

ОТЗЫВ

официального оппонента 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

Несмотря на постоянное совершенствование технологии металлургического производства в крупных поковках широкой группы легированных сталей в наши дни, как и много десятилетий назад, часто возникают внутренние дефекты в виде флокенов, резко ухудшающие качество выпускаемой металлопродукции. В связи с этим до настоящего времени остается нерешенным вопрос комплексного метода борьбы с флокенообразованием в стальных поковках. В этом отношении диссертация А.Д. Шабурова, посвященная созданию теоретических и технологических основ новой энергосберегающей противфлокеной обработки с использованием стадии внепечного замедленного охлаждения поковок в термосах, представляется вполне актуальной.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературных источников, включающего 118 наименований. Диссертационная работа характеризуется большим объемом новых экспериментальных данных, полученных расчетным и экспериментальным путем с использованием современной научной аппаратуры и компьютерных программ Mathcad и ANSYS. Результаты работы неоднократно докладывались на авторитетных Российских и Международных конференциях и достаточно полно представлены в научной печати в виде 18 печатных работ, в том числе 11 статей в рецензируемых журналах из списка ВАК и 1 патента на изобретение.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, определена цель и сформулированы задачи исследования, дана общая характеристика работы, перечислены ее основные результаты, раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы и представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен обзор литературы по тематике диссертационной работы и проанализировано современное состояние проблемы образования в крупных поковках таких распространенных дефектов, как флокены. Рассмотрены и критически проанализированы предложенные с начала 20-х годов прошлого века гипотезы образования флокенов и существующие подходы и методы борьбы с ними. На основании проведенного анализа литературных данных по теме диссертации сформулированы задачи исследования.

Во второй главе с использованием известных данных о коэффициентах диффузии водорода в сплавах железа проведены термодинамические расчеты констант равновесия и энергии связи атомов в системе «водород-легирующий элемент». Полученные в этой части работы экспериментальные данные о снижении давления водорода в микропорах при введении в состав сталей Zr, Nb и Ti, могут быть использованы при разработке новых составов сталей для крупных поковок с пониженной чувствительностью к флокенообразованию.

В третьей главе представлены сравнительные результаты моделирования температурных полей в поковках аналитическим методом, а также методами конечных элементов и конечных разностей. Выявлено хорошее соответствие экспериментальных и расчетных данных. Определены температуры в центре и на поверхности поковок диаметром 400 и 1200 мм после охлаждения с 650 до 20°C. К оригинальным результатам этой части работы следует отнести проведенный с использованием экспериментальных данных по ползучести аналитический расчет внутренних напряжений в поковках с учетом и без учета эффекта релаксации. Расчетным методом показано, что на поверхности изделий формируются остаточные сжимающие напряжения, препятствующие образованию флокенов. Значительный интерес представляет выявленное изменение концентрации водорода в поковках, определенное как расчетным, так и экспериментальным методом на установке ИТЦ ОАО «ЧМК» по изучению кинетики выделения водорода при различных температурах. Значительный интерес представляет установленная автором взаимосвязь между кинетикой изменения давления водорода в стали 40ХГМ и эволюцией ее структуры при выдержке в интервале температур 300-600°C.

В четвертой главе с целью обоснования возможности сокращения длительности противоблоксного отжига с использованием технологии внепечного замедленного охлаждения проведен теплофизический расчет термоса, осуществлено компьютерное моделирование процесса охлаждения и выявлены источники возможных потерь тепла. Положительной оценки заслуживают внесенные в тепловые расчеты поправки, связанные с изменением условий диффузии водорода в стали при понижении температуры и соответствующей сменой типа структуры - от аустенитной к феррито-перлитной. Важно отметить, что проведенный в производственных условиях ультразвуковой контроль после противоблоксной обработки по запатентованному с участием диссертанта способу не выявил наличие флокенов ни в одной из 100 проконтролированных поковок.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации: определяется наличием большого теоретического и экспериментального материала, полученного диссертантом с использованием современных

научных приборов и апробированных методов исследования, различных взаимно дополняющих друг друга теоретических методов расчета коэффициентов диффузии, температурных полей и внутренних напряжений в поковках, в том числе с привлечением собственных экспериментальных данных (результаты испытаний на ползучесть). Основные выводы и положения работы логически выстроены, достаточно полно аргументированы и прошли опытную проверку в производственных условиях ОАО «Уральская кузница».

