

На правах рукописи

**БАРТЕНЕВ Денис Викторович**

**РАЗРАБОТКА НАПЛАВОЧНОГО СПЛАВА И  
ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ И РЕМОНТА ШТАМПОВ  
ГОРЯЧЕГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ**

**05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Курск - 2008**

Работа выполнена в ГОУ ВПО Курском государственном техническом университете

Научный руководитель: кандидат технических наук,  
доцент  
Артеменко Юрий Александрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор  
Ткаченко Юрий Сергеевич

кандидат технических наук,  
доцент  
Алехин Юрий Георгиевич

Ведущая организация: Белгородский государственный  
технологический университет

Защита диссертации состоится « 22 » декабря 2008 года в 16<sup>00</sup> часов в конференц-зале на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.105.01 при Курском государственном техническом университете по адресу: 305040, г. Курск, ул.50 лет Октября, 94.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Курского государственного технического университета

Автореферат разослан «    » ноября 2008 г.

Ученый секретарь совета по защите  
докторских и кандидатских диссертаций

О.Г. Локтионова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы.

Тяжело нагруженные штампы горячего деформирования являются дорогим видом технологической оснастки кузнечно-штамповочного производства любого завода машиностроительной отрасли. Расходы на штампы составляют до 19% процентов общей стоимости поковок, а средний удельный расход штамповой стали на одну тонну поковок, в зависимости от их величины и сложности, колеблется в пределах 15-22 кг. Поэтому существенным резервом снижения затрат на производство поковок является восстановление изношенных поверхностей. При этом становится весьма актуальной задача создания новых и совершенствования существующих технологических процессов восстановления с развитием таких показателей как простота технологии, производительность и экономичность.

Рассматривая ремонт штампов как неотъемлемую составляющую производственного процесса, где простой оборудования напрямую связан с экономическими показателями эффективности, можно сделать вывод, что наплавка материалами повышенной прочности, является надежным, простым и оперативным способом восстановления этих деталей в условиях производства. В то же время не стоит забывать о технологических сварочных дефектах в виде трещин, пор и шлаковых включений, которые в условиях теплосмен создают в металле шва локальные концентрации деформаций, что значительно снижает термоусталостную долговечность и ведет к разгарообразованию штамповой поверхности.

С учетом этих факторов оптимизация системы упрочнения оснастки должна предполагать не только выбор соответствующего типа наплавляемого металла и получение определенной структуры поверхностных слоев, но и отработку технологии, способной обеспечить качество и производительность.

Одним из путей решения этих вопросов может стать метод обратноступенчатой наплавки, который способствует измельчению дендритной структуры, ее дезориентации и увеличения доли равноосных кристаллитов в наплавленном металле. Данный подход представляет теоретический и практический интерес, поскольку включает в себя инновационные решения на основе традиционных технологий, что может способствовать его применению без значительных дополнительных затрат на существующих производственных мощностях.

Выяснение этих и ряда других вопросов, определение термостойкости и износостойкости наплавленных материалов в зависимости от их структурно-фазового состава при высоких температурах в условиях, приближенных к эксплуатационным, а также разработка оптимальной технологии наплавки позволит внести несомненный вклад в решение важной народнохозяйственной задачи – повышение эффективности кузнечно-штамповочного производства, что и определяет актуальность диссертационной работы.

Целью работы разработка на научной основе сплава и технологии восстановления с упрочнением изношенных рабочих поверхностей деталей

штампов горячего деформирования. Для достижения поставленной в диссертации цели решались следующие **задачи**:

1. На основании систематизации и обобщения литературных данных, собственных исследований выявить преобладающие виды износа штампа и проанализировать основные факторы, определяющие износ гравюры.

2. Разработать методики испытаний материалов на износостойкость, моделирующей условия работы штампа: высокотемпературный контакт при воздействии деформирующего усилия на поверхности соприкосновения образцов при наличии циклических теплосмен, способствующих образованию разгарных трещин.

3. Провести испытания по разработанным методикам серии сплавов-представителей различных структурных групп и систем легирования и изучить закономерности формирования структуры фазовых превращений при процессах высокотемпературного трения, с последующим выбором сплава-прототипа.

4. Определить оптимальный состав наплавочного материала на основании результатов обработки данных многофакторного эксперимента с несколькими параметрами оптимизации. Разработать порошковую проволоку для механизированной наплавки сплава найденного состава.

5. Разработать технологический процесс нанесения износостойкого покрытия на рабочие поверхности деталей штампов и исследовать свойства деталей с упрочняющим покрытием.

### **Научная новизна**

1. Разработаны методики испытаний штамповых сплавов, позволяющие моделировать основные процессы их разрушения: высокотемпературное трение и образование разгарных трещин.

2. Получены новые данные о влиянии системы легирования и микроструктуры на работоспособность наплавочных сплавов для штампов горячего деформирования.

3. Установлено, что сплавы со структурой метастабильного аустенита имеют наиболее высокие показатели термостойкости и конкурируют по износостойкости с мартенситостареющими сплавами.

4. Разработана технология обратноступенчатой наплавки износостойкого сплава на рабочие поверхности штампов горячего деформирования, которая способствует измельчению и дезориентации дендритной структуры, а также увеличения доли равноосных кристаллитов в наплавленном металле, что заметно повышает износостойкость и стойкость к горячим трещинам наплавленных покрытий.

**Объектом исследования** являлись наплавочные сплавы для восстановления с упрочнением рабочих поверхностей деталей штампов горячего деформирования.

