

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР



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

ГНЦ ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П.Бардина"

105005 г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2  
Тел. +7(495)777-93-01; факс +7(495)777-93-00  
e-mail: [chermet@chermet.net](mailto:chermet@chermet.net)  
[www.chermet.net](http://www.chermet.net)

« 11 » 02 2019 год № 180-2/16  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ:

Первый заместитель Генерального  
директора ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИчермет им.  
И.П. Бардина», кандидат технических наук

Слизов В.А.  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.



### Отзыв

Ведущей организации на диссертационную работу Слизова Александра Кузьмича «Особенности механического поведения листовой нестабильной аустенитно-мартенситной стали с учетом проявления трип-эффекта», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 "Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов".

Актуальность темы. Тонколистовая ТРИП-сталь ВНС9-Ш разработана ФГУП "ВИАМ" в 80-е годы прошлого века по заказу министерства авиационной промышленности и до настоящего времени применяется при изготовлении высоконагруженных ответственных деталей вертолетной техники которые эксплуатируются в условиях сложнапряженного состояния.

Актуальность проведения исследований механического поведения стали ВНС9-Ш связана с тем, что в настоящее время возникла острая необходимость повысить эксплуатационный ресурс авиационных деталей, изготавливаемых из этой стали и работающих в условиях сложнапряженного циклического нагружения. Кроме того, структурное состояние этой тонколистовой стали и влияние различных факторов на ее механическое поведение недостаточно изучено, что не позволяет в полной мере контролировать качество материала при производстве и в процессе эксплуатации.

Повышение технологических и эксплуатационных характеристик этих деталей может быть выполнено при условии соблюдения необходимых технических требований на всех этапах жизненного цикла изделия а именно: при производстве материала на металлургическом комбинате, в процессе изготовления деталей на заводе изготовителе

авиационной техники и в процессе эксплуатации деталей в составе вертолета. Для этого необходимо иметь данные по структурному состоянию материала в процессе изготовления и его изменению в течении жизненного цикла изделия. А также данные по изменению механических характеристик в процессе жизненного цикла изделия и влиянию различных факторов на изменение этих характеристик.

Исследование структурного состояния и особенностей механического поведения стали ВНС9-Ш (23Х15Н5АМ3-Ш) при деформировании (в условиях статического и циклического нагружения) представляется актуальным, поскольку позволит разработать конкретные методики и рекомендации по повышению эксплуатационного ресурса ответственных деталей авиационной техники, производимых из этой стали. Также, исследование структурно-фазового состояния материала и его изменение под влиянием различных факторов позволит проводить моделирование процессов происходящих в деталях в условиях эксплуатации и проводить расчет прочностных эксплуатационных характеристик изделий изготовленных из стали ВНС9-Ш.

Не вызывает сомнений актуальность темы диссертационной работы А.К.Слизова, посвященной исследованию структурных особенностей стали ВНС9-Ш и их связи с механическими характеристиками в условиях статического и циклического деформирования.

Экспериментальные данные и выводы полученные в результате проведения работ позволят решить конкретные технические задачи при производстве авиационной техники а также расширить научно-технический задел в области производства и применения высокопрочных ТРИП-сталей в различных областях промышленности.

#### Структура диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов и списка литературы из 96 наименования, изложена на 111 страницах и содержит 70 рисунков и 8 таблиц.

В введении обоснована актуальность работы, а также указаны ее цели и задачи.

Первая глава посвящена обзору литературных источников по характеристикам статических и усталостных свойств высокопрочных аустенитно-мартенситных трип-сталей. Весьма подробно анализируются исследования посвященные вопросам исследования ТРИП-сталей. На основе анализа литературных источников сделаны выводы о необходимости и актуальности дальнейших исследований механического поведения высоколегированной ТРИП-стали ВНС9-Ш в условиях статического и циклического деформирования, сформулированы основные задачи исследований, обоснована

актуальность работы, а также определены ее цели и задачи, поставленные в диссертационной работе.

Вторая глава посвящена описанию технологии получения тонколистовой коррозионно-стойкой стальной ленты (толщиной 0,3 мм) из аустенитно – мартенситной ТРИП-стали ВНС9-Ш, из которой изготавливаются ответственные детали авиационных конструкций. А также в главе описаны механические и физические методы проведенных исследований (механические испытания, световая и просвечивающая электронная микроскопия, акустическая эмиссия, рентгеноструктурный анализ), которые были использованы в диссертационной работе.

Третья глава посвящена описанию результатов работ по исследованию структуры и фазового состава стали ВНС9-Ш, а также механического поведения при статической деформации. В главе показано, что тонколистовая холоднокатаная ТРИП-сталь ВНС9-Ш является естественным градиентным композитом с более прочным приповерхностным слоем, содержащим большее количество мартенсита деформации. При испытании образцов из стали ВНС9-Ш на растяжение обнаружено наличие прерывистой текучести (эффект Портевена – ЛеШателье) на стадии деформационного упрочения и аномально высокого равномерного удлинения связанного с образованием дополнительного мартенсита деформации в процессе статического деформирования.