Научная новизна и достоверность результатов

На основании проведенного расчета энергии связи атомов легирующего элемента и водорода развита теория диффузионного выделения водорода из стали при охлаждении поковок. Определены легирующие добавки, введение которых в состав сталей может способствовать снижению склонности к образованию флокенов. Проведен расчет напряжений, возникающих при охлаждении поковок от температуры изотермического отжига до комнатной, с учетом и без учета релаксации напряжений. При этом показано, что эффект релаксации напряжений приводит к смене знака от растяжения к сжатию на поверхности поковки и тем самым препятствует образованию флокенов. Установлено, что распад переохлажденного аустенита при охлаждении поковок активизирует процесс выделения водорода. С помощью проведенных теплофизических расчетов обоснована возможность сокращения длительности противоблоксной изотермической обработки в печах при использовании термосов. Достоверность научных результатов диссертации определяется корректностью постановки задач, использованием современной научной аппаратуры, апробированных компьютерных программ, воспроизводимостью экспериментальных результатов, их хорошей согласованностью с теоретическими, а также с данными, полученными другими исследователями.

Практическая значимость работы

Исследования по диссертационной работе проводились в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ и при поддержке федеральных и ведомственных целевых программ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракты № П409 и 02.740.11.0539) и «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект № 2.1.1/1776). По результатам проведенного исследования предложен новый, защищенный патентом РФ, способ ускоренной противоблоксной термической обработки поковок с использованием замедленного внепечного охлаждения в неотопляемых термосах. Внедрение новой энергосберегающей технологии противоблоксной обработки на ОАО «Уральская кузница» позволило получить в 2011 и 2012 годах суммарный экономический эффект свыше 10 млн. рублей при доле автора диссертации в данном эффекте 15% или 1 млн.546 тыс. руб. Расчет экономического эффекта

от внедрения результатов диссертационной работы прилагается (Приложение Г).

Замечания по работе:

1. В сравнительно небольшом по отношению к общему объему Главы 1 (Литературный обзор) разделе 1.2.2 (Термическая обработка) не представлен анализ предшествующих диссертационной работе исследований, направленных на изыскание путей сокращения времени и снижения тепловых затрат при проведении термической обработки для уменьшения флокенообразования.. Это не позволяет в полной мере оценить научную и техническую новизну разработанного автором диссертации метода противоблокованной обработки с использованием замедленного охлаждения поковок в термосах;
2. На основании проведенных в Главе 2 диссертации расчетов констант равновесия и энергии связи атомов различных металлов с водородом, а также изучение их влияния на давление водорода в микропорах определена группа легирующих элементов (Zr, Nb, Ce, Ti, Mo, Mn), которые могут вводиться в сталь для уменьшения флокенообразования. Однако эта часть работы не имеет практического выхода. На стр.10 автореферата автор сам указывает на проблематичность создания новых сталей с пониженной склонностью к флокенообразованию из-за «регламентации состава сталей стандартами». В этом отношении было бы целесообразно использовать полученные результаты хотя бы для объяснения различной склонности к флокенообразованию известных марок сталей, содержащих приведенные выше легирующие элементы;
3. Из приведенных в разделе 3.3.2 рисунка 3.21 (а-в) трудно однозначно определить тип микроструктуры образцов стали 40ХГМ после выдержки в температурном интервале 300-600°C. При оценке влияния структуры стали на особенности выделения водорода в условиях развития фазовых превращений в процессе охлаждения следовало бы сопоставить полученную зависимость изменения давления водорода от времени (рис.3.22) с экспериментальными или известными по литературе диаграммами изотермического распада аустенита для данной стали;
4. Не совсем корректно приводить на одном рисунке 3.9 кривые ползучести при различных температурах и приложенных напряжениях. Кроме того, кривые 4,5 и 7 на рис.3.9 текста по своему виду соответствуют ускоренной стадии ползучести, а остальные — затухающей стадии низкотемпературной (логарифмической) ползучести. Не ясно, из каких соображений и допущений кривые, соответствующие разным видам ползучести, аппроксимировались одной аналитической функцией (уравнение 3.18 на стр. 74 текста диссертации);

5. Отдельные разделы Главы 4 явно перенасыщены формулами и математическими выкладками для проведения теплофизических расчетов условий охлаждения поковок в термосах, что в некоторой степени затрудняет восприятие диссертации как работы металлургического профиля.

Высказанные замечания не опровергают основных научных результатов и положений работы и не снижают научной и практической значимости диссертации, которая, в целом, вполне заслуживает положительной оценки. Работа подробно иллюстрирована графическим материалом, написана грамотным научно-техническим языком и хорошо отредактирована. В тексте диссертации встречаются лишь отдельные стилистические неточности. Так, на стр. 44 текста использован неудачный термин «Теория коэффициента диффузии...». Автореферат соответствует основному содержанию и научным положениям диссертационной работы.

Заключение

Считаю, что рассмотренная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполнена в актуальном тематическом направлении, имеет научную новизну и практическую значимость. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор, Шабуров А.Д., заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент,
заведующий лабораторией деформирования
и разрушения ИМАШ УрО РАН,
доктор технических наук

07.03.2014

С.В. Гладковский

Подпись Гладковского С.В. удостоверяю

Ученый секретарь ИМАШ УрО РАН
кандидат технических наук



А.М. Поволоцкая