

На правах рукописи

Зубкова Елена Николаевна

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАПЛАВКИ
БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ С ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИМИ
КОМПОНЕНТАМИ**

05.03.06 – Технологии и машины
сварочного производства

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург

2002

Диссертация выполнена в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете.

Научный консультант - доктор технических наук, профессор
БАШЕНКО Всеволод Владимирович

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
СУЗДАЛЕВ Игорь Владимирович
- доктор технических наук, профессор
РУССО Владимир Леонидович
- доктор технических наук, профессор
ШАТЕРИН Михаил Андреевич

Ведущая организация - Открытое акционерное общество
«Тверской вагоностроительный завод»

Защита состоится «__» _____ 2003 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.03 Санкт-Петербургского государственного политехнического университета по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, химический корпус, ауд. 51.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

Автореферат разослан «__» _____ 2003 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор

В.А. Кархин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Современное экономическое развитие требует совершенствования существующих и создания новых инструментальных материалов, обеспечивающих повышение эффективности машиностроительного производства. При этом особый интерес представляют быстрорежущие стали, потребление которых в России остается преобладающим. По прогнозам на ближайшие годы их использование составит около 68% от общего объема инструментальных материалов [ИТО «Новости», 2000, №2. С. 1- 2].

Основным направлением работ по совершенствованию быстрорежущих сталей, является разрешение противоречий, с одной стороны, между дефицитностью основных компонентов и необходимостью создания полноценных заменителей, с другой, между условиями обеспечения основных эксплуатационных свойств сталей (твердости, теплостойкости, износостойкости) и приемлемых технологических характеристик.

Данные противоречия, вероятно, не разрешимые методами классической металлургии, могут успешно решаться с применением сварочных технологий.

Совокупность теоретических разработок и базы достоверных экспериментальных данных позволят решать задачи по созданию новых наплавочных материалов на основе быстрорежущих сталей.

В представленной диссертационной работе изложены научно-обоснованные решения в области разработки наплавочных материалов и технологии наплавки быстрорежущих сталей с пленкообразующими компонентами. Введение поверхностно-активных элементов в материал инструмента будет способствовать повышению производительности обработки инструментом из быстрорежущих сталей, что позволит внести значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса.

Цель работы. На основе теоретического анализа и комплексного экспериментального исследования создать научную базу для решения технологических задач в области наплавки быстрорежущих сталей с

пленкообразующими компонентами и совершенствования существующих наплавочных материалов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи.

- Доказать возможность создания сварочными технологиями быстрорежущих сталей с пленкообразующими компонентами при условии сохранения и повышения их технологических и эксплуатационных свойств.

- На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований решить вопросы обеспечения химической однородности и технологической прочности наплавленных быстрорежущих сталей, содержащих сульфидные включения.

- Разработать и проанализировать числовые модели микроструктур наплавленных быстрорежущих сталей с варьируемым содержанием серы.

- Основываясь на комплексе методов и результатов исследований разработать наплавочные материалы, способы и технологии наплавки инструмента.

Научная новизна результатов.

- Определены требования к термическому циклу наплавки и последующему термическому воздействию на структуру наплавленного металла, позволяющие избежать операций термической обработки (отжиг, закалка) с целью получения наплавленных быстрорежущих сталей с равномерным распределением мелкодисперсных глобулярных сульфидных включений и сохранением их первоначальной природы.

- Разработаны способы наплавки, позволяющие получать быстрорежущие стали с пленкообразующими компонентами, обладающие высокими технологическими и эксплуатационными свойствами.

- Разработана методика адгезионных испытаний для исследования тепловых процессов, протекающих в зоне ювенильного контакта наплавленного инструмента и обрабатываемого изделия.

- Получены сведения о количественных изменениях структур наплавленного металла на основе быстрорежущих сталей с пленкообразующими компонентами, необходимые для управления

структурными превращениями при наплавке с целью дальнейшего снижения адгезионных свойств данных сталей.

Практическая ценность.

- Разработаны наплавочные материалы и технологии наплавки быстрорежущих сталей с пленкообразующими компонентами.

- Разработаны технологии изготовления наплавленного металлорежущего инструмента повышенной производительности.

Апробация. Основные результаты работы докладывались на конференции молодых ученых и специалистов Тверского региона (Тверь, 1995г.), Международном научном конгрессе студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука - третье тысячелетие» (Москва, 1996г.), Международной научно-технической конференции «Прогрессивные методы получения и обработки конструкционных материалов и покрытий, обеспечивающих долговечность деталей машин» (Волгоград, 1996г.), Международной конференции «Повышение эффективности сварочного производства» (Липецк, 1996г.), Международной конференции «Повышение эффективности металлургического производства» (Липецк, 1997г.), конференции «Пути развития сварочных технологий на предприятиях г. Москвы» (Москва, 1997г.), конференции «Восстановление и упрочнение деталей - современный и эффективный способ повышения надежности машин» (Москва, 1997г.), юбилейной конференция ученых и преподавателей Тверского государственного технического университета (Тверь, 1998г.), научно-технической конференции «Современные технологии в машиностроении» (Пенза, 1998г.), научно-технической конференции «Повышение эффективности металлургического производства» (Липецк, 1998г.), международной традиционной научно-технической конференции «Прогрессивные методы и технологии получения и обработки конструкционных материалов и покрытий» (Волгоград, 1999г.), Международной научно-технической конференции «Сварка - 2000» (Санкт-Петербург, 2000 г.), Troisième Conférence Internationale sur la Coupe des Métaux et l'Usinage à Grand Vitesse (2001, Metz, France), Всероссийской с

международным участием научно-технической конференции «Перспективные пути развития сварки и контроля – Сварка и контроль 2001» (Воронеж, 2001г.), на научных семинарах кафедры «Теория и технология сварки» Санкт-Петербургского государственного технического университета (Санкт-Петербург, 1999 - 2002 г.г.) и кафедры «Технология металлов и материаловедение» Тверского государственного технического университета (Тверь, 1996-2002).

Результаты работы экспонировались на Научно-технической выставке «Порошковая металлургия России» (Санкт-Петербург, 1995; Москва, 1996), на Международной выставке «Металлообработка-96» (Москва, ВЦ «Сокольники», 1996), в Совете Федерации (Москва, 1998), Третьей выставке-ярмарке «Современная образовательная среда» (Москва, ВВЦ, 2001,2002).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 38 печатных работы (в том числе монография и три патента на изобретения).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и приложений. Текст диссертации изложен на 360 с. машинописного текста и поясняется 80 рисунками и 41 таблицей. Список литературы включает 312 наименований, в том числе 79 на иностранных языках.

Введение содержит общую характеристику работы. Дается обоснование актуальности темы диссертации. Формулируются цель и задачи работы, научная новизна, практическая ценность. Приводятся сведения о публикации результатов исследований.

Первая глава включает обзор работ в области совершенствования структуры и свойств быстрорежущих сталей и критический анализ современного состояния теоретических и экспериментальных исследований по данной проблеме.

Благодаря трудам ведущих научных школ, многие вопросы совершенствования данных сталей были успешно решены. С помощью специального легирования и сложной термической обработки были достигнуты уникальные свойства быстрорежущих сталей. Работы

И.И. Фрумина, М.И. Разикова и др. ученых внесли вклад в создание новых наплавочных материалов и технологий наплавки быстрорежущих сталей.

Сегодня быстрорежущие стали представляют собой одну из наиболее характерных и часто применяемых групп инструментальных сталей. Обладая высокой прочностью (до 3200МПа), достаточно высокой твердостью (до HRC 72), имея износостойкость, превышающую по абсолютной величине другие инструментальные материалы, быстрорежущие стали сильно проигрывают по теплостойкости. Именно теплостойкость является главным лимитирующим фактором повышения производительности обработки.

Предел повышения теплостойкости обусловлен мартенситной структурой сталей. Максимальная температура, при которой коагуляция карбидов и интерметаллидов не несет за собой понижение твердости менее HRC 60 составляет 720°C. Например, теплостойкость твердого сплава ВК-8 около 800°C против 645°C для умеренно легированной быстрорежущей стали повышенной теплостойкости Р9М4К6Ф.

Одним из основных источников теплоты при обработке являются силы трения, возникающие при взаимодействии инструмента с обрабатываемым металлом. По своей природе эти силы не однородны. В температурном интервале, характерном для работы быстрорежущих сталей (500...700°C) преобладает адгезионная составляющая сил трения, принцип которой заключается в микросхватывании – микросваривании частиц взаимодействующих сталей. Таким образом, снижение тепловыделения в зоне обработки возможно при уменьшении адгезии.

В практике с этой целью используют СОТС, обеспечивающие создание в зоне контакта пленок с пониженным сдвиговым сопротивлением. В процессы схватывания - сваривания не вовлекаются непосредственно инструмент и обрабатываемый металл. Каждый из них адгезионно связывается пленкой, которая в силу низкого сдвигового сопротивления легко разрушается. При этом снижается износ и тепловыделение. Однако из-за наличия значительных давлений в зоне контакта СОТС не обеспечивают достаточно надежного образования пленок.