**Методы исследования** Для изучения структурного и фазового состава наплавленных материалов использовался стандартный комплекс металлографических методов исследований, включая микрорентгеноструктурный анализ.

Износостойкость, устойчивость к термоциклированию и формирование первичной структуры изучались по разработанным оригинальным методикам. При оптимизации состава материала и технологии наплавки использовались методы математического планирования экспериментов.

### **Достоверность научных и практических результатов**

Достоверность результатов и научных положений по работе обеспечивается корректностью постановки задач, проведением экспериментов с использованием стандартных и аттестованных металлофизических методик, использованием поверенных приборов и оборудования, отсутствием противоречий с результатами работ других исследователей, систематическим характером проведения экспериментов и их воспроизводимостью, совпадением опытных данных с расчетами и апробацией в производственных условиях.

### **Практическая значимость работы**

На основе полученных результатов разработаны состав порошковой проволоки для восстановления и упрочнения штампов горячего деформирования и технология обратноступенчатой наплавки, позволяющие повысить износостойкость штампов в 2-3 раза и производительность наплавки на 20%.

### **Апробация работы**

Основные положения диссертации и полученные результаты докладывались и обсуждались в период 2007 – 2008 годов на: IX Росс. научн.-техн. конф «Современные промышленные технологии» (Н.Новгород, 2007 г.); VI Росс. научн.-техн. конф «Новые материалы, прогрессивные технологические процессы и управление качеством в заготовительном производстве» (Рыбинск, 2007 г.); XIV, XIV Росс. научн.-техн. конф «Материалы и упрочняющие технологии» (Курск, 2007, 2008 гг.); 10-й Международ. науч.-практической конференции «Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки» (С-Петербург, 2008 г.).

### **Публикации**

По материалам диссертации опубликовано 7 работ, из них 1 в журнале, рекомендованном ВАК РФ.

**Объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка использованной литературы и приложений. Общий объем работы составляет 128 страниц машинописного текста, 48 иллюстраций, 10 таблиц, 108 литературных ссылок.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы и поставлены задачи на исследование.

**В первой главе** представлен обзор литературы по теме диссертации, где приведены общие сведения о штампах горячего деформирования, условиях и факторах влияющих на их работоспособность. Подробно рассмотрена конструкция оснастки и материалы, используемые для её изготовления.

На основании литературных данных и собственных исследований выявлены соответствующие виды разрушения рабочей поверхности: 1) истира-

ние; 2) смятие; 3) износ, связанный с наличием усталостных и разгарных трещин.

Отличительной особенностью работы штампов горячего деформирования является наличие значительных удельных давлений и сил трения между деформируемым металлом и контактной поверхностью ручья, действующих в условиях повышенной температуры и вызывающих тепловой износ рабочих поверхностей. Штамповая сталь при этом должна обладать необходимой теплостойкостью т.е. сохранять твердость после повторных и длительных нагревов.

Стойкость штампового инструмента в значительной мере определяется способностью материала штампа противостоять износу. Износ штампов истиранием зависит от ряда факторов: марка стали, вида и мощности оборудования, количества отштампованных заготовок и вида сложности последних, температурных интервалов штамповки и др.

Износ штампов в связи со смятием поверхности происходит вследствие пластического деформирования разогретых до сравнительно высоких температур рабочих частей штампа. Такой сильный нагрев приводит к самоотпуску закаленной поверхности штампа, снижению твердости металла, в результате чего тончайший слой фигуры штампа приобретает высокую пластичность и под действием внешней нагрузки сминается или увлекается деформируемым металлом поковки. Для уменьшения теплового износа штамповая сталь должна обладать необходимой теплостойкостью т.е. сохранять твердость после повторных и длительных нагревов.

Термическая усталость возникает в результате термоциклирования поверхности штампов в процессе работы. Под воздействием многократных нагревов и охлаждений в поверхностных слоях металла, ведущих к циклическим  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  превращениям, появляются трещины разгара. Они ускоряют процесс смятия поверхности штампа, способствуя налипанию на нее металла, образованию задиров и борозд. Трещины разгара являются одной из основных причин разрушения штампов.

На основании анализа факторов разрушения рабочих поверхностей рассмотрены возможные способы их восстановления и упрочнения при ремонте и сформулированы задачи на дальнейшие исследования.

**Во второй главе** были разработаны методики испытаний наплавленно-го металла, соответствующих условиям работы штампов горячего деформирования, а также моделирования процессов первичной кристаллизации при наплавке износостойких сплавов.

Для испытаний на высокотемпературное трение была разработана специальная методика и установка для ее реализации, представленная на рис. 1. В патроне токарного станка 1 фиксировалось контртело 3 (массивная цилиндрическая заготовка, разогретая до температуры 1100°C). В подвижную пиноль задней бабки 2 устанавливался шток 8 с пружиной 10. На штоке монтировалась подвижная муфта 7, соединенная с самоустанавливающейся оправкой 5, в которой винтами 6 фиксировались образцы 4. Образцы изготовлялись путем

наплавки заготовок из штамповой стали 5ХМН исследуемым сплавом в водоохлаждаемом кокиле. После охлаждения образцы подвергались механической обработке. Схема изготовления образцов и их геометрические размеры представлены на рис. 2.

