

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ШТАМПОВОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ЛЕГИРОВАНИИ ИХ РЗМ

Сырямкин Р.С., Салатов А. В.,  
научный руководитель д-р.техн. наук, проф. Горбунов Ю.А.  
*Сибирский Федеральный Университет*

В устройствах для производства ядерного топлива длительное время широко применяются различные алюминиевые сплавы. Однако в связи с ужесточением требований к условиям функционирования этих конструкций требуется повышение физико-механических характеристик сплавов, применяемых для их производства. Такие задачи стоят, в частности, при создании нового поколения газовых центрифуг ГЦ 9+, элементы конструкции которых изготавливаются, в том числе и из сплавов системы Al—Zn—Mg—Cu.

Накопленные на сегодняшний день данные показывают, что улучшение структуры и механических свойств алюминиевых сплавов можно достигнуть при легировании их редкоземельными металлами (РЗМ), и тугоплавкими элементами не растворимыми в алюминиевой матрице. В связи с этим целью данной работы является сравнительный анализ новых высокопрочных сплавов, легированных РЗМ, на основе результатов исследований структуры и свойств штампованных заготовок и поведения крышек роторов газовых центрифуг из них в условиях длительной эксплуатации.

Для проведения работы использовались сплавы шифров 1961 и 1991, химический состав которых соответствовал патентам соответственно RU2473709 и RU2503734. Оба они разработаны сотрудниками ВИЛСа на базе традиционного сплава В96ц. Первый из сплавов был легирован цериевыми металлом и кальцием, а второй скандием и кобальтом. Приготовление плавки в тигельной печи ИАТ 2.5 и последующее литье слитков Ø110мм в кристаллизаторах скольжения осуществлялось по технологическим рекомендациям, действующим для сплавов типа В95, В96ц.

Следует отметить, что в структуре полученных слитков сплава 1961, легированных смесью РЗМ, наблюдалась явно выраженная ликвационная неоднородность. Размер зерна в слитках сплава 1961 был так же достаточно неоднороден. Слитки из сплава 1991 характеризовались существенно меньшим размером зерна и при наличии ликвации имели меньшую неоднородность структуры. Полученные данные свидетельствуют о более эффективном воздействии скандия на структуру сплавов системы Al—Zn—Mg—Cu по сравнению со смесью РЗМ. После гомогенизации слитков обоих сплавов по телу дендритных ячеек наблюдалось равномерно распределение вторичных упрочняющих фаз, содержащих цинк, медь и магний. По границам бывших дендритных ячеек были зафиксированы сфероидизированные нерастворимые фазы с железом и марганцем.

Перед проведением опытных работ по физическому моделированию штамповки было выполнено моделирование процесса в программе DEFORM-3D, разработанной на основе метода конечных элементов.\* Она является одним из самых известных, надежных и применяемых в настоящее время расчетных методов. С помощью проведенных расчетов была получена информация о течении материала в штампе и распределении температур в заготовке во время процесса деформирования при различных начальных условиях.

\*Моделирование процесса выполнено под руководством доц. Константинова И.Л.

В результате математического моделирования процесса была определена исходная температура нагрева заготовок, при которой на последней стадии штамповки за счет тепла деформации происходил разогрев металла до температуры закалки.

Для физического моделирования процесса после гомогенизации слитков из их центральной части вырезались заготовки  $\varnothing 30$ мм и высотой 50мм, которые подвергались горячей штамповке в опытных условиях на вертикальном винтовом прессе с последующими закалкой и старением. При этом были опробованы варианты непосредственной закалки штамповок с температуры деформации и закалки по традиционным режимам по рекомендациям ВИАМ.

Полученные данные показали, закалка штамповок с температуры деформации не позволила получить на обоих сплавах механических характеристик, регламентированных действующими техническими условиями. Предел прочности штамповок оказался ниже установленных требований. Можно предположить, что несмотря на существенное измельчение литой структуры при модифицировании РЗМ и высокую скорость диффузии цинка, магния и меди при горячей деформации сохраняется недостаточно полное растворение фаз основных легирующих элементов в алюминиевой матрице. В результате при закалке с температуры деформации и последующем старении не обеспечивается эффект упрочнения, аналогичный традиционной термической обработке с выдержкой металла при температуре закалки в течение регламентированного промежутка времени.

При термической обработке штамповок по традиционной схеме механические свойства сплавов 1961 и 1991 соответствовали требованиям. Однако соотношение прочностных и пластических характеристик оказалось более благоприятным у сплава, легированного скандием. Поэтому он был использован для промышленных экспериментов.

Для проведения промышленных экспериментов слитки обточили и порезали в заготовки размером  $\varnothing 65$ мм x 80мм, из которых были отштампованы крышки роторов. Предел прочности образцов, вырезанных из них после термической обработки, составил до 670 МПа. Однако характеристики ползучести сплава при эксплуатационных испытаниях при повышенных температурах оказались неудовлетворительными, поэтому испытания были прекращены.

Несмотря на отрицательные результаты эксплуатационных испытаний можно констатировать, что введение скандия в сплав системы Al—Zn—Mg—Cu оказывает более благотворное влияние и на структуру слитков, и на механические свойства штамповок из них по сравнению с легированием цериевыми металлом. Можно предположить, что повышение эксплуатационных характеристик сплава со скандием при повышенных температурах эксплуатации изделий может быть достигнуто за счет применения более высоких скоростей охлаждения расплава при кристаллизации, чем было достигнуто при литье слитков  $\varnothing 110$ мм в кристаллизатор скольжения. Решению этой задачи планируется посвятить следующий этап работы.