

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

О ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ОТЛИВКИ

Ряду отливок ответственного назначения предъявляются требования, связанные со структурой их поверхностных слоев. К таким отливкам можно отнести заготовки литых прокатных валков и их бандажей. Тяжелые условия их работы при воздействии высоких удельных давлений и значительных контактных напряжений требуют от материала валков определенных прочностных показателей, которые существенно зависят от структуры отливки.

Известно, что влияние тепловых условий затвердевания на формирование структуры крупной стальной отливки уменьшается по ее сечению при удалении от поверхности. В связи с этим трудно изменить тепловыми условиями общую кинетику затвердевания массивной отливки. Однако затвердевание поверхностных слоев происходит в зоне активного влияния теплоотвода от отливки к форме. Это в определенной мере позволяет управлять процессом их формирования.

Изготовление прокатных валков, как правило, связано с термической обработкой, позволяющей изменять прочностные показатели их материала в основном путем преобразования его фазового состава. Однако кроме фазового состава существенным фактором по отношению к эксплуатационным характеристикам готового изделия является величина литого зерна, которая зависит от условий затвердевания отливки.

Управление процессом формирования поверхностных слоев литой заготовки прокатного валка возможно при установлении зависимости между параметрами структуры, например, средней величиной литого зерна и технологическими параметрами изготовления отливки.

Известно, что средняя величина литого зерна обратно пропорциональна скорости движения фронта кристаллизации. Такая фор-

мулировка является наиболее справедливой для четко выраженного последовательного характера затвердевания отливки. Для сталей, обладающих широким интервалом кристаллизации, не менее важным параметром является скорость охлаждения расплава при его затвердевании.

Установление зависимости между структурой поверхностных слоев массивной отливки и указанными характеристиками процесса их затвердевания требует в производственных условиях значительных затрат, связанных с большим объемом подготовительных работ и дороговизной промышленного эксперимента.

Наиболее эффективным направлением в области изучения затвердевания отливки является его математическое моделирование на базе современных ПЭВМ с применением различных численных методов расчета.

Проведено математическое моделирование затвердевания поверхностных слоев в металлической форме с учетом образования на границе между отливкой и формой газового зазора, а также конвективного движения расплава в подвижной области отливки.

Изучение влияния газовой прослойки на кинетику затвердевания поверхностных слоев литой заготовки банджа прокатного вала из заэвтектоидной стали показало существенную зависимость от зазора условий формирования рабочего слоя не только по его глубине, но и по высоте отливки. Это обусловлено действием статического напора расплава на деформацию ее затвердевшей корочки. Причем у поверхности литой заготовки наблюдается приоритет закономерности отсутствия зазора, поскольку газовая прослойка между отливкой и формой появляется не сразу, а только после достаточного для этого упрочнения твердой корки. С увеличением глубины слоя влияние упругих и пластических деформаций ослабевает и начинает преобладать термическое изменение линейных размеров отливки и формы. Действие статического напора расплава на затвердевание поверхностных слоев по их протяженности хорошо прослеживается по времени образования зазора по высоте отливки, которое в нижней ее части достигает 6-10 минут. В верхней же части отливки газовая прослойка может появиться почти сразу.

Затвердевание крупных отливок связано также с установлением в их подвижной области естественных конвективных потоков, оказывающих существенное влияние на организацию тепло- и массообмена. Конвекция приводит к выравниванию температуры в горизонтальном сечении подвижного объема формирующейся отливки и тем самым замедляет затвердевание ее поверхностных слоев.

Из анализа расчетной кинетики затвердевания стальной поллой цилиндрической отливки с наружным и внутренним диаметрами 1,6 м и 0,8 м и высотой $H_o = 2$ м следует несущественное влияние естественной конвекции на время затвердевания отливки целиком. В то же время повышение интенсивности теплопереноса в подвижном объеме отливки увеличило время затвердевания наружного поверхностного слоя на глубине 20 мм на 95 %, на глубине 40 мм - на 55 % и на глубине 60 мм - на 35 %. Таким образом, условия затвердевания поверхностных слоев находятся в существенной зависимости от конвективного движения расплава, и степень этой зависимости возрастает с приближением к поверхности отливки.

Проведение расчетов кинетики затвердевания стальной заготовки банджа прокатного валка с учетом действия статического напора и естественной конвекции позволило оценить степень влияния технологических факторов на скорость охлаждения расплава при его затвердевании в поверхностных слоях отливки. Скорость охлаждения $v_{ох}$ соответствовала середине интервала кристаллизации.

Активное влияние на скорость охлаждения поверхностных слоев отливки при их затвердевании оказывают коэффициент теплопередачи через слой краски и расстояние от верха отливки до ее расчетного уровня. Их рост вызывает существенное повышение $v_{ох}$, что свидетельствует о значительном влиянии на структуру рабочего слоя отливки таких технологических параметров, как толщина слоя краски и ее теплофизические характеристики, а также высота литой заготовки.

Толщина отливки, ее диаметр, а также начальная температура формы имеют несколько меньшее влияние. Увеличение площади поперечного сечения отливки и повышение температуры формы снижают скорость охлаждения поверхностных слоев.

Наиболее слабое влияние на исследуемую величину оказывает толщина окрашенной формы, несколько увеличивая теплоотвод от поверхности отливки в начале процесса ее затвердевания.

Выполнение расчетов кинетики затвердевания поверхностного слоя отливки с определением величины $v_{охл}$ по глубине слоя и протяженности позволяет оценить качество его структуры. Для этого необходимо использовать зависимость средней величины литого зерна от $v_{охл}$, полученной экспериментально в лабораторных условиях.

Результаты математического моделирования с учетом указанных факторов могут быть использованы для определения значений технологических параметров изготовления стальных литых заготовок прокатных валков и их бандажей, обеспечивающих заданные кинетические характеристики затвердевания и макроструктуру поверхностных слоев отливок.

А. Г. Панчук,
В. В. Ушенин,
Э. Б. Гофман

О ПОВЫШЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПРИ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ВИБРАЦИИ МЕТАЛЛОВ

Вопрос об эффекте повышения температуры при кристаллизации металлов и сплавов при вибрационном воздействии до настоящего времени является дискуссионным. По нашему мнению, считать его следствием только ускорения тепло- и массопереноса не корректно, так как результаты получаются аналогичными, независимо от теплопроводности материала, из которого выполнен кристаллизатор. В лабораторных условиях авторы исследовали температуру кристаллизации и структуру слитков из технически чистого висмута (чистота 97,5 %). Перед заливкой металла форму в сборе закрепляли на вибрационной площадке. Вибратор включали сразу после наполнения формы. Частоту вибрации (20 - 90 Гц) устанавливали перед каждым экспериментом. Амплитуду во всех случаях поддерживали постоянной (около 0,5 мм).