

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Сперанского К.А.** «Разработка количественных методов оценки текстуры и анизотропии свойств магниевых сплавов методом обратных полюсных фигур», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1– Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность работы.

Развитие авиакосмической техники, приборостроения, автомобильной промышленности и других отраслей машиностроения требует использования в конструкциях качественно новых легких и высокопрочных материалов, отличающихся высокими эксплуатационными свойствами, и более совершенными технологиями получения из них полуфабрикатов и изделий. К таким материалам относится деформируемые магниевые сплавы. Главным достоинством этих сплавов перед другими конструкционными материалами является малая плотность магния, что позволяет облегчить металлические конструкции, в частности, в авиации, ракетной техники и на транспорте. Из деформируемых магниевых сплавов изготавливают детали автомобилей и самолётов, а в последние годы магниевые сплавы стали широко применяться в электронной промышленности, приборостроении и медицине.

Вместе с тем, магниевые сплавы имеют ряд серьезных недостатков, прежде всего это анизотропия прочностных характеристик, приводящая к низкому пределу текучести на сжатие вдоль направления вытяжки пресованных профилей, что ограничивает применение магниевых сплавов в условиях знакопеременных нагрузок; относительно низкая технологическая пластичность, обусловленная выраженной базисной текстурой и дефицитом легких систем скольжения, а также низкие характеристики стойкости к коррозии и возгоранию.

Для того, чтобы снизить анизотропию механических свойств магниевых сплавов используют легирование РЗМ и литием. Однако эти легирующие усложняют процессы формирования текстуры и анизотропии свойств, что требует применения простых и надежных методов контроля этих характеристик, к каковым относится метод обратных полюсных фигур (ОПФ). Достоинством метода является простота его реализации и возможность рассчитывать анизотропию свойств непосредственно из количественных ОПФ. Принципиальным недостатком метода является

ограниченность количества экспериментальных рефлексов, что должно негативно сказываться на точности оценки любых характеристик текстуры и анизотропии свойств.

В этой связи актуальной является диссертационная работа Сперанского К.А., в которой решаются задачи оценки точности определения коэффициентов Кернса, ТКЛР и модулей Юнга гексагональных металлов и сплавов в зависимости от количества рефлексов на ОПФ, а также реализации развитых подходов для интерпретации эффектов анизотропии прочностных и коррозионных характеристик магниевых сплавов.

Общая характеристика работы

В диссертации уточнены нормировочные коэффициенты для 17 рефлексов на ОПФ, число которых соответствуют количеству экспериментальных рефлексов для титана в медном излучении и вновь рассчитаны нормировочные коэффициенты для 20 рефлексов, которые соответствуют количеству экспериментальных рефлексов в медном излучении для магния и циркония. Оценивали точность определения коэффициентов Кернса, ТКЛР и модулей Юнга в зависимости от количества рефлексов на стереографическом треугольнике с использованием трех различных вариантов усреднения на ОПФ, первый из которых не учитывают неравномерность распределения экспериментальных рефлексов на сфере проекций, второй и третий варианты учитывают эту неравномерность с помощью нормировки по Моррису и факторам повторяемости соответственно.

Для магниевых сплавов Mg-Al-Zn (MA2-1), Mg-Zr-Zn (MA14) и Mg-5Li-3Al определяли относительные значения критических приведенных напряжений сдвига (КПНС) для действующих систем скольжения и двойникования. На этой основе были рассчитаны параметры анизотропии, которые используются в критерии текучести Хилла для анизотропных материалов, построены контуры текучести, оценен вклад в анизотропию сплавов эффектов текстурной и монокристалльной анизотропии. В заключительной, 5-ой главе диссертации исследовали влияние на коррозионные свойства сплавов MA14, MA2-1 и MA12(Mg-Nd-Zr) количественных характеристик текстуры и фазового состава.

Научная новизна.

Наиболее важным научным результатом работы является найденное методическое решение, позволившее впервые оценить точность оценки коэффициентов Кернса, ТКЛР и модулей Юнга при использовании ОПФ в зависимости от количества экспериментальных рефлексов на полюсной

фигуре. Диссертант использовал при этом простой, но достаточно убедительный способ, основанный на использовании аналитического описания полюсной плотности для произвольной ориентации, которая соответствует точке с определенными координатами на ОПФ. Это позволило провести сопоставление результатов усреднения текстурных параметров и свойств для экспериментальных ОПФ с 17 фиксированными ориентациями (рефлексами) и для теоретических ОПФ, в которых угловой интервал между ориентациями может быть выбран произвольно. Расчеты для угловых интервалов от 10° до $0,5^\circ$ показали, что, уже начиная, от интервала в 2° разница в результатах становится незначительной и это значение можно принять за истинное и использовать для оценки точности для экспериментальных ОПФ с 17 ориентациями.

Другим важным результатом диссертационной работы является использование для описания анизотропии прочностных свойств сплавов магния макроскопического критерия текучести Хилла. При этом параметры анизотропии для этого критерия определяли на основании относительных значений КПНС, рассчитывали для каждого из сплавов MA2-1, MA14 и Mg-5Li-3Al. Такой подход позволяет использовать преимущества макроскопического и микромеханического (текстурного) Макроскопический критерий позволяет оценить прочность при любом виде напряженного состояния, а микромеханический оценить вклад в анизотропию прочностных свойств текстурного фактора и фактора монокристалльной анизотропии, которая определяется отношением КПНС для действующих в каждом из сплавов систем скольжения и двойникования. Эти отношения вычисляли для каждого сплава приравнивая отношения пределов текучести для двух направлений прессованного прутка каждого сплава к отношениям усредненных по всем ориентировкам на ОПФ величин ориентационных факторов для тех же двух направлений прутка. Показано, что наиболее выраженной монокристалльной анизотропией прочностных свойств из исследованных трех сплавов обладает сплав MA2-1, затем следует сплав MA14, а сплав Mg-5Li-3Al близок к изотропному состоянию даже при наличии достаточно выраженной текстуры. Для этих сплавов на основании критерия Хилла были построены контуры текучести, анализ которых показал, что для исследованных сплавов вклад в анизотропию прочностных свойств от монокристалльной анизотропии существенно превышает вклад от текстурного фактора.

