

В. Е. Хрычиков /д. т. н./, А. П. Белый,  
Л. Х. Иванова /д. т. н./, И. А. Осипенко

Национальная металлургическая академия  
Украины, г. Днепро, Украина  
e-mail: litpro@rambler.ru

## Влияние регулируемого охлаждения на качество сортопрокатного валка из отбеленного чугуна

V. E. Khrychikov /Dr. Sci. (Tech.),  
A. P. Belyi, L. H. Ivanova /Dr. Sci. (Tech.),  
I. A. Osypenko

National Metallurgical Academy of Ukraine,  
Dnipro, Ukraine  
e-mail: litpro@rambler.ru

### Effect of controlled cooling for quality of rolling from chilled iron

**Цель.** Анализ влияния замедленного охлаждения бочки сортопрокатного валка на его внутренние напряжения.

**Методика.** Внутренние остаточные напряжения оценивали с помощью магнитного структуроскопа SA51-Нс-001.

**Результаты.** Представлены результаты исследования величины внутренних остаточных напряжений в сортопрокатных валках исполнения СПХН-60 с размерами бочки  $\varnothing 390 \times 785$  мм, отлитых по серийной и опытной технологиям производства. Установлено, что внутренние напряжения в опытном валке были меньше на 6,4 % в сравнении с серийным за счет теплоизоляции литейной формы от окружающей среды.

**Научная новизна.** Впервые установлено уменьшение внутренних остаточных напряжений в чугуном прокатном валке после замедления его охлаждения в заданный период времени.

**Практическая значимость.** Снижение внутренних остаточных напряжений в процессе затвердевания и замедленного охлаждения отливки в комбинированной кокильно-песчаной литейной форме позволит исключить этап термической обработки литых чугунных прокатных валков, направленный на уменьшение литейных напряжений. (Ил. 3. Табл. 2. Библиогр.: 6 назв.)

**Ключевые слова:** прокатный валок, чугун, регулируемое охлаждение, внутреннее напряжение, термопара.

**Введение.** Механические и эксплуатационные свойства валков определяют качество и экономическую эффективность современного прокатного производства [1]. При затвердевании валков в стационарных комбинированных кокильно-песчаных литейных формах возникают внутренние литейные напряжения, превышение которых обуславливает образование горячих и холодных трещин в отливках [2; 3].

Так, из-за неравномерного охлаждения бочки валка в кокиле, рабочий слой имеет температуру ниже эвтектоидного превращения, а осевая зона в этот момент времени – температуру значительно более высокую [4; 5]. Поэтому в структуре переходного слоя валка в зоне температурного интервала эвтектоидного превращения происходит перестроение кристаллической решетки, которое может протекать с уменьшением или увеличением объема в различных частях отливки, что приводит к возникновению внутренних напряжений. Внутренние напряжения существуют в отсутствие внешних сил и уравниваются в объеме отливки. Поэтому

из-за наличия внутренних напряжений литые чугунные прокатные валки перед эксплуатацией должны проходить естественное старение от 3 до 6 месяцев.

Согласно нормативно-технической документации на литые валки для уменьшения внутренних напряжений отливки можно подвергать термической обработке (отпуску). В [6] разработаны температурно-временные режимы термообработки для некоторых типов валков, которые позволяют уменьшить внутренние напряжения и исключить этап естественного старения.

Экономически целесообразным является производство литых валков с уменьшенными внутренними напряжениями за счет регулирования режима охлаждения их в литейной форме. Анализ патентно-лицензионной литературы показал отсутствие исследований в этом направлении, так что поставленная проблема является актуальной, а ее решение имеет важное прикладное значение.