Четвертая глава посвящена исследованиям по влиянию скорости деформации и температуры отпуска на закономерности изменения механических свойств при статическом растяжении тонколистовой стали ВНС9-Ш. Максимальные механические свойства наблюдаются до скорости деформации  $2,5 \cdot 10^{-3} \text{с}^{-1}$ , когда происходит более интенсивно процесс образования мартенсита деформации. При проведении низкого отпуска максимальные прочностные характеристики сохраняются до температуры отпуска  $450^\circ\text{C}$ , после которой наблюдается процесс снижения механических характеристик в связи с началом обратного мартенситного превращения.

Пятая глава посвящена исследованиям усталостной прочности трип-стали ВНС9-Ш. Изучено влияние различных факторов (асимметрия цикла нагружения при циклических испытаниях, масштабный фактор, структурно-фазовое состояние и др.) влияющих на изменение усталостной прочности стали ВНС9-Ш. Установлено, что оптимальное значение предела усталости при повторном растяжении составляет 900 МПа.

Шестая глава посвящена определению оптимального фазового состава стальной ленты ВНС9-Ш. На основании изучения комплекса механических свойств в условиях статического и циклического деформирования установлено, что оптимальный фазовый

состав поверхностного слоя должен содержать от 40 до 60% мартенсита деформации. В этом случае достигаются максимальные значения механических характеристик для статических и циклических условий деформирования.

В диссертационной работе получен ряд следующих наиболее существенных результатов:

- Исследованы закономерности влияния скорости деформации в интервале от  $4,1 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$  до  $25 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$  (от 0,05 мм/мин до 30 мм/мин) на механические свойства тонколистовой аустенитно-мартенситной трип-стали ВНС9-Ш в условиях статического растяжения с учетом проявления трип-эффекта. Установлен интервал скоростей деформации в диапазоне от  $8,3 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$  до  $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$  (от 0,1 мм/мин до 3 мм/мин), при которых достигаются высокие механические свойства.
- Изучено влияния температуры отпуска в диапазоне от 125 до 7000С на закономерности изменения механических свойств и фазовые превращения в стали ВНС9-Ш. Показано, что повышенный уровень механических свойств сохраняется при нагреве до 4000С.
- Установлены основные факторы, определяющие уровень усталостной прочности стали ВНС9-Ш. Показано, что в основном, уровень предела выносливости, зависит от количества мартенсита деформации в приповерхностных слоях материала. Концентрация напряжений на поверхности образца резко снижает характеристики усталостной прочности в результате увеличения количества мартенсита деформации у вершины усталостной трещины.
- Установлена взаимосвязь между оптимальным фазовым составом стали ВНС9-Ш и повышенными характеристиками механических свойств ( $\sigma_b$ ,  $\sigma_{0,2}$  или  $\sigma_t$ ,  $\delta$ ,  $\sigma_R$ ). Установлено, что оптимальный фазовый состав поверхностного слоя должен содержать от 40 до 60% мартенсита деформации.

Теоретическая значимость диссертационной работы А.К. Слизова заключается в установлении закономерностей формирования структуры, фазовых превращений и механического поведения в условиях статического и циклического деформирования высокопрочных аустенитно-мартенситных ТРИП-сталей (на примере метастабильной аустенитно - мартенситной ТРИП-стали ВНС9-Ш).

Практическая значимость работы связана с разработкой ряда рекомендаций для уточнения ТУ14-14126-86 «Лента из коррозионностойкой стали ВНС9-Ш (23Х15Н5АМЗ-Ш)», по которым производится оценка химического состава и уровня механических свойств стальной ленты ВНС9-Ш. В частности, предложено при производстве этой стали, в обязательном порядке контролировать фазовый состав готовой ленты. Необходимо

чтобы в поверхностном слое материала количество мартенсита деформации не превышало 60%. Кроме того, при сдаче готовой продукции необходимо, кроме определения механических свойств на статическое растяжение, контролировать уровень характеристик усталостной прочности.

На новый способ удаления полимерных покрытий с поверхности торсионов, изготовленных из стали ВНС9 – Ш, получен патент на изобретение №2556251 «Способ электролитно-плазменного удаления полимерных покрытий с поверхности пластинчатого торсиона несущего винта вертолета».

Определен предел повреждаемости материала в условиях повышенных циклических нагрузок, что позволяет определить допустимые нагрузки на несущую систему в процессе эксплуатации вертолета или определить остаточный ресурс несущей системы в процессе эксплуатации.

Достоверность научных результатов подтверждается совпадением экспериментальных данных, полученных различными современными методами исследования, систематическим характером проведенных исследований и обработки результатов, а также согласием полученных результатов с данными других авторов. Основное содержание диссертационной работы представлено в 16 статьях в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ. Получен 1 патент на изобретение.

