
ЗАТВЕРДЕВАНИЕ СПЛАВОВ

УДК 621.771.07

Е. В. Меняйло, канд. техн. наук, доцент

Ю. С. Пройдак, д-р техн. наук, проректор с науч. работы

В. Е. Хрычиков, д-р техн. наук, зав. кафедрой,
e-mail: litpro.kaf@gmail.com

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

ОБЪЕМНАЯ УСАДКА МАССИВНЫХ ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Исследовано влияние процесса направленного затвердевания прокатных валков в комбинированных кокильно-песчаных формах на кинетику объемной усадки массивных отливок из высокопрочного чугуна. Предложена схема технологического процесса, в котором продолжительность электрошлакового обогрева отливки необходимо устанавливать по показателю кинетики усадки расплава в прибыли – при отсутствии перемещения электрода обогрева прекращать.

Ключевые слова: прокатный валок, чугун, шаровидный графит, затвердевание, усадка, прибыль, электрошлаковый обогрев.

Досліджено вплив процесу спрямованого затвердіння чавунних прокатних валків в комбінованих кокільно-піщаних формах на кінетику об'ємної усадки масивних виливків із високоміцного чавуну. Запропоновано схему технологічного процесу, у якому тривалість електрошлакового обігріву виливка необхідно встановлювати по показнику кінетики усадки розплаву у надлив – при відсутності переміщення електрода обігріву припиняють.

Ключові слова: прокатний валок, чавун, кулястий графіт, затвердіння, усадка, надлив, електрошлаковий обігрів.

The influence of the process of directional solidification of rolling rolls in combined chill-sand forms on the kinetics of volume shrinkage of massive castings from high-strength cast iron is studied. A scheme of the technological process is proposed in which the duration of the electroslag heating of the casting must be set according to the kinetics of shrinkage of the melt in the head – in the absence of the displacement of the electrode, the heating should be stopped.

Keywords: rolling roll, cast iron, spherical graphite, solidification, shrinkage, head, electroslag heating.

Состояние вопроса и постановка проблемы

В процессе кристаллизации чугуновых прокатных валков происходит формирование усадочных раковин, пористости, горячих трещин, напряжений и других дефектов. Причем расход металла на прибыли в среднем составляет 28 %, что выше, чем у слитков из углеродистой стали. Обусловлено это большей плотностью металла рабочего слоя валка $\approx 7660 \text{ кг/м}^3$ [1] по сравнению с плотностью отливок из углеродистой стали $\approx 7500 \text{ кг/м}^3$ и серого чугуна $\approx 7200 \text{ кг/м}^3$.

Как показали ранее выполненные исследования для массивных отливок, затвердевающих более часа [2], питание усадки целесообразно осуществлять с помощью электрошлакового обогрева (ЭШО) прибыли, так как продолжительность работы экзотермических смесей не превышает 20–30 мин.

Подогрев прибыли индукционными токами оказался невозможен в условиях единичного и мелкосерийного производства из-за большого количества типоразмеров прибыльных надставок, трудоемкости подвода тока и воды к индуктору, высоких требований к технике безопасности.

Электродуговой обогрев обеспечивает питание усадки массивных отливок, однако горение дуги в подэлектродной области не устраняет образование на стенках формы прибыли настелей металла, формирующихся в процессе усадки.

ЭШО прибыли применяют на Днепропетровском (ДЗПВ) и Лутугинском заводах прокатных валков уже 25–30 лет. Шлаковая ванна, используемая как источник тепла, распределяет тепло таким образом, что настели на стенках формы прибыли расплавляются и питают усадку кристаллизующейся отливки. Кроме того, шлаковая ванна является активной фазой, способной поглощать ликвидирующие примеси. Однако продолжительность обогрева устанавливается приближенно.

Так, на ДЗПВ по технологическим инструкциям валки массой до 10 т необходимо обогревать 5 часов, а массой свыше 10 т – 7 часов. Таким образом, не учитывается диаметр прибыли, объемная усадка валка, влияние комбинированной кокильно-песчаной литейной формы на формирование усадочных дефектов.

Цель работы – исследовать процесс объемной усадки расплава из прибыли при затвердевании прокатных валков из высокопрочного чугуна.

