

Проект «Природа эффекта упругой нелинейной разгрузки магниевых сплавов»

Аннотация проекта

Проект направлен на исследование природы эффекта упругого нелинейного разгружения магниевых сплавов, оказывающего отрицательное влияние на их усталостные свойства. Снижение массы при сохранении прочностных свойств конструкции является приоритетным требованием во многих отраслях экономики, поэтому магниевые сплавы, обладающие высокой удельной прочностью, рассматриваются как особо перспективные в аэрокосмической, транспортной, электротехнической и медицинской отраслях. Однако к числу факторов, сдерживающих их широкое применение в конструкциях различного назначения, относятся эффекты упругой нелинейной разгрузки и асимметрии деформационного поведения. Научная новизна проекта заключается в определении элементов эволюции микроструктуры, отвечающих за нелинейное поведение на этапе разгружения. Для этого запланированы исследования, включающие *in-situ* испытания образцов на сжатие и растяжение в колонне электронного микроскопа в сочетании с современными аналитическими методами: растровая электронная микроскопия, анализ дифракции обратноотраженных электронов и акустической эмиссии (SEM+EBSD+AE). Эффект упругого нелинейного разгружения является одной из причин неудовлетворительного сопротивления усталостному разрушению, сильно ограничивающее применение магниевых сплавов. Результатом исследования является описание микроструктурных причин и условий, которые формируют эффект нелинейного разгружения, знание которых позволит предложить способы технологической обработки перспективных магниевых сплавов с улучшенными характеристиками сопротивлению усталости.

Ожидаемые результаты и их значимость

1. Подробное описание и карты микроструктуры в трех плоскостях для образцов в исходном состоянии. Карты микроструктуры исследуются с применением растровой электронной микроскопии и анализа ДОО (EBSD) и рентгеноструктурного микроанализа (EDS).
2. Механические характеристики, серии диаграмм $\sigma(\epsilon)$, для различных параметров испытаний (направление деформации: растяжение и сжатие; при различных скоростях деформации в прямом и обратном направлениях), демонстрирующие наличие эффекта нелинейной разгрузки с количественной оценкой влияния направления и скорости деформации.
3. Результат анализа кластеризации спектральных характеристик сигнала акустической эмиссии, определение временных интервалов изменений характеристик деформационного процесса.
4. Экспериментальные данные, содержащие характеристики и временные зависимости параметров нагружения/разгружения образца магниевого сплава и карт микроструктуры, полученные с поверхности образца находящегося в деформированном состоянии под напряжением с точной привязкой по времени и деформации.
5. Описание и количественные характеристики изменения микроструктуры, размер и форма зерна, статистика кристаллографических разориентировок зерен на границах и т. п. Описание иных форм изменения микроструктуры, фактически зарегистрированных в эксперименте.

Научная проблема, на решение которой направлен проект

При разгрузке магния и его сплавов после предварительного растягивающего нагружения наблюдается значительная упругая, но нелинейная доля деформации, природа которой до

настоящего времени не выяснена. Эффект нелинейной разгрузки в совокупности с асимметрией поведения при растяжении и сжатии негативно сказывается на усталостной прочности магниевых сплавов, которые в силу своего малого веса в настоящее время рассматриваются в качестве наиболее перспективных материалов для применения в транспортных системах и, прежде всего в авиации, где высокие свойства сопротивления усталости особенно важны. В связи с этим, проект направлен на изучение микроструктурных особенностей деформации магния и магниевых сплавов, ответственных за эффект нелинейной разгрузки, с целью выяснения его природы.

Научная значимость и актуальность решения обозначенной проблемы

Магниевого сплавы считаются материалами XXI века, так как обладают превосходной по сравнению с другими металлическими материалами удельной прочностью. Снижение массы при сохранении прочностных свойств конструкции является приоритетным требованием во многих отраслях экономики, поэтому магниевые сплавы рассматриваются как особо перспективные в аэрокосмической, транспортной, электротехнической и медицинской отраслях. Однако к числу факторов, сдерживающих их широкое применение в конструкциях различного назначения, относится сложное деформационное поведение магниевых сплавов, обладающих ГПУ кристаллической решеткой, в том числе, проявляющееся в эффектах упругой нелинейной разгрузки и асимметрии деформационного поведения. Оба эти эффекта существенно осложняют производство полуфабрикатов из магниевых сплавов методами обработки металлов давлением и ухудшают работу изделий, эксплуатирующихся в условиях циклических или вибрационных воздействий приложенных нагрузок.

Установление современными аналитическими методами: растровая электронная микроскопия, анализ дифракции обратноотраженных электронов и акустической эмиссии (SEM+EBSD+AE), микроструктурных причин и условий, формирующих эффект нелинейного упругого разгружения, позволит улучшить понимание физики деформационного поведения магния и магниевых сплавов и на этой основе предложить способы технологической обработки магниевых сплавов с целью повышения их характеристик сопротивления усталости.

Конкретная задача в рамках проблемы, на решение которой направлен проект, ее масштаб и комплексность

Конкретной задачей, на решение которой направлен проект, является выяснение природы эффекта упругой нелинейной разгрузки, который оказывает негативное влияние на усталостные свойства перспективных магниевых сплавов.

Решение указанной задачи основывается на исследовании микроструктуры и кристаллографической текстуры напряженного образца на этапе нелинейной разгрузки. В качестве основного микроструктурного фактора нелинейного поведения при разгрузке при анализе эволюции микроструктуры предлагается оценить работу систем двойникования и раздвойникования, как наиболее существенных в деформационном поведении ГПУ материалов. В качестве вторичных факторов нелинейного поведения при разгрузке предполагаются: 1) работа различных (в различных кристаллографических плоскостях: базовой, призматической, пирамидальной) систем скольжения; 2) деформация на границах зерен.

Снижение роли эффекта упругой нелинейной разгрузки в совокупности с эффектом асимметрии позволит значительно улучшить усталостные свойства магниевых сплавов, перспективных для ответственных узлов авиакосмической техники.

Научная новизна исследования заключается в уникальном подходе по регистрации эволюции микроструктуры на этапе нелинейного разгрузки, состоящего в одновременном применении следующих методов:

- механические испытания: сжатие и растяжение образцов металла в камере электронного микроскопа;
- контроль деформации образца с применением экстензометра и тензоэлемента;
- сканирующая электронная микроскопия образца в процессе растяжения/сжатия;
- анализ картин дифракции обратноотраженных электронов (EBSD) образца в процессе растяжения/сжатия: на время картирования деформация останавливается, но образец находится под механическим напряжением;
- акустическая эмиссия, in-situ мониторинг активности элементарных деформационных механизмов.

Совокупность обозначенных методов позволит с высоким уровнем детализации получить новые данные об изменении микроструктуры магниевого сплава на начальных этапах прямого деформирования и разгрузки, при этом контроль активности деформационных механизмов (скольжение, двойникование) будет осуществляться по сигналу акустической эмиссии, точно синхронизированному с деформационной кривой изображением поверхности деформируемых образцов.

Достижимость решения поставленных задач обеспечивается применением большого комплекса независимых друг от друга и одновременно дополняющих друг друга современных исследовательских методов, владение каждым из которых в лабораториях исполнителя надежно апробировано ранее при решении других задач.