ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Резника Павла Львовича «Влияние параметров обработки на структуру и механические свойства слитков и полуфабрикатов алюминиевых сплавов систем Al-Mg-Mn-Sc-Zr и Al-Cu-Mg-Si», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Актуальность

Диссертационная работа посвящена исследованию изменений структуры, текстуры, фазового состава и механических характеристик в процессах литья, термической обработки и горячей деформации многокомпонентных алюминиевых сплавов, легированных в различных соотношениях магнием, марганцем, скандием, цирконием, титаном, цинком, медью, серебром, железом, никелем, хромом и ванадием. Актуальность темы не вызывает сомнений, поскольку она направлена на создание оптимальных технологических режимов производства слитков и деформированных полуфабрикатов из алюминиевых сплавов аэрокосмического назначения, обладающих повышенными прочностными характеристиками. Это, в свою очередь, обеспечит повышение экономических показателей при их производстве.

Целью труда, представленного на оппонирование, явилось установление влияния химического состава, параметров термической обработки и горячей деформации слитков на структуру, фазовый состав и механические свойства полуфабрикатов из сплавов системы Al-Mg-Mn-Sc-Zr и сплава системы Al-Cu-Mg-Si, а также оптимизация режимов их производства. Таким образом, работа направлена на решение важной научной и практической задачи.

Содержание диссертационной работы

Представленная диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов по работе, библиографического списка из 192 наименований, одного приложения, изложена на 192 страницах, включает 86 рисунков, 32 таблицы.

Во введении, обоснована актуальность, определена цель и поставлены задачи для её достижения, приведены основные положения, выносимые на защиту, отражены научная новизна и практическая ценность результатов исследования.

Первая глава (литературный обзор) содержит значительный объем информации по теме работы, включая новейшие публикации в ведущих журналах и сборниках международных конференций, что также подтверждает оригинальность и целесообразность поставленной цели. Достаточно полно охарактеризованы результаты многочисленных исследований, посвященных современным представлениям о влиянии технологических воздействий на структурообразование и особенности фазового состава промышленных сплавов систем Al-Mg-Mn-Sc-Zr и Al-Cu-Mg-Si. На основании проведенного анализа литературных данных сформулированы задачи данного исследования.

Во второй главе описаны используемые материалы, методики исследования структуры, текстуры, фазового состава и механических свойств. Комплекс методов структурных исследований включает в себя количественную металлографию на световом микроскопе; растровую электронную микроскопию (РЭМ) с микрорентгеноспектральным анализом (МРСА) и дифракцией отражённых электронов (EBSD); рентгеновский фазовый анализ. Описана методика проведения термодинамических расчетов в программе Thermo-Calc.

Основные результаты работы изложены в третьей, четвёртой и пятой главах.

В третьей главе представлены результаты экспериментов важные для понимания природы сплавов исследуемых систем, оптимизации их химического состава, а также полезных при разработке рациональной технологии литья. В частности приведены результаты изучения свойств расплавов, политермы и изотермы кинематической вязкости, определены температурные аномалии и обсуждаются возможности температурной обработки расплавов сплавов исследуемых систем. Описаны результаты термодинамического моделирования процесса неравновесной кристаллизации сплавов различных составов, проанализировано влияние легирующих элементов на температурные интервалы выделения фаз. Аналогичный подход был использован при описании термоаналитических кривых как результата термического анализа неравновесной кристаллизации сплавов системы Al-Mg с добавками переходных металлов. Проведен сравнительный анализ данных о характерных температурах кристаллизации и интервалах выделения фаз, полученных расчётным (ThermoCalc) и экспериментальным (ТА) путями.

В четвертой главе наиболее значимыми являются результаты о влиянии температуры термической обработки на структуру, фазовый состав и механические свойства крупногабаритных слитков, полученных на ОАО «КУМЗ», сплава 1570. Было установлено, что предложенный экспериментальный высокотемпературный режим гомогенизационной обработки слитков при 530 °С приводит к существенному повышению технологичности материала. Проанализировано влияние добавок меди, цинка, никеля и серебра в системе сплавов Al-Mg-Mn-Sc-Zr и термической обработки таких сплавов на составы и температуры плавления неравновесных эвтектик. Полученные зависимости влияния комплексного легирования и температур термической обработки на пластические характеристики слитков сплавов системы Al-Mg-Mn-Sc-Zr позволили обоснованно предложить температурные интервалы последующей горячей деформации.

Пятая глава посвящена исследованию влияния состава и температуры отжига слитков сплавов системы Al-Mg-Mn-Sc-Zr с различным соотношением переходных металлов на структуру, текстуру и механические свойства деформированных экструзией или осадкой полуфабрикатов. В частности с использованием современных методов исследования структуры изучено изменение зеренной и внутризеренной структуры сплава 1570 в процессе горячей деформации экструзией и осадкой. Показана локализация деформации в зависимости от условий деформации – вида и температуры. В результате проведенных исследований о влиянии предварительной термической обработки слитков на механические характеристики полуфабрикатов было установлено, что повышение температуры отжига слитков сплава 1570 до 530 °С сопровождается повышением прочностных характеристик в горячедеформированном состоянии как после прессования, так и после деформации осадкой.