Проблема повышения производительности обработки быстрорежущими сталями решается путем введения пленкообразующих добавок (неметаллических включений) в обрабатываемый металл. Это вызывает определенные технологические трудности при производстве стали. Необходимо использование дополнительных технологических приемов для предупреждения дефектов и контроль поведения неметаллических включений на всех стадиях обработки, что не всегда экономически оправдано.

В связи с этим наиболее перспективным направлением повышения производительности обработки является снижение тепловыделения в зоне контакта инструмент - обрабатываемое изделие за счет введения пленкообразующих элементов (например, серы) в материал инструмента, т.е., непосредственно в быстрорежущую сталь.

Подобные составы быстрорежущих сталей были разработаны с применением методов порошковой металлургии и литья, но не нашли достаточно широкого применения вследствие снижения технологических и эксплуатационных свойств.

Одним из перспективных направлений в области создания быстрорежущих сталей с пленкообразующими компонентами является применение наплавки.

Анализ результатов исследований влияния пленкообразующих компонентов на технологические и эксплуатационные свойства быстрорежущих сталей необходимо осуществлять с учетом достижений в области сварки.

Большой вклад в становление и развитие науки, касающейся вопросов химической макронеоднородности сварных соединений был внесен профессором Г.Л. Петровым. Микрхимическая неоднородность сварных соединений подробно изучена учеными Института Электросварки им. Е.О. Патона.

Предшествующий анализ работ показал направленность исследований в область предупреждения образования включений, преимущественно

экзогенных, и устранения серы путем перевода в шлак или связывания в тугоплавкие сульфиды типа MnS . В целом улучшение свойств сталей и металла сварных швов достигается сведением содержания таких ликвирующих элементов, как сера, к минимуму.

Специфика данной работы заключается в специальном введении достаточно большого количества серы в наплавленный металл и проведения мероприятий по связыванию данного элемента в соединения глобулярной формы, мелкодисперсные и равномерно распределенные в объеме наплавленного слоя, не дающие легкоплавких составляющих. В данном случае речь идет об эндогенных включениях.

В литературе не обнаружены сведения о технологической прочности быстрорежущих сталей при наплавке, поэтому целесообразно в исследованиях опираться на основополагающие труды российских и зарубежных ученых в области сварки высоколегированных сталей.

Недостаточность теоретических сведений о поведении пленкообразующих компонентов при наплавке и отсутствие достоверных экспериментальных данных является препятствием для научно обоснованного решения технологических задач в области разработки и совершенствования наплавочных материалов и технологий наплавки инструмента с высокими технологическими и эксплуатационными свойствами.

На основании аналитического обзора сформулированы задачи исследования.

Во второй главе рассмотрены вопросы снижения химической неоднородности наплавленного металла с пленкообразующими компонентами.

Основной отличительной чертой данных сталей является высокое содержание серы, располагающейся в виде различных неметаллических включений более или менее равномерно распределенных в объеме. В связи с этим были подробно рассмотрены некоторые аспекты их образования и распределения.

Степень эффективности влияния сульфидов на повышение производительности зависит не только от базового химического состава быстрорежущих сталей, но и от условий их получения и последующих переделов, влияющих на состав и морфологию неметаллических включений.

Как известно, в реальных условиях при выплавке стали не представляется возможным получение определенного типа, состава, размеров сульфидов вследствие различных скоростей кристаллизации поверхностных и глубинных слоев слитка и связанной с этим химической неоднородностью стали. Это различие в морфологии сульфидов наследуется при последующих переделах и предопределяет неоднородность стали по сечению заготовок.

В работе доказано, что при наплавке имеются возможности для получения сульфидов необходимого морфологического типа, достаточно равномерно распределенных в объеме наплавленного металла с пленкообразующими компонентами.

Отмечено, что поскольку при наплавке формирующиеся сульфиды относятся к эндогенным, их величина и распределение находятся в прямо пропорциональной зависимости от размеров структурных составляющих.

Вторым важным вопросом являлось создание условий по сохранению полученных сульфидов.

В литературе не обнаружены сведения по исследованию структуры и свойств быстрорежущих сталей (и сталей с повышенным содержанием серы вообще) с сохраненной морфологией и распределением сульфидных включений. Как правило, речь идет о сталях пластически деформированных, в которых неметаллические включения подвергаются деформации, дробятся. При этом изменяются их свойства, распределение. Применение высокотемпературных операций отжига и закалки также вызывает изменение в морфологии и распределении большинства сульфидов.

В результате анализа дефектов структуры, вызываемых нарушением морфологии и распределения неметаллических включений вследствие их разрушения, формируется односторонний взгляд о сульфидах, как о вредных

примесях, за исключением, может быть, сульфида марганца. Влияние обработки давлением сказывается достаточно благоприятно на последний морфологический тип.

При классических способах выплавки быстрорежущей стали отказ от применения классической термической обработки и методов пластической деформации невозможен из-за неудовлетворительных характеристик структуры и свойств литой стали. С другой стороны, вышеперечисленные операции технологического процесса неприемлемы для случая получения быстрорежущих сталей с пленкообразующими компонентами.

Разрешение данного противоречия, на наш взгляд, возможно с помощью наплавки при условии применения способов наплавки, обеспечивающих получение наплавленного металла в закаленном состоянии. При этом отпадает необходимость применения высокотемпературных операций отжига и закалки, и термическая обработка сводится к проведению классического отпуска.

Процесс наплавки рекомендуется проводить при низкотемпературном подогреве, несколько превышающем температуру начала мартенситного превращения, или при его отсутствии за счет возникающего автоподогрева. При наплавке необходимо обеспечивать достаточно высокие скорости охлаждения с целью сохранения высоколегированного твердого раствора аустенита. После окончания процесса наплавки нужно создавать условия для равномерного протекания мартенситного превращения во всем объеме наплавленного металла.

В этом случае структура представляет собой высоколегированный мартенсит (на уровне закаленного), остаточный аустенит и карбиды, что характерно для закаленной быстрорежущей стали.

Для реализации предложенного способа наплавки требуется соблюдение определенного термического цикла. В первую очередь это касается сохранения допустимых минимальных скоростей охлаждения в интервале температур минимальной устойчивости аустенита.

Значительное уменьшение скоростей охлаждения приводит к снижению легированности аустенита, снижению пластических свойств наплавленного металла и его деформационной способности. При этом наплавленный металл становится более склонным к образованию трещин, а свойства в меньшей степени отвечают требованиям, предъявляемым к изделиям.

В главе проведены исследования по оценке теплового состояния быстрорежущих сталей в процессе наплавки.

Вариант термического цикла, обеспечивающий получение наплавленного металла с мелкодисперсными, равномерно распределенными сульфидами глобулярной формы при соответствующем легировании приведен на рис.1.

Для выявления макронеоднородности (ликвационной неоднородности) наплавленных по предложенному термическому циклу быстрорежущих сталей, применяли метод глубокого травления. В результате исследований макрошлифы имели рельефную поверхность с отчетливо видимыми осями дендритов. Было отмечено отсутствие пористости, трещин и других возможных дефектов.

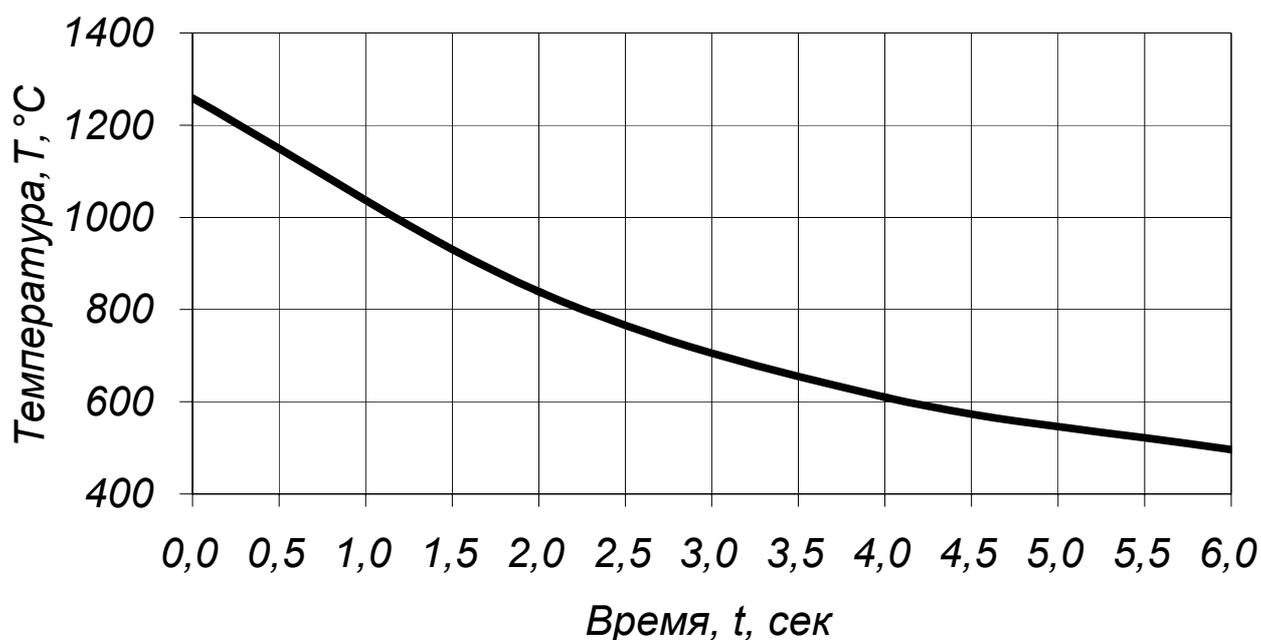


Рис.1. Термический цикл наплавки

Распределение серы (сульфидов) оценивалось методом серного отпечатка по ГОСТ 10243-75, однако метод оказался нечувствительным к имеющимся достаточно мелкодисперсным и равномерно распределенным сульфидам, что было подтверждено другими методами исследований.

