

Хричиков В.Є., Білий О.П., Іванова Л.Х., Осипенко І.О.

Вплив екранування сортопрокатних валків з чавуну на величину залишкових ливарних напруг*Khrychikov V., Bilyi O., Ivanova L., Osipenko I.***The effect of shielding cast iron rolls on the value of residual casting stresses**

Стаття присвячена встановленню впливу регульованого охолодження чавунного сортопрокатного валка на величину залишкових ливарних напруг, перевищення яких може привести до утворення гарячих і холодних тріщин у виливках. Для зменшення залишкових ливарних напруг запропоновано виконувати теплоізоляцію зовнішньої поверхні ливарної форми від навколишнього середовища після утворення робочого шару заданої твердості і товщини, що забезпечило процес тепломасоперенесення з нагрітої осьової зони і зменшило перепад температур по радіусу бочки валка. Ливарні напруги оцінювали за допомогою магнітного структуроскопу SA51-Нс-001.

Представлені результати дослідження внутрішніх залишкових ливарних напружень в сортопрокатних валках виконання СГХН-60 з розмірами бочки $\varnothing 390 \times 785$ мм, відлитої за серійною та розробленою технологією. На двомісному піддоні в ливарні форми експериментального і серійного валків встановлювали гарячі спай хромель-алюмелевих термопар на відстані 20 і 60 мм від поверхні кокілю. Плавку чавуну проводили в індукційній печі ІЧТ-6 відповідно до технологічних інструкцій заводу-виробника, заливку розплаву при температурі 1320 ± 5 °С через сифонну литникову систему із загальним стояком і тангенціальним підведенням живильників в нижні шийки валків. Досліджено вплив розміщення теплоізоляційного екрану на бочці експериментального валка при температурі робочого шару ≈ 700 °С. Вперше встановлено зменшення швидкості охолодження на 24,4% і залишкових ливарних напруг на 6,4% у експериментальному валку в порівнянні з серійним. Зменшення залишкових ливарних напруг в чавунному прокатному валку після теплоізоляції ливарної форми від навколишнього середовища в заданий період часу і уповільнення швидкості охолодження дозволило виключити етап термічної обробки серійні валків природне старіння від 3 до 6 місяців або відпал у печі з регульованими швидкостями нагрівання, витримки та охолодження.

Ключові слова: сортопрокатний валок, чавун, ливарна форма, теплоізоляція, регульоване охолодження, залишкові ливарні напруги

The article is devoted to establishing the influence of controlled cooling of cast iron rolling mill on the value of residual casting stresses, excess of which can lead to the formation of hot and cold cracks in castings. To reduce residual casting stresses, it is proposed to perform thermal insulation of the outer surface of the casting mold from the environment after the formation of a working layer of a given hardness and thickness, which provided a process of heat transfer from the heated axial zone and reduced the temperature difference across the radius of the roll barrel. The foundry stresses were evaluated using a SA51-Нс-001 magnetic structureoscope.

The results of the study of internal residual casting stresses in rolling rolls of SFGCrNi-60 with dimensions of barrel $\varnothing 390 \times 785$ mm, cast by standard and developed technology are presented. On the double pallet, hot junctions of chromel-aluminum thermocouples were installed in the molds of the experimental and serial rolls at a distance of 20 and 60 mm from the surface of the mold. The smelting of cast iron was carried out in an induction furnace ICT-6 in accordance with the technological instructions of the manufacturer, melt casting at a temperature of 1320 ± 5 °C through a siphon gating system with a common riser and a tangential feeder feed into the lower neck of the rolls. The effect of placement of the thermal insulation screen on the experimental roll barrel at the temperature of the working layer of ≈ 700 °C was investigated. For the first time, a reduction in cooling rate of 24.4% and residual casting voltages by 6.4% in the experimental roll compared to the serial one was established. Reduction of residual casting stresses in the cast-iron rolling roll after thermal insulation of the casting mold from the environment over a given period of time and slowing down of the cooling rate made it possible to exclude the stage of heat treatment of serial rolls of natural aging from 3 to 6 months or annealing in the furnaces with adjustable cooling rates.

