

УТВЕРЖДАЮ:

Научный руководитель

ОАО «Уральский институт металлов»,

доктор технических наук, профессор,

академик РАН

Л.А. Смирнов

10.11. 2017 г.



### Отзыв ведущей организации

на диссертацию Никифоровой Светланы Михайловны

«Формирование структуры металлической основы износостойких хромистых сталей и чугунов при термической обработке»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 - Материаловедение (в машиностроении)

### Актуальность темы диссертации

В связи с интенсификацией эксплуатационных процессов, увеличением скорости перемещения рабочих органов, повышением температур и давлений роль износостойкости рабочей поверхности деталей и узлов машин значительно возрастает. К рабочей поверхности деталей машин, работающих в контакте с твёрдыми, жидкими или газообразными средами, предъявляют более высокие требования по прочности, твердости, износостойкости, теплостойкости, коррозионной стойкости, трещиностойкости, сопротивлению усталости и контактной выносливости. В то же время в основном объеме детали материал, выполняющий несущую и формообразующую функции, должен обладать более высокой пластичностью и ударной вязкостью, что обеспечивается при пониженной твердости. В горно-металлургическом, энергетическом, транспортном машиностроении от многих рабочих деталей требуется сочетать высокую прочность основы с повышенными значениями коррозионной стойкости и износостойкости поверхности.

В условиях контактного нагружения при любых видах изнашивания детали и узлы машин обычно выходят из строя не вследствие поломок, а по причине недопустимого изменения размеров и формы, так как износ деталей всегда происходит с поверхности. В связи с этим структурное состояние и геометрические характеристики рабочих поверхностей машин и механизмов играют решающую роль в обеспечении их надёжности

Это относится в первую очередь к рабочей поверхности, находящейся в процессе эксплуатации в контакте с другими твёрдыми поверхностями (подшипники, втулки насосов высокого давления, зубчатые зацепления, лопатки дробемётных аппаратов) или твёрдой, жидкой и газообразной средой (абразивные частицы, быстротекущий поток жидкости или газа). и долговечности. В связи с вышесказанным, тематика диссертационной работы С.М. Никифоровой и поставленная ею цель по разработке новых, научно обоснованных режимов термической обработки, направленных на повышение износостойкости и уменьшение затрат при производстве втулок грязевых насосов буровых установок и лопаток дробемётных аппаратов для очистки деталей, **является актуальной**. Актуальность работы также подтверждается эффективным использованием её результатов для повышения эксплуатационной стойкости цилиндрических втулок филиалом ООО «Уралмаш НГО Холдинг» (г. Екатеринбург).

### **Основное содержание диссертации**

Диссертация содержит введение, пять глав, заключение, список литературы из 137 наименований и 5 приложений.

Во введении показана актуальность темы диссертации, степень её разработанности, аргументированно обоснована цель и сформулированы задачи исследования, отражена научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены положения, выносимые на защиту, а также информация по апробации работы и публикациям автора.

**Первая глава** представляет собой литературный обзор по теме диссертационного исследователя. Рассмотрены различные виды процессов изнашивания сталей, среди которых основное внимание уделено абразивному износу, физическим механизмам его реализации, а также в главе проанализированы особенности поведения стабильных и метастабильных аустенитных сталей и обоснована роль принципа метастабильности аустенита в обеспечении эксплуатационной стойкости материалов. В результате литературного обзора сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

**Во второй главе** обоснован выбор в качестве объектов исследования сплавов ледебуритного класса – высокохромистых сталей и белых износостойких чугунов как наиболее износостойких материалов для решения поставленных в диссертации задач повышения эксплуатационной стойкости в условиях абразивного изнашивания гильз высокого давления цилиндров насосов буровых установок и лопаток дробемётных аппаратов. Обоснованы режимы их термической обработки – закалка и отпуск в широком диапазоне температур и обработка холодом – и описаны использованные в работе методы



испытания абразивной износостойкости и современные методы исследования: оптическая микроскопия, просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия с микрорентгеноспектральным анализом, рентгеноструктурный анализ с современным программным обеспечением,

