

УДК 621.771

DOI 10.36910/775.24153966.2022.73.12

**А.К. Автухов, В.А. Бантковський, О.Д. Мартиненко***Державний біотехнологічний університет, Харків,  
Україна***ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЙОМІВ ВИРОБНИЦТВА НА РІВЕНЬ  
ЗАЛИШКОВОГО АУСТЕНИТУ В РОБОЧОМУ ШАРІ ВИРОБІВ  
ІЗ ХРОМОНІКЕЛЕВОГО ЧАВУНУ**

*У статті приведені вимога до великогабаритних деталей з хромонікелевого чавуну, працюючих в умовах знакоперемінних питомих навантажень і температур. Відмічено, що одним з істотних недоліків такого чавуну є наявність в ньому залишкового аустеніту, який в процесі експлуатації розпадається і збільшує схильність до вифарбовування робочої поверхні. Приведені наукові напрями дослідницьких робіт в яких ведуться дослідження спрямовані на підвищення рівня експлуатаційних властивостей хромонікелевих чавунів. Відмічено, що одним з істотних недоліків такого чавуну є наявність в ньому залишкового аустеніту, який в процесі експлуатації розпадається і збільшує схильність до вифарбовування робочої поверхні. Приведений методика визначення визначення змісту долі залишкового аустеніту в структурі хромонікелевих валків. Представлені результати досліджень впливу продування азотом хромонікелевого чавуну на рівень залишкового аустеніту в робочому шарі великогабаритних відливаних.*

*Ключові слова:* чавун, хімічний склад, оптико-математический метод, залишковий аустеніт, структура, неметалічні включення.

**А.К.Автухов, В.А.Бантковский, О.Д. Мартыненко****ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ПРОИЗВОДСТВА НА УРОВЕНЬ  
ОСТАТОЧНОГО АУСТЕНИТА В РАБОЧЕМ СЛОЕ ИЗДЕЛИЙ  
ИЗ ХРОМОНИКЕЛЕВОГО ЧУГУНА**

*В статье приведены требования к крупногабаритным деталям из хромоникелевого чугуна, работающим в условиях знакопеременных удельных нагрузок и температур. Отмечено, что одним из существенных недостатков такого чугуна является наличие в нем остаточного аустенита, который в процессе эксплуатации распадается и увеличивает склонность к выкрашиванию рабочей поверхности. Приведены научные направления исследовательских работ в которых ведутся исследования направленные на повышение уровня эксплуатационных свойств хромоникелевых чугунов. Отмечено, что одним из существенных недостатков такого чугуна является наличие в нем остаточного аустенита, который в процессе эксплуатации распадается и увеличивает склонность к выкрашиванию рабочей поверхности. Приведен методика определения содержания доли остаточного аустенита в структуре хромоникелевых валков. Представлены результаты исследований влияния продувки азотом хромоникелевого чугуна на уровень остаточного аустенита в рабочем слое крупногабаритных отливок.*

*Ключевые слова:* чугун, химический состав, оптико-математический метод, остаточный аустенит, структура, неметаллические включения.

**A.K.Avtukhov, V.A.Bantkovsky, O.D. Martynenko****INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL METHODS OF PRODUCTION ON THE LEVEL  
OF RESIDUAL AUSTENITE IN THE WORKING LAYER OF PRODUCTS FROM  
CHROMIUM-NICKEL CAST IRON**

*The article presents the requirement for large-sized parts made of chromium-nickel cast iron, operating under conditions of alternating specific loads and temperatures. It is noted that one of the significant disadvantages of such cast iron is the presence of residual austenite in it, which disintegrates during operation and increases the tendency to chipping of the working surface. The scientific directions of research work are given in which research is being conducted aimed at improving the level of operational properties of chromium-nickel cast irons. It is noted that one of the significant disadvantages of such cast iron is the presence of residual austenite in it, which disintegrates during operation and increases the tendency to chipping of the working surface. A procedure for determining the content of the proportion of retained austenite in the structure of chromium-nickel rolls is given. The results of studies of the effect of nitrogen blowing of chromium-nickel cast iron on the level of residual austenite in the working layer of large castings are presented.*

*Key words:* cast iron, chemical composition, optical-mathematical method, retained austenite, structure, non-metallic inclusions.

