

ОТЗЫВ

официального оппонента Астафуровой Елены Геннадьевны на диссертацию Тихоновой Марины Сергеевны «Рекристаллизационные процессы в аустенитной коррозионностойкой стали после больших пластических деформаций», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния

Формирование субмикrokристаллических и нанокристаллических структурных состояний при сочетании большой (интенсивной) пластической деформации и термической обработки обеспечивает проявление уникального сочетания физических свойств в металлических материалах. Это особенно важно для промышленно используемых металлов и сплавов, так как позволяет улучшить их технологические и эксплуатационные характеристики. Аустенитные коррозионностойкие стали на хромоникелевой основе относятся к важнейшему классу конструкционных материалов, и улучшение их свойств, несомненно, имеет практический интерес. Несмотря на колоссальный объем знаний о физических процессах, происходящих при термомеханической обработке сталей аустенитного класса, природа рекристаллизационных процессов, способствующих формированию субмикrokристаллических и нанокристаллических структурных состояний в них, описана не полностью. В связи с этим, тема диссертационной работы, посвященная установлению общих закономерностей и механизмов структурообразования в процессе деформации и последующего отжига аустенитной коррозионностойкой стали 10X18H8ДЗБР в широком интервале температур и степеней деформации и влияния формирующейся структуры на ее механические свойства и сопротивление коррозии, безусловно, обладает **новизной и актуальностью**.

Диссертационная работа состоит из введения, шести разделов, выводов и списка цитируемой литературы из 169 наименований. Общий объем работы составляет 138 страниц, включает 68 рисунков и 9 таблиц.

Во введении обоснованы актуальность темы диссертационной работы, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, сформулирована цель исследования, приведены положения, выносимые на защиту, сведения об апробации работы и публикациях автора.

В первом разделе диссертации представлен обзор литературы о методах интенсивной и большой пластической деформации, о закономерностях и механизмах деформации и динамической рекристаллизации в металлах и сплавах с гранецентрированной кубической решеткой (ГЦК), в том числе подвергнутых деформации до больших степеней. В разделе описаны основные закономерности и механизмы фрагментации структуры, развития механического двойникования и фазового превращения при деформации ГЦК металлов и сплавов, а также

механические и коррозионные свойства ультрамелкодисперсных материалов. На основе проведенного литературного обзора автор работы сформулировала задачи исследования.

Во втором разделе описан материал исследования и подробно рассмотрены методы обработки материала, исследования его структуры, механических и коррозионных свойств.

В третьем разделе представлены оригинальные результаты экспериментальных исследований по изучению механизмов формирования структуры аустенитной стали 10X18H8ДЗБР в процессе однократной и многократнойковки (осадки) в широком диапазоне температур (500-1100°C) и степеней деформации ($\epsilon=0,4-4$). Детальный анализ микроструктурных особенностей и деформационного поведения стали позволил автору определить зависимости механизмов динамической рекристаллизации от температуры и степени деформации, выявить температурные интервалы с разной кинетикой непрерывной динамической рекристаллизации. В разделе описана зависимость размера динамически рекристаллизованных зерен от параметра Зинера-Холломона (Z) и выявлена взаимосвязь показателя степенной функции в зависимости $D \sim Z^{-n}$ с механизмами динамической рекристаллизации, ответственными за формирование субмикроструктурной структуры в исследуемой стали.

В четвертом разделе представлены результаты исследования деформационного поведения и эволюции микроструктуры стали 10X18H8ДЗБР в процессе многократнойковки при комнатной температуре. Выявлены и описаны основные механизмы деформации и измельчения структуры, которые ответственны за формирование наноструктурного состояния при холодной деформации исследуемой стали до больших степеней деформации. В разделе описана кинетика измельчения структуры и ее взаимосвязь с последовательностью фазовых и структурных превращений в стали при холодной деформации – образованием полос сдвига, развитием механического двойникования и γ - α' -мартенситного превращения.

