

15.11.2021

№ Исх. № 05-19/1-100

На №

от

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке УрФУ

Германенко А.В.

2021г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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

Актуальность работы

Магниевые сплавы широко используются в аэрокосмической отрасли, электронике, автомобилестроении и медицине. Однако до сих пор в основном в виде литья, в значительной степени из-за высокой анизотропии деформированных полуфабрикатов. Для магниевых сплавов анизотропия механических свойств обусловлена кристаллографической текстурой. Это прежде всего относится к интенсивной базисной текстуре, которая формируется в сплавах магния практически при любых температурных режимах прокатки, что особенно отрицательно сказывается на технологичности при операциях глубокой вытяжки.

Необходимо подчеркнуть, что анизотропия механических свойств характерна и для других конструкционных металлов с гексагональной решеткой, таких как Ti и Zr, однако в них она менее выражена. Связано это с тем, что для последних наиболее предпочтительными являются три системы призматического скольжения в плотноупакованном направлении, а для магния всего одна система базисного скольжения. Поэтому для Mg значительно больше ориентаций, в которых требуется активация систем

с более высокими критическими напряжениями сдвига и соответственно более выражен эффект несовместности деформаций по границам зерен поликристалла, что является причиной его пониженной пластичности. Для Mg проблема анизотропии свойств и текстуры имеет более сложный характер по сравнению с полиморфными металлами Ti и Zr, для которых можно получить практически бестекстурное состояние с помощью многовариантного фазового превращения.

Применительно к Mg сплавам единственная возможность управления анизотропией свойств связана с легированием, которое может видоизменять монокристалльную анизотропию, изменяя соотношения критических напряжений сдвига для действующих систем скольжения и двойникования. Одной из важных задач оптимизации состава и технологии обработки полуфабрикатов магниевых сплавов в плане управления текстурой и анизотропией физических и механических свойств является разработка простых и надежных методов оценки текстуры и анизотропии свойств на основе количественных текстурных данных. Известно, что проще всего получать эти данные из обратных полюсных фигур (ОПФ), которые широко используются в заводских и исследовательских лабораториях, при этом принципиальным недостатком этого метода является ограниченность количества экспериментальных точек на сфере проекций.

В этой связи является актуальной диссертационная работа Сперанского К.А., в которой поставлена задача оценки точности определения параметров текстуры и анизотропии свойств в зависимости от количества экспериментальных рефлексов на ОПФ и реализация развитых методик для интерпретации эффектов анизотропии прочностных и коррозионных характеристик магниевых сплавов.

Общая характеристика работы

В диссертации определены нормировочные коэффициенты для построения ОПФ и расчета коэффициентов Кернса, ТКЛР и модулей Юнга для текстурированных ГП металлов. Развита методика для оценки точности определения текстурных коэффициентов Кернса, ТКЛР и модулей Юнга в зависимости от количества рефлексов на стереографическом треугольнике с использованием трех различных вариантов усреднения на ОПФ, которые учитывают или не учитывают неравномерность распределения экспериментальных рефлексов на сфере проекций.

С помощью вычисления ориентационных факторов для различных систем скольжения и двойникования, сопоставления их отношений с анизотропией прочностных свойств определяли относительные значения критических приведенных напряжений сдвига для действующих систем скольжения и двойникования для текстурированных прессованных прутков из магниевых сплавов MA2-1, MA14 и Mg-5Li-3Al.

На основе данных об относительных значениях критических приведенных напряжений сдвига для действующих систем скольжения и двойникования рассчитаны для этих сплавов в рамках критерия анизотропной текучести Хилла параметры анизотропии, построены контуры текучести. Исследовали влияние на коррозионные свойства сплавов МА14, МА2-1 и МА12 количественных характеристик текстуры и фазового состава.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы Сперанского К.А. заключается в том, что для текстурированных металлов и сплавов с ГП решеткой определены нормировочные коэффициенты, необходимые для построения ОПФ, расчета коэффициентов Кернса, ТКЛР и модулей Юнга, а также других определяемых текстурой характеристик. При этом уточнены нормировочные коэффициенты для 17 рефлексов на ОПФ, число которых соответствуют количеству экспериментальных рефлексов в медном излучении для титана. Кроме того, вновь рассчитаны нормировочные коэффициенты для 20 рефлексов, которые соответствуют количеству экспериментальных рефлексов в медном излучении для магния и циркония, для которых до сих пор при построении ОПФ использовали 17 рефлексов.

Впервые проведена оценка точности определения коэффициентов Кернса, ТКЛР и модулей Юнга в зависимости от количества экспериментальных рефлексов на ОПФ для трех вариантов усреднения на ОПФ с учетом неравномерности расположения рефлексов на стереографическом треугольнике по Моррису, по фактору повторяемости и с одинаковым весом каждой ориентировки. Оценить точность определения параметров текстуры и физических свойств из ОПФ удалось осуществить благодаря представлению текстуры в виде аналитической функции от ориентировки, что позволило сопоставить расчетные величины для количества рефлексов на экспериментальных ОПФ (17 или 20) и для произвольного количества рефлексов. Расчеты показали, что при угловом интервале между рефлексами $<2^{\circ}$ величина расчетного параметра практически не меняется и эту величину можно принять за точное значение и исходя из этого оценить величину ошибки для экспериментальных ОПФ с 17 или 20 рефлексами. Сопоставление трех способов усреднения показало, что усреднение по Моррису, учитывающее неравномерность рефлексов на сфере проекций дает значительно большую точность по сравнению с другими вариантами усреднения.

