

## Расчет рациональной продолжительности комбинированного электродугового-электрошлакового обогрева прибыли прокатного валка из заэвтектоидной стали 150ХНМ

E. V. Menyailo /Cand. Sci. (Tech.)/,  
Y. S. Proydak /Dr. Sci. (Tech.)/,  
V. E. Khrychikov /Dr. Sci. (Tech.)/

National Metallurgical Academy of Ukraine

### Calculation of the rational duration of the combined heat electroslag electric arc-forming rolls profit from hypereutectoid steel 150HNM

**Цель.** Разработать рациональный режим питания усадки валка из заэвтектоидной стали 150ХНМ.

**Методика.** Расчет процесса затвердевания отливок проводили после обработки экспериментальных данных с помощью инженерной методики Б. Б. Гуляева и Н. И. Хворина, основанной на использовании критерия Фурье, в котором  $at/R^2$  заменено симплексом  $t/R^2$ , а на оси ординат отложен относительный размер  $x/R$ .

**Результаты.** Установлена продолжительность этапов ступенчатого комбинированного электродугового-электрошлакового обогрева прибыли прокатных валков из заэвтектоидной стали 150ХНМ. Результаты промышленных испытаний рекомендованных технологических режимов успешно опробованы и внедрены в вальцелитейном цехе ПАО «Днепропетровский завод прокатных валков».

**Научная новизна.** Выведены формулы для расчета рациональной продолжительности обогрева прибыли прокатного валка из заэвтектоидной стали 150ХНМ.

**Практическая значимость.** Сокращение продолжительности обогрева прибыли уменьшает энергозатраты и уровень остаточных напряжений в отливках, которые формируются из-за перепада температур по высоте отливки между нижней шейкой и прибылью. (Ил. 1. Библиогр.: 7 назв.)

**Ключевые слова:** затвердевание, заэвтектоидная сталь, прибыль, питание усадки, обогрев, продолжительность.

**Введение.** Разработчики новых прокатных станов в последние годы стремятся сократить количество клетей за счет увеличения степени обжата металла. Валки из чугуна обеспечивают высокую износостойкость рабочего слоя и удовлетворительную прочность осевой зоны [1–3]. В тоже время прочность валков из заэвтектоидной стали выше, а износостойкость лишь незначительно уступает валкам из чугуна с шаровидным графитом.

Поэтому если ранее валки из высокопрочного чугуна удовлетворяли потребителей вальцелитейной продукции, то в настоящее время поступают запросы на валки из заэвтектоидных марок стали.

Для уменьшения непроизводительных потерь металла на прибыли в 90-х годах XX ст. кафедрой литейного производства НМетАУ была разработана технология комбинированного

электродугового-электрошлакового обогрева (ЭДЭШО) прибылей чугунных прокатных валков, которая внедрена и успешно работает в настоящее время на Днепропетровском (ДЗПВ) и Лутугинском (ЛЗПВ) заводах прокатных валков. Ее особенность заключается в том, что после окончания заливки валка в прибыль опускают графитированный электрод до соприкосновения с расплавом, затем приподнимают его для зажигания электрической дуги, которая горит под слоем порошкообразного флюса. После расплавления флюса и формирования шлаковой ванны происходит переход на электрошлаковый обогрев прибыли [4].

Технология электрошлакового обогрева (ЭШО), которая также применяется в вальцелитейных цехах, отличается тем, что легкоплавкий флюс вводят на струю заливаемого расплава в сифонную литниковую систему с танген-

циальным подводом питателя в нижнюю шейку. За счет температуры перегрева чугуна флюс расплавляется и всплывает через нижнюю шейку, бочку и верхнюю шейку в прибыль, так что одновременно происходит рафинирование чугуна от неметаллических включений.

Экономическая эффективность ЭДЭШО и ЭШО возрастает с увеличением стоимости электроэнергии. Это обусловлено тем, что для питания усадки методом периодической доливки в прибыль перегретого металла необходимо иметь дополнительную печь, а ЭШО обеспечивает только поддержание жидкой металлической ванны в жидком состоянии при регулируемой температуре  $\approx 1550$  °С. Экзотермические вставки и смеси оказались неэффективными для отливок массой более 1000 кг из-за высокой продолжительности затвердевания отливок по сравнению с продолжительностью работы экзотермических смесей [4].

**Материал и методики.** Исследования проводили на прокатном валке из стали 150ХНМ черновой массой 4100 кг. Нижняя шейка и бочка валка формируются в двух кокилях, внутренняя поверхность которых покрыта «наводкой» – слоем теплоизоляции толщиной 10 мм. Основные размеры валка: нижняя шейка имела диаметр 320 мм и высоту 900 мм; бочка –  $\varnothing 520$  мм и  $h = 1400$  мм; верхняя шейка –  $\varnothing 430$  мм и  $h = 500$  мм; прибыль –  $\varnothing 430$  мм и  $h = 500$  мм.

