

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ОАО «Научно-исследовательский
институт металлургии»

Шкуркин В.И.

Марта 2014 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Шабурова Андрея Дмитриевича «Теоретические и технологические аспекты энергосберегающей противфлокеной обработки поковок с использованием внепечного замедленного охлаждения в термосах с учетом эффекта захвата водорода ловушками», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность тематики работы

Представленная диссертационная работа посвящена до сих пор актуальной проблеме образования флокенов в стали. На сегодняшний момент существует и успешно применяется такой эффективный металлургический способ борьбы с данным дефектом как вакуумирование стали, после которого содержание водорода в расплаве достигает безопасной с точки зрения образования флокенов концентрации (менее 2,0 ppm). Однако в процессе последующих технологических операций (обработка жидкой стали, разливка) содержание водорода в расплаве повышается. Поэтому на большинстве крупных машиностроительных и металлургических предприятий в качестве дополнительных мер по предотвращению образования флокенов используется также и длительный изотермический противфлокеновый отжиг, в ходе которого растворенный в стали водород диффундирует к поверхности изделия и удаляется в атмосферу. Главным недостатком данного отжига является его продолжительность, которая может достигать, в отдельных случаях, десятков или даже сотен часов.

Таким образом, основной и актуальной целью данной работы стала разработка основ энергосберегающей противфлокеной обработки поковок, которая за счет сокращения продолжительности стандартного противфлокенового отжига

позволяет значительно сэкономить энергоресурсы, высвободить термические печи для следующей партии, что позволит повысить производительность труда.

С другой, металловедческой стороны, предотвратить образование флокенов можно легируя сталь элементами увеличивающими растворимость и уменьшающими коэффициент диффузии водорода в интервале температур образования флокенов. Еще в середине XX века В.И. Архаровым с сотрудниками было показано положительное влияние легирования стали палладием. Сталь легированная палладием в 0,26 масс.% приобретала иммунитет к образованию флокенов. Позднее было показано, что палладий существенно увеличивает растворимость водорода в интервале температур образования флокенов. Таким образом, актуально рассмотреть другие легирующие элементы с точки зрения захвата водорода в так называемые водородные «ловушки». Для решения данной задачи в диссертации поставлена вторая цель – рассчитать на основании литературных экспериментальных данных о растворимости и диффузии водорода в тройных сплавах Fe-N-примесь замещения энергию взаимодействия водорода с примесью замещения, которая и будет определять захват атомов водорода в водородные «ловушки».

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Развита теория диффузионного выделения водорода из стали в процессе охлаждения поковок в термосе с небольшой скоростью. Получена точная формула для времени, на которое можно уменьшить длительность противоблокенного изотермического отжига в печах при использовании термосов.
2. Исследованы процессы ползучести при различных температурах и напряжениях в стали 40ХГМ и получено уравнение ползучести, позволяющее рассчитать эффекты релаксации напряжений при использовании программного комплекса ANSYS.
3. Выполнен расчет напряжений, возникающих при охлаждении поковок от температуры изотермического отжига до комнатной с учетом и без учета релаксации напряжений. Учёт эффекта релаксации оказывает существенное влияние на распределение напряжений и уменьшает их величину. Данный эффект приводит к смене знака от растяжения к сжатию на поверхности поковки и тем самым препятствует образованию здесь флокенов;
4. Различными методами рассчитаны энергии связи атомов легирующего элемента и водорода для широкой группы элементов в стали, которую можно рассматривать как параметр захвата легирующим элементом атомов водорода.
5. Проведен тепловой расчет термоса, важный для оптимизации конструкции и позволяющий выявить места теплопотерь.

Структура и краткое содержание диссертационной работы

Работа изложена на 162 страницах, включая 4 приложения. Основной текст работы разбит на 4 главы.

В первой главе автором был произведен обстоятельное рассмотрение литературных данных касательно проблемы образования флокенов в стали. Был проанализирован большой объем литературных источников. Отмечены основные гипотезы и мнения о природе и причинах образования данного дефекта, выдвигаемые различными авторами, рассмотрены различные факторы, влияющие на их образование: напряжения, как термические, так и структурные и деформационные, химический и фазовый состав, включая влияние микролегирования, а также последующая термическая обработка.

В заключении первой главы, на основании произведенного анализа, сформулированы основные задачи исследования.

Во второй главе произведен расчет энергии связи водорода с различными легирующими элементами на основании формулы Вагнера и экспериментальных данных о растворимости водорода. Расчет производился как исходя из влияния легирования на растворимость водорода в тройных сплавах, так и основываясь на литературных данных о коэффициенте диффузии при легировании.

Рассмотрено также влияние легирующих элементов на давление водорода в микропорах (использованы рассчитанные ранее энергии взаимодействия).

