

УДК 621.771.2.073.8:621.791.756

Хрычиков В. Е., Меняйло Е. В., Семенова Т. В., Мушенков Ю. А.

## ОЦЕНКА МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА МЕТАЛЛА НА ПРИБЫЛИ ОТЛИВОК

Усадка сплавов при затвердевании обуславливает образование усадочных раковин и пор [1, 2]. Прибыли обеспечивают питание усадки и направленное затвердевание отливок. Сифонный способ заливки прокатных валков с тангенциальным подводом питателя к нижней шейке обеспечивает оттеснение неметаллических включений из рабочего слоя бочки, но ухудшает условия для направленного затвердевания отливки [3]. Неоднократные попытки заливать чугунные валки сверху через прибыль успеха не имели из-за повышенного брака по засорам рабочего слоя. Поэтому создание условий для направленного затвердевания прокатных валков позволит уменьшить глубину распространения усадочных дефектов, повысить качество литья и снизить непроизводительные потери металла на прибыли.

Целью работы является изучение и сопоставление различных методов снижения расхода металла на прибыли массивных отливок (в частности, прокатных валков) и выбор из них наиболее эффективного.

Экспериментальные исследования процессов затвердевания проводили на прокатных валках в условиях ОАО «Днепропетровский завод прокатных валков». В качестве термопар использовали хромель-алюмелевую (ХА) проволоку диаметром 0,5 мм, позволяющую производить кратковременный замер температуры до 1370 °С. Холодные спаи термопар подсоединяли к клеммам 12-ти точечных потенциометров КСП-4. Интервал между замером каждой точки устанавливали равным 4 с. Горячие спаи термопар защищали с помощью термозащитного блока специальной конструкции.

На рис. 1 приведено положение фронта твердожидкого состояния в различные моменты времени в прокатном валке массой 1,36 т из отбеленного чугуна, % (по массе): С – 3,63; Si – 0,47; Mn – 0,47; P – 0,370; S – 0,123.

В нижней части бочки (термопара № 1) переход сплава в твердожидкое состояние происходит через 51 мин, в центре (№ 2) – через 57 мин, на границе с верхней шейкой (№ 3) — через 60 мин, что свидетельствует о последовательном снизу вверх затвердевании бочки. В то же время средняя скорость продвижения фронта затвердевания по высоте осевой зоны бочки составляет 83,3 мм/мин и более чем на порядок выше средней скорости фильтрации расплава для питания усадки – 6 мм/мин [4]. Поэтому в осевой зоне бочки возможно формирование усадочных дефектов.

В верхней части осевой зоны прибыли (термопара № 7) уже через 5 мин образуется корочка затвердевшего металла, несмотря на утепление поверхности металла прибыли слоем 100–120 мм древесного угля. Лишь доливка в прибыль на 10-й мин 44 кг чугуна при  $t = 1290$  °С привела к расплавлению затвердевшего слоя. На 30-й мин зеркало металла прибыли вновь затвердевает. Вторая доливка чугуна на 60-й мин лишь на 10 минут задерживает образование твердого металла в верхней части прибыли. Основное сосредоточение усадочных дефектов находится внутри зоны, очерченной линией 70' (см. рис. 1).

Аналогичные исследования были проведены на валках массой до 2,2 т. Полученные экспериментальные данные использовали при адаптации математической модели процесса затвердевания [5, 6], что позволило достаточно оценить процесс затвердевания отливки в комбинированной кокильно-песчаной литейной форме, установить влияние различных технологических факторов на направленное затвердевание отливки, образование тепловых узлов.