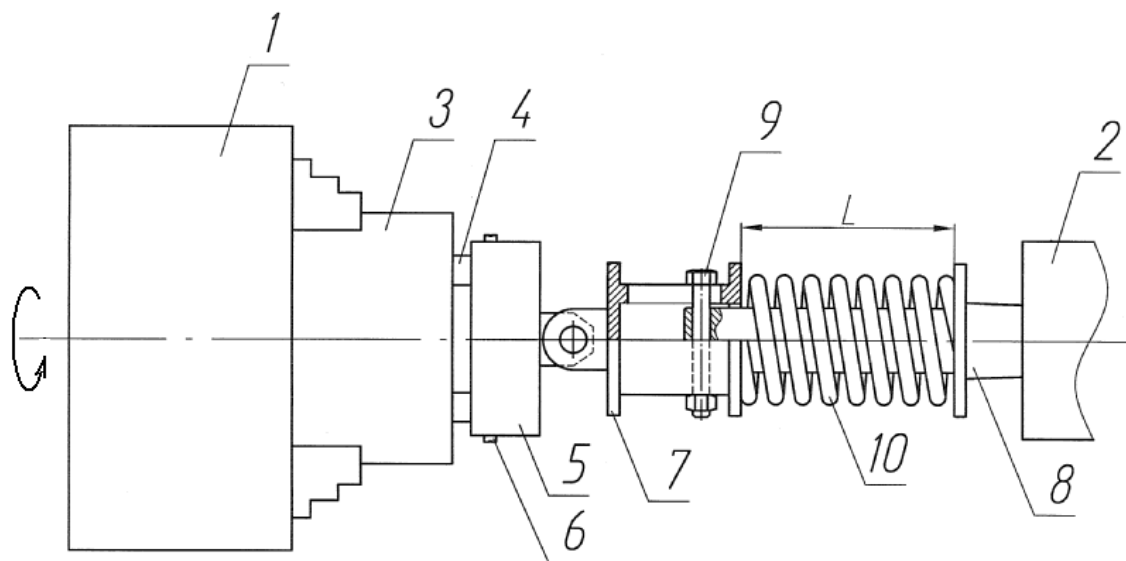


Рис. 1. Схема испытаний на износостойкость:

1- передняя бабка; 2- задняя бабка; 3 - контртело; 4 - образец; 5- оправка самоустанавливающаяся; 6 - винт прижимной; 7 - соединительная муфта; 8 - шток; 9 - болт; 10 - пружина

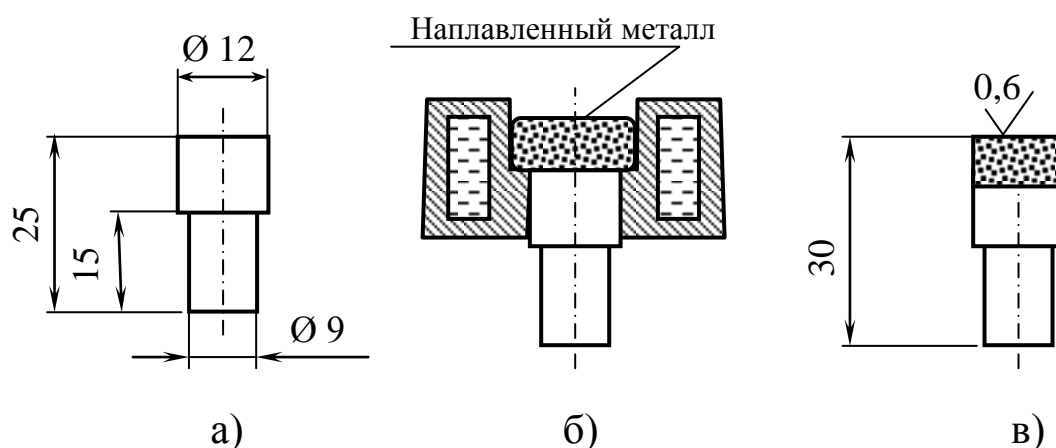


Рис. 2. Схема изготовления образцов:

а – заготовка; б – наплавка в водоохлаждаемый кокиль; в – мехобработка

Сила прижатия образцов к контртелу регулировалась путем варьирования длины пружины  $L$ . Скорость вращения передней бабки составляла 180 об/мин, Нагрузка на шпиндель составляла 980 Н, длительность испытания 10 повторов по 5 минут. Температура заготовки в конце каждого цикла составляла 630-650°C. Результаты испытаний оценивались по потере массы образцов с точностью до 1мг на весах ВЛА-200М.

Испытания наплавленных образцов на термостойкость проводились путем циклических теплосмен по схеме «нагрев до  $1000^{\circ}\text{C}$  + выдержка 2 мин + охлаждение погружением в воду». Влияние термоциклирования оценивали визуально по количеству и размерам трещин, выкрашиванию и сколам на наплавленного слоя. Критерием термической усталости служило количество циклов теплосмен при достижении определенной стадии разрушения. Эталонны, характеризующие определенную стадию разрушения, показаны на рис. 3.



Рис. 3. Стадии разрушения наплавленного слоя при термоциклировании

Для моделирования закономерностей кристаллизации металлов была усовершенствована методика исследования под микроскопом аналогичных процессов затвердевания оптически прозрачных материалов. Прозрачные материалы в этом случае должны кристаллизироваться по металлическому типу, т.е. иметь минимальную энтропию плавления и нормальный механизм роста кристаллов. В данной работе компоненты солевых систем, используемых для моделирования первичной кристаллизации износостойких сплавов типа белых чугунов, выбирались с соблюдением следующих требований:

1. Диаграмма состояния солевой системы должна быть эвтектической и подобна квазибинарной диаграмме состояния железо-тугоплавкий карбид (титана, ванадия, ниобия) вблизи эвтектической точки.

2. Компоненты должны быть нетоксичными и не вступать в реакцию между собой.

