

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу аспиранта

Захарченко Марии Владимировны

«Разработка и внедрение устройства и технологии ускоренного охлаждения для обеспечения механических свойств металла рельсовых накладок», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

Актуальность работы М.В.Захарченко подтверждается необходимостью проведения энергосберегающих и природоохранных мероприятий в одном из самых энергоемких секторов промышленного производства, к тому же, продукция которого имеет существенное значение для обеспечения безопасности железнодорожного транспорта. Для решения задачи производства высококачественной продукции при повышении эффективности работы закалочных агрегатов необходим адекватный анализ, выбор технологии термообработки и точное соблюдение температурно-теплового режима обработки металла. Эта задача также связана с технологией выплавки качественных марок стали, с применением ферросплавов и лигатур, причем задача также состоит и в том, чтобы при внедрении новых технологий производства металлоизделий обеспечить снижение экологической нагрузки на среду обитания. Таким образом, разработка технологических режимов термообработки при ускоренном охлаждении на стадии закалки накладок является актуальной задачей металлургического производства.

Задачи, которые поставила М.В.Захарченко в своей работе, включают проведение математического моделирования процессов теплообмена при охлаждении изделий в различных теплоносителях, разработку методики расчета охлаждения металла при изменяющихся режимах с учетом изменения теплофизических свойств металла. Следует отметить, что обычно задача выбора метода математического описания пространственно – временного температурного поля лежит между аналитическими и численными методами; гибридные схемы встречаются весьма редко.

Аналитические методы, несмотря на их завершенность и совершенство, применимы только при описании температурного поля тел простой, а как чаще отмечают, канонической формы. При переходе к телам реальных форм и размеров рекомендуется применять теорему о перемножении решений, которая также базируется на решениях для тел трех канонических форм. При переходе к более сложной задаче, а именно такая задача рассматривается в рецензируемой диссертации, обнаруживается отсутствие аналитических решений. Причем, ясно, что если даже такие решения будут получены, эти решения будут уступать по точности и достоверности решениям, полученным численными методами. Этими соображениями подтверждается правильность выбора диссертанта в пользу применения численной математической модели.

На основе этой главной задачи определяются частные задачи исследования. В первую очередь – определение основных конструктивных и режимных параметров устройства для струйного охлаждения заготовки. Несмотря на то, что эти данные являются теоретически-расчетными, они дают возможность определить реализуемые коэффициенты теплоотдачи, которые обеспечивают требуемые по условиям получения заданных свойств термообработанных заготовок свойства металла. На основе метода сравнительного анализа экспериментальных данных, полученных при применении различных закалочных сред, диссертант сделала адекватный вывод о том, что применяемые технологии закалки рельсовых накладок не отвечают требованиям по получению требуемых свойств и геометрических параметров изделия. Наиболее перспективным, управляемым и экологически безопасным для термоупрочнения изделий сложной формы является дифференцированное охлаждение. Этим термином диссертант определила зависимость термической массивности обрабатываемого изделия не только от требуемых свойств конечного металла, но и от динамики изменения температурно–пространственного поля этого изделия.

Для адаптации полученных с помощью математического моделирования данных было необходимо провести соответствующее экспериментальное исследование, которое диссертант и выполнила соответствующим образом.



Математическое моделирование процесса охлаждения накладок в масляной ванне и струйного водяного охлаждения позволило автору диссертации определить требования к конструктивным параметрам устройства ускоренного струйного охлаждения и провести предварительную оценку основных характеристик процесса термоупрочнения.

Физическое моделирование процесса охлаждения накладок струями воды при тепловых испытаниях в экспериментальных условиях позволило определить как конструктивные параметры, так и технологические режимы охлаждения, в частности, соотношение расходов воды на различные участки накладки, удовлетворяющие требованиям сохранения геометрии после интенсивного охлаждения. Для практической реализации разработанного диссертантом метода было важно получить экспериментальные данные по зависимости температуры конца охлаждения от режимных факторов, от количества работающих секций и расходов воды. Эти данные в совокупности с полученным экспериментально распределением температуры по длине и периметру накладки после охлаждения позволили рассчитать отводимые в зонах устройства тепловые потоки и адаптировать математическую модель к реальному процессу охлаждения рельсовой накладки струями воды. На основе результатов расчетно-физического моделирования в работе была определена область технологических режимов процесса охлаждения, на которых осуществлялась отработка процесса термоупрочнения.

Определенные в ходе математического и физического моделирования основные конструктивные и режимные параметра устройства для термообработки рельсовых накладок позволили получить равномерное распределение температуры для элементов накладок, имеющих различающуюся термическую массивность, как по сечению изделия, так и по его длине. Эксперименты также показали, что использование струйного водяного охлаждения обеспечивает механические свойства накладок, полностью отвечающее требованиям, а при определенном сочетании расходов воды по зонам устройства также достигается прямолинейность изделия.

Особый интерес вызывает та часть работы, которая посвящена внедрению разработанной технологии в производственный процесс. Промышленная установка была оборудована системой подачи воды на охлаждение, которая обеспечивала управление процессом термообработки после устройств нагрева и прошивки накладок. Были также установлены контрольно-измерительные приборы и системы, обеспечивающие работу установки в автоматическом режиме. Переход к промышленной установке, видимо, не вызвал затруднений, так как все основные параметры были получены на экспериментальной установке в масштабе 1:1. При этом термометры были заменены пирометрами. Промышленная установка состоит из двух секций охлаждения, позволяющих реализовать различную интенсивность теплообмена и обрабатывать накладки в широком диапазоне режимов охлаждения.

