раз; в – 1000°C, 20 мин, масло (90°C), 15 раз

Здесь важно то, что длительный нагрев предварительного отжига (1000°C, 7 ч) не оказывает катастрофического влияния на твердость потому, что после отжига следовала закалка с 900°C.

Предварительный же, перед закалкой, отжиг в воздушной среде и в карбюризаторе (древесный уголь + $CaCO_3$ + $BaCO_3$) позволяет получить самые высокие значения твердости – 66...69 HRC.

Установлено также, что самостоятельный нагрев при 1000°C даже в виде термоциклической обработки с короткой 20-мин выдержкой стабильно снижает твердость закаленных резцов до 61...63 HRC, вместо получаемых при закалке с 900°C. Металлографический анализ позволяет объяснить «вредное» влияние нагрева при 1000°C без последующего перевода на 900°C: оно заключается в увеличении объемной доли Т. На **рис. 2** хорошо видно, что циклирование с 1000°C в наибольшей мере увеличивает объемную долю Т, снижающего долю цементита (С) и тем самым – твердость.

Таблица 2

Твердость, HRC			
Сырые	ТУ	ТУ + О	ТУ + О + О
42,0 / 45,0	51,0 / 55,5	Воздух	
		43,0 / 45,5	44,5 / 46,0
41,0 / 44,5	51,0 / 56,0	Масло	
		51,0 / 54,5	52,5 / 54,0
42,0 / 45,5	50,0 / 56,0	Через воду в масло	
		63,0 / 65,5	63,0 / 65,5
41,0 / 47,0	47,0 / 56,0	Вода	
		63,5 / 66,0	61,5 / 66,0

Примечание. В числителе – минимальное, знаменателе – максимальное значение.

Таблица 3

Время отжига, ч	Среда нагрева при отжиге	Среда охлаждения при закалке	Число отпусков	Твердость HRC,
				Вариант I/II
4,5	Воздух	Без закалки	Без отпуска	50...51/48...50
		Воздух		56...58/56...58
		Кипящая вода		67...69/64...65
				1
	Твердый карбюризатор	2	58...59/58...59	
		Без закалки	Без отпуска	50...53 / 48...49
		Кипящая вода		66...67 / –
		Трансформаторное масло (80°С)		67...68 / 66...67
Воздух	– / 57...59			
7	Воздух	Без закалки	Без отпуска	42...45 / 48...49
		Кипящая вода		62...64 / 63...65
			1	55...58 / 60...61
			2	51...52 / 59...61
		Трансформаторное масло (100°С)	1	– / 59...61

Приведенные данные по Т и С указывают на необходимость широкомасштабного изучения возможностей ТО литого инструмента из чугуна сравнительно малой стоимости. Видим, что литой инструмент из БНЧ – перспективный материал, по сравнению с инструментом из деформированной стали (углеродистой и легированной).

Получение стали из доменного чугуна (стального передела) и ее деформация серьезно увеличивают товарную стоимость инструмента. Поэтому необходим поиск оптимальных режимов ТО БНЧ, позволяющих получить структуру с максимальным С и минимальным Т.

Выводы

- Инструмент из БНЧ, получаемый переработкой доменного чугуна в расплавленном состоянии, может приобретать высокую твердость 67...69 HRC в закаленном состоянии.
- Во избежание образования закалочных трещин первоначально необходима закалка изделий в подогретое масло, через воду в масло и горячую воду.
- Полученные в работе результаты позволяют считать, что инструмент из БНЧ может успешно пополнить группу выдающихся инструментальных материалов.

СПИСОК

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В.К. Некоторые итоги и перспективы металлургии // Литейное производство. – 2000. – №3. – С. 3–5.
2. Афанасьев В.К., Айзатулов Р.С., Кустов Б.А., Чибряков М.В. Прогрессивные способы повышения свойств доменного чугуна. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 1999. – 258 с.
3. Доменный чугун – металл будущего / Под науч. ред. В.К. Афанасьева. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2005. – 347 с.

Сведения об авторах

Афанасьев В.К. – д-р техн. наук, проф. СибГИУ, г. Новокузнецк.

Черныш А.П. – канд. техн. наук, доцент, директор Кемеровского научно-исследовательского института филиала СФНЦА РАН.

Попова М.В. – д-р техн. наук, доцент, проф. СибГИУ.

Сагалакова М.М. – канд. техн. наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт и машиностроение», Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО, СибГИУ.

Малютин К.Г. – Ген. директор ООО «Никвел».