Keywords: rolling roll, cast iron, foundry form, thermal insulation, adjustable cooling, residual casting stress

Вступ. Механічні та експлуатаційні властивості валків визначають якість і економічну ефективність сучасного прокатного виробництва [1]. При затвердінні валків в стаціонарних комбінованих кокільно-піщаних ливарних формах виникають залишкові ливарні напруги, перевищення яких обумовлює утворення гарячих і холодних тріщин у виливках [2, 3].

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Через нерівномірне охолодження бо-

чки валка в кокілі, робочий шар має температуру нижче евтектоїдного перетворення, а осьова зона в цей момент часу – температуру значно вищу [4, 5]. Тому в структурі перехідного шару валка в зоні температурного інтервалу евтектоїдного перетворення відбувається фазове перетворювання кристалічної ґратки, яке може протікати зі зменшенням або збільшенням об'єму в різних частинах вилівки, що призводить до виникнення залишкових ливарних напруг. Залишкові ливарні

Хричиков Валерій Євгенович – д.т.н., проф. НМетАУ.
Білий Олександр Петрович – ст.викладач НМетАУ
Іванова Людмила Харитонівна – д.т.н., проф. НМетАУ
Осипенко Ірина Олександрівна – ст.викладач НМетАУ

Khrychikov V. Ph.D., Assoc. Prof. NMetAU
Bilyi O. - senior teacher NMetAU
Ivanova L. - Ph.D., prof. NMetAU
Osipenko I. - senior teacher NMetAU

напруги існують за відсутності зовнішніх сил і врівноважуються в об'ємі виливка. Тому через наявність залишкових ливарних напруг литі чавунні прокатні валки перед експлуатацією повинні проходити природне старіння від 3 до 6 місяців.

Згідно нормативно-технічної документації на литі валки для зменшення залишкових ливарних напруг виливки можливо піддавати термічній обробці (відпуску). В [6] розроблені температурно-часові режими термообробки для деяких типів валків, які дозволяють зменшити залишкові ливарні напруги і виключити етап природного старіння.

Економічно доцільним є виробництво литих валків зі зменшеними залишковими ливарними напруженнями за рахунок регулювання режиму охолодження їх в ливарній формі. Аналіз патентно-ліцензійної літератури показав відсутність досліджень в цьому напрямку, так що поставлена проблема є актуальною, а її вирішення має важливе прикладне значення.

Мета і завдання досліджень. Провести аналіз впливу регульованого охолодження бочки сортопрокатного валка на його залишкові ливарні напруги.

Матеріали та методи дослідження. В умовах вальцеливарного цеху акціонерного товариства «Дніпропетровський завод прокатних валків» проводили порівняльні дослідження серійного та експериментального валків виконання СПХН-60 з наступним хімічним складом, мас. %: С 3,23 ... 3,59, Si 0,52 ... 0,61, Mn 0,52 ... 0,54, до 0,3 P, до 0,12 S, Cr 0,64 ... 0,78, Ni 1,65 ... 1,82, залізо – інше. Розмір бочки валка $\varnothing 390$ мм, висота 785 мм. В стінках кокілю, що має внутрішній діаметр 400 мм, виконані спеціальні отвори для установки термозахисних блоків хромель-алюмелевих (ХА) термопар [4].

На двомісному піддоні встановлювали ливарні форми дослідного експериментального і серій-

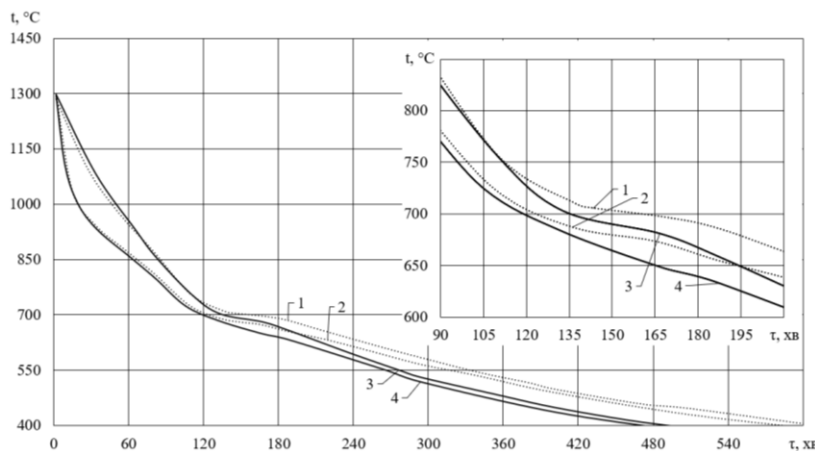
ного валків. Гарячі спаї ХА термопар розміщували на відстані 20 і 60 мм від поверхні кокілю відповідно. Плавку чавуну проводили в індукційній печі ІЧТ-6 відповідно до технологічних інструкцій заводу.