Изложение основного материала исследований

Процесс питания усадки из прибыли исследовали в литейном цехе ДЗПВ. Изменение уровня металла в прибыли фиксировали по перемещению электрододержателя установки ЭШО (рис. 1, а) вслед за усадкой расплава с точностью $\pm 0,5$ мм, считая, что зеркало металла в прибыли плоское и без настелей на ее стенках [2].

Это обусловлено тем, что торец прибыли после обогрева имеет плоскую форму из-за подплавления настелей металла, затвердевшего на стенках формы прибыли (рис. 1, б).

Исследовали объемную усадку прокатных валков массой по 3600 кг, имеющих различное соотношение диаметров бочки, шеек и высоты (рис. 2, а, б).

Чугун модифицировали металлическим магнием в колоколе, который погружали в ковш после выпуска расплава из индукционной печи, по технологии ДЗПВ. Окончательный химический состав чугуна валка № 1 составлял, %мас.: С – 2,99; Si – 1,00; Mn – 0,22; P – 0,120; S – 0,017; Cr – 0,20; Ni – 2,50; Mo – 0,35; Mg – 0,040 (см. рис. 2, а); и валка № 2: С – 2,96; Si – 1,16; Mn – 0,21; P – 0,160; S – 0,020; Cr – 0,22; Ni – 0,69; Mg – 0,040 (см. рис. 2, б).

Массу металла, который переместился из прибыли для питания усадки (рис. 2, в), определяли перемножением высоты перемещения электрода на площадь прибыли и плотность жидкого чугуна ≈ 6900 кг/м³.

При одинаковой массе валков объемная усадка различна: у первого – 3,5, а второго – 2,4 % [3]. Анализ процесса затвердевания валков с помощью кинетических диаграмм затвердевания [4] показал, что в валке № 1 происходит последовательное снизу вверх затвердевание. Нижняя шейка затвердевает через 179 мин ($\tau_3 = 179^1$ на рис. 2, а), бочка – через 193 мин ($\tau = 193^1$), верхняя шейка и прибыль – через 203 мин ($\tau_3 = 203^1$).

У второго валка нижняя шейка затвердевает на 198 мин ($\tau = 198^1$ на рис. 2, б), бочка – на 112 мин ($\tau = 112^1$), а верхняя шейка и прибыль – на 181 мин ($\tau_3 = 181^1$).

Таким образом, объемная усадка второго валка меньше по сравнению с первым вследствие нарушения последовательного снизу вверх продвижения фронта затвердевания: бочка валка затвердевает раньше, чем нижняя шейка.

Анализ кинетических кривых перемещения расплава из прибыли для питания усадки показал, что максимальная усадка соответствует проникновению границы



а



б

Рис. 1. Электрошлаковый обогрев прибыли вала из ВЧ с помощью мобильной установки (а) и торец прибыли после обогрева (б)

выливания в осевую зону бочки. Так, у вала № 2 граница выливания достигнет осевой зоны через 45 мин ($\tau_{\text{ВЫЛ}} = 45^{\text{I}}$ на рис. 2, б). Этому моменту времени соответствует перемещение из прибыли 89 % расплава (см. рис. 2, в).

В бочке вала № 1 через те же 45 мин ($\tau_{\text{ВЫЛ}} = 45^{\text{I}}$ на рис. 2, а) граница выливания достигнет толщины $X = 145$ мм, а из прибыли в отливку перейдет 54 % расплава.

После проникновения границы выливания в центр бочки вала № 1 на 78 мин ($\tau_{\text{ВЫЛ}} = 78^{\text{I}}$) для компенсации усадки потребуется 77,5 % расплава (см. рис. 2, в).

В шейках валков толщина затвердевшего слоя чугуна составит лишь 20,7–22,4 мм у вала № 1 и 16,5–17,0 мм – у вала № 2, что не окажет значительного влияния на значение объемной усадки [5].

Таким образом, обоснованным является изменение режима ЭШО прибыли, при котором максимальная мощность обогрева должна соответствовать этапу проникновения границы выливания в осевую зону бочки вала. В дальнейшем количество подводимого тепла можно уменьшить до полного затвердевания отливки.

