

**Скобло Т.С.**  
**Автухов А.К.**  
**Кур'янов О.С.**  
Харківський національний технічний  
університет сільського господарства  
імені Петра Василенка

**ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ  
ЧАВУННИХ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ, ЩО  
ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА  
КУЛЬ**

**УДК 669.15-196**

*Наведено, що для виробництва куль, що мелють застосовують прокатні валки з різних матеріалів. Основними показниками якості цих інструментів є рівень механічних властивостей: твердість, ударна в'язкість, межа міцності на розрив, межа міцності на вигин, термічна витривалість. Умови роботи прокатних валків характеризуються циклічним впливом температури і питомих тисків. Тому особливо важливими є напрямки дослідження шляхів підвищення такого показнику якості прокатних валків, як термічна витривалість. Зазначено, що валки станів при виробництві куль великого діаметру (80-120мм) мають значно менші навантаження на калібри ніж при прокатці куль малого діаметра, тому для їх виробництва доцільно використовувати високоміцний чавуну з кулястим графітом. Аналіз використання чавунних прокатних валків показав, що на їх показники якості суттєво впливає форма і розмір включень графіту. Для підвищення рівня механічних властивостей і термічної витривалості чавуну шляхом одержання "правильної" форми графіту необхідних розмірів виконали дослідження з модифікування Ва розплаву валків виконання СШХНМ-46. Під час проведення досліджень було встановлено, що співвідношення барію й магнію в модифікаторі в межах  $\sim 1,4 : 2,0$  обумовлює найбільш високий рівень пластичності за рахунок оптимального розміру графітових включень. Підвищення рекомендованого співвідношення Ва : Mg понад 2,3 веде до збільшення розмірів графітових включень (більш Граз 360) і одночасно до погіршення їх форми (до Гф 9). Збільшення розмірів включень графіту приводить до зниження (на 23...28 %) механічних властивостей. На підставі результатів проведених досліджень визначено, що найбільш високі показники якості – рівень механічних властивостей і термічної витривалості має чавун, що містить 3,8 % С, 1,84 % Si, 0,30 % Mn, 2,00 % Ni; до 0,10 % Cr, 0,30 % Mo, до 0,04 % Mg, 2,5 % Cu; до 0,04 % Se; до 0,08 % Ва. Термічна витривалість такого чавуну складає 3120 циклів до руйнування ( $20 \leftrightarrow 600^\circ\text{C}$ ). Валки із пропонованого чавуну, маючи більш високий рівень властивостей, здатні забезпечити зниження питомої їх витрати в 1,2 - 1,5 рази та сприяти скороченню простоїв станів по перевалках.*

**Ключові слова:** прокатні валки, чавун, хімічний склад, рівень механічних властивостей, термічна витривалість, структурні складові, кулястий графіт.

## **Постановка проблеми.**

Для виробництва куль, що мелють застосовують прокатні валки з різних матеріалів. Валки для прокатки куль великого діаметру (80-120мм) мають значно менші навантаження на калібри ніж при прокатці шарів малого діаметра, тому для їх виготовлення доцільно використовувати високоміцний чавуну з кулястим графітом, який широко застосовується для виробництва інструментів, що працюють на різних типах сортопрокатних станів.

Досвід експлуатації прокатних валків свідчить про те, що основними показниками якості цих інструментів є рівень механічних властивостей (твердість, ударна в'язкість, межа міцності на розрив, межа міцності на вигин та ін.), відсутність внутрішніх дефектів, термічна витривалість. [1].

Умови роботи прокатних валків характеризуються циклічним впливом температури і питомих тисків. Тому особливо важливими є напрямки дослідження шляхів підвищення такого показнику якості прокатних валків, як термічна витривалість.

## **Аналіз досліджень.**

Вивченню механічних властивостей чавуну і впливу на них структурних складових матеріалу присвячена велика кількість робіт [2-8]. Роботи Скобло Т.С., Добровольського І.І., Міронова Т.М., Волчука В.Н. та ін. присвячені дослідженню впливу хімічного складу чавунів на їх структуроутворення, механічні та експлуатаційні властивості. В роботах Жукова А.А., Макаренко К.В., Слинко Г.І., Мартиненко О.Д. розглядаються питання впливу графітової фази на процеси руйнування в чавунах. Разом з тим слід зазначити, що питання підвищення термічної витривалості і рівня механічних властивостей чавуну з кулястим графітом, який пропонується для виготовлення прокатних валків для виробництва куль ще недостатньо вивчені.

**Мета роботи** вивчити можливість підвищення показників якості прокатних валків з високоміцного чавуну для виробництва куль за рахунок формування оптимальних структурних складових сплавів при їх виготовленні.