Після формовки, сушки і складання елементів ливарних форм в кесоні, здійснювали установку і закріплення термопар в кокілі серійного і дослідного валків за допомогою формувальних шпильок. Компенсаційні дроти були відсутні, оскільки довжина ХА дроту 6...8 м була достатня для кріплення холодних спаїв з клемми потенціометра КСП-4.

Температура заливання чавуну експериментального і серійного валків складала 1320 ± 5 °С. Після закінчення заливки дзеркало металу надливів утеплювали шаром екзотермічної суміші, а на 12-й хвилині доливання надливу розплавом з температурою 1410 °С, який готували у спеціальній печі ІСТ-05, призначеної тільки для живлення усадки надливів перегрітим чавуном.

Заливка розплаву валків через загальний столяр з тангенціальним підведенням живильників в нижні шийки валків забезпечила достовірність результатів вимірів температур кристалізації і охолодження робочого шару бочки. Оцінку залишкових ливарних напруг здійснювали за допомогою магнітного структуроскопу SA51-НС-001.

Результати дослідження і їх обговорення. Вимір температури ХА термопарами 1, 3 і 2, 4 (рис. 1), що встановлені на відстані 60 і 20 мм від внутрішньої поверхні кокілю відповідно, показав відсутність зупинки температур ліквідус і солідус. Це обумовлено більшою швидкістю відведення тепла в кокіль від робочого шару в порівнянні зі швидкістю охолодження осьової зони валків. Тому прихована теплота кристалізації, яка виділяється поблизу гарячого спаю термопар, швидко відводиться в кокіль, виконаний з сірого чавуну, що має високу теплопровідність.



1, 3 і 2, 4 – хромель-алюмелеві термопары встановлені на відстані 60 і 20 мм від внутрішньої поверхні кокілю відповідно

Рисунок 1 – Криві твердіння та охолодження робочого шару бочки експериментального (1, 2) і серійного (3, 4) валків виконання СПХН-60

Так, на 30 хв температура на глибині 20 мм від поверхні кокілю експериментального (1 на рис. 1) і серійного (3 на рис. 1) валків становила 950 і 957 °С, на глибині 60 мм (2 і 4 на рис. 1) – 1110 і 1115 °С відповідно. Незначна розбіжність в показанні термопар, встановлених на однаковій відстані, знаходиться в межах помилки вимірювання [4]. Через 1 годину температура на глибині 20 мм від поверхні кокілю експериментального і серійного валків зменшилась і становила 855 і 859 °С, на глибині 60 мм – 920 і 925 °С відповідно.

Робочий шар валка швидко охолоджується у кокілі і твердіє в першу чергу, а осьова зона бочки ще знаходиться в інтервалі температур ліквідус-солідус [4]. Тому теплоізоляція зовнішньої поверхні ливарної форми від навколишнього середовища забезпечить уповільнення швидкості охолодження робочого шару і зменшення перепаду температури з центральною частиною бочки.

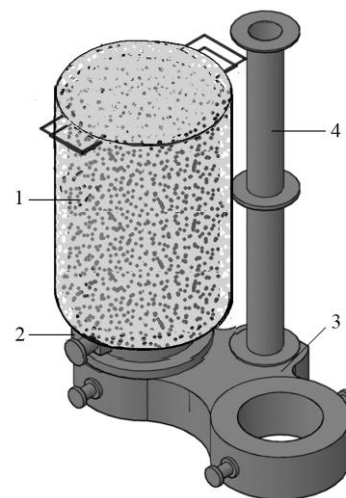
Однак необхідно знати термочасові режими початку здійснювання теплоізоляції ливарної форми, які не порушать задані вимоги по твердості і глибині робочого шару бочки. Основні положення нашої розробки обумовлені наступними технологічними особливостями вальцеливарного виробництва.