Исследование степени химической неоднородности проводили с использованием современного физического метода: *Glow Discharge Spectroscopy* (*GDS*). С помощью анализа *GDS* была получена качественная картина распределения основных легирующих элементов в объеме наплавленной быстрорежущей стали (от поверхности в глубину ориентировочно до 150 мкм).

Для проведения исследований использовалась установка по спектрометрии марки *GDS-750A (LECO)*, *CTITS*, *CATION*, (г. Монбельяр, Франция).

Результаты исследования степени химической неоднородности наплавленных быстрорежущих сталей показали, что увеличение содержания серы с 0,024 % (в соответствии с ГОСТ19265-73) до 0,32% по массе не оказывает заметного влияния на перераспределение легирующих элементов в объеме наплавленного слоя и не вызывает ликваций, трещин, пор и других дефектов.

Для оценки структурной неоднородности наплавленного металла были проведены исследования по изучению морфологии и характера распределения структурных составляющих, количественных изменений микроструктуры, связанных с повышением содержания серы. Использовался растровый электронный микроскоп *Philips 501*, соединенный с металлографическим комплексом, состоящим из цифровой видеокамеры, адаптера и компьютера.

Поскольку РЭМ соединялся с системой микроанализатора, имелась возможность параллельного проведения качественного и количественного анализов, что позволило с достаточно высокой степенью надежности идентифицировать структурные составляющие.

Результаты исследований показали, что наплавленный металл имеет мелкозернистую структуру: номер зерна 11-12 (рис.2). Повышение содержания серы не влияет на размеры зерна и равномерность сечений дендритных ветвей исследуемых быстрорежущих сталей.

Исследование эвтектических составляющих наплавленных и термически обработанных быстрорежущих сталей выявило наличие в данных сталях эвтектик двух морфологических типов: стержневой (преимущественно) и ванадиево-карбидной. Отмечено равномерное распределение эвтектических колоний в объеме наплавленного металла.

Установлено, что повышение содержания серы с 0,025% до 0,3% в наплавленном металле вносит изменение в количественный состав эвтектики и влияет на соотношение структурных составляющих (табл.1). Количество эвтектической составляющей увеличивается преимущественно за счет образования стержневой эвтектики в 1,5...2 раза.

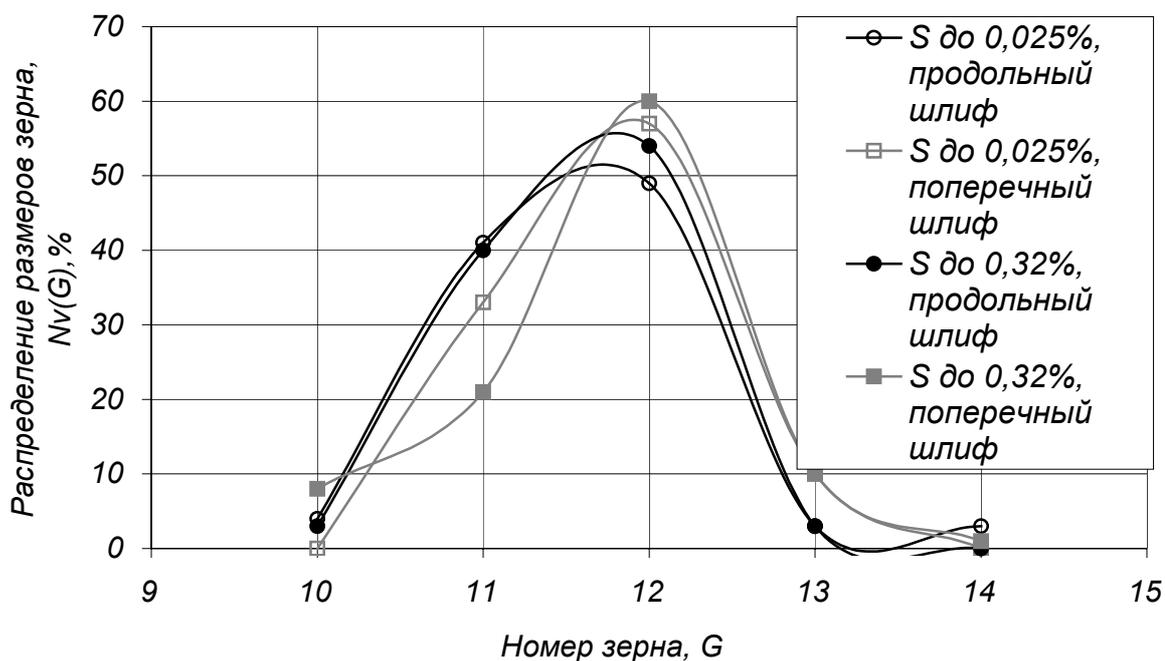


Рис. 2. Распределение размеров зерна в объеме наплавленного металла

Таблица 1

Объемная доля основных структурных составляющих в наплавленном металле

| Содержание | Вид шлифа | Зерно | Эвтектическая | Неметаллические |
|------------|-----------|-------|---------------|-----------------|
|------------|-----------|-------|---------------|-----------------|

| серы, % по массе | | | составляющая | включения |
|------------------|------------|-------|--------------|-----------|
| до 0,025 | продольный | 84,67 | 15,29 | 0,04 |
| | поперечный | 86,45 | 13,44 | 0,11 |
| до 0,32 | продольный | 69,47 | 30,19 | 0,34 |
| | поперечный | 78,74 | 20,78 | 0,48 |

Исследования структурных элементов различных микроучастков образцов с помощью микроанализатора выявило достаточно равномерную картину распределения легирующих элементов внутри фазовых составляющих наплавленного металла. Повышение содержания серы до 0,32% по массе не изменяет картину однородного внутрифазового состава наплавленного металла (табл.2).

Таблица 2

Распределение основных легирующих элементов между структурными составляющими в наплавленном металле

| Элемент | Содержание серы, до, % по массе | Зерно | Стержневая эвтектика | Ванадиево-карбидная эвтектика |
|---------|---------------------------------|-------|----------------------|-------------------------------|
| Fe | 0,025% | 81,32 | 54,79 | 71,80 |
| | 0,3% | 70,56 | 53,29 | 46,14 |
| W | 0,025% | 2,90 | 19,17 | 9,21 |
| | 0,3% | 7,97 | 20,11 | 16,25 |
| Mo | 0,025% | 2,81 | 10,03 | 5,05 |
| | 0,3% | 2,91 | 7,69 | 7,62 |
| V | 0,025% | 0,95 | 3,91 | 1,38 |
| | 0,3% | 1,20 | 2,74 | 12,46 |
| Cr | 0,025% | 3,14 | 3,86 | 3,45 |
| | 0,3% | 3,39 | 5,16 | 5,99 |
| Co | 0,025% | 6,03 | 4,37 | 5,36 |
| | 0,3% | 10,30 | 7,23 | 6,06 |

| | | | | |
|----|--------|------|------|------|
| Al | 0,025% | 0,85 | 0,29 | 0,48 |
| | 0,3% | 2,06 | 0,85 | 0,64 |

Применение существующих методов исследования неметаллических включений, определенных стандартом недостаточно эффективно, поскольку сульфиды в наплавленном металле настолько малы, что не входят ни в одну из установленных размерных групп. Например, наименьшая размерная группа составляет 7...14 мкм (ГОСТ-1778-70), а средний размер включения 0,5...1 мкм. В связи с этим использовали методы структурного анализа с применением компьютеров *Power Macintosh 7200/90*, *PC Pentium 3/1200* и программного обеспечения: *NIH 1.8*, *ScnImage 2000*, (USA); *Microsoft Excel*, *Power Point*. В результате исследований была выявлена размерная однородность структурных составляющих в наплавленном металле с варьируемым содержанием серы.

Рентгеноструктурный анализ выполнялся на установке *Siemens D 500* (ENS, Страсбург, Франция). В результате исследований были идентифицированы сульфиды: Co_4S_3 и Mo_2S_3 .