## Викладення основного матеріалу.

При визначенні шляхів підвищення показників якості чавунних прокатних валків були відлиті заготовки із чавуну з кулястим графітом виконання СШХНМ-46 з наступним хімічним складом: С-3,5%, Si- 1.9%, Mn -0,20%, Mg – 0,03%, Ni – 2,72%, P- 0,19%, S – 0,010%, Cr -0,30%, Mo- 0,48%? Се – 0,4%.

З виливків були вирізані темплети, а потім виготовлені зразки для оцінки механічних властивостей, термічної витривалості й металографічного аналізу.

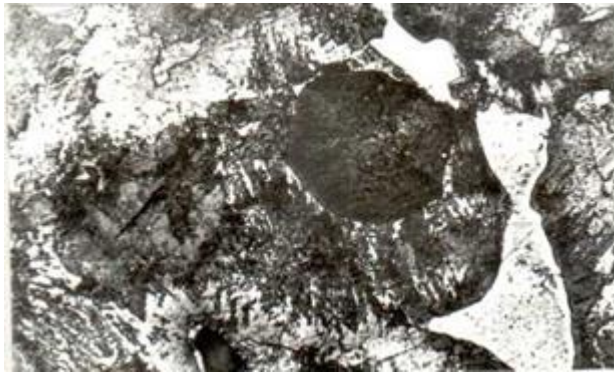
Металографічні дослідження проводили за ГОСТ 3443, оцінку механічних властивостей за ГОСТ 1497, ГОСТ 9454.

Термічну витривалість досліджуваного матеріалу оцінювали за кількістю циклів руйнувань зразків при випробуванні з затиснутими кінцями при навантаженні 176,4 Н на устаткуванні максимально прилаштованому до умов роботи валків гарячої прокатки [9].

Результати металографічних досліджень представлено в таблиці 1 та рис.1.

Таблиця 1 Розподіл включень графіту по перетину валка

Відстань від поверхні бочки, мм	Форма графіту	Кількість включень графіту, шт/мм <sup>2</sup>	Розмір включень графіту	Кількість графіту в структурі
1	2	3	4	5
5-10	Гф 13	127	Граз 25 – Граз 45	Г4
20-25	Гф 12 Гф 13	95	Граз 45	Г6
35-40	Гф 13 (35%) Гф 12 (35%) Гф 6 (30%)	70	Граз 53 – Граз 90	Г8



а



б



в

Рис.1 Мікроструктура чавуну валків виконання СШХНМ, що застосовуються на станах для виробництва куль, на відстані від поверхні бочки ( $\times 500$ ): а – 5...10 мм, б – 20...25 мм; в - 35...40 мм.

З наведених матеріалів видно, що включення графіту мають переважно кулясту форму (Гф 12, Гф 13, рідше Гф 6), кількість яких закономірно зменшується від поверхні в глиб вилівка при одночасному росту їх розмірів (від Граз 25 - Граз 45 до Граз 90). Металева матриця - перліт і цементит, причому на глибині 20 і особливо 40 мм від поверхні кількість включень цементиту зменшується. Механічні властивості чавуну на глибині 20...40 мм від поверхні:  $\sigma_{и}=670$  МПа,  $\delta = 0,8$  %,  $KC = 7,0$  МДж/м<sup>2</sup>. Твердість чавуну в литому стані склала 37 - 41 HSD . Чавун з такою структурою й властивостями витримував  $\sim 1850$  циклів до руйнування ( $20 \leftrightarrow 600^{\circ}C$ ). Декілька знижена термічна витривалість такого сплаву ( $N_{ц} = 1850$  у порівнянні з необхідними - 3000 циклів) обумовлена великими включеннями графіту (53-60 мкм).

Під час проведення досліджень було встановлено, що процес виливки партії валків діаметром 690 і довжиною 600 мм для станів із однієї плавки триває на протязі 25-35 хвилин.

Тому у вилівках, що заливаються останніми практично не спостерігається включень графіту "правильної" (кулястої) форми. Це пов'язано зі зниженням концентрації магнію в сплаві чавуну. У зв'язку із цим для підвищення рівня механічних властивостей і термічної витривалості чавуну шляхом одержання "правильної" форми графіту необхідних розмірів виконали дослідження з додаткового модифікування розплаву.

При проведенні досліджень в якості додаткового модифікатора використали сілікобарій. Застосування сілікобарію було обумовлено тим, що [10] барій сприяє подовженню періоду ефекту модифікування рідкого металу, і це є важливим при виливку дрібних валків та тривалій витримці металу в ковші.