У машинобудуванні широко використовуються вироби із чавуну. Призначення деталей залежить від складу металу чавуну. Часто залежно від застосування кінцевого виробу з чавуну до

сплаву додаються легуючі елементи, що впливають на його фізико-механічні якості. Чавун насамперед застосовується в чорній металургії для виготовлення великогабаритних деталей, що працюють в умовах знакозмінних питомих навантажень та температур [1-4]. Для таких деталей активно використовують хромонікелеві чавуни. Основна вимога до великогабаритних деталей з хромонікелевого чавуну - висока зносостійкість робочого шару та рівень фізико-механічних властивостей, що забезпечує необхідний ресурс виробів без відмов та пошкоджень.

Експлуатація великогабаритних виробів з хромонікелевого чавуну має певні складнощі, які пов'язані з тим, що при виготовленні виливків, у них виникають значні усадкові раковини та термічні напруження. Також слід зазначити, що одним із суттєвих недоліків такого чавуну є наявність у ньому залишкового аустеніту, який у процесі експлуатації розпадається та збільшує схильність робочої поверхні викришуватися. Розпад остаточного аустеніту в процесі експлуатації великогабаритних формуючих інструментів супроводжується зростанням напруги, що сприяє зниженню ресурсу інструментів. Тому дослідження спрямовані на пошук шляхів стабілізації структури, механічних та експлуатаційних властивостей прокатних валків із легованих хромонікелевих чавунів є важливими та актуальними [5,6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом з'явилася значна кількість публікацій та винаходів, що стосуються різних способів виготовлення виробів із хромонікелевого чавуну. Для підвищення рівня експлуатаційних властивостей хромонікелевих чавунів дослідницькі роботи ведуться у таких напрямках: розробка нових та оптимізація використовуваних сплавів, удосконалення технології їх виготовлення, розробка ефективних методів термічної обробки [1, 7, 8].

Одним із перспективних напрямів забезпечення необхідного ресурсу виробів із хромонікелевого чавуну є підвищення якості сплавів продуванням інертними газами [1, 9].

Продування газами сприяє зміні співвідношення складових структури сплавів, змінює кількість, форму та розподіл неметалевих включень, а також впливає на форму графіту. Проте слід зазначити, що питання впливу продування хромонікелевого чавуну на рівень залишкового аустеніту в сплавах досі вивчений не повністю.

Мета даної роботи: вивчення впливу продування азотом хромонікелевого чавуну на рівень залишкового аустеніту в робочому шарі великогабаритних виливків.

**Методологія проведення досліджень.** Для вивчення вмісту частки залишкового аустеніту у структурі хромонікелевих валків при їх виробництві був використаний оптико-математичний метод [10]. Сутність використаного методу полягає в наступному. За допомогою комп'ютера обробляються отримані у форматі bmp зображення мікроструктури. Оцифрування цих зображень проводилося у форматі pgm за спеціально розробленою програмою. У цьому форматі є 256 кольорів від 0 до 255 включно. Однією з головних переваг цього методу є те, що він нечутливий до дефектів металографічних зображень, оскільки в його основі лежить аналіз різниці кольорів пікселів, а не самі кольори, які можуть бути спотворені за неправильно вибраних режимів травлення структури або її зйомки [4].

Під час проведення досліджень використовували спеціально розроблену комп'ютерну методику. Результати комп'ютерної обробки травлених шліфів представлені на рис. 1.

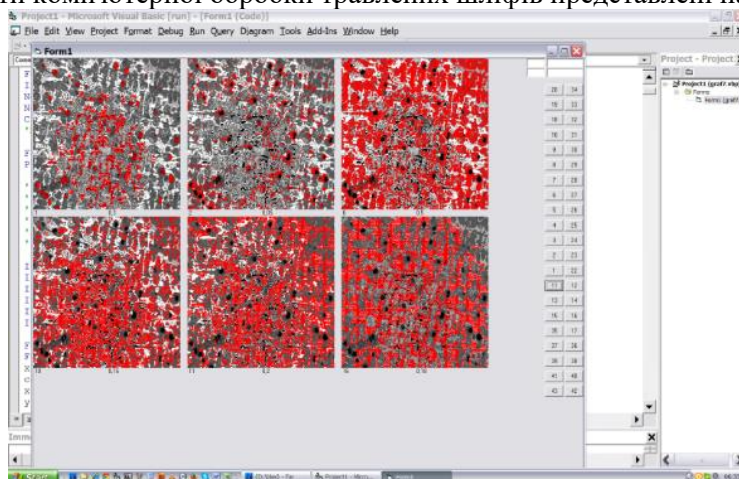


Рис. 1. Результати комп'ютерної обробки травлених шліфів структури валків виконання ЛПХНМдц-71 після термічної обробки