Частные выводы приведены в конце каждой главы. В **Заключении** сформулированы общие выводы по диссертационной работе.

Научная новизна и достоверность результатов

В целом, анализируя представленную работу можно констатировать, что в диссертации содержится большой объем экспериментального материала, а полученные автором результаты весьма оригинальны и имеют все признаки научной новизны. Прежде всего, можно отметить, что было определено влияние дополнительного легирования сплавов системы Al-Mg-Mn-Sc-Zr Zn, Cu, Ag, Fe, Ni на состав и температурные интервалы выделений отдельных фаз и эвтектик в условиях неравновесной кристаллизации. Важно отметить, что в работе была показана эволюция структуры, текстуры и фазового состава сплава системы Al-Mg-Mn-Sc-Zr при повышении температуры гомогенизационного отжига слитков до 530 °С, применение которого позволило получить повышенные прочностные характеристики прессованных и штампованных полуфабрикатов.

Достоверность полученных результатов диссертационной работы, основных выводов, заключений и положений сомнений не вызывает. Она обеспечивается комплексом надежных экспериментальных методик, широким спектром исследованных объектов, различающихся составом и структурой, использованием контролируемого воздействия на микроструктуру образцов, большим числом и воспроизводимостью проведенных опытов и физически обоснованной интерпретацией экспериментальных данных, а также сопоставлением найденных результатов с существующими моделями и теориями.

Практическая значимость диссертационной работы

Практическая ценность технологических рекомендаций заключается в возможности их использования в промышленных условиях, что подтверждается успешной апробацией на ОАО «КУМЗ». Применение высокотемпературной 530 °С гомогенизации слитков сплава системы Al-Mg-Mn-Sc-Zr, повышает технологическую пластичность при горячей деформации. Это позволило впервые изготовить прессованные полые профили сложных поперечных сечений с повышенными прочностными характеристиками $\sigma_в$ ~ 430 МПа, $\sigma_{0,2}$ ~ 335 МПа. Определен температурный интервал горячей деформации слитков сплава системы Al-Mg-Mn-Sc-Zr, дополнительно легированного Zn и Cu, обеспечивающий максимальный уровень прочностных свойств прессованных профилей $\sigma_в$ ~ 440 МПа, $\sigma_{0,2}$ ~ 310 МПа.

Замечания по работе

1. Положения выносимые на защиту можно было сформулировать более конкретно. Например п.2 можно изложить «Определены параметры высокотемпературной гомогенизации слитков сплавов системы Al-Mg-Mn-Sc-Zr, обеспечивающие повышение технологической пластичности при дальнейшей горячей деформации».
2. В химическом составе исследованных сплавов Таблица 2.1 не приводится содержание примеси Na. В диссертации не уделено внимания содержанию примеси Na в сплавах системы Al-Mg-Mn-Sc-Zr, содержание его >0,001 значительно снижает технологические характеристики при литье слитков и горячей деформации.
3. В диссертационной работе, тексте автореферата имеется ряд технических ошибок и опечаток, не затрагивающих суть диссертации.
4. Не приведены значения коррозионной стойкости деформированных полуфабрикатов полученных из слитков, подвергнутых экспериментальной температуре отжига.

Высказанные замечания не снижают общего положительного впечатления, работа очень четко очерчивает достигнутое и не менее четко указывает дальнейшие пути развития.

Заключение

Полученные результаты соответствуют цели и задачам диссертационной работы и отражены в 20 публикациях, из которых 8 – в рецензируемых изданиях, включенных в Перечень ВАК. Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертации, выводы и положения, выносимые на защиту.

В целом диссертационная работа Резника П. Л. логична по структуре, грамотно написана и аккуратно оформлена, является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные решения, имеющие существенное значение в области металловедения и термической обработки алюминиевых сплавов, и направленные на расширение областей их использования.

Считаю, что диссертация Резника П. Л. полностью соответствует паспорту специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, в

том числе, п. 1 – Изучение взаимосвязи химического и фазового составов, в том числе диаграммами состояния с физическими, механическими, химическими и другими свойствами сплавов; п. 2 – Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях; п. 3 – Теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов; п. 6 – Разработка новых и совершенствование существующих технологических процессов объемной и поверхностной термической, химикотермической, термомеханической и других видов обработок, связанных с термическим воздействием.

Диссертация «Влияние параметров обработки на структуру и механические свойства слитков и полуфабрикатов алюминиевых сплавов систем Al-Mg-Mn-Sc-Zr и Al-Cu-Mg-Si» соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, а её автор Резник Павел Львович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Доктор технических наук, Сергей Михайлович Можаровский
ведущий научный сотрудник
лаборатории пучковых воздействий.
ФГБУН Институт электрофизики
Уральского отделения Российской академии наук
620016, Россия, г. Екатеринбург,
ул. Амундсена, 106
Тел. 8 (343) 267-87-96
e-mail: sm.kumtk@gmail.com

Подпись Можаровского С.М. удостоверяю
Ученый секретарь
ФГБУН Институт электрофизики
Уральского отделения Российской академии наук
620016, Россия, г. Екатеринбург
Кандидат физ.-мат. наук Е.Е. Кокорина