

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шараповой Валентины Анатольевны

**«Научно обоснованные технологические решения упрочнения
и повышения износостойкости машиностроительных материалов
за счет ТРИП-эффекта в структуре метастабильного аустенита»,**

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов
и сплавов

Актуальность. Метастабильный аустенит представляет собой структуру, способную эффективно преобразовывать механическую энергию в процессе деформации в $\gamma \rightarrow \alpha$ фазовый переход. Диссипация энергии улучшает износостойкость материала, что делает структуру метастабильного аустенита перспективной для применения в деталях, работающих в условиях абразивного изнашивания, таких как втулки и крышки насосов, лопасти дробеструйных аппаратов. Формирование метастабильного аустенита путем высокотемпературной закалки в высокоуглеродистых сталях и чугунах открывает новые возможности для повышения долговечности изделий. Разработка оптимальных режимов закалки и методов оценки резервов структуры позволяет расширить область применения серийных материалов в машиностроении, что сулит значительные экономические выгоды.

Научная новизна. На основе использования результатов исследования запатентована (патент РФ № 2430187, C22C 35/52) аустенитная TRIP-сталь 03X14H11K5M2ЮТ гарантированной сверхвязкости, которая в закаленном от 1050 °C состоянии имеет высокую ударную вязкость, конструкционную прочность и низкую склонность к хрупкому разрушению вплоть до криогенных температур ($KCV^{20} = 3,69$ МДж/м², $KCV^{196} = 1,93$ МДж/м²). Указанная сталь имеет рекордную пластичность: подвергается волочению с диаметра 14,3 до 2,77 мм, то есть за 15 переходов «в холодную» без промежуточных нагревов. С другой стороны, значительно упрочняется: после деформации и старения стальная проволока диаметром 0,3 мм имеет $\sigma_b = 2520$ МПа, $\sigma_{0,2} = 2120$ МПа при поперечном сужении $\psi = 40$ %.

Доказано, что аустенит в стали 03X14H11K5M2ЮТ является термически стабильным в широком интервале температур от жидкого гелия до 500 °C. Предложена обработка (по режиму закалка 1050 °C + деформация + старение 500 °C, 1 ч), при которой сталь в состоянии максимального упрочнения обладает высоким сопротивлением релаксации напряжений при длительных нагревах до температуры 400 °C, что подтверждено актом внедрения от ООО «Медтехника», г. Казань.

Впервые экспериментально установлена роль влияния легирования кобальтом (5,0 – 1,0 мас. %) на изменение последовательности, состава и температурных интервалов выделения высокотемпературной χ -фазы в закалённой стали 03X14H11K5M2ЮТ.

Впервые экспериментально с применением электронной микроскопии на закаленных сталях перлитного и ледебуритного классов показано, что благодаря высокотемпературной

закалке рабочей поверхности уже после первого однократного фрикционного воздействия образуется

деформационный нанокристаллический высокоуглеродистый мартенсит с размером кристаллов 10 – 100 нм. В структуре чередуются кристаллы мартенсита, стойкого против абразивного изнашивания, и аустенита, склонного к фрикционному упрочнению. Вторичная диссипативная структура поверхности обладает способностью к релаксации напряжений в процессе $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, сопровождающегося TRIP-эффектом, впервые показанным в высокоуглеродистой стали.

Комплексными исследованиями с применением профилометрии на примере сталей 0X18A1.2, 100X18, 135СГЛ было выявлено, что после низкотемпературной закалки отделение частиц износа происходит со вдвое большего по глубине слоя поверхности, чем после высокотемпературной закалки. В результате абразивная износостойкость поверхности снижается, т.к. механизм царапания сменяется микрорезанием, что подтверждается увеличением параметров шероховатости.

Впервые экспериментально установлена и научно обоснована роль высокотемпературной закалки в масло экономно легированного чугуна типа нихард (300X2H4), а также износостойких хромистых чугунов (260X16M2 и 250X25MФТ). Износостойкие хромистые чугуны – 260X16M2 и 250X25MФТ – отличаются разным типом карбидного упрочнения – М7С3 и М23С6. Закалка в масло и при обдувке воздухом образцов чугуна 260X16M2 сечением до 30 мм, в интервале температур от 1125 – 1170 °С, а также высокий отпуск 550 °С дают пониженную исходную твердость до испытания, но формируют резервы в структуре для последующего образования самотрансформируемого слоя высокой микротвёрдости на рабочей поверхности в результате развития деформационного мартенситного превращения. По технологическим и экономическим соображениям чугун 260X16M2 рекомендован для изготовления лопаток дробеметных аппаратов и износостойких вставок биметаллических втулок грязевых насосов. Обработанные по предложенной технологии детали показали хорошую эксплуатационную стойкость: на 25% выше стали Х12МФЛ.