Процес визначення кількості розподілу кольорів на травлених шліфах полягав у наступному: з 256 кольорів (відтінків сірого кольору), що розрізняються комп'ютером, будували гістограми 16 кольорів для зручності обробки та скорочення часу розрахунків. Побудова їх проста. Щоб накопичувати таку гістограму, потрібно пройти всі точки фотографії одну за одною, розділити (кількість точок певного кольору) колір точок на 17 і до цілої частини відношення додати 1, тим самим отримавши номер в масиві гістограми. Наприклад, колір 7, будучи поділений на 17, дає 0. Додаючи до нього 1, отримуємо 1. Тобто кольори від 0 до 16 будуть накопичуватися в першому елементі гістограми кольорів. При кольорах від 17 до 33 – у другому елементі гістограми, і т.д. При такому способі до 16 буде відноситися тільки колір 255. Для чавуну, що розглядається, цього виявилось достатнім.

Накопичені суми ділили на кількість точок, множили на 100 і отримували відсотковий вміст кожного кольору на шліфі. Зручність цього способу полягає у тому, що функції, які є першими, другими і т.д., що характеризуються різницями кольорів, знову будуть кратні 17.

На представлених зображеннях розглядаються всі підобласті розміром 10 на 10 пікселів. Одні й ті ж фотографії досліджених шліфів повторюються 6 разів. Аналізуються 6 найбільш ходових кольорів 1, 2, 6, 10 (аустеніт), 11 та 16. Вони розташовані зверху в низ, зліва направо, крім того, підписані.

Ця методика дозволила з необхідною точністю визначити обсяг вмісту залишкового аустеніту

**Результати досліджень.** Для досягнення поставленої мети вивчали робочий шар великогабаритних деталей – валків виконання ЛПХНМдц-71 розміром Ø820×2300 мм, які були відлиті відцентровим способом за традиційною технологією (без додаткової обробки рідкого металу шлейфовим продуванням азотом) та з продуванням азотом. Сплави аналізували до та після термічної обробки.

Технологічні параметри заливки та хімічний склад досліджених прокатних валків виконання ЛПХНМдц-71 наведено у таблицях 1 – 4.

Табл. 1.

**Технологічні параметри заливки прокатного валка виконання ЛПХНМдц-71 \*\*\*:**

Порції	Температура металу, °С	Маса т.	Заливка		Витримування	
			час	обороти	час	обороти
основна	1410	3,4	33"	480	8'28"	480
1пор прол1	1300	1,4	12"	480	1'58"	480
			40"	480-400	2'18"	400
2пор прол1			1'19"	400-0		

\* Обробка металу: ковш – суперсід 3,5 кг, Те 15 г,

\*\* Діаметр Ø824мм, глибина робочого шару 40мм, температура кокіля 136 °С, товщина намазки 4,2 – 4,3 мм.

Табл. 2.

**Хімічний склад сплавів заливки прокатного валка виконання ЛПХНМдц-71**

Порції	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Mg	W	V
основна	2,90	1,03	0,58	0,082	0,042	1,51	4,29	0,28			0,18	0,18
пр. 1	3,27	1,52	0,30	0,097	0,014	0,24	0,49		0,28	0,030		
пр. 2	3,26	1,64	0,29	0,086	0,015	0,23	0,47		0,29	0,035		

Шлейфове продування азотом сплавів широко використовується для зниження вмісту неметалевих включень у сплавах. Виконані дослідження показали, що кількість неметалевих включень у хромонікелевому чавуні після обробки азотом суттєво зменшується (рис.2).

З метою поліпшення експлуатаційних властивостей валки піддавали термообробці – відпалу при 500°С.

Мікроструктура робочого шару верху бочки валків, відлитої з продуванням азотом (зразки відібрані безпосередньо від валків) представлена на рис.2 та рис.3, а результати аналізу вмісту залишкового аустеніту у сплаві у табл.5.

Табл. 3.

**Технологічні параметри заливки прокатного валка виконання  
ЛПХНМдц-71 зі шлейфовим продуванням азотом сплаву робочого шару \*\*\***

Порції	Температура металу, °С	Маса т.	Заливка		Витримування	
			час	обороты	час	обороты
основна	1420	3,8	38"	480	9'00"	480
1пор прол1	1300	1,5	14"	480	2'32"	480
			55"	480-400	2'00"	400
2пор прол1	1300		1'24"	350-100-0		

\* Обробка металу: ковш – суперсід 4 кг, Те 20 г, азотування – ШПР (шлейфове продування)

\*\* Діаметр Ø824мм, глибина робочого шару 45мм, температура кокіля 140 °С, товщина намазки 4,2 – 4,3 мм

Табл. 4.