Методами стереологического анализа установлено, что средний размер включений составляет 0,5...1 мкм ($N_V = 15...17\%$) (рис.3). Объемная доля включений размером 0,5...1 мкм: $V_V \approx 10\%$ (рис.4.).

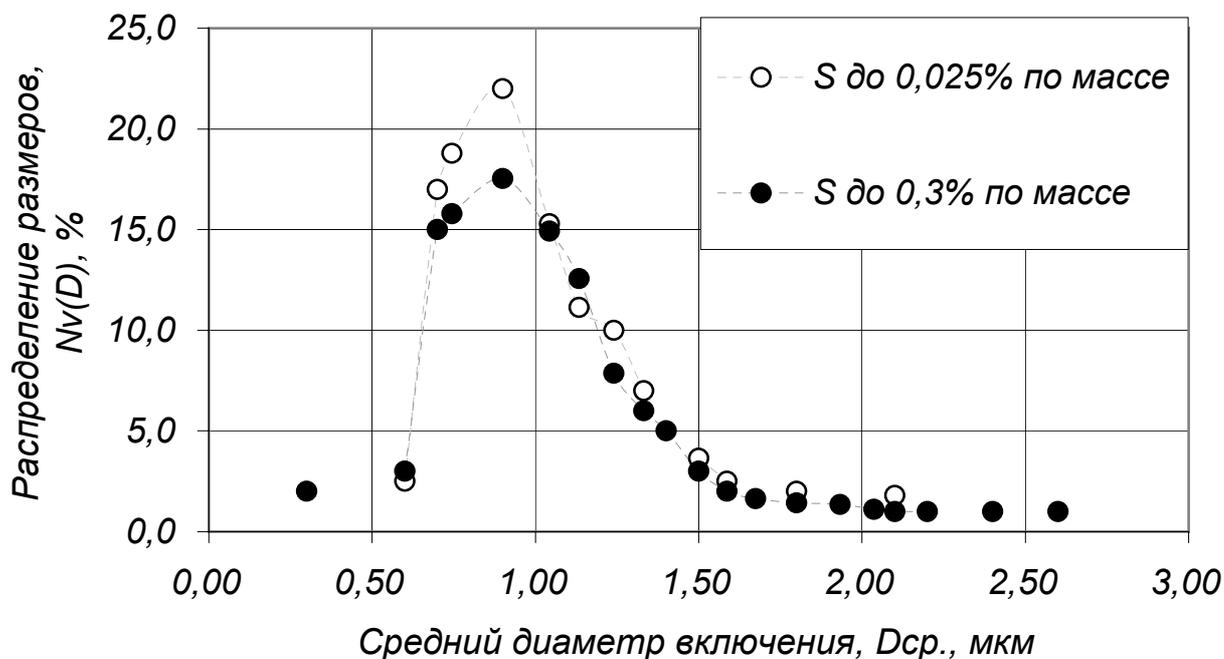


Рис.3. Распределение размеров неметаллических включений в объеме наплавленного металла

На основании анализа литературных данных и с учетом проведенных морфологических исследований описан механизм кристаллизации быстрорежущих сталей с пленкообразующими компонентами, наплаваемых с соблюдением заданного термического цикла. Установлено, что после процесса дендритной кристаллизации, при котором отмечается стабилизация δ -эвтектоида (при наличии серы до 0,32%) происходит образование ванадиево-карбидной эвтектики на основе карбида VC. Далее формируется стержневая эвтектика на базе карбида M_2C . Образование сульфидных включений происходит на стадии завершения эвтектической кристаллизации.

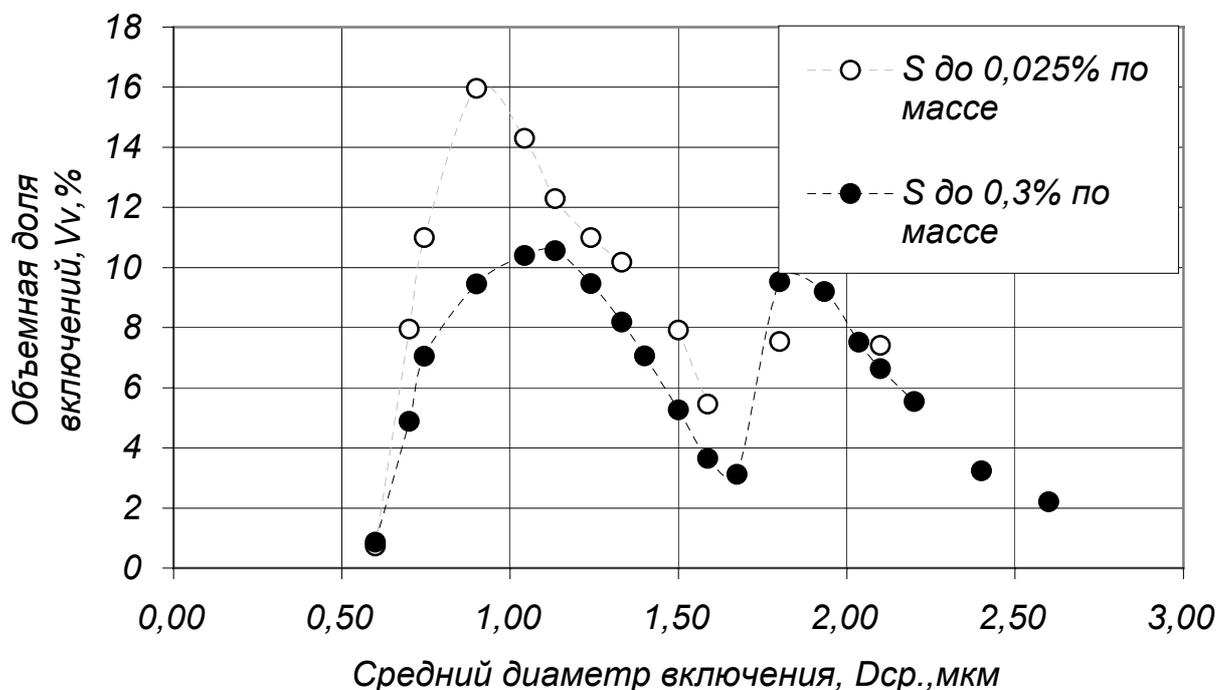


Рис.4. Объемная доля неметаллических включений в наплавленном металле в зависимости от их размеров

Третья глава посвящена исследованию технологической прочности разработанных наплавленных быстрорежущих сталей с пленкообразующими компонентами и выявлению степени эффективности используемых способов повышения сопротивляемости образованию горячих трещин при наплавке данных сталей.

Анализ приемлемости различных способов и приемов повышения сопротивляемости образованию горячих трещин при наплавке быстрорежущих сталей с пленкообразующими компонентами показал, что имеющиеся возможности достаточно ограничены и результат воздействия некоторых технологические приемов неоднозначен.

На основании аналитического обзора и экспериментальных исследований было установлено, что при наплавке быстрорежущих сталей с пленкообразующими компонентами, наиболее эффективными способами повышения сопротивляемости образованию горячих трещин являются:

- снижение воздействия силового фактора на склонность к образованию горячих трещин за счет выбора технологичных конструкций

заготовок под наплавку, предусматривающих небольшую протяженность наплавленного валика и благоприятную геометрию паза;

- металлургическим путем за счет регулирования химического состава наплавочных материалов: введения легирующих элементов, образующих при определенных условиях с серой тугоплавкие мелкодисперсные и равномерно распределенные сульфиды глобулярной формы на завершающей стадии кристаллизации сварочной ванны; введения в достаточном количестве Mn, V, Cr, способствующих образованию дендритной равноосной структуры, обладающей большей сопротивляемостью к образованию горячих трещин;

- технологическим путем: измельчением первичной структуры наплавленной быстрорежущей стали за счет высоких скоростей охлаждения.

На основании сформулированных в работе принципов методологии испытаний по оценке сопротивляемости наплавляемых быстрорежущих сталей с пленкообразующими компонентами образованию горячих трещин разработан комплекс оборудования и технологической оснастки по исследованию технологической прочности.

За критерий технологической прочности принято значение продольной деформации, вызывающее образование горячих трещин в наплавленном металле.

Установлены зависимости стойкости наплавленного металла 90X3B11M4K6ФЮ и 90X4B12M5K6Ф2Ю к образованию горячих трещин от величины внутренних напряжений, возникающих при остывании наплавленного металла.

Выявлено, что увеличение содержания серы от нормированного по ГОСТ 19265-73 до рекомендуемого в работе 0,32% приводит к некоторому снижению сопротивляемости наплавленных сталей образованию горячих трещин в ТИХ. Завышенные режимы нагружения при испытаниях по сравнению с реальными условиями температурно-деформационного состояния, имеющего место при наплавке, позволяют считать, что быстрорежущие стали с пленкообразующими компонентами, наплавляемые с соблюдением определенного термического цикла в ТИХ, обладают

достаточным запасом технологической прочности, который не исчерпывается при содержании серы до 0,32%.

