

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения
Российской академии наук

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**Перспективные материалы
с иерархической структурой
для новых технологий
и надежных конструкций**

19 - 23 сентября 2016 г.

Томск, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕХАНИЗМЫ УПРОЧНЕНИЯ ЖАРОПРОЧНЫХ
12 %-НЫХ ХРОМИСТЫХ ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНЫХ СТАЛЕЙ
ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Полехина Н.А.^{1,2}, Литовченко И.Ю.^{1,2}, Тюменцев А.Н.^{1,2}, Кравченко Д.А.²,
Чернов В.М.³, Леонтьева-Смирнова М.В.³

¹ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия,

² НИ Томский государственный университет, Томск, Россия,

³ ОАО «ВНИИНМ им. академика А.А. Бочвара», Москва, Россия
Nadejda89tsk@yandex.ru

Для выявления наиболее важных факторов, ответственных за механические свойства сталей, а также возможностей целенаправленного управления этими свойствами проведены сравнительные исследования структурно-фазовых состояний перспективных реакторных 12 %-ных хромистых жаропрочных ферритно-мартенситных сталей ЭК-181 (16X12B2ФТaP) и ЧС-139 (20X12НМВБФАР) после традиционной (ТТО, закалка на воздух от $T = 1100$ °С, 1 ч + отпуск при $T = 720$ °С, 3 ч) и комбинированной (КТО, закалка на воздух от $T = 1100$ °С, 1 ч + термоциклирование около A_{c1} + отпуск при $T = 720$ °С, 1 ч) термообработки.

Исследование механических свойств сталей показало, что после ТТО формируются более высокие, по сравнению с КТО, значения кратковременной прочности как при комнатной (на 170-300 МПа), так и при повышенной (на 80-170 МПа) температуре испытаний. При этом наблюдается значительное (≈ 2 -кратное) снижение пластичности. Сравнение с результатами структурных исследований свидетельствует о том, что более высокие значения прочности сталей после ТТО могут быть связаны: с дисперсным упрочнением наноразмерными частицами карбонитрида ванадия V(C, N) размерами менее 10 нм (после КТО их объемная доля невелика); с повышением эффективности субструктурного упрочнения, во-первых, за счет снижения объемной доли ферритной составляющей, во-вторых, уменьшения ширины мартенситных ламелей, в-третьих, за счет изменения их внутренней структуры – повышения плотности дислокаций и формирования субструктуры с непрерывными разориентировками, которая является источником локальных внутренних напряжений, сравнимых с пределом текучести сталей.

Теоретический анализ различных механизмов упрочнения показал, что основными факторами упрочнения рассматриваемых 12 %-ных хромистых ферритно-мартенситных сталей являются: твердорастворное упрочнение хромом; упрочнение за счет высокой плотности дислокаций; субструктурное упрочнение границами реек мартенсита с высокоугловыми и малоугловыми разориентировками; дисперсное упрочнение наноразмерными частицами кубического карбонитрида ванадия V(C, N) по механизму типа механизма Орована. Величины упрочнения, обусловленные указанными механизмами, могут быть одного порядка и достигать значений до нескольких сотен МПа. Уменьшение ($\Delta\sigma_{0,1} \leq 300$ МПа) предела текучести сталей в процессе КТО связано со снижением эффективности всех (помимо твердорастворного) обсуждаемых механизмов упрочнения.

Представленные оценки совместно с экспериментальными результатами наглядно иллюстрируют возможность модификации гетерофазной структуры ферритно-мартенситных сталей для повышения их прочностных характеристик. При этом дисперсное упрочнение наноразмерными частицами V(C, N) является одним из наиболее перспективных способов повышения прочности исследуемых сталей. Несмотря на относительно невысокое объемное содержание этих частиц, их вклад в упрочнение может быть сравнимым с максимальными величинами субструктурного упрочнения.

1. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

Работа выполнена при поддержке Стипендии президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям развития российской экономики (2016-2018 гг.).

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ НА ПЛАСТИЧЕСКИЕ И УПРУГИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗЕРНАХ С РАЗНЫМИ ТИПАМИ ИЗГИБА

Козлов Э.В., Киселева С.Ф., Попова Н.А., Конева Н.А.

Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия
kisielieva1946@mail.ru

При пластической деформации в поликристаллических материалах возникают поля внутренних напряжений и как следствие на электронно-микроскопических изображениях появляются изгибные экстинкционные контуры, по параметрам которых можно восстановить поля внутренних напряжений и оценить вклады их составляющих. Вклады во внутренние напряжения пластической $\sigma_{пл}$ и упругой $\sigma_{упр}$ составляющих в сопоставлении с разными типами изгибов зерен изучены недостаточно.

Целью настоящей работы является изучение влияния разного типа изгибов зерен на величину вкладов пластической и упругой составляющих во внутренние напряжения при деформации аустенитной стали. Определялись вклады пластической и упругой составляющих во внутренние напряжения в зернах поликристалла с использованием методики определения внутренних напряжений для деформированного материала, предложенной ранее авторами.

Были проведены электронно-микроскопические съемки отдельного зерна поликристалла при разных углах наклона гониометра для степеней деформации $\varepsilon = 14\%$ и для $\varepsilon = 25\%$. Вектор действующего отражения \vec{g} был перпендикулярен оси гониометра. Выбранный участок фольги, на котором проводились исследования, не содержал на пути перемещения контура границ раздела или разориентировки. При наклоне фольги перемещение контуров может происходить по-разному. При простом изгибе зерна изгибные экстинкционные контуры перемещаются параллельно самим себе. Такой изгиб зерна охватывает один тип плоскостей кристаллической решетки. В случае сложного изгиба зерна контуры либо сближаются, либо удаляются друг от друга, причем движутся они не параллельно своему исходному положению. Сложный изгиб зерна может охватывать два и более типа плоскостей кристаллической решетки. Были определены пластические и упругие составляющие внутренних напряжений и построены их распределения. На основе полученных данных был выполнен анализ вкладов пластических и упругих составляющих во внутренние напряжения. Анализ проведен в зернах с простым и сложным изгибами при разных степенях деформации.

Установлено, что пластическая составляющая $\sigma_{пл}$ в зернах со сложным изгибом всегда больше, чем в зернах с простым изгибом и при $\varepsilon = 14\%$, и при $\varepsilon = 25\%$. Упругая составляющая $\sigma_{упр}$ проявляет другое поведение. При степени деформации $\varepsilon = 14\%$ большее значение $\sigma_{упр}$ принимает в зерне со сложным изгибом также, как и $\sigma_{пл}$. При $\varepsilon = 25\%$ наоборот наибольшее значение упругая составляющая внутренних напряжений ($\sigma_{упр}$) принимает в зерне с простым изгибом, в зерне со сложным изгибом вклад $\sigma_{упр}$ снижается. Ранее авторами было показано, что при $\varepsilon \geq 25\%$ внутренние напряжения в целом по образцу при деформации аустенитной стали снижаются, а вместе с тем уменьшается и вклад упругой составляющей. Таким образом, факт снижения упругой составляющей внутренних напряжений в зернах со сложным изгибом при степени деформации $\varepsilon = 25\%$ хорошо согласуется с полученными ранее результатами.

Работа выполнена в рамках гос. заданий Минобрнауки России № 3.295.2014/К и № 416.