**Цель.** Провести анализ влияния регулируемого охлаждения бочки сортопрокатного валка на его внутренние напряжения.

**Материал и методики.** В условиях вальцелитейного цеха ПАО «Днепропетровский завод прокатных валков» проводили сравнительные исследования серийного и опытного валков исполнения СПХН-60 с размерами бочки валка  $\varnothing 390$  мм и высотой 785 мм. В стенках кокиля, имеющего внутренний диаметр 400 мм, выполнены специальные отверстия для установки термозащитных блоков хромель-алюмелевых (ХА) термопар [4].

На двухместном поддоне устанавливали литейные формы опытного и серийного валков. Горячие спаи ХА термопар размещали на расстоянии 20 и 60 мм от поверхности кокиля соответственно. Плавку чугуна проводили в индукционной печи ИЧТ-6 в соответствии с технологическими инструкциями завода.

Литейные формы сушили по температурным режимам вальцелитейного цеха. После сборки элементов литейных форм в кессоне осуществляли установку и закрепления термопар в кокиле серийного и опытного валков с помощью формовочных шпилек (рис. 1). Компенсационные провода отсутствовали, так как длина ХА проволоки 6–8 м была достаточна для крепления холодных спаев с клеммами потенциометра КСП-4.

Заливку расплава осуществляли через сифонную литниковую систему с общим стояком и тангенциальным подводом питателей в нижние шейки валков. Температура заливки опытного и контрольного валков составляла 1320 °С.

Оценку внутренних напряжений производили с помощью магнитного структуроскопа SA51-Нс-001.



Рис. 1. Общий вид термопар, установленных в кокиле опытного валка

**Результаты исследований.** Результаты замера температур представлены на рис. 2. Для упрощения исследований влияние торцов бочки, охлаждающихся на стыке с шейками, исключали из рассмотрения.

На кривых охлаждения 1...4 не зафиксированы температурные остановки ликвидус и солидус. Это обусловлено большей скоростью отвода тепла в кокиль по сравнению со скоростью охлаждения рабочего слоя. Поэтому скрытая теплота кристаллизации, которая выделяется вблизи горячего спаи термопары, быстро отводится в кокиль, выполненный из серого чугуна, имеющего высокую теплопроводность.

Так, на 30-й минуте температура на глубине 20 мм от поверхности кокиля опытного и кон-