Для визначення спільного впливу Ce, Mg і Ba на форму й розподіл включень графіту у високоміцному чавуні були виготовлені сплави із граничними й оптимальними співвідношеннями компонентів (табл.2).

Таблиця 2. Хімічний склад досліджуваних чавунів

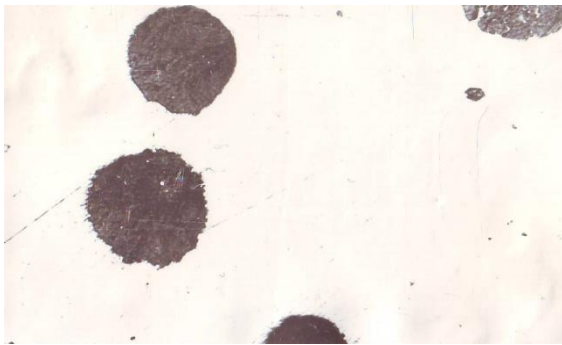
Номер плавки	Вміст елементів, %; ост. - Fe									
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Mg	Cu	Ce	Ba*
1	3,80	1,5	0,30	2,00	0,10	0,30	0,05	2,5	0,04	-
2	3,80	1,75	0,30	2,00	0,10	0,30	0,05	2,5	0,04	0,07
3	3,80	1,84	0,30	2,00	0,10	0,30	0,04	2,5	0,04	0,08
4	3,80	1,92	0,30	2,00	0,10	0,30	0,05	2,5	0,04	0,10
5	3,50	2,00	0,10	2,80	0,30	0,50	0,04	1,5	0,04	-
6	3,50	2,10	0,10	2,80	0,30	0,50	0,03	1,5	0,04	0,01
7	3,50	2,10	0,10	2,80	0,30	0,50	0,04	1,5	0,04	0,05
8	3,50	2,20	0,10	2,80	0,30	0,50	0,03	1,5	0,04	0,07
9	3,50	2,28	0,10	2,80	0,30	0,50	0,03	1,5	0,04	0,09

\*) Вміст барію в чавуні оцінювали по кількості введеного сілікобарія з урахуванням його вигару.

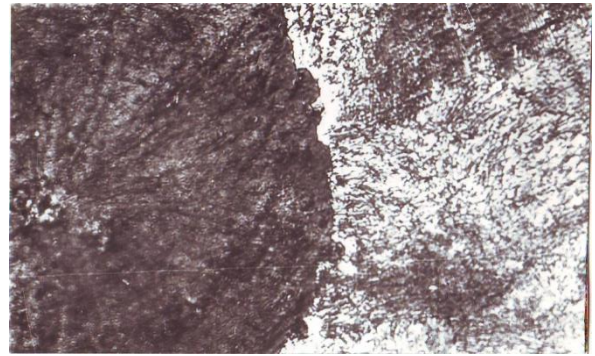


Кожний сплав виплавляли в 200 кг індукційній печі. У якості шихтових матеріалів використовували: сталевий лом, чавун – ЛК-2, феромарганець (45 % Mn), ферохром (71 % Cr.), нікель гранульований, мідь електролізу, феромолібден (60 % Mo ), феросиліцій (75% Si), нікельмагнієву лігатуру (17 % Mg), ферроцерій (45% Ce), сілікобарий (21 % Ba).

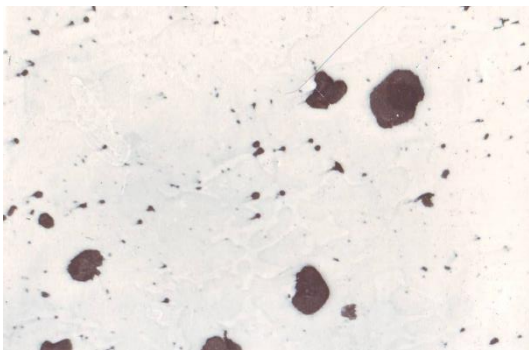
З виливків діаметром 200 мм були виготовлені зразки для досліджень мікроструктурних, а також механічних випробувань і оцінки термічної витривалості (табл.3). Мікроструктура легованого нікелем, молібденом і міддю високоміцного чавуну наведена на рис.2.



а



б



в



г

Рис. 2. Мікроструктура легованого нікелем, молібденом і міддю високоміцного чавуну на глибині 20 мм від поверхні виливка:

а,б - чавун модифікований Mg+Ce ; в,г - чавун модифікований Mg+Ce+Ba;  
а,в - до травлення,  $\times 100$ ; б,г - після травлення,  $\times 500$ .

