

Министерство промышленности и торговли  
Российской Федерации  
Государственный научный центр  
Российской Федерации



Центральный  
научно-исследовательский  
институт черной металлургии  
им. И.П.Бардина

Федеральное государственное унитарное предприятие  
(ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»)

105005, г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2  
Тел. (495) 777-93-01; Факс (495) 777-93-00  
ИНН/КПП 7701027596/770101001  
E-mail: [chermet@chermet.net](mailto:chermet@chermet.net)  
[www.chermet.net](http://www.chermet.net)

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. генерального директора  
ФГУП ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»



В.А. Углов

«31» января 2017 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Янушкевич Жанны Чеславовны  
«Структурные изменения и упрочнение аустенитных коррозионностойких  
сталей в процессе теплой пластической обработки», представленную на  
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.07– физика конденсированного состояния

### Актуальность работы

На сегодняшний день актуальной задачей является разработка технологий производства субмикроструктурных материалов, позволяющих получать в них уникальное сочетание технологических и эксплуатационных свойств. Одним из наиболее эффективных способов получения объемных материалов с оптимизированной мелкозернистой структурой является деформационно-термическая обработка, применение которой позволяет в широких пределах варьировать параметры получаемых структур за счет реализации различных механизмов динамической рекристаллизации, развивающейся в процессе пластической деформации. Однако широкое применение таких способов обработки в серийном производстве сдерживается недостатком данных о закономерностях процессов рекристаллизации, ответственных за формирование субмикроструктурной структуры с размером зерна менее 1 мкм в процессе пластической деформации при температурах 0,4-0,6 температуры плавления. С точки зрения упрочнения особый интерес динамическая рекристаллизация представляет при обработке металлов, обладающих высокой способностью к деформационному упрочнению. К такому классу материалов относятся

аустенитные коррозионностойкие стали, важной задачей обработки которых является повышение прочностных свойств при сохранении удовлетворительной пластичности и коррозионной стойкости. Поэтому тема диссертационной работы Янушкевич Ж.Ч., посвященная детальному изучению структурных изменений в аустенитных коррозионностойких сталях в процессе пластической деформации в широком интервале температур, а также механизмов структурного и субструктурного упрочнения при комнатной и повышенных температурах, является **актуальной и практически значимой**. Детальное исследование микроструктурных изменений в аустенитных коррозионностойких сталях, подвергнутых пластической деформации в широком интервале температур позволит существенно расширить современные представления о механизмах пластического течения и структурных изменениях в однофазных металлических материалах с ГЦК решеткой.

### **Структура и основное содержание диссертации**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и списка литературы из 194 наименований.

**Во введении** автор обосновывает актуальность темы диссертационной работы, формулирует цель и основные задачи, научную и практическую значимость, приводит положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** представлен обзор литературных данных, посвященный механизмам структурообразования в металлических материалах с ГЦК решеткой, подвергнутых деформационной обработке. Особое внимание уделено процессам динамической рекристаллизации в материалах с низким и средним значением ЭДУ. Рассмотрены структурные особенности и свойства аустенитных коррозионностойких сталей, а также принципы деформационно-термических обработок сталей данного класса.

**Во второй главе** описаны материалы исследования (стали 03X19H10, 03X17H12M2, 10X18H8ДЗБР), способы деформационно-термической обработки и методики исследования микроструктуры, механических свойств и стойкости к межкристаллитной коррозии.

**В третьей главе** представлены исследования закономерностей структурных изменений в аустенитных коррозионностойких сталях, подвергнутых пластической деформации в интервале температур от 500 до 1000°C. На основании анализа микроструктурных изменений и деформационного упрочнения выделены две температурные области, отличающиеся кинетикой упрочнения и особенностями формирования структуры в процессе многократной прокатки.

**В четвертой главе** рассмотрены механизмы формирования высокоугловых границ деформационного происхождения в процессе пластического течения в высокотемпературной (800-1000°C) и низкотемпературной (500-700°C) областях. Показаны, что при температурах деформации 800-1000°C формирование новых высокоугловых границ происходит преимущественно в результате эволюции сетки деформационных субграниц, а при более низких температурах 500-700°C развитию новых границ зерен способствует появление деформационных микрополос.

**В пятой главе** представлены результаты исследования механических свойств аустенитных коррозионностойких сталей после деформационно-термической обработки. Экспериментально показано, что исследованная температурная область характеризуется постепенным изменением зависимостей структурных параметров от температурно-скоростных условий деформации. Представлено уточненное соотношение Холла-Петча, учитывающее вклад субструктурного упрочнения, для оценки предела текучести исследуемых сталей, подвергнутых тепловой пластической деформации.

### **Научная новизна.**

В диссертационной работе получен ряд оригинальных научных результатов, важных для дальнейшего развития физики конденсированного состояния, а именно понимания физических механизмов процессов динамической рекристаллизации, приводящих к формированию субмикроструктурной структуры. К наиболее значимым новым научным результатам относятся:

1. Показано, что основным механизмом, ответственным за формирование мелкозернистой структуры в исследуемых аустенитных сталях в процессе пластической деформации при температурах 500-900°C является непрерывная динамическая рекристаллизация.

2. Формирование новых зерен происходит в результате образования сетки малоугловых границ с последующим увеличением их угла разориентировки до значений, характерных для высокоугловых границ зерен. На основании анализа изменения деформационного упрочнения выделены две температурные области деформации, отличающиеся механизмами динамической рекристаллизации.

3. Показано, что вклады различных механизмов эволюции микроструктуры в процессе деформации изменяются в противоположных направлениях при изменении температуры обработки, что делает кинетику измельчения зерен в исследуемых сталях слабо зависимой от температуры деформации в широком температурном интервале.