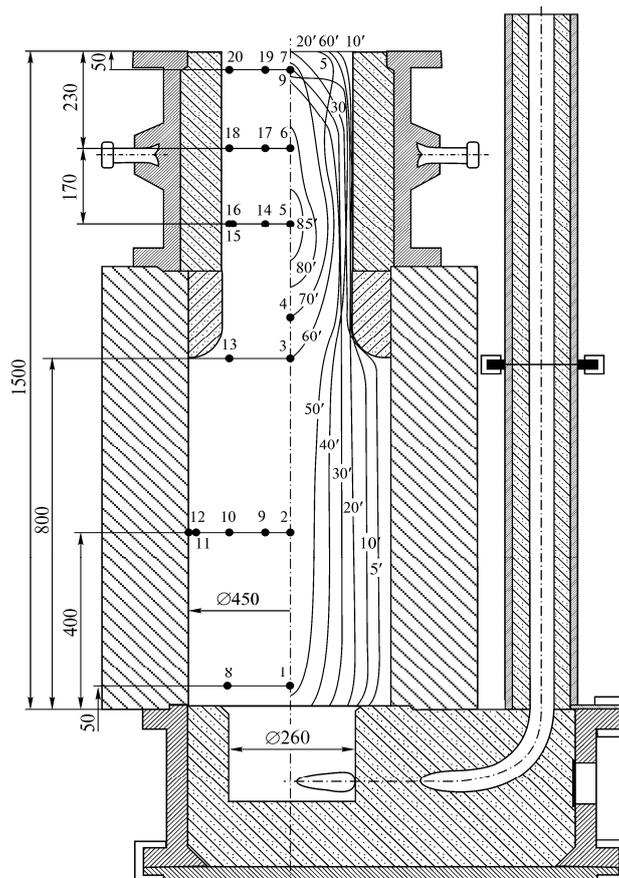


Рис. 1. Схема установки термодар № 1 – 20 и положение фронта твердожидкого состояния через 6, 9, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 и 85 мин в прокатном валке массой 1,36 т

Направленное затвердевание отливки можно обеспечить (в большинстве случаев), если утеплить зеркало металла прибыли и сохранить высокую температуру расплава, или подвести дополнительные источники тепла.

Влияние экзотермической засыпки на затвердевание валков было смоделировано с помощью подвода дополнительного источника тепла ( $Q$ ) к зеркалу металла отливки (рис. 2).

Применение формовочных теплоизоляционных смесей по сравнению с экзотермическими засыпками более эффективно. Однако установлено увеличение продолжительности затвердевания только верхней части отливки, в которой находится теплоизоляционная формовочная смесь. Продвижение встречных фронтов затвердевания – снизу, со стороны бочки, и сверху, со стороны зеркала металла прибыли – приводит к образованию обширного теплового узла с центром на расстоянии  $\sim 460$  мм от верхнего торца отливки.

Наиболее эффективным оказалось применение продолжительного обогрева зеркала металла прибыли. Моделировали продолжительность и мощность обогрева (рис. 3).

Установлено направленное затвердевание бочки, верхней шейки и прибыли валка. Кинетика затвердевания остальной части отливки не претерпевает значительных изменений по сравнению с опытным валком идентичного типоразмера (рис. 1, а). Ускоренное затвердевание бочки валка (70I на рис. 2 и 3) нарушает питание усадки нижней шейки из прибыли. Поэтому в нижней шейке формируется замкнутый тепловой узел, в котором образуются усадочные дефекты.

В условиях Днепропетровского завода прокатных валков (ДЗПВ) и НПО Лутугинское объединение по производству валков (ЛОПВ) в течение нескольких лет опробовали две технологии: электрошлаковый обогрев и комбинированный электродуговой-электрошлаковый обогрев прибылей валков, разработанные в НМетАУ. В первой – жидкую шлаковую ванну

в прибыли наводили при регламентированном вводе легкоплавкого порошкообразного флюса в литейную воронку на струю заливаемого металла. Во второй – после окончания заливки начинали электродуговой обогрев, в зону дуги вводили флюс, который после расплавления образовывал жидкую шлаковую ванну и начинали электрошлаковый обогрев прибыли.