Пятый раздел посвящен изучению эволюции ультрамелкозернистой микроструктуры в стали 10X18H8ДЗБР, полученной в процессе многократнойковки по разным режимам (комнатная температура, 500-800°C, $\epsilon=4$), в процессе отжига. В этой части работы установлены интервалы температур, в которых полученные при больших степенях деформации структуры стабильны к кратковременным отжигам (продолжительность отжигов составляла 30 минут). Также в разделе выявлены кинетика и механизмы рекристаллизации при отжиге выше температур термической стабильности ультрамелкозернистых состояний в стали 10X18H8ДЗБР, полученных многократнойковкой по разным температурным

режимам. На основе экспериментальных данных о кинетике формирования специальных границ $\Sigma 3^n$ при постдинамической рекристаллизации в стали, подвергнутой тепловой многократной ковке, автором работы предложен научно-обоснованный подход к формированию объемных ультрамелкозернистых заготовок (полуфабрикатов) стали 10X18H8ДЗБР с большой долей специальных границ.

В шестом разделе изучены механические и коррозионные свойства образцов стали 10X18H8ДЗБР, полученных при многократной ковке (500-800°C, $\epsilon=4$) и последующих отжигах. Формирование субмикроструктурной структуры при многократной ковке до $\epsilon=4$ обеспечивает существенное повышение предела текучести в исследуемой стали: в 2–3,5 раза при тепловой и в 5 раз при холодной деформации, при этом пластические характеристики заметно уменьшаются. В разделе установлено, что повышение склонности к межкристаллитной коррозии в стали 10X18H8ДЗБР, подвергнутой многократной ковке в интервале температур 500-700°C, происходит из-за обеднения приграничного объема материала хромом в результате выделения карбидов, при этом измельчение зерна (формирование субмикроструктурной структуры) само по себе не вызывает ухудшения коррозионных свойств исследуемой стали.

В последнем разделе представлены общие **выводы** по диссертационной работе. Все выводы обоснованы и вытекают из приведенных в диссертации результатов исследований и их анализа.

Диссертация написана и оформлена в соответствии с установленными требованиями. Основное содержание диссертации отражено в 29 публикациях, 14 из них опубликованы в рецензируемых отечественных и зарубежных периодических изданиях. Автореферат диссертации отражает основные положения и выводы диссертации.

Для достижения сформулированной в работе цели был поставлен ряд экспериментальных задач, которые были успешно решены Тихоновой М.С. с привлечением современных методов экспериментальных исследований. К **наиболее важным научным и практически значимым результатам работы, определяющим ее новизну**, следует отнести:

- зависимости механизмов и кинетики динамической рекристаллизации от температуры и степени деформации, которые определяют формирование ультрамелкозернистых структурных состояний в объемных заготовках стали 10X18H8ДЗБР при тепловой и горячей многократной ковке в широком температурном интервале;
- закономерности и механизмы постдинамической рекристаллизации, кинетики формирования специальных границ $\Sigma 3^n$ при постдинамической рекристаллизации в

ультрамелкозернистой стали 10X18H8ДЗБР в зависимости от температуры предшествующей пластической деформации (многократнойковки);

– последовательность механизмов деформации и фазовых превращений, которые определяют формирование нанокристаллической структуры и ее термическую стабильность в стали 10X18H8ДЗБР при холодной деформации (комнатная температура) методом многократнойковки и последующих отжигах;

– закономерности и механизмы влияния температуры большой пластической деформации и последующих отжигов на стойкость стали 10X18H8ДЗБР к межкристаллитной коррозии.

Достоверность научных результатов, обоснованность выводов и выносимых на защиту научных положений не вызывает сомнения, так как они обеспечены корректной постановкой задачи, использованием современных методов исследования: просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии, дифракции обратнорассеянных электронов и рентгеноструктурного анализа. Описание особенностей микроструктуры стали 10X18H8ДЗБР в процессе деформации и отжигов автор диссертации сопровождает подробными иллюстрациями и схемами, проводит критический анализ результатов при сопоставлении собственных данных с исследованиями других авторов, что подтверждает достоверность основных положений, выносимых на защиту.

Результаты диссертационной работы могут представлять интерес для специалистов, работающих в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и могут быть использованы в различных отраслевых, вузовских и академических учреждениях России. **Значимость диссертационной работы для науки и практики** также подтверждена предложенными и запатентованными способами получения заготовок аустенитных сталей с повышенными прочностными свойствами, которые могут быть использованы для разработки промышленных режимов термомеханической обработки сталей аустенитного класса.