**Хімічний склад сплавів заливки прокатного валка виконання  
ЛПХНМдц-71 із шлейфовим продуванням азотом сплаву робочого шару**

Порції	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Mg	W	V
основна	2,92	0,94	0,60	0,087	0,041	1,56	4,34	0,26			0,20	0,17
пр. 1	3,22	1,55	0,30	0,083	0,018	0,22	0,45		0,27	0,03		
пр. 2	3,22	1,59	0,30	0,079	0,018	0,22	0,46		0,27	0,03		

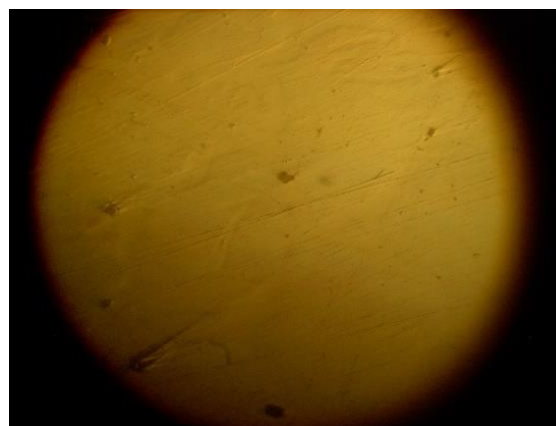


Рис. 2. Неметалічні включення в робочому шарі верху бочки валка до (а) та після (б) обробки азотом, ×1000

Табл. 5

**Вміст залишкового аустеніту у розглянутих валках до та після  
термічної обробки**

Характеристика валків виконання ЛПХНМдц-71	Відсотковий вміст залишкового аустеніту в структурі валків, %	
	до ТО	после ТО
відлиті за традиційною технологією	13,4	11,1
відлиті із застосуванням шлейфового продування азотом сплаву робочого шару	10,8	7,6

Аналіз наведених матеріалів показує, при продуванні частка залишкового аустеніту в литому стані менша на 18% у порівнянні з валками відлитими за традиційною технологією.



Термообробка (відпал – 500°C) призводить до розпаду залишкового аустеніту та формування більш тонких голок мартенситу. Рівень залишкового аустеніту після термічної обробки у валках, відлитої із застосуванням шлейфового продування на 31% менше порівняно з відлитими валками за традиційною технологією.

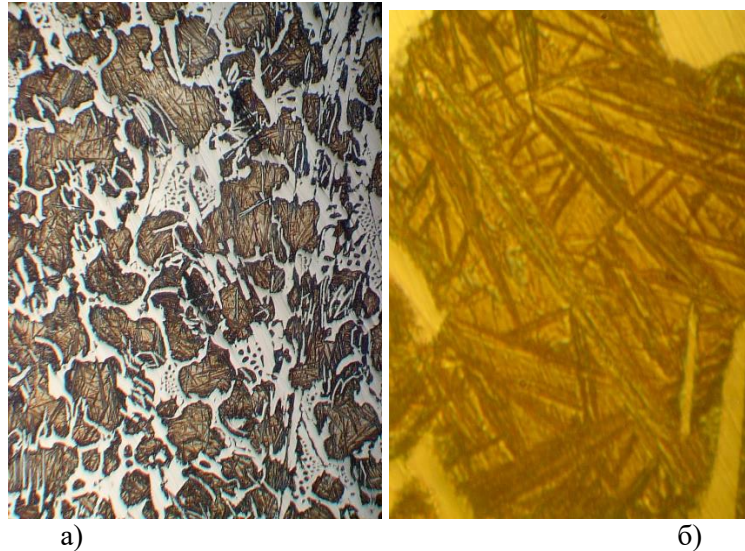


Рис. 2. Мікроструктура робочого шару верху бочки валка після продування азотом до термообробки, (а)  $\times 100$ ; (б)  $\times 1000$