Встановлено, що модифікування барієм сприяє помітній графітизації сплавів. Так, кількість графіту зростає від Г4...Г6 до Г10. При цьому одночасно збільшується число включень графіту й зменшується їхній розмір.

Збільшення кількості графіту за рахунок росту центрів графітизації, а також одержання графіту в основному кулястої форми поперечником  $\sim 35-50$  мкм, сприяє підвищенню ударної в'язкості й пластичності високоміцних чавунів, у середньому на 18...30 %.

Визначено, що співвідношення барію й магнію в модифікаторі в межах  $\sim 1,4 : 2,0$  обумовлює найбільш високий рівень пластичності за рахунок оптимального розміру графітових включень. Підвищення рекомендованого співвідношення Ва : Mg понад 2,3 веде до збільшення розмірів графітових включень (більш Граз 360) і одночасно до погіршення їх форми ( до Гф 9). Збільшення розмірів включень графіту приводить до зниження (на 23...28 %) механічних властивостей.

Таблиця 3. Механічні властивості й термічна витривалість досліджуваних чавунів

Номер плавки	Механічні властивості							Термічна витривалість, число циклів до руйнування
	$\sigma_v$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_u$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КС, МДж/м <sup>2</sup>	HSD	
1	850	550	910	1,0	0,70	8,9	49	2400
2	860	560	980	1,1	0,50	8,9	49	2630
3	885	630	1070	1,5	0,85	12,3	55	3120
4	880	615	1050	1,2	0,60	9,8	50	2750
5	820	530	880	1,1	0,50	6,7	46	2080
6	845	560	900	1,2	0,60	7,9	47	2380
7	865	628	960	1,3	0,65	10,7	50	2120
8	875	598	950	1,1	0,60	10,2	49	2450
9	860	580	935	1,1	0,70	8,8	49	2430

х) Дані таблиці - середнє з 3 - 5 випробувань

Таким чином, на підставі результатів проведених досліджень (табл.3) визначено, що найбільш високі показники якості – рівень механічних властивостей і термічної витривалості має чавун, що містить 3,8 % С, 1,84 % Si, 0,30 % Mn, 2,00 % Ni; до 0,10 % Cr, 0,30 % Mo, до 0,04 % Mg, 2,5 % Cu; до 0,04 % Ce; до 0,08 % Va. Термічна витривалість такого чавуну складає 3120 циклів до руйнування (20 ↔ 600°C).

**Висновки.** Для підвищення показників якості прокатних валків, що застосовуються при виробництві куль великого (80...120 мм) діаметра, доцільно використовувати чавун хімічного складу, що містить 3,8 % С, 1,84 % Si, 0,30 % Mn, 2,00 % Ni; до 0,10 % Cr, 0,30 % Mo, до 0,04 % Mg, 2,5 % Cu; до 0,04 % Ce; до 0,08 % Va.

Валки із пропонованого чавуну, маючи більш високий рівень механічних властивостей та термічної витривалості, здатні забезпечити зниження питомої їх витрати в 1.2 - 1,5 рази та сприяти скороченню простоїв станів по перевалках.

#### Список літератури

1. Производство и применение прокатных валков : справочник / Т. С. Скобло и др. Ред. Т. С. Скобло. Харьков, 2013. ЦД № 1. 572 с.
2. Скобло Т.С., Воронцов Н.М., Рудюк С.И. Прокатные валки из высокоуглеродистых сплавов / ред. Скобло Т.С. Москва: Metallurgiya, 1994. 336 с.
3. Добровольский И.И., Жуков А.А., Пахнощий И.О. Расчет структуры и механических свойств нелегированного и легированного чугунов. *Литейное производство*. 1988. №5. С.6-8.
4. Миронова Т.М., Кузнецов В.З. Структура и свойства деформируемых чугунов Днепропетровск: НМетАУ, 2009. 190с.
5. Волчук В.Н. Исследование химического состава чугунных прокатных валков на их механические свойства. *Вісник ПДАБА*, 2014. №5 С.12-18.
6. Жуков А.А. Влияние термоциклирования на рост серого чугуна. *Литейное производство*. 1973. №3. С.46-47.



7. Макаренко К.В. Илюшкин Д.А. Влияние графитовой фазы на процессы разрушения в чугунах. *Металлургия машиностроения*. 2010. №3. С.25-29.
8. Слинько Г.І., Мартиненко О.Д., Вплив структурних складових чавуну на експлуатаційні характеристики деталей, що працюють в умовах циклічної зміни температур. *Проблеми надійності машин: Вісник ХНТУСГ Х.: ХНТУСГ*, 2018. Вип. 192. С. 319-325.
9. Маслов А.А. Установка для испытаний металлов в условиях теплосмен. *Заводская лаборатория*. 1978. Т.44. №5. С.622-623.
10. Владимиров Л.П. О замене магния барием при получении высокопрочного чугуна. *Литейное производство*. 1986. №7. С.7-8.