Описана количественная зависимость между фазовым составом после высокотемпературной закалки и способностью к упрочнению поверхности сталей и хромистых чугунов со структурой метастабильного аустенита, заключающаяся в оценке скорости прироста относительной износостойкости при испытании поверхности на абразивное изнашивание.

Практическая значимость.

Результаты диссертационного исследования подтверждены разработкой новых режимов термической обработки для ряда высокоуглеродистых сталей и чугунов, при использовании которых в рабочем слое образуется вторичная структура повышенной износостойкости. Изготовлена опытная партия износостойких вставок из высокоуглеродистых сплавов разных систем легирования, проведены успешные полупромышленные испытания на предприятии ООО «УЗТЕРМО», г. Екатеринбург, что подтверждено актом от 21 ноября 2023 г. за исх. №170-23.

С привлечением специалистов филиала ООО «Уралмаш НГО Холдинг» проведены промышленные испытания опытной партии втулок буровых насосов из стали Х12МФЛ в климатических условиях региона ЯНАО. Втулки показали высокую эксплуатационную стойкость – отработали более 960 часов и были ещё в работоспособном состоянии, таким образом в 1,8 раза превысив эксплуатационный срок в тех же условиях серийной партии втулок из чугуна ИЧХ20М, что подтверждено актом от 17 ноября 2016 г. за № 37-518.

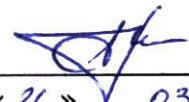
Язык и стиль изложения. Материал изложен в однозначной трактовке. Используются общепринятые термины. Текст лаконичен, без грамматических и орфографических ошибок, вся работа написана в одном стиле, между главами выстроены логические связи. Четкость аргументации, объективность и полнота изложения свидетельствуют о качественной подготовке соискателя.

Критические замечания. Без замечаний.

Диссертация Шараповой В.А. представляет собой значимый вклад в область металловедения, в работе исследованы такие ключевые явления, как ТРИП-эффект и формирование метастабильных фаз в высокоуглеродистых сплавах. Работа имеет практическое значение благодаря выявленным закономерностям влияния фазового состава на прочность и стойкость материалов к абразивному изнашиванию. В частности, подчеркнута возможность высокотемпературной закалки для образования метастабильной аустенитной фазы в высокоуглеродистых сплавах, которая играет решающую роль в повышении их абразивной износостойкости непосредственно в процессе эксплуатации. На основе результатов исследования разработан критерий прогнозирования прироста износостойкости стали при эксплуатации, что критически важно для обеспечения надежности и долговечности деталей в сложных условиях работы.

Диссертационная работа на тему «Научно обоснованные технологические решения упрочнения и повышения износостойкости машиностроительных материалов за счет ТРИП-эффекта в структуре метастабильного аустенита» **соответствует** паспорту специальности 2.6.1. и требованиям Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор Шарапова Валентина Анатольевна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Отзыв подготовлен главным технологом ПАО «Каменск-Уральский
Металлургический Завод», Бурибаевым Эдуардом Ильфатовичем.
623405, г. Каменск-Уральский, ул. Заводская, д. 5. Публичное акционерное общество
«Каменск-Уральский металлургический завод». Тел. +7 /3439/ 39-51-64.
E-mail: BuribaevEI@kumz.ru

 / Бурибаев Э.И./
« 21 » 03 2025 г.

Я, Бурибаев Эдуард Ильфатович даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Шараповой Валентины Анатольевны, и их дальнейшую обработку.

 /Бурибаев Э.И./
« 21 » 03 2025 г.

Подпись Бурибаева Эдуарда Ильфатовича заверяю:
Директор по производству ПАО «КУМЗ», к.т.н.

А.В. Разинкин

623405, Свердловская обл., г. Каменск-Уральский, ул. Заводская, 5
ПАО «Каменск-Уральский металлургический завод»
ОГРН 1026600930707, ИНН 6665002150
тел.: +7(3439) 395 116 +7(3439)395 300



any@kumw.ru
<http://www.kumz.ru>