Робочий шар бочки валка утворюється завдяки високій швидкості охолодження в кокілі заданого хімічного складу чавуну [1,4]. Первинний цементит (Fe_3C) і ледебурит утворюються в інтервалі температур кристалізації. Нижче температури евтектичного перетворення ≈ 1147 °С розчинність вуглецю в аустеніті зменшується з $\approx 2,06\%$ до $\approx 0,8\%$, відбувається виділення вторинного цементиту, його нашарування на первинному і навколо зерен аустеніту у вигляді сітки, що забезпечує збільшення площі зносостійкої структурної складової в робочому шарі.

При подальшому охолодженні бочки валка у кокілі робочий шар швидко охолоджується в інтервалі температур евтектоїдного перетворення, зменшується можливість утворення фериту і сприяє формуванню перліту. Це також підвищує твердість і експлуатаційну стійкість прокатних валків [1, 4]. Нижче температури евтектоїдного перетворення виділяється третинний цементит, що обумовлено зменшенням розчинності вугле-

цю починаючи з $\approx 0,02\%$. Тому частка третинного цементиту в формуванні зносостійкого робочого шару прокатного валка з початковим вмістом вуглецю 3,0 ... 3,8% незначна.

Таким чином, виходячи з викладеного вище, прийняли допущення, що в процесі затвердіння і охолодження валка зменшення теплопередачі в навколишнє середовище від кокілю необхідно починати в момент закінчення евтектоїдного перетворення у чавуні робочого шару. Реалізацію процесу теплоізоляції форми від навколишнього середовища здійснювали розробленою конструкцією, яка враховувала конфігурацію елементів ливарної форми, виступи цапф і виконання кранових операцій збирання та розбирання теплоізоляційного екрану (рис. 2).



1 – теплоізоляційний екран; 2 – форма нижньої шийки; 3 – двомісний піддон; 4 – стояк
Рисунок 2 – Загальний вигляд теплоізоляційного екрану і його розміщення на ливарній формі

Аналіз кривих охолодження експериментального і серійного валків (див. рис. 1) показав, що швидкості їх охолодження (табл. 1) до температури ≈ 700 °С однакові. Розміщення теплоізоляційного екрану на експериментальному валку забезпечило зменшення швидкості охолодження його робочого шару на 24,4 % в порівнянні з серійним.

Таблиця 1 – Швидкість охолодження робочого шару на відстані 20 і 60 мм від кокілю експериментального (1,2) і серійного (3,4) прокатних валків

Температурний інтервал, °С	Швидкість охолодження (град/хв) термопар №№			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1390–700	4,79	5,52	4,93	5,75
700–400	0,66	0,65	0,86	0,86

Після охолодження валків і звільнення від кокілю-опочного оснащення в валку серійного виробництва залишкові ливарні напруги склали 6,80 А/см, а в експериментальному – 6,36 А/см, що на 6,4% менше. Це обумовлено процесом тепломасоперенесення з нагрітої осьової зони вал-

ка і теплоізоляцією бочки від навколишнього середовища, що зменшило перепад температур по радіусу бочки.

Висновки.

1. При затвердінні чавунних прокатних валків в комбінованих кокільно-піщаних ливарних фор-

мах виникають залишкові ливарні напруги, перевищення яких може привести до утворення гарячих і холодних тріщин у виливках. Для зменшення залишкових ливарних напруг перед експлуатацією валків виконують термічну обробку: природне старіння від 3 до 6 місяців або відпал з регульованими швидкостями нагрівання, витримки та охолодження.

2. Робочий шар валка швидко охолоджується у кокілі і твердіє в першу чергу, а осьова зона бочки ще знаходиться в інтервалі температур ліквідус-солідус. Тому для зменшення перепаду температур пропонується виконувати теплоізоляцію зовнішньої поверхні ливарної форми від навколишнього середовища після утворення робочого шару заданої твердості і товщини.

3. Аналіз технологічних особливостей кристалізації та охолодження чавунних прокатних валків показав, що зменшення теплопередачі в навколишнє середовище від кокілю необхідно починати в момент закінчення евтектоїдного перет-

ворення у вибіленому робочому шарі. Розроблена конструкція теплоізоляційного екрану, яка враховує конфігурацію елементів ливарної форми, виступи цапф і виконання кранових операцій.

