

Акционерное общество "Корпорация
"Московский институт теплотехники"
(АО "Корпорация МИТ")
127273, город Москва, Берёзовая ал., д.10
ИНН 7715842760, КПП 771501001
ОГРН 5107746017033, ОКПО 07501248
Тел.: +7 (499) 907-37-74
Факс: +7 (499) 907-37-29
E-mail: info@corp-mit.ru

«УТВЕРЖДАЮ»

Главный инженер - первый
заместитель генерального директора

АО «Корпорация «МИТ»



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Севальнёвой Татьяны Геннадьевны «Особенности механического поведения высокопрочных сталей аустенитно-мартенситного класса в условиях статического и циклического деформирования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 (05.16.01) «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность темы

Стали переходного аустенитно-мартенситного класса, у некоторых из которых при пластическом деформировании проявляется трип-эффект, являются очень востребованными конструкционными материалами как в авиакосмической области, так и в других высокотехнологичных областях машиностроения. Такие стали имеют высокий уровень характеристик прочности и пластичности, а также усталостных характеристик в сочетании с возможностью работать в условиях коррозионно-агрессивных сред и повышенных рабочих температур. Эксплуатационные свойства деталей из этих сталей во многом определяются механизмами структурообразования. Высокие прочностные и триботехнические характеристики для сталей данного класса могут достигаться как путем упрочняющей термической обработки, так и при воздействии интенсивной пластической деформации. В связи с этим в данной диссертационной работе поставлена очень актуальная цель - исследование особенностей

структурообразования и механического поведения двух типичных представителей высокопрочных сталей аустенитно-мартенситного класса (ВНС9-Ш и ВНС72-Ш) в условиях механического, контактного и триботехнического нагружения и разработка возможных способов повышения эксплуатационных характеристик этих сталей.

Общая характеристика и анализ работы

Автором проведен глубокий анализ состояния дел в области современных представлений, касающихся разработки и применения аустенитно-мартенситных сталей, в том числе сталей с трип-эффектом, для различных отраслей машиностроения. Особое внимание уделено влиянию системы легирования С-Сr-Ni-Mo этих сталей на формирование структурных составляющих в процессе термической обработки и влияние их на свойства. Показано, что аустенитно-мартенситные стали с различными механизмами структурообразования по-разному работают в условиях статических, циклических и других видов нагрузок. Обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, изложены научная новизна и практическая значимость работы.

Проведены исследования микроструктуры двух типичных представителей аустенитно-мартенситных сталей (ВНС9-Ш и ВНС72-Ш) в состоянии поставки полуфабрикатов, а также после различных видов обработки, формирующих различные структурные состояния. Также исследовано влияние холодной пластической деформации (волочения) на особенности формирования структуры этих двух сталей, в том числе проведены магнитный анализ объемного содержания мартенситной фазы, металлографический анализ структуры и рентгеноструктурный анализ поверхности образцов проволоки после холодного волочения. Проведены исследования структурных изменений и микротвердости в зависимости от температуры отпуска. На образцах, полученных из проволоки и листа, подробно исследованы механические свойства сталей ВНС9-Ш и ВНС72-Ш при статическом растяжении и в условиях циклического нагружения при повторных растягивающих нагрузках. Для оценки течения разных областей металла и локализации в них напряжений в процессе статического растяжения были проведены исследования методом корреляции цифровых изображений. Исследовано механическое поведение сталей ВНС9-Ш и ВНС72-Ш в условиях

триботехнического нагружения и контактной усталости. Исследована возможность применения сталей ВНС9-Ш и ВНС72-Ш в условиях контактно-усталостного нагружения.

Научная новизна исследования и полученных результатов

В качестве основных результатов представленной работы, имеющих выраженную научную новизну можно отметить следующие:

- Впервые выявлен механизм формирования градиентной структуры у проволок из стали ВНС9-Ш при обжатии, когда в тонком поверхностном слое толщиной не более 50 мкм содержание мартенситной фазы существенно меньше, чем во внутренних объемах. Установлено, что формирование градиентной структуры связано с разогревом поверхностного слоя при механическом воздействии в ходе волочения до температур отпуска, в которых протекает обратное превращение $\alpha \rightarrow \gamma$.