С учетом этих требований в качестве компонентов модельной солевой системы были выбраны калийная селитра  $\text{KNO}_3$  ( $T_{\text{пл}} = 334^{\circ}\text{C}$ ) с гексагональной решеткой, моделирующая твердый раствор и хлористый калий  $\text{KCl}$  ( $T_{\text{пл}} = 778^{\circ}\text{C}$ ), имитирующий тугоплавкую фазу типа карбидов с кубической решеткой. Эвтектическая молярная концентрация  $C_e$  равна 6 %  $\text{KCl}$  (4,6% по массе) и температуре  $T_e = 312^{\circ}\text{C}$ .

Для реализации указанной методики была изготовлена установка на базе биологического микроскопа по принципу «подвижный образец – неподвижный относительно оптической оси фронт кристаллизации». Результаты наблюдений процесса кристаллизации фиксировались цифровым фотоаппаратом в режиме видеосъемки. Разработанная методика позволяет оценить параметры первичной микроструктуры (морфологию дендритов и эвтектики, количество равноосных кристаллитов, строение фронта кристаллизации) в зависимости от параметров режима наплавки (состава сплава, мощности источника теплоты, скорости и траектории перемещения и т.д.).



**В третьей главе** по результатам анализа износостойких сплавов составлен испытательный ряд из сплавов-представителей с различными механизмами упрочнения металла (табл.1). Микроструктура сплавов представителей после испытаний показана на рис. 4.

Таблица 1

Результаты высокотемпературных испытаний сплавов-представителей

№ пп.	Механизм упрочнения	Марка электрода	Тип металла	Потеря массы $\Delta m$ , мг
1	Легирование феррита, бейнит	ОЗН-400	Э-16Г5	231
2	Старение мартенсита	ОЗИ-5	Э-10К18В11М10Х3СФ	69
3	Аустенит с карбоборид- ным упрочнением	ВСН/ОЗН-7	Э-100Х6Г6С3ФАР	91
4	Ледебурит+карбобориды	Т-620	Э-320Х23С2ГТР	77
5	Легированный мартенсит	ОЗН-6	Э-50С4Г3Х2Р	164

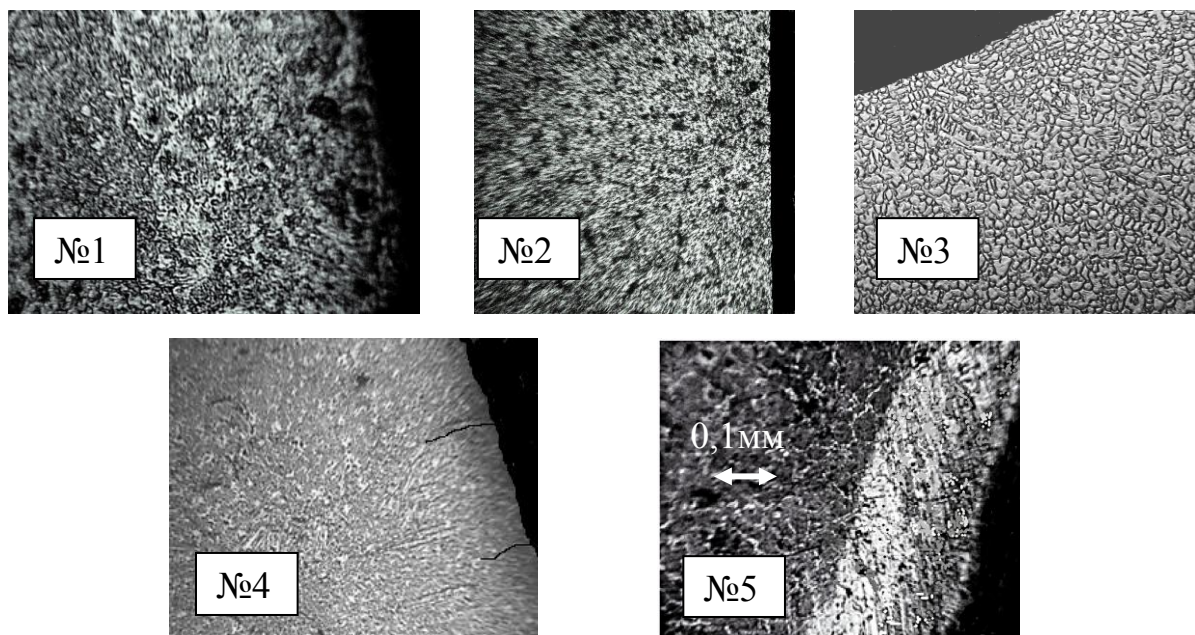


Рис. 4. Микроструктура сплавов-представителей после испытаний на высокотемпературное трение

Влияние термоциклирования оценивали визуально по количеству и размерам трещин, выкрашиванию и сколам наплавленного слоя. Критерием термической усталости служило количество циклов теплосмен при достижении определенной стадии разрушения. Результаты испытаний на термоциклирование представлены на рис. 5.