#### Научная новизна работы

1. Показано, что тонколистовая холоднокатаная трип - сталь ВНС9–Ш является естественным градиентным композитом с более прочным приповерхностным слоем, содержащим большее количество мартенсита деформации.
2. С использованием комплекса методов исследования (акустическая эмиссия, рентгеновский анализ, электронная микроскопия) установлены особенности пластического деформирования и кинетики изменения фазового состава на различных стадиях статического и циклического деформирования стали ВНС9–Ш.
3. Исследовано влияние скорости деформации в интервале от  $4,110-5c-1$  до  $2510-3c-1$  (от 0,05мм/мин до 30мм/мин) на механические свойства тонколистовой аустенитно-мартенситной трип-стали ВНС9-Ш в условиях статического растяжения с учетом проявления трип-эффекта. Установлен интервал скоростей деформации от  $8.310-5c-1$  до  $2,510-3c-1$  (от 0,1мм/мин до 3мм/мин), при которых достигаются высокие механические свойства.

4. Изучено влияния температуры отпуска от 125 до 700°C на закономерности изменения механических свойств и фазовые превращения в стали ВНС9-Ш. Показано, что повышенный уровень механических свойств сохраняется после нагрева до 400°C.
5. Установлены основные факторы, определяющие уровень усталостной прочности стали ВНС9-Ш. Показано, что уровень предела выносливости, в основном, зависит от количества мартенсита деформации в приповерхностных слоях материала. Концентрация напряжений резко снижает характеристики усталостной прочности в результате увеличения количества мартенсита деформации у вершины усталостной трещины.
6. Установлена взаимосвязь между оптимальным фазовым составом стали ВНС9-Ш и повышенными характеристиками механических свойств ( $\sigma_b$ ,  $\sigma_{0,2}$  или  $\sigma_t$ ,  $\delta$ ,  $\sigma_R$ ).

Замечания по диссертации:

1. Диссертация, стр.4. В перечне задач имеется запись: "3.Исследовать скоростную зависимость механических свойств и влияние режимов отпуска на механические свойства ленты из стали ВНС9-Ш...". Из записи непонятно скорость какого параметра рассматривается. Запись должна быть в следующей редакции: "3.Исследовать влияние скорости деформации при статическом растяжении и режимов отпуска на механические свойства ленты из стали ВНС9-Ш...".
2. Диссертация, раздел 2.1. стр. 25. Имеется запись:" В настоящей работе, при исследовании в различных разделах конкретных механических свойств стали ВНС9-Ш, все образцы для этого исследования вырезались из одной пластины размером ~ 30x35 см. Для каждой такой пластины – заготовки рентгеноструктурным анализом определялся фазовый состав приповерхностного слоя." Из записи не понятно каким образом типовые образцы указанные в разделе 2.2. и изображенные на рис. 2.1. связаны с указанными пластинами размером 30x35см.
3. Диссертация, стр. 29, Рис. 3.2. На рисунке размещено четыре изображения а), б), в) и г). Подрисуночная подпись не содержит информации о том что изображения а) и б).сделаны в поверхностных слоях, а изображения в) и г) во внутренних слоях материала.
4. Диссертация, стр.52. рис. 4.2. в подрисуночной подписи не указано что изображена кривая растяжения образцов серии 3 (как это указано для образцов серии 1 и 2 на рис. 4.1.). Желательно было бы включить рис. 4.2. в рис. 4.1. чтобы результаты исследования всех трех серий находились бы на одном рисунке.
5. Автореферат, стр. 7. Отсутствует таблица 1 (химический состав стали).

Отмеченные замечания, не снижают научной значимости и практической ценности работы. Диссертация является самостоятельной законченной научной исследовательской работой, посвященной актуальной научной проблеме, имеющей теоретическое и практическое значение. Автореферат и опубликованные работы в полном объеме отражают основное содержание диссертации.

По актуальности темы, научной новизне, практической значимости и достоверности результатов представленная работа соответствует требованиям к кандидатским диссертациям, содержащимся в п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 и паспорта специальности 05.16.01 - Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov i spлавов.

Автор диссертации - Слизов Александр Кузьмич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 «Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov i spлавов».

Работа заслушана на объединенном научно-техническом совете Научного центра качественных сталей и Центра сталей для труб и сварных конструкций 07.02.2019г., протокол №1

Заместитель председателя НТС, к.т.н.  
Морозов Юрий Дмитриевич  
Адрес: 105005, Москва, ул. Радио 23/9, стр. 2  
ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»  
Email: iqs12@yandex. ru

Ю.Д.Морозов

Главный научный сотрудник лаборатории  
Сталей и сплавов для транспорта, д.т.н.  
Никулин Анатолий Николаевич  
Адрес: 105005, Москва, ул. Радио 23/9, стр. 2  
ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»  
Email: iqs12@yandex. ru

А.Н.Никулин

Подписи Морозова Ю.Д., Ниулиа А.Н. и Ливановой О.В.  
заверяю:

Ученый секретарь  
ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», к.т.н.

Т.П. Москвина