

ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата технических наук Смирнова Андрея Евгеньевича

на диссертационную работу Черненко Дмитрия Владимировича

«Триботехнические свойства высокоазотистых аустенитных Cr-Ni-Mn сталей в среде жидкого азота», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность темы диссертации

Для изготовления деталей и узлов криогенной техники, работающих в условиях высоких нагрузок и трения, в настоящее время широко используют коррозионностойкие аустенитные стали типа X18H9T. Недостаточно высокие прочностные свойства этих сталей при комнатной температуре и склонность к мартенситному превращению при охлаждении и деформации, сопровождающемуся потерей немагнитного состояния, ограничивают срок службы и область применения таких сталей.

Преодолеть указанные ограничения позволяет использование в немагнитных высоконагруженных узлах трения криогенной техники аустенитных сталей, легированных азотом. К настоящему времени триботехнические свойства высокоазотистых Cr-Mn аустенитных сталей при комнатной и низких температурах изучены достаточно подробно. Известно, что в таких сталях при трении с понижением температуры (от +20 до -196°С) может происходить мартенситное превращение, способствующее охрупчиванию поверхности и развитию трещин. В то же время высокоазотистые хромомарганцевоникелевые аустенитные стали, устойчивые к фазовым превращениям, демонстрируют более высокую износостойкость при комнатной температуре по сравнению со сталью 08X18H9T, однако исследования триботехнических свойств таких сталей при низких температурах ограничены. Получение соответствующих данных

имеет прямое значение для повышения ресурса надежности и долговечности высоконагруженных деталей, работающих в парах трения при низких температурах. В связи с этим, диссертационная работа Черненко Д.В., направленная на исследование триботехнических свойств высокоазотистых Cr-Ni-Mn сталей в среде жидкого азота, является актуальной.

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 150 страницах, содержит введение, четыре главы, выводы по работе, список используемой литературы из 116 наименований, приложения и содержит 69 рисунков и 33 таблицы.

Во введении описывается цель, задачи работы, обосновывается их актуальность, новизна и практическая значимость, приведены данные по апробации работы и основным публикациям.

Первая глава посвящена анализу современного состояния исследований в области влияния структурных факторов на триботехнические характеристики высокоазотистых аустенитных сталей. Обоснован выбор материала и условий эксперимента.

Во второй главе описаны материалы, методики исследований и установка, собранная для триботехнических испытаний в среде жидкого азота, разработанная при участии автора.

Третья глава содержит результаты исследования влияния термической и деформационной обработок (закалка от различных температур, отпуск, холодная прокатка) на структуру и триботехнические свойства стали 05X22AG15N8M2Ф в сопоставлении со сталью 08X18H9T. Показано, что максимальная износостойкость исследуемой стали достигается после закалки от 1100 °С и обусловлена формированием структуры азотистого аустенита, способного к интенсивному деформационному упрочнению в процессе трения за счет образования тонких (около 0,2 мкм) деформационных двойников. Установлено отсутствие прямой связи между исходной твердостью и износостойкостью в среде жидкого азота; определяющим фактором является способность материала к

деформационному упрочнению в процессе трения. Во всех исследованных состояниях сталь 05X22АГ15Н8М2Ф превосходила по триботехническим свойствам сталь 08Х18Н9Т.

В четвертой главе приведены результаты исследования влияния температуры, нагрузки и скорости скольжения на триботехнические свойства стали 05X22АГ15Н8М2Ф и метастабильных сталей 02X22АГ10Н4МФ, 08Х18Н9Т и 03Х17Н13М2. Показано, что испытанные высокоазотистые стали в широком интервале нагрузок и скоростей скольжения более чем в 3 раза превосходят по триботехническим свойствам стали 08Х18Н9Т и 03Х17Н13М2, при этом наблюдали более равномерный износ их поверхности без растрескивания и схватывания. Это обусловлено деформационным упрочнением их азотистого аустенита в процессе трения. Выявлено влияние энергии дефектов упаковки (ЭДУ) азотистых аустенитных сталей на их износостойкость. Определено, что при низких температурах максимальной износостойкостью обладают стали со значениями ЭДУ от 15 до 35 мДж/м², в которых реализуется механизм деформационного упрочнения двойникованием без образования хрупкой мартенситной фазы.

Выводы соответствуют поставленным задачам, обобщают основные научные и прикладные результаты работы.