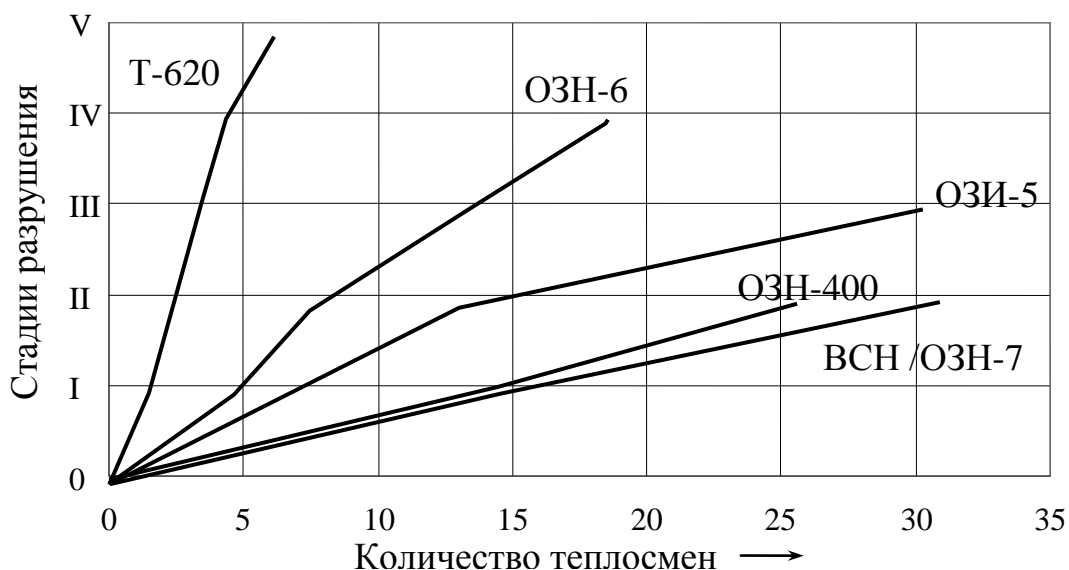


Рис. 5. Диаграмма испытаний на стойкость к термоциклированию

При испытаниях на высокотемпературный износ наименьшую износостойкость показал сплав ОЗН-400. В процессе изнашивания наблюдались многочисленные акты схватывания, а также осадка образцов по высоте. На поверхности трения наблюдается слабо выраженная «белая зона» повышенной микротвердости, образующаяся в результате сложных эффектов в микроконтактах от обратимых  $\gamma \leftrightarrow \alpha$ -превращений. Её пониженная травимость объясняется упорядочиванием сопряжения решеток мартенсита и аустенита. При термоциклировании за счет  $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$  превращений наблюдается растрескивание до II стадии. Среднелегированный мартенсит сплава ОЗН-6 при контакте с высокотемпературным контртелом претерпевает  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращение и его износостойкость также невысока, хотя и больше, чем у ОЗН-400. Однако осадки образцов не наблюдалось. Интенсивность схватывания минимальна. Наблюдается образование заметно выраженной текстурированной «белой зоны». Мартенситные превращения при термоциклировании способствуют растрескиванию вплоть до IV стадии.

Наилучшие результаты испытаний на износостойкость показал мартенситно-стареющий сплав ОЗИ-5. Это можно объяснить выделением равномерно распределенных дисперсных карбидов при высокотемпературном контакте наряду с сохранением мартенситной структуры. Вблизи от поверхности трения дисперсность упрочняющей фазы максимальная, по мере удаления от поверхности она постепенно падает. Схватываемость с металлом контртела минимальна.

Сплав Т-620 показал износостойкость одного порядка с ОЗИ-5. Он отличается высокой твердостью и стабильностью структуры околоэвтектического белого чугуна при температурах испытаний. Однако абсолютно неприемлемая термостойкость Т-620 заставляет исключить подобные ему напла-

вочные сплавы из дальнейшего рассмотрения при выборе сплава для наплавки штампов.

Несколько ниже (на 20%) износостойкость сплава ВСН/ОЗН-7, т.к. метастабильный аустенит с умеренным упрочнением карбонитридами ванадия обладает меньшей горячей твердостью по сравнению с высоколегированным мартенситом ОЗИ-5. Снижению твердости способствует растворение карбидов ванадия в аустените при нагреве в микроконтакте. Однако стабильность микроструктуры (отсутствие  $\gamma \leftrightarrow \alpha$ -превращений) при термоциклировании определяет его высокие показатели термостойкости и позволяет считать сплавы с метастабильным аустенитом перспективными для наплавки штампов. К тому же, сплав ВСН/ОЗН-7 по стоимости намного дешевле ОЗИ-5.

В результате исследований было установлено, что при разработке сплавов для наплавки штампов горячего деформирования работу следует вести в направлении оптимизации легирования сплавов с метастабильным аустенитом.

**В главе 4** по итогам анализа результатов испытаний сплавов-представителей была поставлена задача - разработать порошковую проволоку для наплавки рабочих поверхностей штампа с оптимизацией химического состава наплавленного металла на основе хромомарганцевого аустенита с применением аппарата теории планирования экстремальных экспериментов. В качестве центра эксперимента был выбран химсостав металла, наплавленного электродом ВСН/ОЗН-7 с частичной заменой ванадия ниобием с целью уменьшения растворимости карбидной фазы при горячей трении. Был также исключен бор, т.к. его добавки способствуют образованию разгарных трещин. Оптимизация проводилась по трем параметрам оптимизации с применением функции желательности при решении компромиссной задачи и крутого восхождения при движении в область оптимума.

В качестве критериев оптимизации использовались следующие свойства исследуемых сплавов:  $Y_1$  (потеря массы при испытаниях на горячее трение, мг);  $Y_2$  (напряжение отслоения наплавленного покрытия, определяемое по пробе «Implant», МПа);  $Y_3$  (длина горячей трещины после наплавки валика по пробе Холдкрофта «рыбий скелет», мм). Исследуемый сплав получали путем наплавки трубчатым электродом, шихта которого составлялась в соответствии с матрицей многофакторного эксперимента типа  $2^{4-1}$  из 8 опытов. В качестве независимых переменных  $X_1 - X_4$ , удовлетворяющих требованиям совместимости, независимости и управляемости, были выбраны содержание по массе в шихте трубчатых электродов феррованадия ФВд40У0,5 ( $X_1$ ), ферросилиция ФС 50 ( $X_2$ ), графита ЗТ ( $X_3$ ) и феррониобия ФНб65 ( $X_4$ ), являющихся компонентами-носителями соответствующих легирующих элементов. Количество марганца Мн-1 и феррохрома ФХ 005 было во всех опытах постоянным. Остальная масса шихты дополнялась до 100% железным порошком марки ПЖ-1с.

