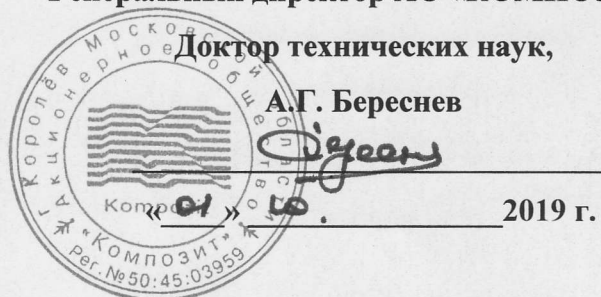


УТВЕРЖДАЮ:
Генеральный директор АО «КОМПОЗИТ»,



О Т З Ы В

ведущего предприятия на диссертационную работу Мочуговского Андрея Геннадьевича
“Особенности распада твердого раствора и сверхпластичность магналиев, легированных
цирконием, марганцем и эрбием”, представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности

05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов».

Диссертационная работа А. Г. Мочуговского посвящена решению актуальной проблемы - установлению закономерностей распада пересыщенных Zr, Er и Mn твердых растворов на основе алюминия в зависимости от режимов термической обработки, а также в определении оптимальных составов и параметров обработки, обеспечивающих улучшенные показатели сверхпластичности и прочностные характеристики в листах сплавов на основе системы Al-Mg. Исследование процессов распада пересыщенных твердых растворов является одним из актуальных направлений исследований в области алюминиевых сплавов, так как дает понимание об эффективности различных дисперсоидообразующих элементов и особенностях термической обработки легированных ими твердых растворов с точки зрения повышения эксплуатационных свойств и показателей сверхпластичности алюминиевых сплавов. Кроме того, исследование в данной области имеет важную практическую значимость, так как полученные в ходе работы результаты приближают нас к решению важной задачи – замены дорогостоящего скандия в алюминиевых сплавах на более дешевые аналоги.

Один из основных результатов диссертационной работы - выявление особенностей распада пересыщенного твердого раствора в Zr-содержащих магналиях, в том числе, дополнительно легированных Sc, Mn и Er, а также установление влияния режимов отжига литых образцов на изменение твердости, параметры выделяющихся дисперсоидов, зеренную структуру, механические свойства и показатели сверхпластичности листов исследуемых сплавов. Автором показаны условия прохождения прерывистого и непрерывного распада, проанализировано влияние параметров термообработки на размер и морфологию продуктов распада, убедительно продемонстрирована эффективность двухступенчатой термической обработки с точки зрения обеспечения повышенных механических свойств и показателей сверхпластичности как в сплавах с Zr, так и в сочетании Zr с Mn или Er. Также решена вторая важная задача работы, а именно, предложены сплавы систем Al-Mg-Zr и Al-Mg-Er-Zr для плакирования высокопрочного сплава с высокоскоростной сверхпластичностью.

Диссертационная работа А. Г. Мочуговского состоит из 5 глав. В первой – обзоре литературных данных – дается критический анализ опубликованных результатов по теме

диссертации. Обзор является весьма полным и хорошо отражает современную ситуацию с состоянием изучаемой проблемы. Следует отметить, что обсуждены работы как российских ученых, так и зарубежных, где также широко ведутся работы в области структуры и свойств новых алюминиевых сплавов.

Из второй главы, где рассматриваются объекты и методы их исследования, следует, что автором был использован широкий комплекс прямых методов анализа структуры и механических свойств. Важно отметить, что эксперименты проводили с использованием самого современного оборудования. Все это создало основу для получения достоверных и воспроизводимых результатов, обеспечивающих надежность сделанных в работе выводов.

В третьей главе детально рассмотрен сплав Al-3%Mg-0.25%Zr. Проведено сравнение процессов распада твердого раствора в сплаве посредством просвечивающей электронной микроскопии и анализа кинетических кривых твердости после одноступенчатого и двухступенчатого отжигов слитка. Проанализирована кинетика рекристаллизации, результаты испытаний механических свойств при комнатной температуре и показатели сверхпластичности.