В качестве **замечаний** к диссертации можно отметить следующее:

1. Сталь 10X18H8ДЗБР содержит карбиды ниобия. Автор работы по тексту диссертации упоминает о дисперсионном твердении (раздел 3, стр. 72) и использует этот механизм для описания перехода от прерывистой к непрерывной динамической рекристаллизации в зависимости от размера зерна и напряжений течения (раздел 3, пункт 2 раздела «Научная новизна»). Вместе с тем в тексте диссертационной работы не описана морфология, размеры и объемная доля карбидов ниобия. Несмотря на то, что применительно к данной диссертационной работе на размер рекристаллизованного зерна в первую очередь влияет уровень твердорастворного упрочнения, сведения о размерах и характере распределения

частиц были бы полезны читателю. Кроме того, по тексту диссертации автор работы не обсуждает влияние дисперсионного твердения на процессы структурообразования и прочностные свойства стали 10X18H8ДЗБР при многократной ковке и отжигах.

2. На странице 46 диссертации (и на стр. 9 автореферата) автор работы обсуждает характер зависимостей «напряжение – накопленная деформация», полученных при тепловой осадке образцов стали 10X18H8ДЗБР. Для зависимостей, соответствующих температуре осадки 500°C, автор отмечает, что на отдельных кривых наблюдается стадия разупрочнения и связывает это с «локализацией деформации, в результате которой формируются полосы деформации и сдвига при низких температурах». Однако характер отдельных кривых течения позволяет допустить, что наряду с локализацией течения при 500°C могут проявляться и эффекты деформационного старения. Этот механизм автор работы не обсуждает.

3. Сопоставление долей специальных границ $\Sigma 3^n$ для различных структурных состояний, которые характеризуются разной общей плотностью границ, с моей точки зрения, не всегда обосновано. Так на странице 94 автор описывает изменение доли специальных границ для образцов, полученных ковкой при температурах 500°C и 800°C и последующим отжигом при 800°C. При этом, как видно из рисунка 5.5 (стр. 91 диссертации), эти состояния характеризуются разным размером зерна и, как следствие, различной протяженностью границ общего типа. Поэтому сопоставление долей специальных границ в этих состояниях само по себе малоинформативно. Также, на стр. 16 автореферата автор пишет, что «рост зерен во время постдинамической рекристаллизации сопровождается появлением многочисленных $\Sigma 3^n$ границ. Доля двойниковых границ, следовательно, должна возрастать с увеличением размера рекристаллизованных зерен». Более верно в этом случае оперировать плотностью двойниковых границ или числом таких границ на единицу длины (площади, объема), так как доля границ $\Sigma 3^n$ может увеличиваться только за счет уменьшения общей протяженности всех границ при рекристаллизации, даже при условии, что новых специальных границ не образуется.

4. Автору работы не удалось избежать неточностей и опечаток при подготовке рукописи и автореферата.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку работы и не подвергают сомнению достоверность и обоснованность выводов и положений, выносимых на защиту. Диссертационная работа Тихоновой М.С. представляет собой законченное научное исследование, которое соответствует паспорту специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния. В соответствии с пунктом II.9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней» диссертация

может рассматриваться как научно-квалификационная работа, в которой изложены результаты исследований, направленных на разработку режимов термомеханической обработки сталей аустенитного класса, способствующих достижению высокого уровня прочностных свойств при сохранении стойкости к межкристаллитной коррозии.

По уровню решаемых задач, научной новизне, практической значимости, объему полученных результатов диссертационная работа «Рекристаллизационные процессы в аустенитной коррозионностойкой стали после больших пластических деформаций» удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Тихонова Марина Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния.

доктор физико-математических наук,
доцент, старший научный сотрудник
Института физики прочности и
материаловедения СО РАН
(ИФПМ СО РАН)

30.04.2015

Е.Г. Астафурова

Подпись Е.Г. Астафуровой подтверждаю:
ученый секретарь ИФПМ СО РАН,
доктор технических наук



В.С. Плешанов

Астафурова Елена Геннадьевна,
старший научный сотрудник, лаборатория физического материаловедения,
ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения
Российской академии наук (ИФПМ СО РАН),
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4
тел.: +7-903-913-2339 (моб.), (3822)286961 (раб.),
e-mail: elena.g.astafurova@gmail.com