

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛОВ ФОРМ И УСЛОВИИ ЗАЛИВКИ НА КАЧЕСТВО ОТЛИВОК ИЗ НИКЕЛЕВЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

В.К. Дубровин

Точные литые детали ответственного назначения из жаропрочных никелевых сплавов (ЖС) получают в настоящее время по выплавляемым моделям (ЛВМ) в дистен-силлиманитовые формы на этилсиликатном связующем с электрокорундовой присыпкой, а из титановых сплавов – в электрокорундовые формы.

Производство высококачественных отливок из жаропрочных никелевых и титановых и сплавов в таких формах осложняется высокими температурами заливки и химической активностью расплава, приводящими к его интенсивному взаимодействию с материалом литейных форм.

Расчеты на ЭВМ нестационарных температурных полей (НТП) в системе металл–форма показали, что в вакуумных установках ВДЛ-4 при температуре заливки титана $T_{Me} = 1750...1800$ °С в частях электрокорундовой формы с толщиной стенки отливки $(1...5) \cdot 10^{-3}$ м их рабочая поверхность, контактирующая с металлом, нагревается до 1585...1637 °С. При этом сама форма прогревается до температур выше 1400 °С на глубину $(0,17...1,06) \cdot 10^{-3}$ м и находится в этой области температур 15...340 с. Время достижения температуры солидус $T_c = 1590$ °С сплава ВТ20Л на границе металл–форма в зависимости от температуры сплава и толщины стенки отливки составляет 0,5...60 с, а в центре отливки – 6...215 с.

Анализ данных на НТП отливки турбинной лопатки из сплава ЖС6-УВИ, получаемой в корундо-силлиманитовой форме в вакуумной печи УППФ-3, показал, что из-за малой толщины отливки через 10...20 с момента заливки температуры в ее центре и в зоне контакта с формой практически не отличаются.

В печах высокоскоростной направленной кристаллизации расплавленный металл находится в контакте со стенкой формы в течение нескольких десятков минут.

При получении отливок из ЖС методом направленной кристаллизации в проходных печах ПМП-2 литейные формы находятся при $T > T_c$ в контакте с расплавом несколько часов в зависимости от заданного цикла толкания.

При высоких температурах в условиях вакуума огнеупорные материалы формы способны подвергаться возгонке и термической диссоциации (инконгруэнтному испарению). Установленные температурные режимы позволили определить суммарное давление паров, давления P_O , P_{SiO} над оксидами формы и рассчитать скорости их испарения в вакууме 1,3 Па через максимальные потоки

газообразных продуктов диссоциации по уравнению, основанному на методике Герца–Лэнгмюра.

В интервале 1400...1700 °С скорость испарения кремнезема составляет $(1,29...131,7) \cdot 10^{-7}$, а корунда – $(0,51...323,1) \cdot 10^{-11}$ кг/м³·с. Прогрев поверхности формы выше 1587 °С при $P = 0,13$ Па и выше 1697 °С при $P = 1,3$ Па приводит к кипению связующего кремнезема, так как давление его паров становится равным или превышает рабочее давление в плавильно-заливочных установках.

Наличие возгонки огнеупорных оксидов в вакууме подтверждается экспериментальными данными, которые были получены на высокотемпературной вакуумной установке. В ней выдерживали навески исследуемых оксидов, помещенных в специальный молибденовый тигель. По изменению массы навески в процессе изотермической выдержки оценивали устойчивость оксидов к инконгруэнтному испарению. Установлено, что при температурах 1500, 1600, 1650 и 1700 °С убыль массы кремнезема, полученного из этилсиликата-40 и предварительно прокаленного при 1000 °С, составила соответственно 1,8; 4,7; 9,1 и 20,3 %/ч, а белого электрокорунда – 0,5; 0,8; 1,5 и 1,8 %/ч. Следует отметить, что данная убыль массы корунда обусловлена наличием в нем примесей – Fe₂O₃, Na₂O, Fe₂O₃, SiO₂, CaO в количестве до 1,6...1,8 %.

В технологии следует также учитывать, что при использовании дистен-силлиманитовых форм для литья ЖС происходит увеличение в них концентрации кремнезема на 6...8%, который выделяется в результате реакции муллитизации, протекающей при температуре выше 1300 °С. Муллит по устойчивости в вакууме занимает промежуточное положение между кремнеземом и корундом.

В печах ПМП-2 наблюдается также сублимация углерода с графитовых изделий и его интенсивное взаимодействие с оксидами формы в системах Si–O–C и Al–O–C.

Наблюдаемые процессы взаимодействия в системе металл–форма оказывают негативное влияние на качество формирующейся отливки.

Исследования проводили с использованием микрорентгеноспектрального анализатора РЭМ-100У, микроскопов РЭМ-200 и МИМ-2, микротвердомера ПМТ-3.

При литье титана сначала протекает прямое восстановление кремнезема формы жидким металлом, а затем, по мере прогрева формы, во взаимодействие вступает газообразные продукты термической диссоциации кремнезема SiO, O₂ и O. Это

приводит к образованию на поверхности отливок различных дефектов и видоизмененного слоя повышенной твердости и хрупкости, склонного к образованию трещин.

При литье ЖС наблюдается образование поверхностных дефектов, которые насыщены кремнием, титаном, железом, кальцием и объединены основными легирующими элементами - кобальтом, вольфрамом, хромом. При этом отливки лопаток из ЖС с направленной структурой подвергаются сплошному поверхностному насыщению кремнием на глубину до 600 мкм и его концентрация в 3... 10 раз превышает допустимую 0,4 %. Это приводит к образованию включений типа σ - и Лавес-фазы с пластинчатой морфологией, способных снижать служебные характеристики сплава и детали в целом, а в особенности длительную прочность.

Установлено, что глубина насыщения сплава кремнием снижается с уменьшением содержания кремнезема в связующем формы. Это подтверждают расчеты равновесного содержания кремнезема в сплаве ЖСЗО-ВИ для двух состояний системы металл-форма (свободный и связанный кремнезем), исходя из условия его взаимодействия с наиболее активным компонентом сплава - алюминием. При взаимодействии алюминия со свободным кремнеземом при $T = 1330... 1580$ °С равновесная концентрация кремния в сплаве составляет 16,7...6,9 %, а при ее взаимодействии с алумосиликатом - всего около 10^{-7} %.

Результаты исследований позволили разработать технологические процессы, обеспечивающие получение низкокремнеземистого этилсиликатного связующего, муллитизацию кремнезема связующего и дистен-силлиманитового наполнителя, что значительно снижает реакционную способность форм. В проходных печах направленной кристаллизации уплотнение пиролитическим углеродом графитовых изделий позволяет на порядок сократить поверхность, доступную взаимодействию с газообразными компонентами возгонки материалов формы и испарения с неё атомарного углерода.

Перспективным методом снижения химической активности системы металл-форма-газ является применение в плавильно-заливочных установках защитной атмосферы из инертных газов. Основа данного метода заключается в следующем: через плавильно-вакуумную установку в процессе плавки, заливки и охлаждения металла в форме прокачивается инертный газ при давлении 133 Па. Это позволяет существенно снизить интенсивность испарения огнеупорных оксидов формы, тигля, компонентов сплава, следовательно, и активность их взаимодействия между собой.

Применение в производстве разработанных технологических приемов позволяет снизить брак отливок из жаропрочных никелевых сплавов на 9... 11 %, отливок из титана на 12... 14 %, сократить трудоемкость обработки отливок на 7... 10 % и расход вспомогательных материалов на 15... 20 %.