**В третьей главе** представлены основные экспериментальные результаты исследования влияния температуры закалки и режима последующего отпуска на фазовый состав, микроструктуру и абразивную износостойкость сталей 150ХНМЛ и Х12МФЛ. Особое внимание при этом уделено формированию химического и фазового состава металлической основы сталей как основного переменного структурного фактора, определяющего сопротивление изнашиванию. Показано, что температура нагрева под закалку оказывает влияние на структуру обеих сталей. Прогрессирующее по мере повышения температуры закалки растворение вторичных карбидов и насыщение твердого раствора углеродом и хромом вызывает снижение начальной твердости НРС. В противоположность твердости, износостойкость сталей возрастает при повышении температуры нагрева под закалку вследствие того, что остаточный аустенит, получаемый в результате высокотемпературной закалки в исследуемых сталях, метастабилен и превращается в высокоуглеродистый мартенсит деформации в процессе изнашивания, что придает сталям максимальную износостойкость.

Важным результатом является обнаруженный автором нанокристаллический размер и закономерное периодическое расположение кристаллов высокоуглеродистого мартенсита деформации в поверхностном слое в процессе изнашивания и предложенная в работе трактовка этого явления, играющего значительную роль в обеспечении высокой абразивной износостойкости исследуемых сталей после высокотемпературной закалки.

Рассмотрены и обоснованы оптимальные с точки зрения получения высокой износостойкости режимы отпуска исследуемых сталей после высокотемпературной закалки.

**В четвертой главе** описаны результаты исследования по обоснованию химического состава и режимов термической обработки белых хромистых чугунов 260Х16М2 и 250Х25МФТ в интервале температур нагрева под закалку 900-1170 °С для рабочих лопаток дробеметных аппаратов и износостойких вставок комбинированных втулок буровых насосов типа «сталь-чугун». На основании изучения взаимосвязи фазового состава и структуры, формирующейся в металлической основе изученных хромистых чугунов после высокотемпературной закалки, с их абразивной износостойкостью автор утверждает, что присутствие остаточного метастабильного аустенита, превращающегося в мартенсит в металлической основе так же, как и в сталях

95X18 и X12МФЛ, изученных в 3-й главе, играет ведущую роль в создании высокого уровня упрочнения поверхности изнашивания и обеспечении высокой износостойкости при абразивном изнашивании чугунов.

**Пятая глава** посвящена описанию разработки промышленной технологии, основанной на использовании полученных в работе результатов по термической обработке втулок буровых насосов из стали X12МФЛ, формирующей микроструктуру рабочей поверхности втулок, состоящую из высокоуглеродистого мартенсита, карбидов и остаточного метастабильного аустенита. Совместно с заводскими специалистами практически реализован метод поверхностной высокотемпературной закалки с нагревом токами высокой частоты (ТВЧ). По разработанной технологии с использованием высокотемпературной закалки методом ТВЧ обработана опытная партия втулок насосов из стали X12МФЛ, которая проходит промышленные испытания в условиях ЯНАО. Опытные втулки отработали более 800 часов, т.е. превысили по эксплуатационной стойкости биметаллические втулки со вставкой из чугуна ЧХ20М и находятся ещё в работоспособном состоянии.

**В заключении** обобщены основные результаты выполненного исследования и сделаны выводы по работе.

В целом, рассмотренная диссертация является завершённой научно-исследовательской работой, выполненной на достаточно высоком уровне. Основные результаты опубликованы в 15 печатных работах, из которых 3 включены в перечень, утверждённый ВАК.