Показано, что использование двухступенчатого отжига обеспечивает повышение термической стабильности структуры по сравнению с одноступенчатыми режимами отжига, более высокие показатели прочности листов по сравнению с одноступенчатыми режимами без снижения пластичности и сверхпластичное состояние при повышенных скоростях деформации в интервале $(0,2 \div 5) \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$. Результаты, представленные в главе 3, явились необходимой базой для понимания процессов распада в Zr-содержащих сплавах. Основываясь на них, удалось обосновать результаты, полученные в четвертой главе диссертации.

В четвертой главе проанализировано влияние Sc, Er и Mn на распад пересыщенного Zr-содержащего твердого раствора в сплаве Al-3%Mg. Показано, что основной эффект добавки скандия состоит в ускорении процесса распада твердого раствора с Sc и Zr по сравнению со сплавами, содержащими только Zr. При этом добавка циркония может являться не менее эффективной для улучшения свойств листов, чем скандий, но при более длительной и двухступенчатой термической обработке. Показан высокий потенциал совместной добавки Er и Zr с точки зрения повышения механических свойств и показателей сверхпластичности. Интересным научным результатом, представленным в данной главе, является показанная автором возможность получения квазикристаллических выделений Mn-содержащей фазы при термической обработке литых заготовок исследуемых сплавов. Квазикристаллические дисперсоиды имеют высокий потенциал в упрочнении и повышении термической стабильности структуры алюминиевых сплавов, что может иметь важное значение для промышленных Mn-содержащих алюминиевых сплавов.

В пятой главе успешно проведена апробация анализируемых сплавов в качестве плакирующих материалов для высокопрочного сверхпластичного сплава Al-4Zn-4Mg-3Ni-0,8Cu-0,25Zr с пониженной коррозионной стойкостью. Получены плакированные экспериментальные образцы, проведены микроструктурный анализ листов, механические и коррозионные испытания, определены показатели сверхпластичности плакированных листов. Показана возможность использования плакированных листов для получения изделий методом сверхпластической формовки.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. На кинетику распада пересыщенного твердого раствора должна оказывать влияние скорость охлаждения при литье, в связи с этим для практического использования полученных результатов было бы целесообразно сравнить полученные закономерности распада пересыщенных твердых растворов при разных условиях кристаллизации.
2. В алюминиевых сплавах Zr является поверхностно-активным элементом, который образует сегрегацию на границах зерен и оказывает существенное

влияние на состояние границ и свойства всего материала, что особенно важно для мелкозернистых поликристаллов (см., например, *V.I. Razumovskiy et al., Scripta Materialia* 65 (2011) 926-929; *Acta Materialia* 82 (2015) 369-377). Эта особенность поведения Zr в исследованных автором алюминиевых сплавах в работе не рассмотрена, что вызывает сожаление.

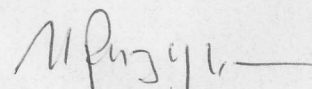
3. Автором не обоснован выбор температурного интервала гомогенизации исследуемых сплавов, которую проводили при относительно низких температурах, несмотря на то, что гомогенизацию слитков традиционно проводят при более высоких температурах.
4. Все микроструктурные исследования плакированных листов проведены на образцах, подвергнутых одноосному растяжению, в то время как разработанный материал предназначен для сверхпластической листовой формовки, а микроструктурные изменения могут отличаться в условиях двухосного растяжения.

Сформулированные автором основные выводы по работе являются новыми и представляются достоверными и хорошо обоснованными. Результаты диссертационной работы опубликованы в 7 статьях, входящих в список рекомендованных ВАК для кандидатских диссертаций и 4 сборниках трудов конференций, получен 1 патент на изобретение. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации.

В целом, диссертация выполнена на высоком научном уровне и соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным "Положением о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС»", а её автор А. Г. Мочуговский заслуживает присвоения искомой степени по специальности 05.16.01 - «Металловедение и термическая обработка металлов».

Диссертация была заслушана и обсуждалась на Научно-техническом Совете АО «Композит» 01 октября 2019 г. На НТС присутствовало 32 человека, из них докторов наук – 5 человек, кандидатов наук - 18 человек.

Ученый секретарь НТС АО «Композит»,
Главный научный сотрудник,
д. ф.-м. н., профессор



Разумовский И.М.