**Skoblo T. S., Avtukhov A. K., Kuryanov O.S. Improvement of quality indicators of cast iron rolling rolls applicable to the production of balls**

It is stated that rolling rolls of different materials are used for the production of grinding balls. The main indicators of the quality of these tools are the level of mechanical properties: hardness, toughness, tensile strength, tensile strength, thermal endurance. Operating conditions of rolling rolls are characterized by cyclical effects of temperature and specific pressures. Therefore, the directions of research of ways to improve such an indicator of the quality of rolling rolls as thermal endurance are especially important. It is noted that the rolls of mills in the production of bullets of large diameter (80-120mm) have a much lower load on the gauges than in the rolling of bullets of small diameter, so for their production it is advisable to use high-strength cast iron with spherical graphite. Analysis of the use of cast iron rolls showed that their quality indicators are significantly affected by the shape and size of graphite inclusions. To increase the level of mechanical properties and thermal endurance of cast iron by obtaining the "correct" shape of graphite of the required size, studies were performed on the modification of the melt of the rolls of SSHNM-46. During the research it was found that the ratio of barium and magnesium in the modifier in the range of ~ 1.4: 2.0 determines the highest level of plasticity due to the optimal size of graphite inclusions. Increasing the recommended ratio of Ba: Mg over 2.3 leads to an increase in the size of graphite inclusions (more than Graz 360) and at the same time to a deterioration of their shape (up to Gf 9). Increasing the size of graphite inclusions leads to a decrease (by 23 ... 28%) of mechanical properties. Based on the results of research, it is determined that the highest quality indicators - the level of mechanical properties and thermal endurance has cast iron containing 3.8% C, 1.84% Si, 0.30% Mn, 2.00% Ni; up to 0.10% Cr, 0.30% Mo, up to 0.04% Mg, 2.5% Cu; up to 0.04% Ce; up to 0.08% Ba. The thermal endurance of such cast iron is 3120 cycles before failure (20 ↔ 600 ° C). Rolls from the offered pig-iron, having higher

level of properties, are capable to provide decrease in their specific expense in 1.2 - 1, 5 times and will promote reduction of downtimes of conditions on transshipments.

#### References

1. Proizvodstvo i primeneniye prokatnykh valkov : spravochnik / T. S. Skoblo i dr. Red. T. S. Skoblo. Khar'kov, 2013. TSD № 1. 572 s.
2. Skoblo T.S., Vorontsov N.M., Rudyuk S.I. Prokatnyye valki iz vysokouglerodistykh splavov / red. Skoblo T.S. Moskva: Metallurgiya, 1994. 336 s.
3. Dobrovolskiy I.I., Zhukov A.A., Pakhnoshchiy I.O. Raschet struktury i mekhanicheskikh svoystv nelegirovannogo i legirovannogo chugunov. Liteynoye proizvodstvo.1988. №5. S.6-8.
4. Mironova T.M., Kuznetsov V.Z. Struktura i svoystva deformiruyemykh chugunov Dnepropetrovsk: NMetAU, 2009.190s.
5. Volchuk V.N. Issledovaniye khimicheskogo sostava chugunnykh prokatnykh valkov na ikh mekhanicheskiye svoystva. Visnik PDABA, 2014. №5 S.12-18.
6. Zhukov A.A. Vliyaniye termotsiklirovaniya na rost serogo chuguna. Liteynoye proizvodstvo.1973. №3. S.46-47.
7. Makarenko K.V. Ilyushkin D.A. Vliyaniye grafitovoy fazy na protsessy razrusheniya v chugunakh. Metallurgiya mashinostroyeniya. 2010. №3. S.25-29.
8. Slyn'ko H.I., Martynenko O.D., Vplyv strukturnykh skladovykh chavunu na ekspluatatsiyi kharakterystiky detaley, shcho pratsyuyut' v umovakh tsyklichnoyi zminy temperatur. Problemy nadiynosti mashyn: Visnyk KHNTUS·H KH.: KHNTUS·H, 2018. Vyp. 192. S. 319-325.
9. Maslov A.A. Ustanovka dlya ispytaniy metallov v usloviyakh teplosmen. Zavodskaya laboratoriya. 1978. T.44. №5. S.622-623.
10. Vladimirov L.P. O zamene magniya bariyem pri poluchenii visokoprochnogo chuguna. Liteynoye proizvodstvo.1986. №7. S.7-8.