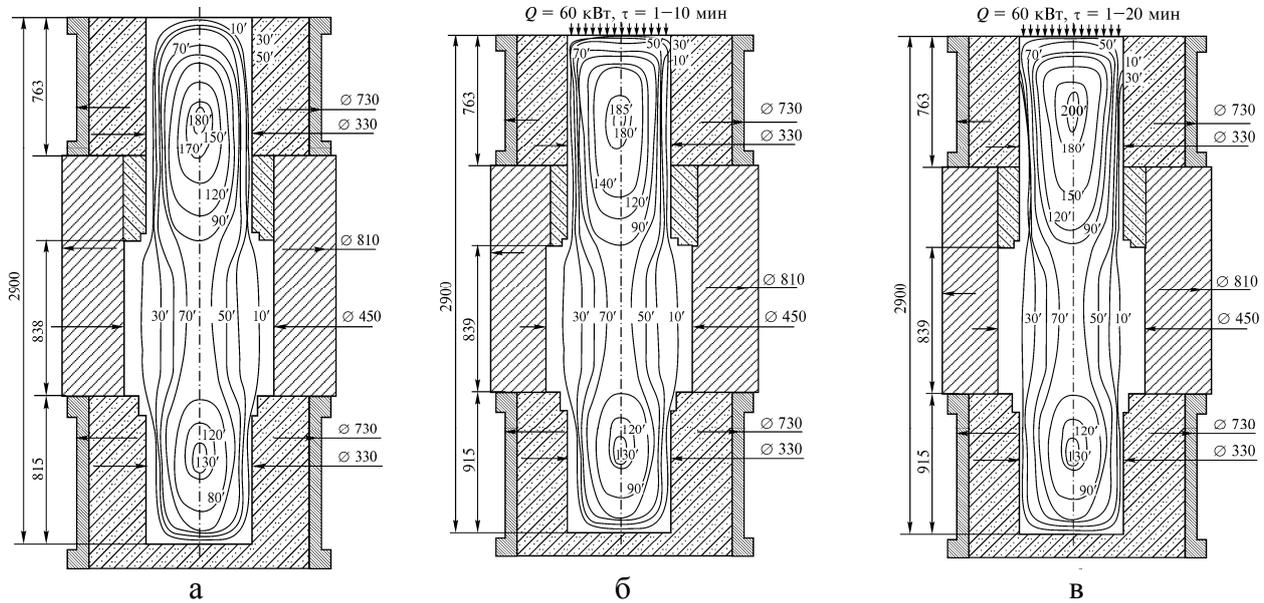


Рис. 2. Моделирование влияния продолжительности работы экзотермической засыпки на затвердевание валка массой 2200 кг из высокопрочного чугуна:

а – затвердевание валка-эталона; б – продолжительность обогрева  $\tau = 1 \dots 10$  мин; в – продолжительность обогрева  $\tau = 1 \dots 20$  мин;  $Q = 60$  кВт – подвод дополнительного тепла к зеркалу металла прибыли; 10I, 30I, 50I...200I – изосolidус через 10, 30, 50...200 мин после окончания заливки