- Обнаружен эффект сложной зависимости прочностных характеристик при статическом растяжении проволок из стали ВНС9-Ш от увеличения скорости деформации: сначала наблюдается снижение, а затем рост прочности, причем критическое значение зависит от содержания мартенситной фазы.

- Установлено, что проведение отпуска образцов из стали ВНС9-Ш при температурах до 500 °С после обработки давлением приводит, независимо от содержания мартенситной фазы, сначала к плавному росту усталостной долговечности \approx в два раза, а при дальнейшем увеличении температуры отпуска к уменьшению ниже исходных значений.

- Установлено, что увеличение содержания мартенсита в структуре стали ВНС9-Ш до 32...50 % в условиях сухого трения скольжения позволяет снизить интенсивность изнашивания за счет более плотного объемного распределения мартенсита деформации. Впервые выявлены особенности механизма формирования контактной выносливости стали ВНС9-Ш в закаленном состоянии с твердостью 220 HV в зависимости от напряжения в зоне контакта.

- Выявлено, что в области контактных напряжений ≤ 2500 МПа предел контактной выносливости стали ВНС9-Ш с твердостью 220 HV на 550 МПа выше, чем у стали ВНС72-Ш с твердостью 520 HV, а в области контактных напряжений 3000 - 4000 МПа

лучшие характеристики имеет сталь ВНС72-Ш.

Значимость для науки и производства полученных в диссертационной работе результатов

Выполненный комплекс теоретических и экспериментальных исследований показал возможность увеличения предела прочности стали ВНС9-Ш с 2050 до 2800 МПа, предела текучести с 1400 до 1800 МПа и предела выносливости с 600 до 1250 МПа путем увеличения содержание упрочняющей мартенситной фазы с 20 до 57 об. % за счет роста степени обжата при холодном волочении с 45 до 86%. Показана перспективность использования для ряда применений стали ВНС9-Ш в качестве высокоизносостойкого материала, превосходящего эталонную сталь Гадфильда (110Г13Л), так как при сходных твердости и триботехнических характеристиках в условиях жесткого сухого трения в паре со сталью с твердостью 940 HV, сталь

ВНС9-Ш более чем в 2 раза превосходит сталь 110Г13Л по прочности. Также предложена обработка поверхности изделий из стали ВНС9-Ш путем обкатки роликом, приводящая к повышению контактной выносливости. Показано, что микропластическое деформирование приводит к образованию поверхностного слоя толщиной $\approx 10-20$ мкм, с градиентной структурой распределения мартенсита от 7-15 об.% на поверхности до 0 об.% в основном объеме металла, что в условиях контактно-усталостного нагружения при напряжениях ≤ 2500 МПа увеличивает контактную выносливость стали ВНС9-Ш в 14 - 60 раз. Предложен вариант термической обработки ленты из стали ВНС72-Ш, включающий закалку с 1030 °С, обработку холодом при -75 °С и отпуск 200 °С, который позволяет достичь доли мартенсита в структуре 75 об.%, что обеспечивает повышение твердости HV_{0,1} в 1,5 раза и снижение интенсивности изнашивания и коэффициента сухого трения скольжения на установившемся участке соответственно в 2,5 и 1,5 раза.

Несомненным достоинством данной работы является факт доведения ряда полученных результатов до практического использования. В частности, полученные диссертантом результаты используются ООО «НПК «Спецсталь» для обеспечения качества продукции из аустенитных и аустенитно-мартенситных сталей.

Степень обоснованности и достоверности

Научные положения, выводы и заключения, сформулированные автором диссертации, подтверждаются хорошей повторяемостью экспериментальных результатов, использованием базовых теоретических положений металловедения, применением современного оборудования и методов исследования структуры и свойств материалов, систематическим характером проведенных исследований, а также согласованностью полученных результатов с литературными данными.