Практическая значимость работы.

Практически важным результатом для исследований текстуры металлов и сплавов с гексагональной решеткой методом ОПФ являются полученные в работе уточненные нормировочные коэффициенты по Моррису. При этом показано, что эти коэффициенты, которые учитывают неравномерность распределения рефлексов на ОПФ полезны не только для построения ОПФ, а также для повышения точности расчетов коэффициентов Кернса, ТКЛР и модулей Юнга. Нормировка по Моррису была первоначально предложена для вычисления нормировочных коэффициентов при построении количественных ОПФ и ее использование было достаточно ограничено, поскольку не было очевидным ее преимущество по сравнению с обычной нормировкой по Мюллеру, которой пользовались в большинстве случаев при построении ОПФ. В диссертации было убедительно показано, что при расчетах коэффициентов Кернса, ТКЛР, модулей Юнга нормировка по Моррису позволяет значительно повысить точность всех расчетов.

Анализ контуров текучести, построенных с учетом различий в монокристалльной анизотропии сплавов МА2-1, МА14 и Mg-5Li-3Al показал, что листы с базисной текстурой имеют преимущество в прочностных показателях по сравнению с прутками с призматической текстурой при изготовлении из них трубчатых изделий, работающих в условиях внутреннего давления.

Практически важные результаты получили при исследовании влияния фазовых превращений и текстуры на коррозионные характеристики магниевых сплавов. Показано, что текстура не оказывает существенного влияния на коррозионное поведение сплавов, при этом обнаружено, что на коррозионные свойства магниевых сплавов могут оказывать влияние знак и величина остаточных напряжений, вызванных объемным эффектом при выделении интерметаллидных фаз. Низкие коррозионные свойства сплава МА14 могут быть связаны с большим отрицательным объемным эффектом при выделении $MgZn_2$ фазы в этом сплаве и соответственным формированием растягивающих напряжений, которые способствуют коррозионной деградации материала.

Достоверность результатов и выводов.

Достоверность и обоснованность установленных в работе закономерностей и выводов о влиянии состава магниевых сплавов на действующие в них механизмы деформации и анизотропию свойств не вызывает сомнения, поскольку диссертант использует в своих экспериментальных исследованиях и их интерпретации современные

научные и методические подходы, совершенствованию которых в работе уделяется большое внимание.

Замечания по работе

1. Для идентификации действующих в сплавах механизмов деформации в диссертации использовали исключительно рентгеновский метод, при этом использование методов просвечивающей электронной микроскопии сделало бы результаты этой части работ более убедительными.
2. В качестве объектов исследования в 3-ей главе использовали расчеты ТКЛР для циркония и модулей Юнга для титана, в 4-ой главе рассчитывали отношения КПНС для сплавов Mg-Al-Zn, Mg-Zn-Zr и Mg-Li-Al, а в 5-ой исследовали влияние текстуры на коррозионные свойства сплавов Mg-Al-Zn, Mg-Zn-Zr и Mg-Nd-Zr, при этом практически отсутствует обоснование такого разнообразия объектов исследования.
3. Оценка отношений КПНС для действующих систем сдвига осуществляли на основании результатов механических испытаний, расчетов ориентационных факторов с учетом текстурных данных. Если процедура расчетов представлена в диссертации и автореферате даже излишне подробно, то механические испытания и их результаты приведены только в табл.4.2.диссертации, причем в ней отсутствуют сами величины пределов текучести, а даны только их отношения для каждого из трех сплавов.
4. В диссертации утверждается, что пониженные коррозионные свойства сплава МА14, которые обнаружены в работе, а также другими авторами могут быть связаны с большим отрицательным объемным эффектом, который рассчитан для выделения $MgZn_2$, что приводит к растягивающим остаточным напряжениям и соответственно снижению сопротивления коррозионному воздействию. Однако экспериментальных доказательств наличия растягивающих напряжений не приведено, что снижает убедительность предложенной интерпретации.

Сделанные замечания имеют дискуссионный или уточняющий характер и не снижают общей высокой оценки диссертации. Диссертационная работа Сперанского К.А. выполнена на высоком научно-техническом уровне. Она представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно-обоснованные технические, технологические и методические решения сравнительной оценки точности определения параметров текстуры и анизотропии физических и механических свойств в зависимости от количества рефлексов на ОПФ для ГП металлов, а также реализации

развитых методик для исследования влияния химического состава сплавов на механизм деформации и анизотропию свойств магниевых сплавов.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 5 научно-технических конференциях, опубликованы в 8 печатных работах, в том числе 6 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, из которых 3 статьи входят в Международную систему научного цитирования Scopus. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в авиакосмической отрасли, электронике и медицине. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Сперанский Константин Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент Мартыненко Наталья Сергеевна
Научный сотрудник лаборатории металловедения цветных и легких металлов, Федеральное государственное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН

Канд. техн. наук

Мартыненко Наталья Сергеевна

Подпись Мартыненко Н.С. удостоверяю,

Начальник отдела кадров ИМЕТ РАН

Корочкина Г.А.

Федеральное государственное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН

Дата 17.11.2021

Телефон, 8 (499) 135-94-24

Адрес электронной почты nata_roug@mail.ru