На рис.5. проиллюстрированы темпы развития внутренних деформаций наплавленных валиков в диапазоне температур ($T_{пл.}-0,8T_{пл.}$).

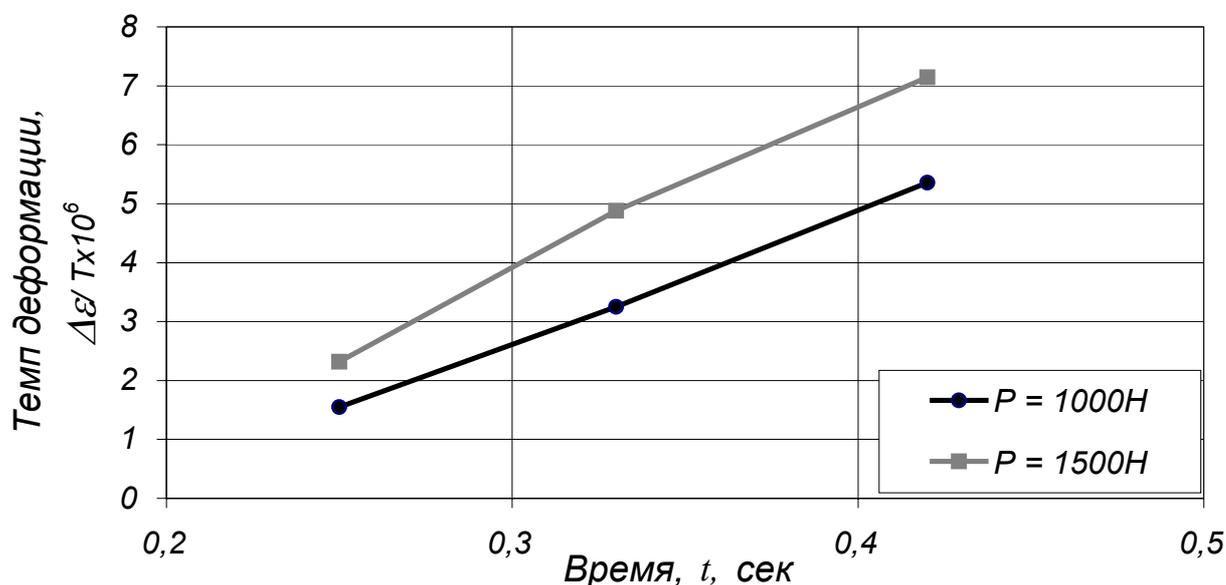


Рис.5. Темп развития деформаций наплавленного валика в диапазоне ($T_{пл.}-0,8T_{пл.}$) в зависимости от прилагаемой продольной нагрузки

В четвертой главе изложены теоретические основы адгезионного взаимодействия быстрорежущих сталей с конструкционными сталями.

Анализ литературных данных показал, что известные методы исследования тепловых процессов при обработке резанием не позволяют достаточно адекватно оценивать интенсивность адгезионного взаимодействия материалов инструмента и обрабатываемого изделия. В связи с этим была предложена методика, позволяющая рассматривать процессы адгезии вне совокупности других факторов, влияющих на температуру в процессе обработки.

Была разработана физическая модель, в основу которой заложено условие соблюдения ювенильности контакта поверхностей инструмента и обрабатываемого изделия.

Оценка адекватности физической модели реальным процессам адгезионного взаимодействия при резании осуществлялась с помощью созданной установки, принцип которой состоял в следующем. К торцу наплавленного цилиндрического образца поджимался цилиндрический образец из конструкционной низколегированной стали, закрепленный в устройстве нагружения. Величина усилия сжатия определялась деформацией пружины. Наплавленному образцу придавалось вращательное движение. В зоне контакта происходило образование и разрушение адгезионных связей с выделением теплоты.

Для адекватности моделируемого процесса реальным условиям резания в зоне контакта образцов обеспечивался температурный режим, характерный для обработки инструментом из быстрорежущих сталей. Критерием оценки являлась температура в зоне контакта образцов.

На основании имеющихся литературных данных и проведенных исследований была получена информация о влиянии режимов нагружения и скорости на температуру в плоскости контакта двух вращающихся цилиндрических тел.

Предварительно определялись параметры режимов испытаний (нагрузка на контакт «наплавленный металл – конструкционная низколегированная сталь», частота вращения наплавленного образца).

Для получения функциональной зависимости между измеренной температурой в теле образца и температурой на контактной поверхности были проведены две серии опытов, с различными параметрами режимов испытаний: 1 серия: $n = 900$ об/мин; $P = 1470$ Н; 2 серия: $n = 1120$ об/мин; $P = 1470$ Н. Выполнена статистическая обработка и получены аппроксимирующие функции распределения температуры вдоль поверхности по телу образца первой (2) и второй (3) серий опытов. За основу было принято выражение экспоненциальной формы с линейной составляющей (1).

$$T = a x e^{-b \cdot x h} - c x h + d, \quad (1)$$

где: T – температура, °C; h – глубина залегания рабочего спая термопары, мм; a, b, c, d – постоянные коэффициенты, определенные методом наименьших квадратов в среде Quick BASIK.

$$T = 250e^{-4,3h} - 24h + 200 \quad (2)$$

$$T = 330e^{-4,2h} - 25h + 200 \quad (3)$$

Полученные функции распределения температур незначительно отличаются друг от друга нелинейной частью (их логарифмические декременты практически равны) и значениями коэффициентов пропорциональности линейной части. В связи с этим возможна линейная аппроксимация зависимости температуры в теле образца от температуры на поверхности контакта в интервале температур 200...300°C.

Полученные экспериментальные данные позволили выработать практические рекомендации по созданию наплавочных материалов с пленкообразующими компонентами (сульфидами).

Разработка наплавочных материалов с пленкообразующими компонентами осуществлялась на основе классических составов быстрорежущих сталей.

Особое внимание уделялось вопросам формирования наплавленного слоя, плотности наплавленного металла. Это было обусловлено необходимостью, иметь минимальные припуски на механическую обработку, поскольку обработка резанием быстрорежущих сталей в закаленном состоянии затруднена, а эффективность шлифовки во многом определяется величиной съема, зависящей от качества формирования.

Предупреждалось присутствие пор и крупных неметаллических включений на линии сплавления, способствующих снижению усталостной прочности стали и повышению вероятности разрушения.

Быстрорежущие стали относятся к высокоуглеродистым. Присутствие кислорода в металле капли и сварочной ванне приводит к интенсивному окислению углерода с образованием нерастворимого оксида углерода, а, следовательно, к возможной пористости металла.

Для устранения пористости наплавленного металла в состав порошковой проволоки вводили алюминий и кремнефтористый натрий.

Выполненные исследования по электродуговой наплавке в среде аргона порошковой проволокой с различным содержанием алюминия показали, что введение алюминия в количествах около 0,5% в состав порошковой проволоки исключает “кипение” металла сварочной ванны, происходит спокойное плавление проволоки и хорошее формирование валика.

При отсутствии алюминия процесс плавления порошковой проволоки характеризуется нестабильностью, наблюдается разбрызгивание металла и интенсивное кипение сварочной ванны.

Для выяснения влияния комплексного введения активных добавок в состав порошковой проволоки на плотность и формирование наплавленного металла при автоматической наплавке дугой прямого действия на постоянном токе обратной полярности в среде аргона были изготовлены порошковые проволоки с варьированным содержанием алюминия и кремнефтористого натрия. Исследования выполнялись с применением метода планирования эксперимента. Области определения факторов приведены в табл.3.

Таблица 3

Области определения факторов

| Фактор | Основной уровень факторов | Интервал варьирования | Уровни факторов | |
|---------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------|---------|
| | | | нижний | верхний |
| Содержание Al, % | 0,8 | 0,6 | 0,2 | 1,4 |
| Содержание Na ₂ SiF ₆ | 0,8 | 0,6 | 0,2 | 1,4 |

Оптимизацию содержания алюминия и кремнефтористого натрия в шихте порошковой проволоки осуществляли методом крутого восхождения по поверхности отклика. Экспериментальные данные опытов крутого восхождения приведены в таблице 4. В результате проведенных исследований было установлено, что оптимальное содержание активных добавок в шихте порошковой проволоки, обеспечивающее получение

одновременно плотного и с хорошим формированием наплавленного валика является содержание алюминия: 1,4...2,0% и кремнефтористого натрия: 1,3...1,55%. При этом процесс плавления порошковой проволоки происходит достаточно стабильно, не наблюдается разбрызгивание наплавляемого металла.