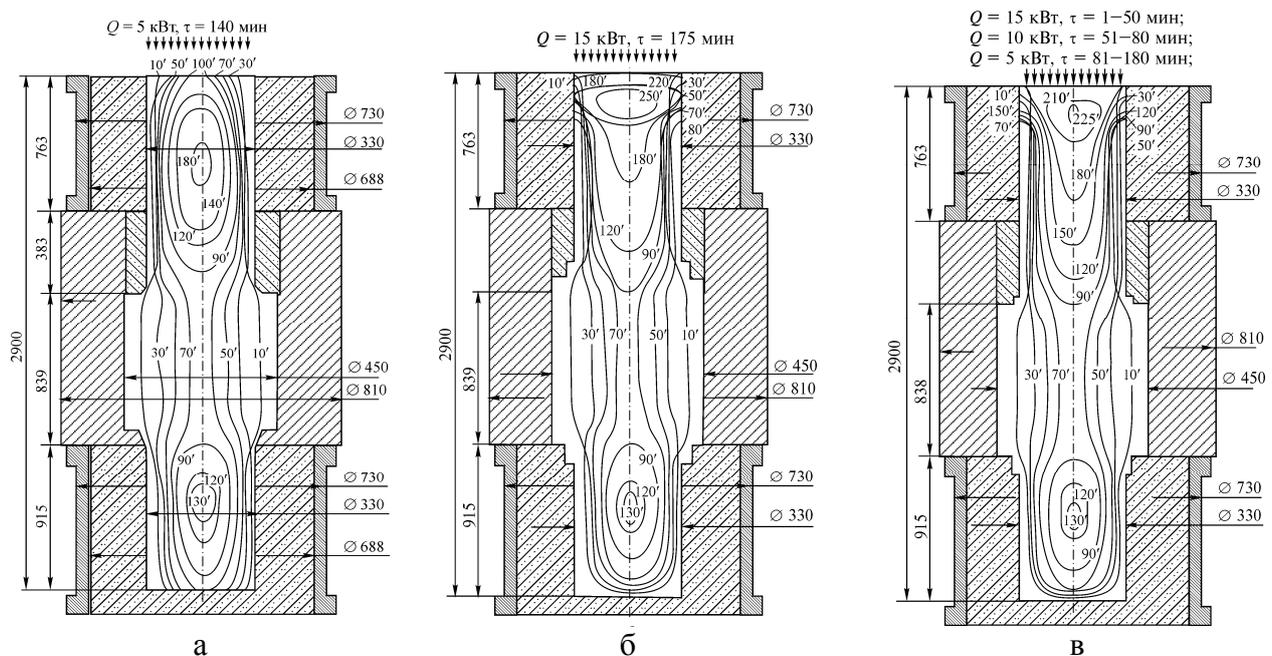


Рис. 3. Влияние продолжительности и мощности обогрева зеркала металла прибыли на направленное затвердевание валка массой 2200 кг из высокопрочного чугуна:

а –  $\tau = 140$  мин,  $Q = 5$  кВт; б –  $\tau = 175$  мин,  $Q = 15,0$  кВт; в –  $Q = 15$  кВт,  $\tau = 1-50$  мин;  $Q = 10$  кВт,  $\tau = 51-80$  мин;  $Q = 5$  кВт,  $\tau = 81-180$  мин

Как показал опыт, вид обогрева не влиял на размеры прибыли. Но в условиях вальцелитейных заводов наиболее технологичной и универсальной является технология комбинированного электродугового-электрошлакового обогрева. Масса обогреваемых отливок составлял от 1,5 до 50 т. На рис. 4 приведен торец прибыли прокатного валка массой ~ 26 т, отлитого с комбинированным электродуговым-электрошлаковым обогревом в условиях ДЗПВ.



Рис. 4. Торец прибыли прокатного валка из высокопрочного чугуна массой 26000 кг, отлитого с комбинированным электродуговым-электрошлаковым обогревом прибыли, и валков, отлитых с утеплением древесным углем и двухразовой доливкой прибыли

При использовании обогрева масса металла, находящегося в прибыли, может быть уменьшена в 2,0–3,0 раза, исключается образование усадочных дефектов в верхних шейках валков. Экономическая эффективность внедрения технологии возрастает с увеличением стоимости энергоресурсов. Это обусловлено тем, что электрообогрев компенсирует только потери тепла расплава из прибыли в окружающую среду. При питании усадки отливки за счет доливаемого металла необходимо тратить энергию на подогрев, расплавление и перегрев чугуна.

## ВЫВОДЫ

1. Выявлены особенности направленного затвердевания чугунных прокатных валков. Формирование тепловых узлов и усадочных дефектов в нижней и верхней шейках может быть причиной снижения эксплуатационной прочности валков.

2. Установлено, что электрообогрев нерасходуемыми электродами обеспечивает направленное затвердевание бочки, верхней шейки и прибыли, предотвращает образование усадочных дефектов в этих частях отливки и уменьшает потери металла на прибыли в 2,5–3,0 раза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов А. М. *Литейное производство* / А. М. Михайлов. – М. : Машиностроение. – 1987. – 256 с.
2. Баландин Г. Ф. *Основы теории формирования отливок : учебное пособие для машиностроительных вузов по специальности «Машины и технология литейного производства»* / Г. Ф. Баландин. – М. : Машиностроение. – 1979. – 335 с.
3. Кривошеев А. Е. *Литые валки* / А. Е. Кривошеев. – М. : Металлургиздат, 1957. – 360 с.
4. Рыжиков А. А. *Исследование свойств твердо-жидких сплавов методом моделирования* / А. А. Рыжиков, Г. И. Тимофеев // *Литейные свойства сплавов*. – Киев : ИПЛ АН УССР, 1973. – С. 5–6.
5. Хрычиков В. Е. *Теплофизические процессы направленного затвердевания чугунных прокатных валков : дис. д-ра техн. наук* / В. Е. Хрычиков. – Днепропетровск : ДМетИ, 1993. – 448 с.
6. Лейбензон В. А. *Затвердевание металлов и металлических композиций : учебник для вузов* / В. А. Лейбензон, В. Л. Пилюшенко, В. М. Кондратенко. – Киев : Наукова думка. – 2009. – 410 с.