Были получены следующие уравнения регрессии:

Потеря массы при испытании на высокотемпературное трение:

$$Y_1 = 79,524 - 2,151 X_1 - 3,329 X_2 + 1,17 X_3 - 4,211 X_4 + 2,687 X_2 X_3. \quad (1)$$

Напряжение отслоения:

$$Y_2 = 694,5 - 25,1 X_1 - 41,3 X_2 - 55,1 X_3 - 21,2 X_4 \quad (2)$$

Критерий стойкости к горячим трещинам:

$$Y_3 = 50,45 - 5,45 X_1 + 6,51 X_2 + 3,21 X_3 - 6,37 X_4 + 2,17 X_2 X_3. \quad (3)$$

Из уравнений регрессии (1)-(3) следует, что износостойкость при высокотемпературном трении растет с увеличением количества легирующих элементов (кроме углерода). Наибольшее влияние оказывают кремний и, в особенности, ниобий. Кремний, вытесняя углерод из аустенита, способствует дополнительному карбидообразованию. Ниобий минимизирует растворимость карбидов при высоких температурах. В то же время, влияние легирующих элементов на коэффициент сближения прямо противоположно, причем наибольшее влияние оказывает марганец. На стойкость добавки всех легирующих элементов в изученном факторном пространстве сказываются негативно. На стойкость к горячим трещинам сильные карбидообразующие элементы влияют положительно, углерод и кремний – негативно.

Итоги анализа полученных моделей показали, что для достижения наилучших значений тех или иных параметров оптимизации требуется изменять факторы в разных направлениях. Для решения компромиссной задачи в качестве комплексного параметра оптимизации была использована обобщенная функция желательности.

По результатам экспериментальных исследований был получен оптимальный по составу наплавленный металл типа 95X5Г6C2Б2Ф. Микроструктура наплавленного металла (рис. 6) представляет собой дендриты аустенита в ледебурите, причем карбидные выделения располагаются также по объему дендритов.

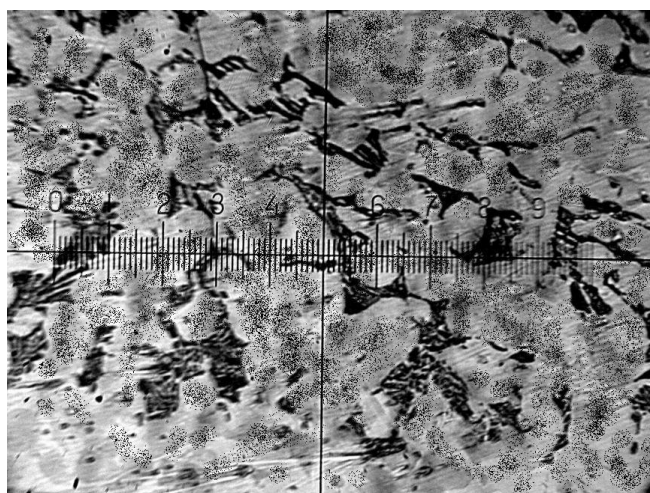


Рис. 6. Микроструктура наплавленного металла ( $\times 450$ )

Для практической реализации результатов работы была разработана порошковая проволока ПП - 95X5Г6C2Б2Ф, которая рекомендуется как наплавочный материал для наплавки рабочих поверхностей штампов горячего деформирования.

**В главе 5** разработана технология нанесения упрочняющего покрытия на рабочие поверхности штампов и проведены опытно-промышленные испытания.

Для увеличения стойкости наплавленных покрытий к ударным нагрузкам и улучшения показателей технологической прочности был разработан способ обратноступенчатой наплавки, направленный на управление первичной кристаллизацией в сторону измельчения дендритной структуры, ее дезориентации и увеличения доли равноосных кристаллитов. Сущность процесса состоит в наплавке короткими перекрывающимися валиками, кристаллизующимися в нестационарном режиме. Схема обратноступенчатой наплавки приведена на рис. 7.