#### **Практическая ценность.**

Установленные закономерности формирования субмикrokристаллической структуры в аустенитных коррозионностойких сталях в широком интервале температур и степеней деформации, а также результаты по влиянию структурных параметров на прочностные свойства сталей данного класса могут быть использованы при разработке и оптимизации режимов деформационно-термической обработки сталей аустенитного класса и методов прогнозирования эксплуатационных характеристик сталей данного класса. На основании полученных в работе научных результатов разработан оригинальный способ обработки аустенитных коррозионностойких сталей для получения высокопрочных полуфабрикатов (патент РФ № 2525006).

#### **Достоверность полученных результатов.**

Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертации обеспечивается применением современных, взаимодополняющих методов микроструктурных исследований (растровая электронная микроскопия с системой автоматической регистрации и обработки картин дифракции обратно

рассеянных электронов и просвечивающая электронная микроскопия); проведением механических испытаний на растяжение стандартных образцов и на микротвердость; определением стойкости к межкристаллитной коррозии. Представленные в диссертационной работе результаты исследований, полученные с использованием различных методов, хорошо согласуются между собой и не противоречат существующим научным представлениям.

### **Оформление и апробация, публикации по теме диссертации.**

Структура и содержание диссертации соответствует цели и задачам исследования. Работа логично представлена и грамотно изложена. Результаты работы опубликованы в 10 научных статьях и в патенте на изобретение, включая 7 статей в журналах, входящих в перечень ВАК.

### **Замечания.**

1. В постановочной части диссертации сказано о том, что в качестве материалов исследования были выбраны три стали аустенитного класса, отличающиеся значением энергии дефекта упаковки и содержанием дисперсных частиц. Однако в выводах по диссертации о влиянии этих двух важных структурных параметров ничего не говорится.
2. Деформация изученных материалов осуществлялась путем дробных обжатий при повышенных температурах с промежуточными подогревами. Очевидно, в процессе промежуточных нагревов проходила частичная перестройка дефектной структуры и релаксация внутренних напряжений. При обсуждении полученных результатов следовало бы обсудить возможное влияние этих эффектов на конечные результаты.
3. Не совсем корректным представляется утверждение автора в главе 5 и в пункте 6 основных выводов диссертации о получении в работе нового, «модифицированного» соотношения Холла-Петча (Х-П). Правая часть классического соотношения Х-П, как известно, состоит из двух слагаемых:  $Kd^{-1/2}$  (члена, определяющего зависимость деформирующего напряжения от среднего размера зерна) и  $\sigma_0$  (члена, определяющего деформирующее напряжение в теле зерна вне зависимости от размера зерен.). Величина  $\sigma_0$

может определяться при заданной температуре целым рядом параметров: барьером Пайерлса, кристаллогеометрией скольжения, наличием примесей, дислокаций, дисперсных частиц и т.п. В этой связи нет никакого смысла выделять из  $\sigma_0$  составляющую, связанную с дислокационным взаимодействием и называть полученное соотношение «модернизированным». Если идти по пути, предлагаемым автором, то, видимо, следует провести дальнейшую «модификацию» и добавить для дисперсионно-упрочняемой стали 10X18H8ДЗБР в соотношение Х-П еще один член, связанных с взаимодействием дислокаций с дисперсными частицами второй фазы.

4. Полученный автором результат о подобии температурной зависимости предела текучести и модуля сдвига при относительно низких температурах и при отсутствии фазовых превращений является хорошо известным для ГЦК кристаллов.

5. В диссертации на соискание степени кандидата физ-мат. наук следовало бы воздержаться от использования физически некорректных терминов «теплая пластическая обработка» и «гомогенная сталь» по всему тексту диссертации.

Сделанные замечания по работе не снижают общего положительного впечатления от диссертации, а также высокой оценки ее научной и практической ценности.

### **Заключение.**

Диссертационная работа Янушкевич Жанны Чеславовны выполнена на актуальную тему и представляет собой законченную квалификационную научно-исследовательскую работу, в которой обнаружены и проанализированы закономерности протекания динамической рекристаллизации при прокатке аустенитных сталей. Полученные экспериментальные результаты обоснованы и достоверны, имеют научную и практическую ценность. Они могут быть использованы в практике научной деятельности таких научных организаций, как ФГУП Центральный научно-исследовательский институт им. И.П. Бардина, ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, ФГБУН Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, ФГБУН

Институт машиноведения УрО РАН, ФГБУН Института физики прочности и материаловедения СО РАН, ФГАОУ ВПО Уральский федеральный университет им. Первого президента России Б.Н. Ельцина, ФГБОУ ВПО Новосибирский государственный технический университет, ФГБОУ ВПО Пермский государственный национальный исследовательский университет.

Автореферат и опубликованные труды автора отражают основные положения диссертационной работы, а результаты исследований прошли широкую апробацию на отечественных и международных научных конференциях.

В соответствии с п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., диссертационная работа Янушкевич Ж.Ч. «Структурные изменения и упрочнение аустенитных коррозионностойких сталей в процессе теплой пластической обработки» полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Янушкевич Ж.Ч заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа рассмотрена и обсуждена на заседании научно-техническом совете Института металловедения и физики металлов имени Г.В. Курдюмова ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина» 29 января 2017 г. (протокол № 1/17).

Зам. председателя НТС,  
к.т.н.



Ковалев Александр Иванович

Ученый секретарь НТС,  
к.ф.-м.н.



Филиппова Варвара Петровна