

НЕУПРУГИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Белоусов Н.Н.

Донецкий физико-технический институт им. А.А.Галкина НАН Украины
83114, Донецк, ул.Р.Люксембург, 72. E-mail: bil@hpress.dipt.donetsk.ua

Актуальность вопросов, связанных с изучением неупругих явлений в структурно – неоднородных материалах с неравновесными границами, основана на выборе и применении экстремальных схем деформации и соответствующих методов исследования. Выдвинута гипотеза, что для формирования объёмного нанофрагментированного состояния в деформированных материалах необходимо целенаправленное накопление в различных системах скольжения определённых видов деформации предельной величины.

Цель работы: изучить кинетику наноструктурных изменений, и термодинамические условия перехода материала с нанокристаллической структурой в равновесное состояние, после различных стадий накопления предельной пластической деформации в различных системах скольжения. Исследования проведены на наноструктурированных образцах высокоазотистой стали методом высокочастотного внутреннего трения в процессе изотермического отжига в температурной области аномального поведения неупругих свойств.

Обоснован выбор способа целенаправленного изменения структуры различных систем скольжения ГЦК материалов, основанный на накоплении комбинированной пластической деформации (НКПД) предельной величины, включающий гидропрессование и кручение. Показано, что НКПД в условиях высокого давления вызывает фрагментацию структуры в различных системах скольжения и способствует формированию объёмных наноструктурных элементов и их комплексов.

В рамках чувствительности метода высокочастотного внутреннего трения (ВВТ) относительно кинетических процессов, протекающих на структурно-дислокационном уровне при локализации деформации в приграничных зонах максимально деформированных зёрен аустенита высокоазотистой стали (АВАС), получены следующие результаты.

1. На температурной зависимости ВВТ в поле действия напряжения ультразвуковой волны продольной и поперечной поляризации, обнаружен максимум внутреннего трения. Показано, что максимум обусловлен активацией дефектов различных систем скольжения. По проявляющимся признакам максимум является деформационно-концентрационным, при динамическом отжиге- проявляет структурно-кинетический характер. Показано, что температура появления максимума ВВТ после накопления пластической деформации предельной величины, обусловлена термодинамической неустойчивостью дефектов в участках локализованной пластической деформации. Эта неустойчивость может быть связана с проявлением вязкого (неупругого) поведения структурных элементов (полосы скольжения, двойниковые границы, вновь образованные границы зёрен после динамической рекристаллизации и фрагментации и др.), появившихся в процессе НКПД кручения и локализованных в приграничных зонах наиболее активных зёрен. Показано, что уменьшение величины максимума в процессе изотермического отжига под нагрузкой свидетельствует: а) о протекании релаксационных (аккомодационных) процессов, вызывающих структурно-кинетические изменения внутри структурных дефектов, что сопровождается структурной релаксацией; б) о перераспределении атомов азота в приграничных зонах локализованной пластической деформации аустенита, что приводит к уменьшению вязкости образованных

границ структурных элементов деформационного происхождения (двойников), последнее сопровождается уменьшением неупругости структурных элементов (границ двойников) и термической стабильностью структуры.

2. Проведен отжиг под нагрузкой и осуществлена обработка кинетических кривых динамического отжига после НКПД кручения предельной величины. Исследована кинетика распада пересыщенного твердого раствора (на примере АВАС с $C_N=0.57\%N$): от образования атмосфер из примесных атомов на дислокациях в приграничных зонах наиболее деформированных зёрен, до образования наноразмерных выделений на внутренних структурных элементах - полосах локализованной пластической деформации.

3. Получены кривые амплитудно зависимо го трения (АЗВТ). Обнаружена узкая температурная область аномального поведения АЗВТ и фона ВВТ. Это позволило сделать предположение о возможности образования в приграничных зонах локализованной пластической деформации наноразмерной зонной структуры - нанодоменных двойниковых образований. Применение метода малоуглового рассеяния рентгеновских лучей (МУР) позволило обнаружить наличие зонной структуры (зон Гинье-Престона) в участках локализации пластической деформации, предсказанной данными АЗВТ и объяснить природу наноструктурного упрочнения АВАС после НКПД кручения.

4. Показано, что после НКПД кручения величина ВВТ в условиях динамического отжига достигает устойчивой величины после нескольких часов изотермической выдержки под нагрузкой при температуре максимума. Начальная скорость выделения азота (и закрепления структурных элементов в приграничных зонах) возростала в зависимости от величины НКПД кручения, степени пересыщения твердого раствора (концентрации), температуры выдержки и величины нагрузки при динамическом отжиге при постоянной температуре. Показано, что термодинамически устойчивая величина ВВТ, может быть мерой устойчивости азота, связанной с уменьшением структурной неупругости аустенита стали данного класса, а также завершающим этапом формирования устойчивой наноразмерной структуры в приграничных зонах локализованной пластической деформации.

5. Показано, что наблюдаемые кинетические изменения ВВТ при динамическом отжиге под нагрузкой после деформации АВАС методом НКПД кручения не могут быть обусловлены выпадением азота из твердого раствора: иначе наблюдалось бы увеличение ВВТ, а не уменьшение, как это видно из эксперимента. Кроме этого, наблюдаемые максимумы ВВТ не могут быть объяснены также одним временем релаксации с единственной энергией активации. Это означает, что атомам азота в ГЦК решетке предельно деформированного аустенита высокоазотистой стали после НКПД кручения энергетически более выгодно располагаться как в октаэдрических, так и в тетраэдрических положениях внедрения, что обуславливает появление широкого спектра структурных дефектов, локализованных в приграничных зонах деформированных зёрен.

6. Проведено построение и анализ кинетических кривых ВВТ после НКПД кручения предельной величины. Это позволило изучать начальные стадии зародышеобразования наноразмерных структурных элементов (при динамической рекристаллизации), локализованных в приграничных зонах максимально деформированных зёрен, а также проследить кинетику выпадения нитридных фаз в них из пересыщенного твердого раствора внедрения в процессе динамического отжига под нагрузкой. Это позволило определить пути перехода предельно дефектной максимально неравновесной наноструктуры в термодинамически равновесное состояние, характеризующееся повшенной релаксационной стойкостью и термической устойчивостью наноструктурного состояния деформационного происхождения.