Для прессованных текстурированных прутков из магниевых сплавов МА2-1, МА14 и Mg-5Li-3Al с помощью сопоставления отношения пределов текучести для двух направлений прутков и относительных значений ориентационных факторов для тех же направлений с учетом текстуры определены относительные значения критических

приведенных напряжений сдвига (КПНС) для действующих систем скольжения и двойникования. Показано, что наиболее выраженной монокристалльной анизотропией прочностных свойств из исследованных трех сплавов обладает сплав МА2-1, для которого КПНС для $\{10\bar{1}2\}\langle 10\bar{1}1\rangle$ -двойникования и $\langle \bar{c} + \bar{a} \rangle$ -скольжения выше, чем для базисного скольжения, в 1,7 и 2,2 раза соответственно, а для сплава МА14 – в 1,5 и 1,8 раза; при этом в сплаве Mg–5Li–3Al двойникование отсутствует, а деформация осуществляется кроме базисного также призматическим скольжением, величина КПНС для которого в 1,4 раза выше, чем для базисного скольжения.

Практическая значимость работы

Оценка погрешностей при использовании различных вариантов усреднения значений ТКЛР, модуля Юнга и коэффициентов Кернса для ГП металлов позволяет повысить точность оценки этих характеристик за счет использования усреднения по Моррису, которое до настоящего времени использовали только для нормировки полюсной плотности, но не использовали при усреднении свойств, где эффект от его применения значительно выше.

Для текстурированных сплавов магния МА2-1, МА14 и Mg–5Li–3Al в рамках критерия текучести Хилла, рассчитаны коэффициенты анизотропии и построены контуры текучести. Показано, что для исследованных сплавов вклад в анизотропию прочностных свойств от монокристалльной анизотропии существенно превышает вклад от текстурного фактора.

Анализ контуров текучести для 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.

Исследования коррозионных характеристик для магниевых сплавов МА2-1 и МА14 на образцах, отличающихся кристаллографическими ориентировками показали отсутствие зависимости коррозионных характеристик от текстуры. Для этих сплавов оценены объемные эффекты выделения интерметаллидных фаз и показано, что низкие показатели коррозионной стойкости сплава МА14, обнаруженные нами и другими исследователями возможно связана с высоким отрицательным эффектом выделения MgZn₂-фазы (-0,46% на 1% выделившейся фазы), что значительно превышает эти значения в сплаве МА2-1 (+0,072%) и МА12 (-0,036%).

Достоверность результатов и выводов

Обоснованность установленных в работе количественных закономерности влияния химического состава магниевых сплавов на действующие в них механизмы деформации и

относительные значения критических приведенных напряжений сдвига не вызывает сомнений, поскольку автором тщательно и на современном методическом и научном уровнях проводится сопоставление экспериментальных значений анизотропии прочностных свойств и ориентационных факторов прочности с использованием количественных полюсных фигур и расчетных методов. Достоверность метода прогнозирования прочности текстурированных магниевых сплавов при различных видах напряженного состояния не вызывает сомнений, поскольку параметры анизотропии оцениваются на основании количественных ОПФ и известных критериев Хилла для анизотропных материалов, к которым без сомнения относятся текстурированные магниевые сплавы.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. Анизотропию механических свойств в диссертации интерпретируют исключительно с позиций наличия текстуры и особенностей механизма деформации, при этом игнорируется механическая текстура, обусловленная вытянутостью зерен твердого раствора и интерметаллидных частиц в направлении вытяжки, которая может внести коррективы в расчетные значения КПНС для исследованных сплавов.
2. Оценка относительных значений КПНС для действующих систем скольжения и двойникования в диссертации осуществлялась из экспериментов на текстурированных поликристаллах на основании сопоставления отношений ориентационных факторов с отношением пределов текучести в соответствующих направлениях. Однако использование современных методик идентификации механизмов с помощью ПЭМ могли бы сделать полученные выводы более обоснованными.
3. В главе 4 исследовали механизм деформации и параметры анизотропии для сплавов MA2-1, MA14 и Mg-5Li-3Al, а в главе 5 изучали влияние текстуры и фазовых превращений на коррозионные характеристики для сплавов MA2-1, MA14 и MA12. Чем объясняется замена сплава с литием на сплав системы Mg-Nd-Zr при изучении корреляций структурных и коррозионных характеристик.
4. При исследовании зависимости от текстуры и фазового состава коррозионных характеристик сплавов магния использовали только потенциостатические испытания и не использовали испытания на общую коррозию, которые дают более адекватные результаты, а также, почему ограничились построением только анодной ветви потенциостатической кривой.

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 и технологические решения оценки точности определения параметров текстуры и анизотропии свойств в зависимости от количества экспериментальных рефлексов на ОПФ и реализации усовершенствованных методик для интерпретации эффектов анизотропии прочностных и коррозионных характеристик магниевых сплавов, а также анизотропии физических свойств для Ti и Zr.

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 технике 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.

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры «Термообработка и физика металлов» ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» протокол № 11 от 10 ноября 2021 года. На заседании присутствовало 31 членов из 36. Результаты голосования: «за» - 31, против – нет, воздержавшихся - нет.

Зав. Кафедрой
«Термообработка и физика металлов»
д.т.н., профессор

Попов Артемий Александрович

620002, Уральский федеральный округ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Мира, 19
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
Электронный адрес: <https://urfu.ru>
Телефон: +7 (343) 375-44-44