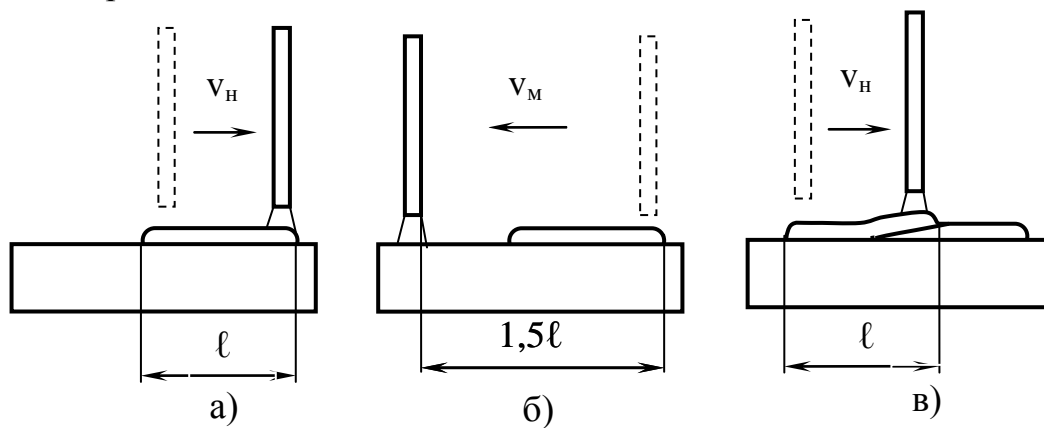


Рис. 7. Схема обратноступенчатой наплавки

При завершении наплавки валика длиной  $\ell$  со скоростью наплавки  $v_H$  (рис.7,а) дуга практически мгновенно перемещается с маршевой скоростью  $v_M$  в обратном направлении на расстояние  $1,5\ell$  (рис.7,б) и начинается наплавка очередного валика в нестационарных условиях, соответствующих периоду теплонасыщения. Металл предыдущего валика кристаллизуется подобно слитку в изложнице в нестационарных условиях, соответствующих периоду выравнивания температуры при выключении источника. Скорость кристаллизации резко возрастает и создаются условия для увеличения числа равноосных кристаллитов. По окончании процесса наплавки очередного валика процесс повторяется.

На рис. 8 приведена видеограмма процесса изменения схемы формирования фронта кристаллизации при обратноступенчатой наплавке в момент отвода источника с маршевой скоростью. Процесс смоделирован на солевой системе.

Вначале при снятии перегрева ванны фронт кристаллизации на претерпевает существенных изменений. Вблизи возмущений в расплаве (пузырьков газовой фазы) появляются зародыши равноосных кристаллитов. В дальнейшем с ростом степени переохлаждения скорость зарождения и роста равноосных кристаллитов в расплаве стремительно увеличивается. Основной фронт кристаллизации теряет устойчивость и дезориентируется.

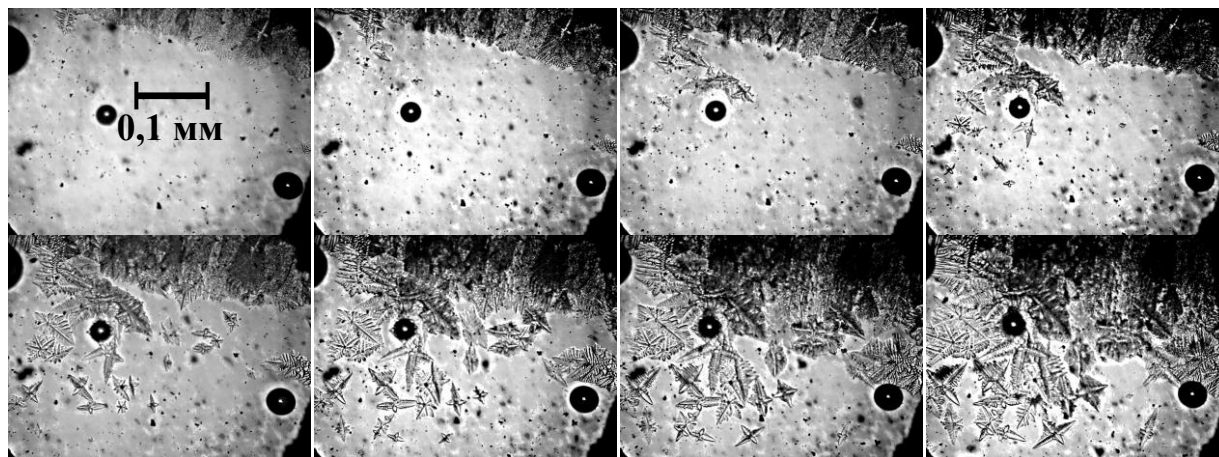
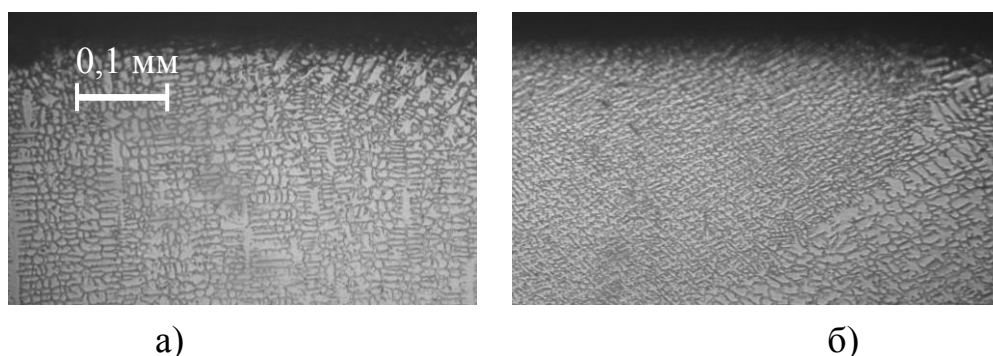


Рис.8. Видеограмма процесса обратноступенчатой наплавки  
(скорость видеосъемки 15 кадров/с)

По результатам сравнительного анализа микроструктур металла, наплавленного проволокой ПП - 95X5Г6С2Б2Ф с использованием обратноступенчатой и непрерывной наплавки при одинаковых параметрах дуги (рис. 9), были выявлены следующие преимущества обратноступенчатой наплавки:

1. Достигается измельчение на  $40 \div 80$  % размеров дендритов и их дезориентация.
2. Переплав ранее наплавленного металла позволяет активировать модификаторы в расплаве, которые при непрерывной наплавке дезактивированы за счет высокой степени перегрева ванны расплавленного металла.