Все известные методы расчета продолжительности питания усадки отливок не могут учесть множества факторов, которые влияют на продолжительность кристаллизации: комплексное легирование и модифицирование сплавов Fe–C различными химическими элементами; изменение температуры и скорости заливки в зависимости от массы, толщины стенки, специфических требований к физико-механическим свойствам отливки; наличие усадочной пористости в стенке кокиля или неравномерность набивки формовочной смеси в опоке; неравномерность скорости фильтрации расплава через двухфазную твердо-жидкую зону затвердевающей отливки для питания усадки; литейную форму, состоящую из материалов с разными теплофизическими свойствами.

Поэтому предложена схема технологического процесса определения продол-

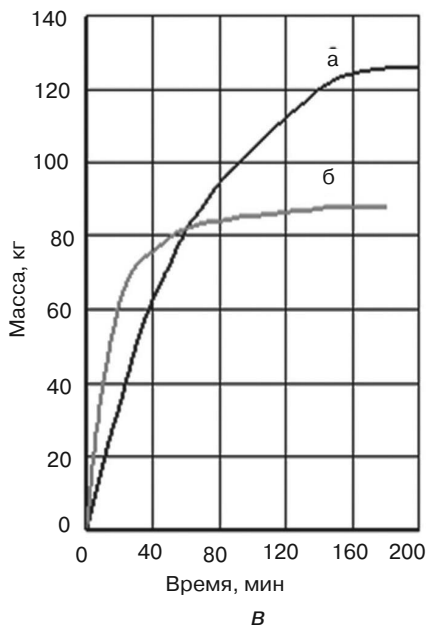
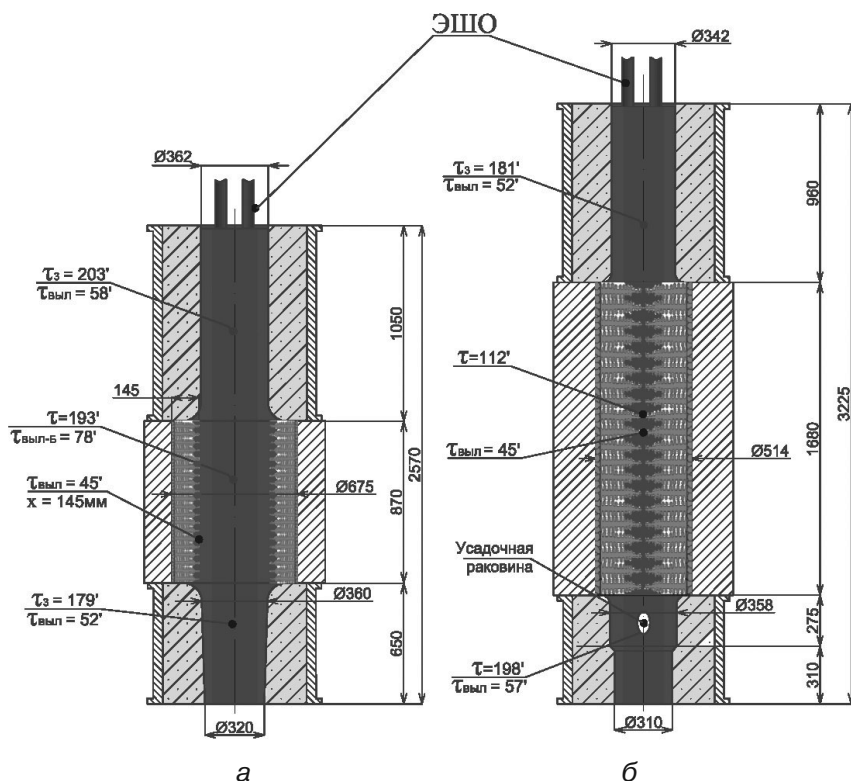


Рис. 2. Схема процесса затвердевания прокатных валков массой 3600 кг из ВЧ с диаметром бочки 675 мм (а), 514 мм (б) и кинетика перемещения расплава из прибыли для питания усадки (в): $\tau_{\text{выл}}$ – время проникновения границы выливания в осевую зону; τ_z , τ – продолжительность затвердевания 100 % твердой фазы

жительности электродугового-электрошлакового обогрева отливки по показателю кинетики усадки расплава в прибыли – при отсутствии перемещения электрода обогрев прекращать.