На основе проведенных экспериментов в промышленных условиях получены опытные данные по влиянию плотности орошения на плотность теплового потока, которые автор диссертации представила в виде линейных корреляционных зависимостей. При этом были учтены различная ориентация и термическая массивность отдельных элементов изделия. Эти экспериментальные данные отличаются от полученных с помощью математического моделирования не более, чем на 5...7%, поэтому экспериментальные данные можно положить в основу разработки технологических режимов.

Автором диссертации были также исследованы механические свойства полученных в результате термообработки изделий, их прямолинейность и микроструктура. Для этих целей применяли металл с разных предприятий, отличающийся содержанием углерода: НТМК с содержанием углерода 0,46...0,51 % и НКМК с содержанием углерода 0,56...0,58 %. Для накладок этих двух составов металла проведен ряд исследований механических свойств изделий после термообработки на разных режимах работы промышленного закалочного устройства при адаптации результатов к свойствам металла, полученного на экспериментальной установке.



Достоверность полученных диссертантом научно-технических данных следует рассматривать в двух аспектах. Достоверность математического моделирования определяется соблюдением правил перехода от сплошной среды к дискретным элементам модели и учетом температурных зависимостей теплофизических свойств металла. Работа Захарченко М.В. в этом аспекте не вызывает замечаний. Достоверность экспериментальных исследований должна обеспечиваться применением приборов и оборудования известной точности с определением погрешности измерений, что и было выполнено в рецензируемой работе.

Как несомненное научное достижение диссертанта следует считать главный вывод по работе. На основе комплексных теоретико-экспериментальных исследований в работе разработаны, экспериментально проверены и частично внедрены научно-технологические основы для перехода от слабо управляемой технологии термообработки металлических изделий сложной формы к управляемой теплотехнологии получения готового изделия заданной формы и механических свойств.

По работе Захарченко М.В. следует, на мой взгляд, сделать ряд замечаний, которые отражают дискуссионность некоторых элементов работы.

1. На страницах 100...101 автор утверждает, что пересечение линий временного сопротивления разрыву и предела текучести соответствует оптимальному сочетанию пластических и прочностных свойств металла, полученных в результате термообработки. Но в действительности эта точка только соответствует равенству временного сопротивления разрыву пределу текучести в принятом координатном пространстве. Но на рисунках 3.8 и 3.9 приведенных графиках наблюдается монотонное снижение и временного сопротивления разрыву и предела текучести с увеличением температуры конца охлаждения, что полностью соответствует представлениям о механических свойствах металла после термообработки. А увеличение относительного удлинения и сужения лишь подчеркивает снижение предела текучести с увеличением температуры конца охлаждения. Представляется рациональным определение оптимального сочетания прочностных и

пластических свойств изделия по результатам моделирования механических испытаний накладки под действием всей гаммы механических нагрузок, которые наблюдаются на практике, но это выходит за рамки поставленной в диссертации задачи.

2. При решении задач математической модели автор использовала данные о теплофизических свойствах металла почти полувековой давности. При этом из области внимания выпали исследования по изменению теплофизических свойств металлов при микролегировании и присадке других материалов по результатам новых исследований.

3. Математическая модель нагрева металлической накладки учитывает изменение размеров в направлении двух координат, в то время, как в направлении отсутствующей координаты «z» имеются неоднородности в виде отверстий. Как эти неоднородности учитывались при математическом моделировании?

Практическая значимость работы Захарченко М.В. заключается в опыте внедрения научных разработок в практику производства на одном из предприятий Урала при закалке изделий сложной формы. В работе получены новые теоретические и экспериментальные данные по динамике охлаждения стали, неоднородности температурного поля и получению требуемых механических свойств готовых изделий. Доказана адекватность расчетных параметров фактическим показателям работы промышленного агрегата.

Переходя к общей оценке диссертационной работы Захарченко М.В., следует отметить обоснованную выше актуальность, а также степень научной новизны при разработке вопросов, связанных с особенностями тепловых процессов при описании технологии термообработки изделий сложной формы с достижением требуемых механических свойств и геометрических размеров рельсовых накладок. Так как диссертант самостоятельно реализовывала рекомендации на металлургическом заводе, то несомненно, что работа имеет значение для практики металлургического производства. Диссертация является законченной на стадии поставленных задач научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно



обоснованные технические и технологические решения, имеющие большое значение для развития и совершенствования производства металлоизделий сложной формы. В частности, повышение качества рельсовых накладок способствует развитию и совершенствованию железнодорожного транспорта страны.

Диссертация написана лаконично и грамотно, содержание автореферата в основных пунктах соответствует содержанию диссертации, которое достаточно полно освещено в научных публикациях – 19, из них 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК. Кроме того, основные результаты диссертации прошли апробацию на ряде конференций и семинаров.

Считаю, что диссертационная работа Захарченко М.В. соответствует требованиям п. 9 «Положение о присуждении учёных степеней» к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Профессор,  
Кафедра «Промышленной теплоэнергетики»,  
ФГБОУ ВПО  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»,  
Доктор технических наук, профессор,  
Заслуженный деятель науки и техники РФ  
Торопов Евгений Васильевич



454080, Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, д. 76, а.266  
E-mail: [pte@susu.ac.ru](mailto:pte@susu.ac.ru), Тел./факс: +7 (351) 267-93-95  
«26» ноября 2014 г.