Таблица 4

Результаты опытов крутого восхождения

| Наименование | Al, % | Na ₂ SiF ₆ , % | Наличие пористости | Качество формирования наплавленного слоя |
|---------------------|----------|-----------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------|
| Основной уровень | 0,80 | 0,80 | - | - |
| Шаг движения | 0,30 | 0,25 | - | - |
| Опыт 1 | 1,10 | 1,05 | единичные поры | удовлетворительное |
| Опыт 2 | 1,40 | 1,30 | нет пор | хорошее |
| Опыт 3 | 1,70 | 1,55 | нет пор | хорошее |
| Опыт 4 | 2,00 | 1,80 | нет пор | удовлетворительное |
| Опыт 5 | 2,30 | 2,05 | единичные поры | удовлетворительное |

Для исследования непосредственно влияния содержания серы в наплавленных быстрорежущих сталях на интенсивность адгезии в зоне контакта с обрабатываемым металлом и разработки наплавочных материалов с пленкообразующими компонентами были изготовлены порошковые проволоки с различным содержанием серы (табл.5.), выполнена наплавка с соблюдением установленного термического цикла и классический высокотемпературный отпуск.

Таблица 5

Содержание серы в экспериментальных порошковых проволоках
и наплавленном металле

| | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|---|------|------|------|
| Содержание серы, % по | Порошковая проволока | - | 0,25 | 0,50 | 0,75 |
|--------------------------|-------------------------|---|------|------|------|

| | | | | | |
|-------|---------------------|-------------|--------------|---------------|---------------|
| массе | Наплавленный металл | 0,02...0,03 | 0,136...0,14 | 0,312...0,318 | 0,410...0,415 |
|-------|---------------------|-------------|--------------|---------------|---------------|

Экспериментальные исследования проводились согласно разработанной методике.

Зависимость температуры в теле образца от содержания серы в наплавленном металле показана на рис.6. На поле диаграммы приведены расчетные значения температуры на контактной поверхности образца.

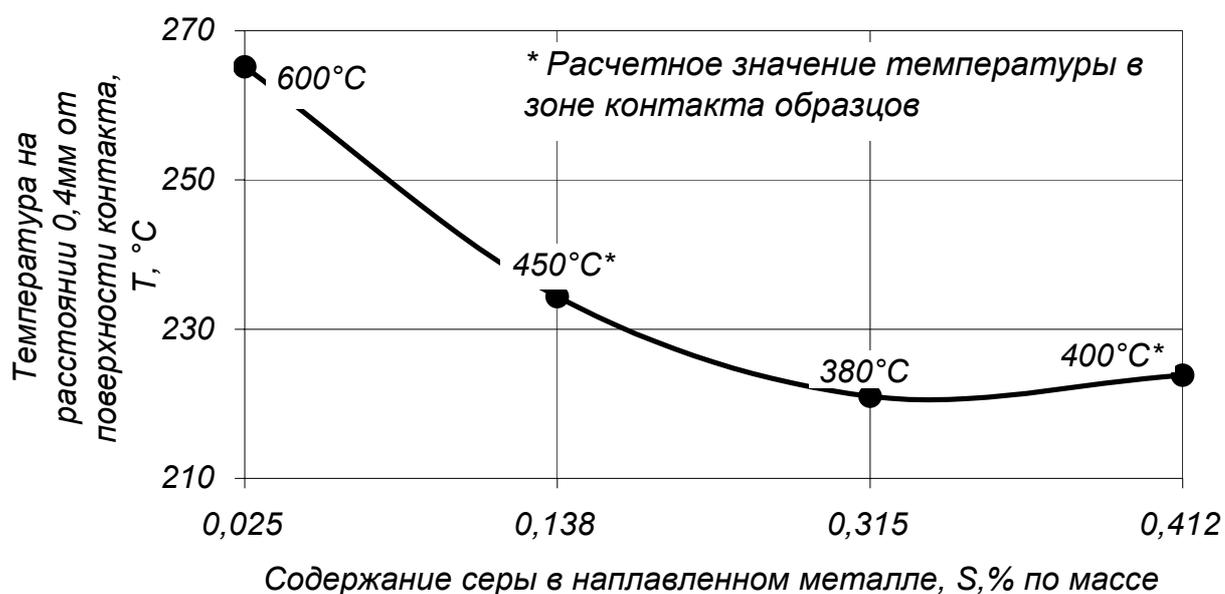


Рис. 6. Зависимость температуры в образце из конструкционной стали от содержания серы в наплавленном металле

При повышении содержания серы до 0,28...0,32% наблюдается снижение температуры в образце, имитирующем обрабатываемое изделие, а, следовательно, в зоне контакта, что свидетельствует об уменьшении сил адгезионного взаимодействия между наплавленным металлом и «обрабатываемой» конструкционной сталью. Дальнейшее повышение концентрации серы приводит к увеличению тепловыделения в контактной зоне, что, вероятно, объясняется возросшим влиянием серы на разупрочнение наплавленного металла.

В результате проведенных исследований по изучению интенсивности адгезии в зоне контакта наплавленной быстрорежущей стали с низколегированной конструкционной, установлено, что для снижения температуры в зоне обработки наиболее эффективными являются составы порошковых проволок, обеспечивающие содержание серы около 0,28...0,32% в наплавленном металле типа P12M5K6ФЮ или близкого по химическому составу.

Исследования твердости и теплостойкости наплавленных быстрорежущих сталей показали, что введение серы не оказывает существенного влияния на снижение основных эксплуатационных свойств: твердости (рис.7.) и теплостойкости (650...660°C).

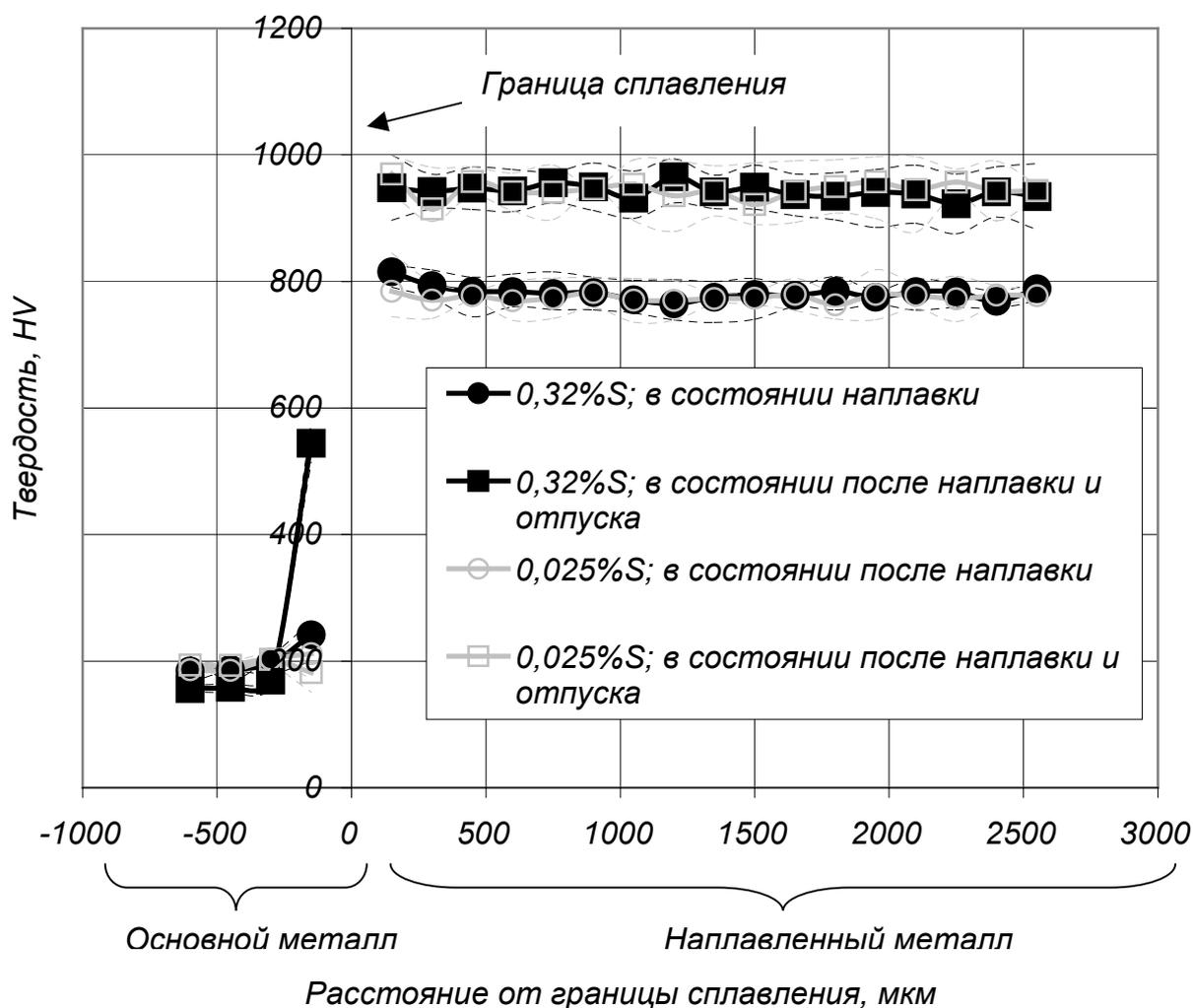


Рис. 7. Твердость наплавленного металла

Пониженная твердость быстрорежущих сталей в состоянии после наплавки объяснялась более высоким, по сравнению с обычными кованными

сталими, содержанием остаточного аустенита. Термическая обработка, заключающаяся в проведении классического высокотемпературного отпуска, значительно повышает твердость наплавленного металла за счет превращения остаточного аустенита в мартенсит отпуска и протекания процессов дисперсионного твердения.

