

обработки по режиму Т5. Скорость охлаждения сплава в форме (продолжительность затвердевания отливки) изменяли путем варьирования начальной температуры формы  $T_{20}$  в пределах от 150 до 300 °С, а также толщины кокильного покрытия  $\delta_{кр}$  в пределах 0,1-0,3 мм.

Обработка данных позволила получить следующие адекватные уравнения:

для кокильного литья:

$$\delta_B = 422/(\eta_{затв} \cdot R_{пр}^2)^{0,242}; \quad (1) \quad \delta_5 = 11,3/(\eta_{затв} \cdot R_{пр}^2)^{0,458}; \quad (2)$$

для литья вакуумным всасыванием:

$$\delta_B = 300/(\eta_{затв} \cdot R_{пр}^2)^{0,1}; \quad (3) \quad \delta_5 = 9/(\eta_{затв} \cdot R_{пр}^2)^{0,16}, \quad (4)$$

где  $R_{пр}$  - приведенная толщина стенки отливки, см;

$\eta_{затв} = t_{затв}/R_{пр}^2$  - относительная продолжительность затвердевания отливки, с/см<sup>2</sup>;

$\delta_B$  и  $\delta_5$  - предел прочности на разрыв (МПа) и относительное удлинение (%) сплава.

Следует отметить, что формулы (1)-(4) позволяют определить величину  $\eta_{затв}$ , при которой обеспечивается заданный уровень механических свойств. Разрешив уравнения (1)-(4) относительно  $\eta_{затв}$ , получим уравнения:

для обычного кокильного литья:

$$\eta_{затв} = (422/\delta_B)^{4,13}/R_{пр}^2; \quad (5) \quad \eta_{затв} = (11,3/\delta_5)^{2,18}/R_{пр}^2; \quad (6)$$

для литья вакуумным всасыванием:

$$\eta_{затв} = (300/\delta_B)^{10}/R_{пр}^2; \quad (7) \quad \eta_{затв} = (9/\delta_5)^{6,25}/R_{пр}^2. \quad (8)$$

Технологический процесс должен быть организован таким образом, чтобы фактическая относительная продолжительность затвердевания отливки  $\eta_{затв}$  была меньше наименьшего значения из двух величин, определенных по формулам (5) и (6) или (7) и (8). Минимальная и максимальная границы значений  $\eta_{затв}$  определяются не только уравнениями (5)-(8), но и возможностями практического достижения этих значений в реальных условиях литья.

Следует отметить, что формулы (5)-(8) носят частный характер и применимы как первое приближение для отливок из сплава АК7. Аналогичные зависимости по разработанной методике можно легко получить и для других сплавов и методов литья.

Из формул (5)-(8) наглядно следует, что нестабильность тепловых условий литья приводит к нестабильности  $\eta_{затв}$  и, как следствие, механических свойств отливок.

Б.С. Чуркин, В.В. Ушенин,  
А.Г. Панчук, Э.Б. Гофман  
УГППУ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ УСАДОЧНОЙ РАКОВИНЫ В КРУПНОЙ ПОЛОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОТЛИВКЕ

Процесс затвердевания крупных стальных отливок сопровождается усадочными явлениями, которые проявляются в виде усадочных раковин или пор. Изучение формирования усадочных дефектов проводилось, в основном, для сплошных отливок. Однако необходимость получения крупных полых цилиндрических заготовок, в частности для изготовления стальных бандажей прокатных валков, требует изучения процесса формирования усадочной раковины для локализации усадочных дефектов в прибыльной части отливки при максимально возможном выходе годного.

Изучение затвердевания крупной отливки в условиях производства связано с дороговизной промышленного эксперимента. Поэтому исследование влияния технологических параметров на формирование усадочной раковины выполнялось с применением математического моделирования. Для решения задачи, имеющей двухмерный характер, был использован метод конечных разностей с использованием явных конечно-разностных схем.

Организация расчетов геометрии и локализации усадочной раковины проводилась при условии отсутствия отвода тепла с ее поверхности в окружающую среду. При этом не учитывался также теплообмен в горизонтальном направлении между противоположными поверхностями усадочной раковины. Это приемлемо для изучения формирования цилиндрических отливок, имеющих прибыли, вертикальный теплоотвод от которых в окружающую среду намного меньше горизонтального. Такие условия могут выполняться, в частности, при изготовлении заготовок бандажей прокатных валков с применением утепляющих смесей.

Влияние технологических параметров на формирование усадочной раковины исследовалось с помощью планируемого машинного эксперимента применительно к производству заготовок бандажей прокатных валков из стали 150ХМ. Расчеты были спланированы по матрице  $2^{5-1}$ . Кроме этого для уточнения законов кодирования факторов и проверки адекватности полученных уравнений регрессии были выполнены расчеты в центре плана и в его внутренней области.

Переменными величинами являлись: наружный радиус отливки и ее толщина, коэффициент теплопередачи через слой кокильной краски, высота бандажа и прибыльной части отливки, коэффициент теплоаккумуляции материала прибыльной надставки.

Получены регрессионные выражения, описывающие изменение относительного объема усадочной раковины в процессе ее формирования, а также окончательный ее объем; снижение уровня зеркала металла; изменение вертикальной и горизонтальной координат термического узла отливки.

Анализ полученных уравнений регрессии показал наибольшую зависимость формирования усадочной раковины от следующих технологических параметров: толщина стенки отливки, коэффициент теплоаккумуляции материала прибыльной надставки и высоты прибыльной части отливки.

На основании регрессионного выражения, соответствующего вертикальной координате термического узла отливки, получена формула для определения оптимальной высоты прибыльной части при заданном коэффициенте запаса металла.

Удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных промышленных данных свидетельствует о возможности применения полученных уравнений для определения оптимальных параметров технологического процесса изготовления литых заготовок бандажей прокатных валков из заэвтектоидной стали 150ХНМ.

Б.С. Чуркин, В.В. Ушенин,  
А.Г. Панчук, Э.Б. Гофман  
УГПУ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ОТЛИВКИ

Изготовление отливок ответственного назначения связано с выполнением ряда требований по их структуре, которая в значительной мере определяет эксплуатационные характеристики готового изделия. Зависимость структуры литой заготовки от кинетики ее затвердевания позволяет в определенной степени управлять структурообразованием отливки путем регулирования тепловых условий ее охлаждения. Об-