4. Криві твердіння та охолодження робочого шару бочки експериментального і серійного валків, дослідження напруг магнітним структуроскопом показали, що розміщення теплоізоляційного екрану на експериментальному валку забезпечило зменшення швидкості охолодження його робочого шару на 24,4 % і внутрішніх залишкових ливарних напруг на 6,4% в порівнянні з серійним. Це дозволяє виключити з технологічного циклу виробництва валків природне старіння від 3 до 6 місяців або відпал у термічній печі.

5. Перспективним напрямком подальших досліджень є відпрацювання термочасових режимів регульованого охолодження інших типорозмірів валків, які забезпечать процес тепломасоперенесення з нагрітої осьової зони і зменшать перепад температур по радіусу бочки валка.

Бібліографічний опис

1. Кривошеев А. Е. Литые валки (теоретические и технологические основы производства) / А.Е. Кривошеев. – М.: Металлургиздат, 1957. – 360 с.
2. Khrychikov, V.E., Budag'yants, N.A., Kamkin, V.V., Lushpa, A.A., Shcheglova, T.S. Combined electric arc-electroslag heating the heads of PIG-iron rolling mill rolls // Metallurgical and Mining Industry.– 2001, No. 2. – p. 38–43 (Scopus).
3. Репях С.И., Меньяло Е.В., Пройдак Ю.С., Хрычиков В.Е. К вопросу образования горячих трещин в литых изделиях и сварных швах. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. – № 3. – С. 37–41.
4. Лейбензон В.О., Пілюшенко В.Л., Кондратенко В.М., Хрычиков В.Є., Недоп'юкін Ф.В., Білоусов В.В., Дмитрієв Ю.В. Тверднення металів і металевих композицій. Підручник для ВУЗів. Видання друге, доопрацьоване. Київ. Наукова думка. – 2009.– 447 с.
5. Хрычиков В.Е., Меньяло Е.В., Мушенков Ю.А., Якимова Д.В. Особенности процесса образования усадочной пористости в бочке чугунного прокатного валка. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 6. – С. 35–40.
6. Иванова Л.Х. Влияние модифицирования на величину остаточных напряжений в литых валках // *Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. тр. – Днепропетровск: ПГАСА, 2007. – Вып.41, ч.2. – С.99–103.*

References

1. Krivosheev A.E. Litye valki (teoreticheski i tekhnologicheskie osnovy proizvodstva) / A.E. Krivosheev. – М.: Metallurgizdat, 1957. – 360 s.
2. Khrychikov, V.E., Budag'yants, N.A., Kamkin, V.V., Lushpa, A.A., Shcheglova, T.S. Combined electric arc-electroslag heating the heads of PIG-iron rolling mill rolls // Metallurgical and Mining Industry.– 2001, No. 2. – p. 38–43 (Scopus).
3. Repyakh S.I., Menyaylo E.V., Proydak Yu.S., Khrychikov V.E. K voprosu obrazovaniya goryachikh treshchin v litykh izdeliyakh i svarnykh shvakh. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. – 2014. – № 3. – S. 37–41.
4. Leybenzon V.O., Pilyushenko V.L., Kondratenko V.M., Khrychikov V.E., Nedop'okin F.V., Bilousov V.V., Dmitriev Yu.V. Tverdnennya metaliv i metalevikh kompozitsiy. *Pidruchnik dlya VUZiv. Vidannya druge, dooprats'ovane*. Київ. Naukova dumka. – 2009.– 447 s.
5. Khrychikov V.E., Menyaylo E.V., Mushenkov Yu.A., Yakimova D.V. Osobennosti protsesssa obrazovaniya usadochnoy poristosti v bochke chugunного prokatного valka. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. – 2012. – № 6. – S. 35–40.
6. Ivanova L.Kh. Vliyaniye modifitsirovaniye na velichinu ostatochnykh napryazheniy v litykh valkakh // *Stroitel'stvo, materialovedeniye, mashinostroeniye: Sb. nauch. tr. – Dnepropetrovsk: PGASA, 2007. – Vyp.41, ch.2. – S.99–103.*

Стаття постуила: 14.06.2019