Полученные данные согласуются с результатами исследований степени химической неоднородности сталей. Повышение содержания серы до 0,3% по массе не оказывает видимого влияния на твердость наплавленного металла.

На основании проведенного комплекса теоретических и экспериментальных исследований разработаны порошковые проволоки, позволяющие получать наплавленные быстрорежущие стали с пленкообразующими компонентами (Патент № 2088392).

Пятая глава посвящена разработке способов и технологий наплавки металлорежущего инструмента.

Выполнен аналитический обзор работ в области наплавки режущего инструмента. Рассмотрены преимущества наплавки и возможные причины, сдерживающие ее широкое применение. Показаны перспективы дальнейшего использования наплавки в инструментальной промышленности.

Разработан способ изготовления наплавленных токарных отрезных резцов. (Патент № 2078668 (РФ)). На основании предложенного способа разработана технология автоматической наплавки дугой прямого действия на постоянном токе обратной полярности в защитной среде аргона токарных отрезных и прорезных резцов. Рекомендуемые расчетные параметры режима наплавки: $I = 100 \dots 110$ А; $U = 22 \dots 24$ В; $v_n = 6$ м/ч; порошковая проволока: ПП-90Х4В18ФЮ (ПП-90Х4В6М5ФЮ).

Процесс наплавки обеспечивает совмещение наплавки с закалкой наплавленного металла. Термическая обработка ограничивается проведением классического высокотемпературного отпуска. Благодаря исключению высокотемпературных операций термической обработки сохраняется природа сульфидных включений. Наплавленный и термически

обработанный металлорежущий инструмент соответствует требованиям ГОСТ10047-62 (СТ СЭВ 199-75). «Резцы из быстрорежущей стали. Технические требования». Твердость металла после наплавки составляет HRC 59...61; после отпуска - HRC 68...69.

Результаты промышленных испытаний опытных партий токарных отрезных и прорезных резцов показали, что стойкость наплавленного металлорежущего инструмента выше нормативной в 1,5...2 раза. Предельно допустимые режимы резания: $S_0 = 0,085$ мм/об; $V_{рез.} = 75,0$ м/мин.

Разработан способ наплавки (Патент № 2133659 (РФ)) металлорежущего инструмента малых типоразмеров, обеспечивающий дополнительное упрочнение основного металла за счет совмещения наплавки и закалки наплавленного металла с упрочнением основного металла (низколегированной конструкционной стали). На основании разработанного способа наплавки предложена технология наплавки дугой косвенного действия порошковыми проволоками: ПП-90Х4В18ФЮ и ПП-90Х4В9М4К6ФЮ в защитной среде аргона. Рекомендуемые параметры режима наплавки: $I = 200...210$ А; $U = 25...26$ В; $v_n = 9$ м/ч;

Наплавленный инструмент соответствует ГОСТ 10047-62 (СТ СЭВ 199-75). «Резцы из быстрорежущей стали. Технические требования». Разработаны технологии наплавки многогранных сменных неперетачиваемых режущих вставок для сборного металлорежущего инструмента. Твердость режущей части составляет HRC 65...66 (наплавленный металл - 90Х4В18ФЮ) и HRC 67...69 (90Х4В9М4К6ФЮ).

В результате промышленных испытаний опытных партий токарных пластинчатых отрезных и прорезных резцов было установлено, что стойкость наплавленного металлорежущего инструмента выше нормативной в 1,5...2 раза. Предельно допустимые режимы резания: $S_0 = 0,35$ мм/об; $V_{рез.} = 31,4$ м/мин.

Разработана технология наплавки многогранных неперетачиваемых режущих вставок сборных проходных токарных резцов.

Твердость наплавленных режущих частей по ГОСТ 9013-59 (СТ СЭВ 469-77) составила: HRC 68...69. Теплостойкость - 650...655°C.

В результате производственных испытаний опытных партий сборных проходных токарных резцов с наплавленными режущими вставками в соответствии с ГОСТ 100047-62 (СТ СЭВ 199-75) «Резцы из быстрорежущей стали» были установлены рекомендации по режимам обработки: $v_{рез.}=70$ м/мин; $S=0,32$ мм/об. Период стойкости наплавленного инструмента на рекомендуемых режимах составил 30 мин.

Основные результаты и выводы:

1. На основании теоретического анализа и комплексного экспериментального исследования доказана возможность создания наплавленных быстрорежущих сталей с пленкообразующими компонентами, обладающих высокими технологическими и эксплуатационными свойствами.

2. Определены требования к термическому циклу наплавки и последующему термическому воздействию, позволяющие получать наплавленные и термически обработанные быстрорежущие стали с мелкодисперсными глобулями сульфидов, равномерно распределенными в объеме наплавленного слоя. Средний размер сульфидов составляет 0,5...1 мкм ($N_v = 15...17\%$), объемная доля сульфидных включений данного размера: $V_v \approx 10\%$.

3. Установлено, что быстрорежущая сталь, наплавленная по расчетному термическому циклу, после классического высокотемпературного отпуска имеет более высокую однородность по химическому составу по сравнению с аналогичными сталями, получаемыми металлургическими методами (литье, отжиг, обработка давлением, закалка, высокотемпературный отпуск). Увеличение содержания серы до 0,32% по массе не оказывает заметного влияния на перераспределение легирующих элементов в объеме наплавленного слоя и не вызывает ликваций, трещин, пор и других дефектов.

4. Определены параметры режима автоматической наплавки дугой прямого действия на постоянном токе обратной полярности порошковыми проволоками в среде аргона, обеспечивающие получение мелкозернистой структуры быстрорежущих сталей с размером дендритов 11-12. Повышение содержания серы до 0,32% не влияет на размеры зерна и равномерность сечений дендритных ветвей исследуемых сталей.

5. Установлено, что при наплавке быстрорежущих сталей по предложенному термическому циклу обеспечивается равномерное распределение легирующих элементов внутри фазовых составляющих. Содержание серы до 0,32% по массе не изменяет картину однородного внутрифазового состава стали.

6. Базируясь на основных положениях сварки металлов трением, разработана физическая модель адгезии в условиях ювенильного контакта наплавленного металлорежущего инструмента и обрабатываемого изделия. Экспериментально подтверждено, что для снижения температуры в зоне резания наиболее эффективным является содержание серы в наплавленных быстрорежущих сталях 0,28...0,32% по массе.

7. На основании аналитического обзора и экспериментальных исследований влияния внутренних напряжений на склонность наплавленных быстрорежущих сталей с пленкообразующими компонентами к образованию горячих трещин установлены эффективные способы повышения запаса технологической прочности в ТИХ.

8. Разработаны порошковые проволоки для дуговых и плазменных способов наплавки в среде защитных газов, позволяющие получать наплавленные быстрорежущие стали с пленкообразующими компонентами. (Патент № 2088392).

9. На основании комплекса теоретических и экспериментальных исследований разработаны способы (Патент № 2078668, Патент № 2133659) и технологии автоматической электродуговой наплавки порошковыми проволоками в среде аргона металлорежущего инструмента повышенной производительности.

10. В результате испытаний опытно-промышленных партий наплавленного металлорежущего инструмента установлены предельно допустимые режимы резания, превышающие рекомендуемые (для токарных отрезных резцов: $v_{рез.}=75,0$ м/мин, $S_0=0,085$ мм/об; сборных токарных проходных резцов с наплавленной режущей вставкой: $v_{рез.}=70$ м/мин, $S_0=0,32$ мм/об; токарных пластинчатых отрезных резцов: $v_{рез.}=31,4$ м/мин, $S_0=0,35$ мм/об).

11. Стойкость наплавленного металлорежущего инструмента согласно испытаниям по ГОСТ 100047-62 (СТ СЭВ 199-75) превышает нормативную величину в 1,5...2 раза.

Основное содержание диссертационной работы изложено в следующих публикациях:

1. Разработка технологии и освоение производства металлорежущего инструмента с наплавленной рабочей частью / депонированная рукопись по инновационному проекту в рамках инновационной программы «Поддержка малого предпринимательства и новых экономических структур в науке и научном обслуживании высшей школы // В.П. Водопьянова, Н.С. Зубков, Е.Н. Зубкова, В.А. Тютяев, Тверь, 1994.

2. Зубкова Е.Н., Тютяев В.А., Водопьянова В.П. Наплавка рабочих частей отрезных токарных резцов / Сб.: Изготовление, восстановление и упрочнение металлорежущего инструмента, Тверь, 1995. С. 4-8.

3. Зубкова Е.Н., Тютяев В.А., Водопьянова В.П. Влияние серы на твердость наплавленного металла / Сб.: Изготовление, восстановление и упрочнение металлорежущего инструмента, Тверь, 1995. С.28-30.