### **Значимость для развития материаловедения в машиностроении**

Представлена результатами, полученными соискателем рассматриваемой работы:

– количественно определёнными соотношениями фаз и структурных составляющих металлической основы хромистых сталей ледебуритного класса и износостойких хромистых чугунов с максимально высокой способностью к фрикционному упрочнению и высоким сопротивлением абразивному изнашиванию;

– научного обоснования режимов нагрева и охлаждения при термической обработке хромистых сталей ледебуритного класса и износостойких хромистых чугунов, формирующих структуру с максимальным сопротивлением абразивному изнашиванию;

– определения нанокристаллического размера кристаллов мартенсита деформации на рабочей поверхности хромистой стали и оригинального обоснования периодического их распределения:



**Практическая значимость** диссертации представлена:

– разработанным режимом термической обработки, включающим высокотемпературный объёмный нагрев под закалку хромистых сталей и чугунов с охлаждением в масле или поверхностный нагрев ТВЧ с водовоздушным охлаждением, формирующий диссипативную структуру металлической основы с метастабильным аустенитом с высокой абразивной износостойкостью;

– режим с последующей обработкой холодом и высоким отпуском после высокотемпературной закалки, обуславливающий повышение твердости и износостойкости сталей и чугунов вследствие формирования структуры металлической основы, состоящей из высокоуглеродистого мартенсита охлаждения и остаточного метастабильного аустенита с карбидами.

### **Рекомендации по использованию результатов диссертации**

Вышеперечисленные разработки соискателя, имеющие практическую ценность и апробированные в опытно-промышленном производстве цилиндрических втулок, рекомендуется использовать на отечественных предприятиях, производящих насосы для буровых установок и других конструкций с насосами высокого давления (ОАО «Уралбурмаш», Шадринский насосный завод и т.п.), а также на предприятиях использующих дробемётные аппараты для очистки продукции после отливки и термической обработки, для повышения эксплуатационной стойкости рабочих лопаток.

Полученные в диссертации результаты стоит использовать в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Металлургия», а также при повышении квалификации инженеров по специальности «Материаловедение в машиностроении».

### **Замечания и вопросы по диссертации**

1. Использование высокотемпературной закалки у исследуемых сталей и чугунов с нагревом свыше  $1050^{\circ}\text{C}$  помимо желательного для повышения износостойкости увеличения количества остаточного метастабильного аустенита обуславливает увеличение зерна аустенита, окисления и обезуглероживания поверхности, повышение энергоёмкости процесса закалки, Как это отразится на качестве деталей и экономичности предложенной технологии?

2. Неясно, как присутствие остаточного аустенита в поверхностном слое деталей после высокотемпературной закалки с понижением его микротвёрдости обеспечит рост абразивной износостойкости?

Сделанные замечания не снижают научной новизны и практической значимости результатов диссертационной работы, не оказывают влияния на её общую положительную оценку.

### **Заключение**

Научные положения и выводы, представленные в рассмотренной диссертационной работе, полученные посредством теоретического анализа и экспериментальных исследований, являются обоснованными, достоверными, согласуются с общепринятыми закономерностями теории и практики использования структуры метастабильного аустенита для обеспечения контактной прочности металлических сплавов. Результаты диссертации обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью, и имеют существенное значения для повышения абразивной износостойкости деталей машин.

Автореферат отражает содержание диссертации, её основные результаты и выводы, которые обсуждены на научных конференциях и достаточно полно опубликованы в научной печати, в том числе в изданиях, определенных ВАК РФ.

Диссертация С.М. Никифоровой является самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой решены актуальные научные задачи в области повышения эксплуатационной стойкости быстроизнашивающихся деталей машин, и отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, а её автору может быть присуждена ученая степень кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении).

Отзыв на диссертацию рассмотрен и обсужден на заседании лаборатории металловедения (протокол № 5 от «10» ноября 2017 г.).

Заведующая лабораторией металловедения ОАО «Уральский институт металлов», кандидат технических наук

Добужская Алина Борисовна

Тел. (343) 375-73-76

e-mail: met@uim-stavan.ru

Ученый секретарь ОАО «Уральский институт металлов»

кандидат технических наук

Селетков Александр Игнатьевич

Тел. (343) 375-76-94

e-mail: info@uim-stavan.ru

Почтовый адрес: 620062, г. Екатеринбург, ул. Гагарина 14, пр. Ленина 101, корпус 2