Регистрация и накопление экспериментальных данных об объемной усадке различных сплавов позволит точно установить минимальный размер (высоту) прибыли для различных типов сплавов и типоразмеров отливок. Это обеспечит сокращение непроизводительных потерь металла на технологический запас при назначении размеров прибыли технологом литейного цеха и позволит установить рациональную продолжительность питания усадки из прибыли.

Выводы

- Исследовано влияние процесса направленного затвердевания отливок в комбинированных кокильно-песчаных формах на кинетику объемной усадки массивных отливок из высокопрочного чугуна.
- Рекомендовано продолжительность режима электрошлакового обогрева прибыли с максимальной мощностью обогрева назначать в соответствии с продолжительностью проникновения границы выливания в осевую зону бочки вала. В дальнейшем количество подводимого тепла можно уменьшить до полного затвердевания отливки.
- Предложена схема технологического процесса, в котором продолжительность электрошлакового обогрева отливки устанавливать по показателю кинетики усадки расплава в прибыли – при отсутствии перемещения электрода обогрев прекращать.



Список литературы

1. Хрычиков В. Е. Зональная ликвация в крупных чугунных отливках / Хрычиков В. Е. Котешов Н. П. Снаговский В. М., Кривошеев А. Е. // Литейное производство. – 1983. – № 6. – С. 26–28.
2. Хрычиков В. Е. Комбинированный электродуговой-электрошлаковый обогрев прибылей чугунных прокатных валков / Хрычиков В. Е., Будагянц Н. А., Камкин В. П. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2001. – № 2. – С. 38–43.
3. Меньяло Е. В. Исследование процесса перемещения расплава из прибыли для питания усадки отливки / Меньяло Е. В. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2016. – № 1. – С. 48–53.
4. Хрычиков В. Е. Теплофизические процессы направленного затвердевания чугунных прокатных валков: Дис. ... д-ра техн. наук / Хрычиков Валерий Евгеньевич. – Днепропетровск: ДМетИ, 1993. – 448 с.
5. Лейбензон В. О., Пілюшенко В. Л., Кондратенко В. М., Хричиков В. Є., Недоп'окін Ф. В., Білоусов В. В., Дмитрієв Ю. В. Твердження металів і металевих композицій: Підручник для ВУЗів. Видання друге, доопрацьоване. Затверджено Міністерством освіти і науки України. – К.: Наукова думка, 2009. – 447 с.



References

1. Khrychikov, V. E., Koteshev, N. P., Snagovsky, V. M. Krivosheev, A. E. (1983) Zonalnaya likvatsiya v krupnykh chugunnykh otlivkakh [Zone segregation in large cast-iron castings]. Liteynoe proizvodstvo, no. 6, pp. 26–28 [in Russian].
2. Khrychikov, V. E., Budagyants, N. A., Kamkin, V. P. (2001) Kombinirovanny elektrodugovoy-elektroshlakovyy obogrev pribyley chugunnykh prokatnykh valkov [Combined electric-electric-slag heating of the profits of cast iron rolling rolls]. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost, no 2, pp. 38–43 [in Russian].
3. Menajlo, E. V. (2016) Issledovanie protsessy peremeshcheniya rasplava iz pribyli dlya pitaniya usadki otlivki [Investigation of the process of moving the melt from the profit for feeding the shrinkage of the casting]. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost, no. 1, pp. 48–53 [in Russian].
4. Khrychikov, V. E. (1993) Teplofizicheskie protsessy napravlenno go zatverdevaniya chugunnykh prokatnykh valkov [Thermophysical processes of directed solidification of cast iron rolling rolls]: Doct. Diss. Khrychikov Valery Evgenievich. Dnepropetrovsk: DMetI, 448 p. [in Russian].
5. Leibenzon, V. O., Plyushenko, V. L., Kondratenko, V. M., Khricikov, V. E., Nedop'okin, F. V., Bilousov, V. V., Dmitriev Yu. V. (2009) Tverdnennya metaliv i metalevikh kompozitsiy [Hardened metal and metal compositions: textbook for high schools]. Vidannya druge, doopratsiovane. Hardened by the Ministry of Science and Science of Ukraine. K.: Naukova Dumka, 447 p. [in Ukrainian].

Поступила 11.04.2018