В третьей главе рассмотрены аспекты охлаждения поковок как на воздухе, так и замедленно. Проанализировано влияние охлаждения на термические напряжения, а также изучена проблема диффузионного удаления водорода из стали. Автор не ограничился простым расчетом возникающих термических напряжений по известным формулам, которые давали результат в зависимости от разности температур поверхности и центра. Были проведены опыты на ползучесть, и в программном пакете конечно-элементного анализа смоделировано охлаждение цилиндрической поковки с учетом релаксации упругих напряжений.

Со стороны проблемы диффузионного удаления водорода из стали автором были проведены исследования на собранной экспериментальной установке по насыщению и выделению водорода из образцов при различной температуре экстракции, получены графики выделения водорода. Проанализированы и теоретически описаны кривые содержания водорода в ходе противоблоксного отжига.

В третьей главе также автором проанализированы экспериментальные данные, полученные на ОАО «Уральская кузница» об инкубационном периоде появления флокенов в крупных поковках.

В четвертой главе приведен расчет, на основании которого предложены точные формулы сокращения длительности противоблоксного отжига.

Приведены результаты экспериментов по замедленному охлаждению поковок в термосах, предложена конструкция более теплоизолированных термосов. Предложены конкретные, запатентованные режимы противфлокеной обработки, включающие в себя как охлаждение в термосах после противфлокеного отжига, так и применение двойного замедленного охлаждения в термосах послековки и после противфлокеного отжига. Последний режим позволяет в значительной мере сократить длительность последнего. В конце главы приведены итоги опытного промышленного внедрения технологии.

По каждой главе сделаны выводы. В заключении отражены основные выводы по главам диссертации.

В целом работа оставляет благоприятное впечатление, однако следует указать на **следующие замечания:**

1. В первой главе энергии взаимодействия водород – атом легирующего элемента рассчитаны для чистых безуглеродистых сплавов железа с элементами замещения. Не отражена применимость полученных данных для легированных сталей, содержащих углерод.
2. По тексту диссертации на стр. 49 речь идет об источнике литературы [85], а рисунок 2.4, на который приведена ссылка в тексте, заимствован из [89] того же автора.
3. В третьей главе не приведен расчет количества выделившегося при экспериментах на установке водорода, а также не дана оценка тому обстоятельству, почему кривые выхода водорода лежат на различных уровнях при разных температурах.
4. На аппроксимирующих кривых рисунка 3.9 не указан коэффициент их корреляции.
5. Из текста диссертации непонятно, почему при расчете напряженного состояния не учитывались структурные напряжения.

Указанные замечания не снижают научной ценности работы и не влияют на общее положительное мнение о диссертации.

Достоверность выводов диссертационной работы подтверждается, помимо ясной физической трактовки и непротиворечивости экспериментальных и теоретических результатов, успешной экспериментальной апробацией в промышленных условиях.

Внедрение предложенного в диссертации способа позволило обеспечить в Челябинском филиале ОАО «Уральская кузница» значительный экономический эффект за счет сокращения длительности противфлокеного отжига в среднем на 15 часов в каждой садке и увеличения объема производства, что говорит о высокой **практической значимости** диссертационного исследования. Использование

изобретения подтверждено соответствующим актом внедрения и расчетом экономического эффекта.

Указанный способ может успешно применяться на предприятиях тяжелого машиностроения, а также металлургических предприятиях производящих изделия из флокеночувствительных марок сталей.

Основные результаты диссертации в полной мере отражены в 11 статьях опубликованных в рецензируемых изданиях из перечня ВАК. Также материалы работы были доложены и обсуждены на 6 конференциях как российского, так и международного уровня. Всего по материалам диссертационной работы опубликовано 18 печатных работ.

Представленная диссертационная работа «Теоретические и технологические аспекты энергосберегающей противфлокеной обработки поковок с использованием внепечного замедленного охлаждения в термосах с учетом эффекта захвата водорода ловушками» представляет собой законченное научное исследование, в котором решена важная и актуальная для производства задача – научно обосновано сокращение продолжительности длительного изотермического противфлокеного отжига. Работа выполнена автором самостоятельно на высоком научном уровне, имеет четкие пояснения, расчеты и выводы. Имеется достаточный иллюстративный материал.

Содержание автореферата в полной мере соответствует содержанию диссертации.

Содержание диссертационной работы соответствует профилю специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Шабуров Андрей Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Отзыв рассмотрен и одобрен на научно-производственном семинаре ОАО «НИИМ» «4» марта 2014 года, протокол № 5.

Зам. генерального директора
по науке и новым технологиям, к.т.н.



Агеев
Юрий Андреевич

Почт. адрес: 454047, г. Челябинск, ул. 2-я Павелецкая, 18
e-mail: office@niim.ru
тел.: 8 (351) 735-96-78

Подпись
Гаврилов
Начальник
ОТДЕЛА КАДРОВ
ПАВЛОВА Е.А.