Так как верхняя шейка медленно охлаждается в песчано-глинистой смеси, то лимитирующим условием при расчете продолжительности питания усадки принимали продолжительность затвердевания бочки, которая охлаждается в кокиле. Кинетика перемещения расплава из прибыли в отливку полностью соответствует методике исследования, приведенной в [5].

**Результаты исследований.** Согласно принятым положениям в теории литейных процессов [6; 7] продолжительность затвердевания прибыли должна быть равна или больше продолжительности затвердевания отливки, что обеспечит ее направленное затвердевание и отсутствие усадочных дефектов. Однако питание усадки из прибыли невозможно уже в «зоне микроскопических перемещений», когда остатки расплава остаются разобщенными меж-

ду ветвями дендритов. Основной расход металла из прибыли осуществляется до перехода расплава из жидко-твердого в твердо-жидкое состояние, которое часто называют границей выливания. Поэтому первый этап обогрева при максимальной силе тока должен заканчиваться в момент проникновения границы выливания до осевой зоны бочки валка. Для отливки из стали 150ХНМ, затвердевающей в кокиле с наводкой толщиной 10 мм, это значение составляет:

$$\tau_{\text{Э1}} = 0,1014 \cdot R^2 = 0,1014 \cdot (26)^2 = 53 \text{ мин,}$$

где  $\tau_{\text{Э1}}$  – продолжительность первого этапа комбинированного электродугового-электрошлакового обогрева прибыли, мин;  $R$  – радиус отливки, см (для бочки валка – 26 см).

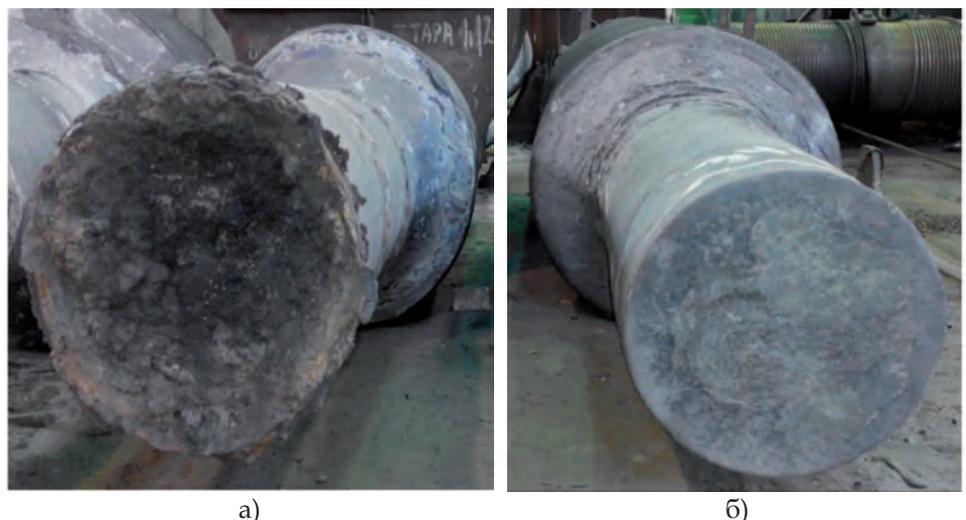
Второй этап обогрева начинается после наведения жидкой шлаковой ванны. Общая продолжительность обогрева прибыли отливки из заэвтектоидной стали с содержанием углерода 1,5 % при затвердевании в кокиле с наводкой толщиной 10 мм составит:

$$\tau_{\text{Э}} = 0,1586 \cdot R^2 = 0,1586 \cdot (26)^2 = 107 \text{ мин} = 1 \text{ час } 47 \text{ мин.}$$

Полученное значение продолжительности обогрева на 31 мин меньше продолжительности затвердевания 100 % твердой фазы.

Сокращение продолжительности обогрева прибыли, кроме уменьшения энергозатрат, снизит уровень остаточных напряжений в отливках, так как температурный перепад между нижней шейкой и прибылью уменьшится.

На торцах верхних шеек валков после удаления прибыли усадочные дефекты отсутствовали (рис. 1), что подтвердила последующая ультразвуковая дефектоскопия, проведенная ЦЗЛ ДЗПВ. Результаты инженерной методики рас-



**Рис. 1. Торцы прибыли валка из заэвтектоидной стали 150ХНМ:**  
а – с утеплением экзотермической смесью и двухразовой доливкой прибыли расплавом из индукционной печи ИСТ-05; б – с применением комбинированного электродугового-электрошлакового обогрева прибыли

чета продолжительности комбинированного электродугового-электрошлакового обогрева прибыли валков из заэвтектоидной стали 150ХНМ внедрены на ПАО ДЗПВ.