Публикации по результатам диссертационной работы

Основные результаты диссертации достаточно полно отражены в 20 печатных работах, в том числе в 8 статьях в российских журналах, рекомендованных ВАК РФ. Также опубликовано 6 статей в переводных журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus. Полученные результаты представлены на 8 международных и всероссийских конференциях.

Личный вклад соискателя не вызывает сомнений. Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации.

Замечания по диссертационной работе

По диссертационной работе могут быть сделаны следующие замечания:

1. В диссертационной работе приводятся исследования структуры, фазового состава и свойств проволоки из аустенитно-мартенситных сталей ВНС9-Ш и ВНС72-Ш после упрочняющей обработки: для стали ВНС9-Ш – после холодного волочения и холодной прокатки, для стали ВНС72-Ш после термической обработки. В то же время для стали с метастабильным аустенитом ВНС9-Ш было бы интересно также провести исследование влияния на изменение механических свойств промежуточных обработок (закалки, обработки холодном).

2. Известно, что для нужд авиационной промышленности разрабатываются стали, которые помимо высокой прочности и циклической выносливости, должны также обладать высокой коррозионной стойкостью. В связи с этим целесообразно было бы оценить влияние сформированной в исследуемых сталях структуры коррозионную стойкость в различных агрессивных средах.

3. Автором проведены испытания на статическое растяжение листов из аустенитно-мартенситной стали ВНС9-Ш с применением метода корреляции цифровых изображений для качественной оценки пластического течения образцов, однако не проведена количественная оценка распределения напряжений в локализованных областях.

4. Снижение интенсивности изнашивания при испытаниях в условиях сухого трения скольжения для стали ВНС9-Ш с метастабильным аустенитом автор связывает с протеканием трип-эффекта и объемным распределением структурных составляющих. Интересно было провести количественную оценку вклада трип-эффекта при образовании мартенсита деформации в процессе испытания.

5. Оценка распространения деформации после контактно-усталостных испытаний образцов из стали ВНС9-Ш проведена в данной работе по распределению микротвердости по толщине образцов. Для более качественной оценки распространения деформации при контактно-усталостной нагрузке интересно было бы также исследовать содержание и распределение мартенситной фазы в поверхностных слоях.

В то же время сделанные замечания несколько не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Севальнёвой Т.Г.

Заключение

Представленная диссертация Севальнёвой Т.Г. является самостоятельной научно-квалификационной работой, посвященной актуальной научной проблеме. В работе получены результаты, несомненно обладающие научной новизной, и решен ряд задач, имеющих теоретическое и практическое значение. Представленные в диссертационной работе результаты играют важную роль в развитии металловедения высокопрочных аустенитно-мартенситных сталей. Целесообразно использовать их при разработке технологий повышения эксплуатационных характеристик деталей из этих сталей.

Считаем, что диссертационная работа Севальнёвой Т.Г. «Особенности механического поведения высокопрочных сталей аустенитно-мартенситного класса в условиях статического и циклического деформирования» по экспериментальному, методическому и теоретическому уровням, объему работы, научной новизне, научной и практической значимости, актуальности полностью отвечает требованиям п.п. 9-14

Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор диссертации, Севальнёва Татьяна Геннадьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 (05.16.01) – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

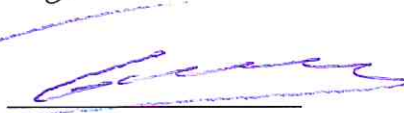
Работа заслушана на НТС отделения специальных технологий в Акционерном обществе "Корпорация "Московский институт теплотехники" (АО «Корпорация «МИТ»), 127273, город Москва, Берёзовая ал., д.10 (протокол № 47 от «07» 11 2022 г.).

Заместитель начальника
отделения и главного
технолога – начальник отдела,
к.т.н.



М.В. Геров

Председатель ученого совета



Б.В. Румянцев

«07» 11 2022 г.

Акционерное общество "Корпорация "Московский институт теплотехники"
(АО «Корпорация «МИТ»), 127273, город Москва, Берёзовая ал., д.10
Тел.: +7 (499) 907-37-74, Факс: +7 (499) 907-37-29, E-mail: info@corp-mit.ru