Научная новизна

Установлено, что легирование низкоуглеродистой коррозионностойкой стали 05X22 азотом (0,50 % масс.), марганцем (14–15 %), никелем (7–8 %) и молибденом (1–2 %) обеспечивает высокую износостойкость при +20 и -196°С без $\gamma \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha$ мартенситного превращения, то есть с сохранением немагнитного состояния. Показано, что износостойкость высокоазотистой стали 05X22АГ15Н8М2Ф при -196 °С определяется в первую очередь степенью деформационного упрочнения азотистого аустенита в процессе трения. Выявлена связь между энергией дефектов упаковки аустенитных сталей систем Cr-Mn-N и Cr-Mn-Ni-N и износостойкостью. Показано, что

высокие значения износостойкости достигаются при ЭДУ 15–35 мДж/м², когда деформация при трении проходит микродвойникованием.

Практическая значимость

Определен оптимальный режим предварительной обработки стали 05X22AG15H8M2Ф (закалка от 1100 °С в воду), обеспечивающий максимальную износостойкость данной стали в условиях трения скольжения в самосопряженной системе при -196 °С. Показано, что применение немагнитной стали 05X22AG15H8M2Ф, которая по износостойкости в условиях трения скольжения в самосопряженной системе при -196 °С в 3 раза превосходит сталь 08X18H9Т, позволит значительно повысить надежность и долговечность деталей машин и механизмов, работающих в условиях износа при низких температурах. Результаты работы опробованы в организации АО «Криогенмаш», от которой получен соответствующий акт, и нашли применение в ООО «Синтоген».

Обоснованность и достоверность

Подтверждается использованием современного оборудования, воспроизводимостью ^{05X22AG15H8M2Ф} экспериментальных данных, применением взаимодополняющих методов исследования и согласованностью полученных результатов с известными литературными данными.

Замечания по диссертационной работе

1. При определении фазового состава поверхности образцов исследуемых сталей после трения целесообразно было бы дополнительно провести исследование продуктов износа на содержание в них мартенсита деформации для всех рассматриваемых сталей.
2. В экспериментальной части диссертации установлено, что повышение температуры закалки до 1200 °С приводит к увеличению интенсивности изнашивания образцов из стали 05X22AG15H8M2Ф. Автор связывает это с охрупчиванием поверхности в результате деформационного упрочнения. Однако в работе практически не обсуждается возможное влияние увеличения размера зерна аустенита и повышения степени

разнозернистости стали на интенсивность изнашивания. В связи с этим представляется необходимым дополнительно пояснить, как результаты анализа распространения трещин согласуются с предложенным механизмом охрупчивания.

3. Для количественной оценки поврежденности поверхности соискатель приводит значения параметра, отражающего склонность к слиянию дефектов. Для более детального изучения поврежденности следовало бы также построить зависимости числа поверхностных дефектов и относительной площади поврежденной поверхности от скорости скольжения и нагрузки для рассматриваемых в работе сталей.
4. По оформлению и изложению материала можно сделать следующие замечания: заключение к первой главе во многом повторяет содержание литературного обзора; его следовало бы ограничить четкой постановкой нерешенных задач; кроме того, в тексте диссертации наблюдается несогласованность в обозначениях коэффициента трения и концентрации деформационных дефектов упаковки. Также встречаются отдельные опечатки, не искажающие смысла работы.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Черненко Д.В. является законченной научно-квалификационной работой, содержащей совокупность новых научных и научно-технологических решений, имеющих большое прикладное значение. По результатам работы опубликовано 4 статьи в рецензируемых журналах, индексируемых в базе данных RSCI и рекомендованных ВАК. Исследования по диссертационной работе опробованы на международных и всероссийских конференциях. Автореферат и публикации в достаточной мере отражают содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа Черненко Д.В. отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата

технических наук, полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ и паспорту специальности 2.6.1, а ее автор, Черненко Дмитрий Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Я, Смирнов Андрей Евгеньевич, даю согласие на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Черненко Д.В.

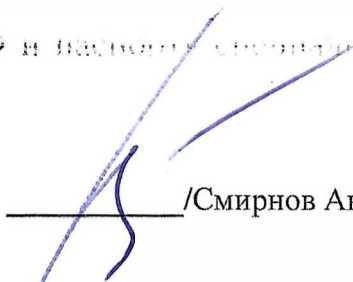
Кандидат технических наук по специальности

05.16.01 - Металловедение и термическая

обработка металлов

Доцент кафедры «Материаловедение»

МГТУ им. Н.Э. Баумана


/Смирнов Андрей Евгеньевич

Почтовый адрес: 105005. г.Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5, стр.1

Контактный телефон: +7(499) 263-68-24

Адрес электронной почты: smirnoff@bmsu.ru

25.02.2026



«ВЕРНО»
Специалист по персоналу
ДАШИНА В.В.
Отдел по организации работы
Единой приемной
УКСА
МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

Подпись Смирнова Андрея Евгеньевича удостоверяю