а) б)  
Рис. 9. Микроструктура металла, наплавленного  
проволокой ПП - 95X5Г6С2Б2Ф:

а – непрерывная наплавка; б – зона перекрытия валиков при обратноступенчатой наплавке

Технология ОСН с применением разработанной порошковой проволоки ПП - 95X5Г6С2Б2Ф была апробирована применительно к штампу для горячей вытяжке горловины тройника из трубной заготовки. Результаты опытно-промышленных испытаний показали увеличение срока службы штампов в  $1,8 \div 2,4$  раза.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Установлено, что при работе штампов имеет место сложная комбинация взаимодействующих типов изнашивания – истирание, смятие, износ, связанный с наличием усталостных и разгарных трещин.

2. Выявлено, что наплавка износостойкими сплавами является наиболее приемлемым способом ремонта и упрочнения штампов горячего деформирования.

3. Разработаны методики испытаний стойкости к истиранию и термоциклированию сплавов, максимально приближенная к условиям работы штамповой оснастки. Она позволяет воспроизводить процессы разрушения в зонах контакта «металл-металл» в условиях высокотемпературного трения.

4. Проведены исследования испытательного ряда, составленного из сплавов-представителей различных структурных групп. Установлено, что максимальную работоспособность в условиях высокотемпературного изнашивания, проявили сплавы с метастабильным аустенитом и дополнительным карбидным упрочнением.

5. Разработана методика и проведены исследования по моделированию на прозрачных солевых системах первичной кристаллизации с учетом специфики наплавки износостойких сплавов. Выявлены особенности первичной кристаллизации при нестационарных режимах наплавки износостойких сплавов, что было использовано при разработке технологии обратноступенчатой наплавки.

6. В результате проведения многофакторного эксперимента получен оптимальный состав сплава для восстановления и упрочнения рабочих поверхностей штампов горячего деформирования и разработана порошковая проволока для автоматической наплавки типа ПП - 95X5Г6C2Б2Ф. Микроструктура наплавленного ею металла состоит из метастабильного аустенита, дополнительно упрочненного мелкодисперсными карбидами. Сплав отличается повышенной теплостойкостью и приемлемым уровнем технологической прочности при наплавке.

7. Разработана технология обратноступенчатой наплавки упрочняющего покрытия на рабочие поверхности деталей штампов, позволяющая существенно повысить прочность и стойкость к горячим трещинам за счет измельчения дендритной структуры, ее дезориентации и увеличения доли равноосных кристаллитов. Ее применение позволяет повысить долговечность работы штамповой оснастки в 1,8-2,4 раза.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

### публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Артеменко, Ю.А.** Исследование процессов кристаллизации при наплавке износостойких сплавов на прозрачных солевых моделях [Текст] / Ю.А. Артеменко, Д.В. Бартенев, А.В. Макушенко [и др.] //Технология металлов. 2008. №8. С. 41-43.



**статьи и материалы конференций:**

2. **Бартенев, Д.В.** Формирование первичной микроструктуры при обратноступенчатой наплавке [Текст] / Д.В. Бартенев, А.В. Макушенко, Е.В. Рыжков // Современные промышленные технологии. Сб. матер. IX Росс. научн.-техн. конф. Н.Новгород: ИМЦ «Диалог». 2007. С.27-28.

3. **Артеменко, Ю.А.** Обратноступенчатая наплавка как средство управления первичной кристаллизацией [Текст] / Ю.А. Артеменко, Д.В. Бартенев, А.В. Макушенко [и др.] // Новые материалы, прогрессивные технологические процессы и управление качеством в заготовительном производстве. Сб. матер. Росс. научн.-техн. конф. Рыбинск: РГТА. 2007. Т.2. С. 182-185.

4. **Артеменко, Ю.А.** Исследование характера взаимодействия газовых пузырьков с фронтом кристаллизации при моделировании процессов наплавки износостойких сплавов [Текст] / Ю.А. Артеменко, Д.В. Бартенев, А.В. Макушенко [и др.] // Межвуз. сб. науч. трудов «Инновационные технологии и оборудование машиностроительного комплекса». Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет». 2007. №10. С.95-99.

5. **Артеменко, Ю.А.** Моделирование процессов кристаллизации при наплавке износостойких сплавов [Текст] / Ю.А. Артеменко, Д.В. Бартенев, А.В. Макушенко [и др.] // Материалы и упрочняющие технологии – 2007. Сб. матер. XIV Росс. научн.-техн. конф. Курск: КурскГТУ. 2007. С.77-83.

6. **Бартенев, Д.В.** Высокотемпературные испытания наплавочных сплавов на износостойкость [Текст] / Д.В. Бартенев // Материалы и упрочняющие технологии –2008. Сб материалов XV Российской науч.-техн. конф. с международным участием. Курск: КурскГТУ. 2008. С.240-244.

7. **Артеменко, Ю.А.** Способ обратноступенчатой наплавки износостойких сплавов [Текст] / Ю.А. Артеменко, Д.В. Бартенев [и др.] // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки. Материалы 10-й Международ. науч.-практической конференции. СПб: Изд-во Политехнич. Ун-та. 2008. Т.2. С. 28-31.

Автор отдает дань памяти профессору **Воротникову В.Я.**, оказавшему помощь в выборе тематики и подготовке материалов диссертации

ИД № 06430 от 10.12.01 г.

Подписано в печать \_\_\_\_\_ 2008. Формат 60x84 1/16.

Печатных листов 1,0. Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_\_.

---

Курский государственный технический университет.  
Издательско-полиграфический центр Курского государственного технического университета

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.