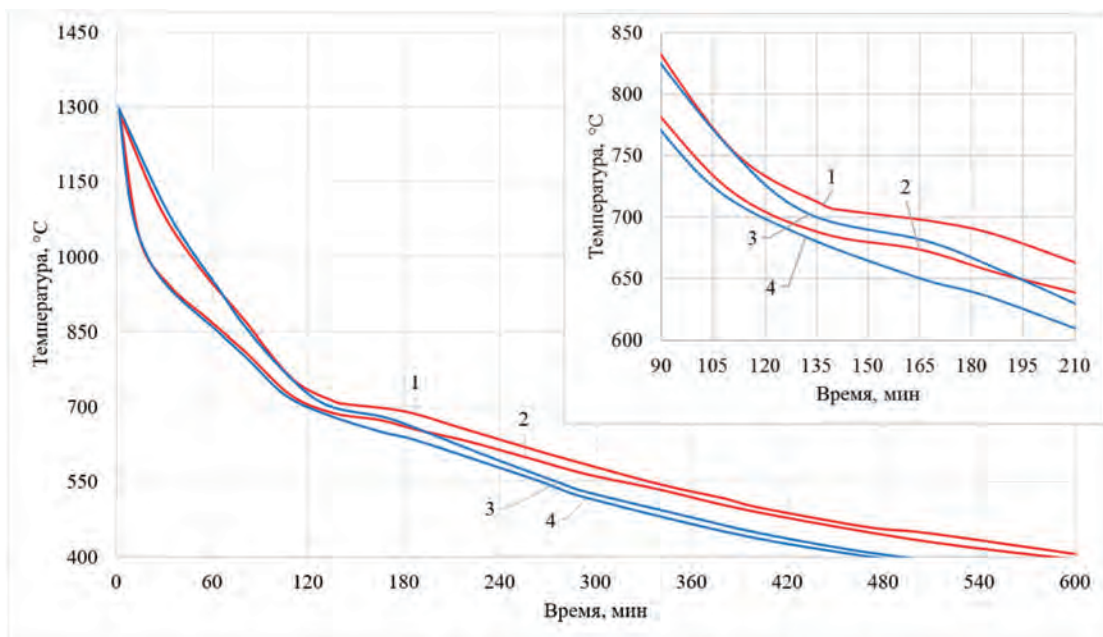


Рис. 2. Экспериментальные кривые охлаждения бочки серийного (1, 2) и опытного (3, 4) валков, полученные с термопар, установленных на расстоянии 60 и 20 мм от поверхности кокиля соответственно

трольного валков составляла 950 и 957 °С, на глубине 60 мм – 1110 и 1115 °С соответственно. Незначительное расхождение показания термодатчиков находится в пределах ошибки измерения [4]. Через 1 час температура на глубине 20 мм от поверхности кокиля опытного и контрольного валков составляла 855 и 859 °С, на глубине 60 мм – 920 и 925 °С соответственно.

Теплоизоляционное устройство специально разработанной конструкции опускали на опытный валок через определенный период времени после окончания заливки (рис. 3).

Анализ зависимостей, представленных на (рис. 2), показал, что скорости охлаждения (табл. 1) опытного и серийного валков сопоставимы до температуры 700 °С, а после установки утеплителя в опытном валке скорость охлаждения уменьшается по сравнению с серийным на 24,4 %.



Рис. 3. Общий вид литейных форм валков контрольного и опытного с теплоизоляцией

Результаты исследования опытного и серийного валков (табл. 2) показали, что внутренние напряжения в опытном валке были меньше на 6,4 % в сравнении с серийным.

Таблица 1

Скорость охлаждения опытного и серийного валков

| Температурный интервал, °С | Скорость охлаждения, град/мин |               |                |               |
|----------------------------|-------------------------------|---------------|----------------|---------------|
|                            | Опытный валок                 |               | Серийный валок |               |
|                            | Термопара № 1                 | Термопара № 2 | Термопара № 3  | Термопара № 4 |
| 1390–700                   | 4,79                          | 5,52          | 4,93           | 5,75          |
| 700–400                    | 0,66                          | 0,65          | 0,86           | 0,86          |

Таблица 2

Химический состав и результаты исследования внутренних напряжений в опытном и серийном валках

| Тип валка | Содержание химических элементов в чугунах, % |      |      |      |       |      |      |      | Внутренние напряжения (коэрцитивная сила), А/см |
|-----------|--|------|------|------|-------|------|------|------|---|
|           | С  | Si   | Mn   | P    | S     | Cr   | Ni   | Fe   |   |
| Опытный   | 3,59   | 0,61 | 0,52 | 0,05 | 0,024 | 0,64 | 1,65 | ост. | 6,3   |
| Серийный  | 3,6  | 0,62 | 0,52 | 0,05 | 0,025 | 0,63 | 1,64 | ост. | 6,73  |

**Выводы**

1. Исследовано влияние замедленного охлаждения чугуна прокатного валка после кристаллизации рабочего слоя на его внутренние остаточные напряжения. После установки утеплителя в опытном валке скорость охлаждения уменьшается по сравнению с серийным на 24,4 %.

2. Установлено уменьшение на 6,4 % внутренних остаточных напряжений в опытном валке за счет регулируемого охлаждения по сравнению с серийным валком.

3. Перспективным направлением дальнейших исследований является отработка термовременных режимов регулируемого охлаждения других типоразмеров валков.

**Библиографический список / References**

1. Кривошеев А. Е. Литые валки (теоретически и технологические основы производства) /

А. Е. Кривошеев. – М.: Металлургиздат, 1957. – 360 с.

Krivosheev A. E. *Litye valki (teoreticheski i tekhnologicheskie osnovy proizvodstva)*. Moscow, Metallurgizdat, 1957, 360 p.