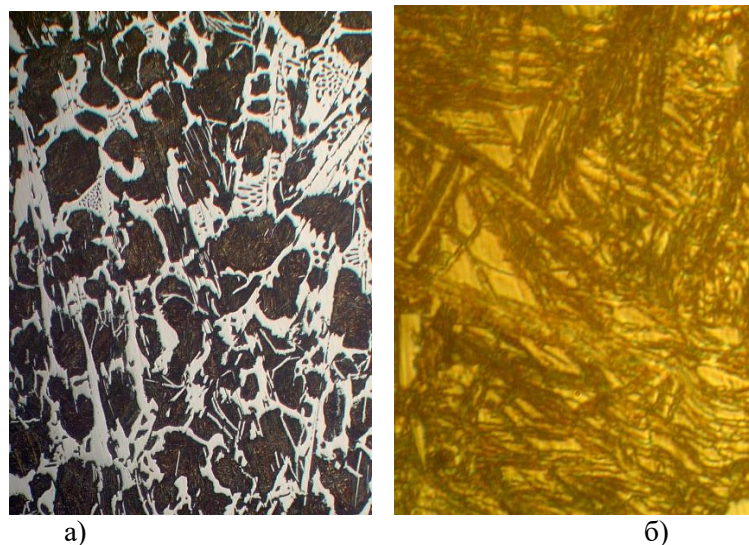


Рис. 3. Мікроструктура робочого шару верху бочки валка після продування азотом та термообробки, (а)  $\times 100$ ; (д-е)  $\times 1000$

Промислові випробування прокатних валків виконання ЛПХНМдц-71 показали, що напрацювання термооброблених валків відлитої за традиційною технологією дорівнює 186554т, а термооброблених валків відлитої із застосуванням шлейфового продування азотом сплаву робочого шару – 209611т. Ресурс дослідних валків виявився на 11% вищий у порівнянні з валками поточного виробництва.

#### **Висновки.**

Рівень залишкового аустеніту після термічної обробки у валках виконання ЛПХНМдц-71, відлитої із застосуванням шлейфового продування азотом сплаву робочого шару на 31% менше ніж у відлитої валків за традиційною технологією, що сприяє підвищенню експлуатаційної стійкості валків на 11%.

---

**Список літератури**

1. Производство и применение прокатных валков: Справочник./ Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, Н.М. Александрова и др. Под ред. Проф. Т.С. Скобло-Х.: ЦД №1.2013-572с.
2. Будагьянц Н.А. Центробежное литье валков для горячей прокатки / Н.А. Будагьянц, Н.А. Жижкина, Ю.И. Гутько// *Вісник Донбаської Державної машинобудівної академії.*- Краматорськ: ДДМА, 2009.-№1(15).-С.71-74.
3. Будагьянц Н.А. Литые прокатные валки /Н.А. Будагьянц, В.Е. Карский - М.: Металлургия, 1983. - 175с.
4. Вдовин К.Н., Гималетдинов Р.Х., Колокольцев В.М., Цыбров С.В. Прокатные валки. Монография. –Магнитогорск, МГТУ. – 2005. – 543с.
5. Скобло Т.С. Прокатные валки из высокоуглеродистых сплавов /Т.С. Скобло, Н.М. Воронцов, С.И. Рудюк / [под. ред. Скобло Т.С.]. - М.: Металлургия, 1994. – 336с.
6. Скобло Т. С., Автухов А. К., Сидашенко А. И. Разработка энергосберегающей технологии производства листопрокатных валков. *Экология и промышленность.*– 2015. №4(45). – С. 87-91.
7. Скобло Т.С. Повышение качества чугунных двухслойных валков листопрокатных станов / Т.С. Скобло, В.Ф. Коробейник, В.Н. Гончаров [и др.] // *Сталь.* - 1987. - №9. - С. 68-70.
8. Скобло Т.С. Применение шлакообразующих смесей при производстве и реновации изделий. Монография / Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, А.Д. Мартыненко, Р.В. Ридный, Н.С. Пасько, А.К. Автухов. Под ред. д.т.н., проф. Т.С. Скобло – Х.: «Полосатая типография», 2016. – 284с.
9. Калинин В.Т., Кондрат А.А. Использование азота при литье двухслойных листопрокатных валков. *Сучасні проблеми металургії.*-2007.№10. – С.36-44.
10. Скобло Т.С. Оптикоматематический анализ структурообразования рабочего слоя валков исполнения ЛПХНМдц / Т.С.Скобло, А.К.Автухов, Е.Л.Белкин // *Вісник НТУ обладнання «ХП».* Серія: *Інноваційні технології та обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії.* – Харків: НТУ «ХП», 2015. – №48(1167). – С. 57- 61.