4. Зубкова Е.Н., Тютяев В.А., Водопьянова В.П. Теплостойкость наплавленной быстрорежущей стали / Сб.: Изготовление, восстановление и упрочнение металлорежущего инструмента, Тверь, 1995. С. 30-32.

5. Разработка теории термической обработки биметаллических изделий // Депонированная рукопись по научно-исследовательской госбюджетной теме № 53/12, В.П. Водопьянова, Н.С. Зубков, Е.Н. Зубкова, В.А. Тютяев, Тверь, 1995.

6. Зубкова Е.Н., Тютяев В.А., Водопьянова В.П. Разработка наплавочных материалов для производства металлорежущего инструмента / Сб. научных трудов конференции молодых ученых и специалистов Тверского региона, Тверь, 1995. С. 83.

7. Совершенствование технологии и повышение качества порошковой проволоки для наплавки металлорежущего инструмента и технологического оборудования в металлургии / Депонированная рукопись по инновационному проекту № 95/7Т инновационной научно-технической программы «Трансфертные технологии, комплексы и оборудование в металлургии // В.П. Водопьянова, Н.С. Зубков, Е.Н. Зубкова, В.А. Тютяев, Тверь, 1995.

8. Зубкова Е.Н., Тютяев В.А., Водопьянова В.П. Разработка прогрессивных инструментальных материалов / Труды Международного научного конгресса студентов, аспирантов и молодых ученых: «Молодежь и наука – третье тысячелетие», Москва, 1996. С. 38-39.

9. Зубкова Е.Н., Тютяев В.А., Водопьянова В.П. Разработка технологии изготовления металлорежущего инструмента повышенной производительности / Сб. научных трудов международной научно-технической конференции «Прогрессивные методы получения и обработки конструкционных материалов и покрытий, обеспечивающих долговечность деталей машин, Волгоград, 1996. С. 108-109.

10. Зубкова Е.Н., Тютяев В.А. Анализ условий работы токарных отрезных резцов и обоснование эффективности применения наплавки при их изготовлении / Сб. научных трудов международной конференции «Повышение эффективности сварочного производства», Липецк, 1996. С. 113-116.

11. Разработка технологии и освоение производства порошковой проволоки для наплавки металлорежущего инструмента и технологического оборудования / Депонированная рукопись по инновационному проекту в рамках инновационной научно-технической программы «Трансфертные технологии, комплексы, оборудование» // В.П. Водопьянова, Н.С. Зубков, Е.Н. Зубкова, В.А. Тютяев, Тверь, 1996.

12. Разработка высокоэффективных инструментальных материалов с низкой адгезионной способностью / Депонированная рукопись по научно-исследовательской госбюджетной работе № 1.8.96 // В.П. Водопьянова, Н.С. Зубков, Е.Н. Зубкова, В.А. Тютяев, Тверь, 1996.

13. Разработка эффективных наплавочных материалов / Депонированная рукопись по инновационному проекту в рамках инновационной научно-технической программы «Трансфертные технологии, комплексы, оборудование» // В.П. Водопьянова, Н.С. Зубков, Е.Н. Зубкова, В.А. Тютяев, Тверь, 1996.

14. Деев Г.Ф., Зубкова Е.Н. Разработка наплавочных материалов / Сб. научных трудов международной конференции «Повышение эффективности металлургического производства», Липецк, 1997. С. 36.

15. Деев Г.Ф., Зубкова Е.Н., Лаптев Л.Л. Обеспечение качественного формирования теплостойких сталей высокой твердости при изготовлении наплавленных резцов / Труды Липецкого государственного технического университета, Липецк, 1997. С. 11.

16. Деев Г.Ф., Зубкова Е.Н. Наплавка резцов теплостойкими сталями высокой твердости / Сб. научных трудов «Изготовление, восстановление и упрочнение металлорежущего инструмента», Тверь, 1997. С. 16-18.

17. Деев Г.Ф., Зубкова Е.Н., Сафонов Е.П. Влияние режимов отпуска на свойства наплавленного металла / Труды Липецкого государственного технического университета и Липецкого эколого-гуманитарного института, Липецк, 1997. С. 5-10.

18. Патент № 2078668 (РФ). Способ изготовления отрезного резца / В.А. Тютяев, Е.Н. Зубкова // Бюл. Изобр. №13 от 10.05.97.

19. Патент № 2088392 (РФ). Шихта порошковой проволоки / Е.Н. Зубкова, В.А. Тютяев // Бюл. Изобр. № 24 от 27.08.97.

20. Разработка теории термической обработки наплавленного металлорежущего инструмента в условиях его производства на автоматизированных линиях / Депонированная рукопись по научно-исследовательской работе № 53/10 // «Трансфертные технологии, комплексы,

оборудование» // В.П. Водопьянова, Н.С. Зубков, Е.Н. Зубкова, В.А. Тютяев, Тверь, 1997.

21. Деев Г.Ф., Зубкова Е.Н., Сафонов Е.П. Оптимизация свойств наплавленного металла за счет термической обработки / Сб. конференции «Пути развития сварочных технологий на предприятиях г. Москвы», Москва, 1997.

22. Деев Г.Ф., Зубкова Е.Н., Сафонов Е.П. Теплостойкость наплавленного металлорежущего инструмента / Сб. докладов конференции «Восстановление и упрочнение деталей – современный и эффективный способ повышения надежности машин», Москва, 1997.

23. Деев Г.Ф., Зубкова Е.Н., Лаптев Л.Л. Обеспечение качественного формирования теплостойких сталей высокой твердости при наплавке металлорежущего инструмента / Материалы юбилейной конференции ученых и преподавателей Тверского государственного технического университета, Тверь, 1998.

24. Деев Г.Ф., Зубкова Е.Н. Выбор и обоснование способа наплавки резцов теплостойкими сталями высокой твердости / Материалы юбилейной конференции ученых и преподавателей Тверского государственного технического университета, Тверь, 1998.

25. Лаптев Л.Л., Зубкова Е.Н. Методика оценки адгезионного взаимодействия наплавленного режущего инструмента с обрабатываемым металлом / Материалы юбилейной конференции ученых и преподавателей Тверского государственного технического университета, Тверь, 1998.

26. Деев Г.Ф., Зубкова Е.Н., Сафонов Е.П. Ресурсосберегающая технология изготовления наплавленного металлорежущего инструмента / Материалы научно-технической конференции «Современные технологии в машиностроении», Пенза, 1998.

27. Деев Г.Ф., Зубкова Е.Н., Сафонов Е.П. Исследование влияния легирующих элементов на вторичную твердость наплавленного металла

28. Деев Г.Ф., Зубкова Е.Н., Сафонов Е.П. Технология наплавки и термической обработки наплавленного металлорежущего инструмента /

Труды Липецкого государственного технического университета и Липецкого эколого-гуманитарного института, Липецк, 1998.

29. Зубков Н.С., Тютяев В.А., Зубкова Е.Н. Изготовление наплавленного металлорежущего инструмента: Монография /Изд-во Тверского государственного технического университета, Тверь, 1998. 124 с.

30. Разработка теоретических и технологических основ создания новых высокоэффективных ресурсосберегающих конструкционных материалов с заданным уровнем механических и эксплуатационных свойств для производства составного породоразрушающего инструмента / Депонированная рукопись по единому заказ наряду № 1.98 Ф // «Трансфертные технологии, комплексы, оборудование» // Л.Е. Афанасьева, В.П. Водопьянова, Н.С. Зубков, Е.Н. Зубкова, В.А. Тютяев, Тверь, 1996.

31. Патент №2133659 (РФ). Способ наплавки / Е.Н. Зубкова, Г.Ф. Деев, Е.П. Сафонов // Бюл. изобр. №21 от 27.07.99

32. Зубкова Е.Н. Перспективность применения наплавки при изготовлении инструмента из быстрорежущих сталей / Материалы Всероссийской с международным участием научно-технической конференции «Перспективные пути развития сварки и контроля. Сварка и контроль-2001», ВГАСУ, Воронеж, сентябрь, 2001.

33. Zoubkova E. et al. Self-Lubricant Metal-Cutting Tools Elaborated by MIG Process / Kluwer Academic, Plenum Publishers, 2001.

34. Зубкова Е.Н., Лаптев Л.Л. Повышение производительности резания наплавленным инструментом из быстрорежущих сталей с пленкообразующими компонентами / Металлообработка, № 2, 2002. С. 9-12.

35. Зубкова Е.Н. Изготовление наплавленного металлорежущего инструмента повышенной надежности / Технология машиностроения, №2, 2002. С. 22-23.

36. Зубкова Е.Н. Перспективы применения наплавки для изготовления металлорежущего инструмента / Вестник СПбГТУ, № 1, 2002. С. 66-70.

37. Зубкова Е.Н. Изготовление металлорежущего инструмента методом наплавки / Сварочное производство, №7, 2002. С. 34-35.

38. Зубкова Е.Н. Влияние серы на структуру и свойства наплавленной быстрорежущей стали / МиТОМ, № 9, 2002. С. 27-30.