2. Хрычиков В. Е. Литейное производство черных и цветных металлов: учеб. пособие / В. Е. Хрычиков, Е. В. Меняйло. – Изд. 2-ое, испр. и доп. – Днепропетровск: НМетАУ, 2015. – 89 с.

Khrychikov V. E., Menyaylo E. V. *Liteynoe proizvodstvo chernykh i tsvetnykh metallov*. Dnepropetrovsk, NMetAU, 2015, 89 p.

3. Репях С. И. К вопросу образования горячих трещин в литых изделиях и сварных швах / С. И. Репях, Е. В. Меняйло, Ю. С. Пройдак, В. Е. Хрычиков // *Металлургическая и горно-рудная промышленность*. – 2014. – № 3. – С. 37–41.

Rpyakh S. I., Menyaylo E. V., Proydak Yu. S., Khrychikov V. E. *K voprosu obra-zovaniya*

*goryachikh treshchin v litykh izdeliyakh i svarnykh shvakh. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. 2014, no. 3, pp. 37-41.*

4. Лейбензон В. О. Твердження металів і металевих композицій: підручник для вузів / В. О. Лейбензон, В. Л. Пілюшенко, В. М. Кондратенко, В. Є. Хричи́ков, Ф. В. Недоп'ю́кін, В. В. Білоусов, Ю. В. Дмитрієв. – Вид. 2-ге, доопрацьоване. – Київ: Наукова думка, 2009. – 447 с.

Leybenzon V. O., Pilyushenko V. L., Kondratenko V. M., Khrichikov V. Ye., Nedop'okin F. V., Bilousov V. V., Dmitriy Yu. V. *Tverdnennya metaliv i metalevikh kompozitsiy.* Kyiv, Naukova dumka. 2009, 447 p.

5. Хрычи́ков В. Е. Особенности процесса образования усадочной пористости в бочке чугу́нного прокатного валка / В. Е. Хрычи́ков, Е. В. Меняйло, Ю. А. Мушенок, Д. В. Якимова // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2012. – № 6. – С. 35–40.

Khrychikov V. E., Menyaylo E. V., Mushenkov Yu. A., Yakimova D. V. *Osobennosti protsessy obrazovaniya usadochnoy poristosti v bochke chugunnogo prokatno-go valka.* Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. 2012, no. 6, pp. 35-40.

6. Иванова Л. Х. Влияние модифицирования на величину остаточных напряжений в литых валках / Л. Х. Иванова // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. – Днепропетровск: ПГАСА, 2007. – Вып.41, ч. 2. – С. 99–103.*

Ivanova L. Kh. *Vliyanie modifitsirovaniya na velichinu ostatochnykh napryazheniy v litykh valkakh.* Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie. Dnepropetrovsk, PGASA, 2007, issue 41, part 2, pp. 99-103.

**Purpose.** Analysis of the slow cooling effect of sheet rolling drum roll on his internal stresses.

**Methodology.** Internal residual stress was evaluated using magnetic structurescopy SA51-Hc-001.

**Findings.** The results of the research value of the internal residual stresses in the section rolling rolls execution SPHN-60 with barrel sizes Ø390x785 mm serial and experimental technology are presented. It is established that the internal stresses in the experimental roll was smaller by 6.4% in comparison with a serial thermal insulation by the mold from the environment.

**Originality.** First established decrease internal residual stresses in the cast iron rolling roll after slow cooling in a predetermined time period.

**Practical value.** Reduction internal residual stresses during solidification and slow cooling of the casting in the combined chill-sand mold would eliminate the step of heat treatment of cast iron rolls, aiming at reducing the casting stress.

**Key words:** rolling roll, cast iron, controlled cooling, internal stress, thermocouple.

**Рекомендована к публикации  
д. т. н. В. Е. Хрычи́ковым**

**Поступила 22.11.2016**