### Выводы

1. Выведены формулы для расчета рациональной продолжительности этапов ступенчатого комбинированного электродугового-электрошлакового обогрева прибыли прокатных валков из заэвтектоидной стали 150ХНМ.

2. Сокращение продолжительности обогрева прибыли уменьшает энергозатраты и уровень остаточных напряжений в отливках, которые формируются из-за перепада температур между нижней шейкой и прибылью.

3. Разработка опробована и внедрена в условиях вальцелитейного цеха ПАО ДЗПВ и может быть использована для разных размеров валков, отливаемых из стали 150ХНМ в стационарные кокильно-песчаные литейные формы.

### Библиографический список / References

1. Кривошеев А. Е. Литые валки / А. Е. Кривошеев. – М.: Металлургиздат, 1957. – 360 с.

Krivosheev, A. E. (1957). *Cast rolls*. Moscow, Metallurgy. 360 p. [In Ukrainian].

2. Лейбензон В. А. Затвердевание металлов и металлических композиций: учебник для ВУЗов / В. А. Лейбензон, В. Л. Пилушенко, В. М. Кондратенко [и др.]. – К.: Наукова думка, 2009. – 410 с.

Leibenzon, V. A., Pilyushenko, V. L., Kondratenko, V. M. et al. (2009). *Hardening of metals and metal compositions*. Kiev, Naukova Dumka. 410 p. [In Ukrainian].

3. Производство и применение прокатных валков: Справочник / Т. С. Скобло, А. И. Сидашенко, Н. М. Александрова [и др.]; под ред. Т. С. Скобло. – Харьков.: ЦД № 1, 2013. – 572 с.

Sidashenko, A. I., Alexandrova, N. M. et al., ed. TS Skoblo. (2013). *The production and use of rolls*. Kharkov, Metallurgy. 572 p. [In Ukrainian].

4. Хрычиков В. Е. Комбинированный электродуговой-электрошлаковый обогрев прибылей чугуновых прокатных валков / В. Е. Хрычиков, Н. А. Будагьянц, В. П. Камкин [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2001. – № 2. – С. 38–43.

Hrychikov, V. E., Budagyants, N. A., Kamkin, V. P. et al. (2001). *Combined-ny-arc electroslag heating profits iron rolls*. Metallurgical and mining-industrial. No. 2, pp. 38-43. [In Ukrainian].

5. Меняйло Е. В. Инженерная методика расчета продолжительности питания усадки чугуновых прокатных валков / Е. В. Меняйло // *Процессы и технологии литья: коллективная монография* / под ред. В. Е. Хрычикова. – Днепропетровск: Литограф, 2015. – С. 8–31.

Menyailo, E. V. (2015). *Engineering method of calculation of the duration of food shrinkage of cast-iron rolls*. Processes and technology of casting. Dnepropetrovsk, Litograf, pp. 8-31. [In Ukrainian].

6. Баландин Г. Ф. Основы теории формирования отливки. Т. 1 / Г. Ф. Баландин. – М.: Машиностроение, 1976. – 328 с.

Balandin, G. F. (1976). *Basic theory of the formation of the casting*. Moscow, Vi-engineering industry. 328 p. [In Ukrainian].

7. Гуляев Б. Б. Литейные процессы / Б. Б. Гуляев. – М.; Л.: Машгиз, 1960. – 416 с.

Gulyaev, B. B. (1960). *Foundry processes*. Moscow, Mashgiz. 416 p. [In Ukrainian].

**Purpose.** Develop a rational power mode shrinkage roll of steel hypereutectoid 150HNM.

**Methodology.** The calculation of the castings solidification a process conducted after processing of experimental data using engineering techniques B.B. Gulyaev and N.I. Hvorinov, based on the use of the Fourier criterion, which  $at/R^2$  replaced simplex-catfish  $\tau/R^2$ , and on the y-axis represents  $x/R$  relative size.

**Findings.** Is established the duration of the stages combined stepped-arc electroslag heating profits rolling rolls of steel hypereutectoid 150HNM. The results of tests of recommended by the industrial technological modes tested successfully and introduced in valtseliteynom department ПАО «Днепропетровск plant rolling rolls».

**Originality.** The formulas for calculating the duration of the rational profit heating rolling roll is of steel hypereutectoid 150HNM.

**Practical value.** Reduction in the duration profit heating reduces energy costs and the level of residual stress in the casting that the formed due to the temperature difference between the lower neck and profit.

**Key words:** solidification, hypereutectoid steel, a profit, shrinkage nutrition, heating, duration.

Поступила 25.07.2016