

На правах рукописи



**КОНОНОВ**  
Алексей Алексеевич

**РАЗРАБОТКА ВЫСОКОИЗНОСОСТОЙКОЙ ЛИТОЙ  
БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ ДЛЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО  
ИНСТРУМЕНТА И ТЕХНОЛОГИИ КОНТАКТНО-РЕАКТИВНОЙ  
ПАЙКИ-ЗАКАЛКИ.**

**Специальность 05.03.06**  
**Технологии и машины сварочного производства**

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

**Барнаул 2002**

Работа выполнена в научно-исследовательской лаборатории «Металловедение» Рубцовского индустриального института АлтГТУ (на правах филиала) и в Проблемной научно-исследовательской лаборатории «Процессы сварки и создание защитных покрытий» кафедры «Малый бизнес и сварочное производство» АлтГТУ им. И.И. Ползунова

- |                       |   |
|-----------------------|---|
| Научный руководитель  | - доктор технических наук, профессор<br>Н.С. Салманов.  |
| Научный консультант   | - кандидат технических наук, доцент<br>В.Н. Шабалин.  |
| Официальные оппоненты | - доктор технических наук, профессор<br>В.Н. Турыгин;<br>- кандидат технических наук,<br>старший научный сотрудник<br>В.П. Тимошенко. |
| Ведущая организация   | - АОЗТ, Научно-производственный<br>центр «КОМПОЗИТ-АНИТИМ».   |

Защита состоится 7 мая 2002 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.01 при Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова (АлтГТУ) по адресу 656099, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,  
Факс (8-385-2)-36-79-03.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова

Автореферат разослан «4» апреля 2002 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к.т.н., доцент



Ю.О. Шевцов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Научно-технический прогресс в машиностроении неразрывно связан с созданием новых инструментальных материалов и их экономным расходом, разработкой высокоэффективных технологических процессов при изготовлении режущего инструмента.

Большое количество возможных технических решений по выбору быстрорежущей стали для изготовления составного биметаллического инструмента с заданными технологическими свойствами и, прежде всего по величине периода стойкости, предопределяет актуальность задачи научно обоснованного его выбора, чтобы оптимизировать взаимодействие «инструментальный - обрабатываемый материал» для конкретных условий обработки резанием.

В настоящее время в инструментальном производстве применяют обширную группу быстрорежущих сталей высокой производительности, содержащих дорогостоящие компоненты - вольфрам, кобальт, молибден и т.д., а также различные методы соединения составного биметаллического инструмента.

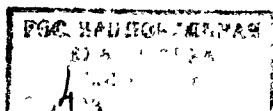
Инструмент из быстрорежущей стали изготавливают преимущественно из ковальной или катаной заготовки, при этом не менее 70-75% быстрорежущей стали идет в различные отходы и только 25-30% этой стали эффективно используются в виде инструмента.

Исходя из этого, на крупных машиностроительных предприятиях применяют литые быстрорежущие стали собственного производства, получаемые переплавкой отходов инструмента из соответствующих марок.

Литье в оболочковые формы или по выплавляемым моделям при производстве литых инструментов позволяет значительно уменьшить отходы на стружку, тем самым обеспечивает высокий коэффициент выхода годного металла. Себестоимость литых инструментов уменьшается на 60-80 % по сравнению с коваными инструментами.

Изготовление литых заготовок для биметаллического режущего инструмента, по сравнению с коваными, исключает обработку давлением и значительно уменьшает объем механической обработки, которая практически сводится к шлифованию и заточке. Изготовление литых заготовок для составного биметаллического режущего инструмента дает возможность более широко изменять химический состав сталей для улучшения свойств.

При производстве ковального инструмента из быстрорежущей стали проектирование химического состава ограничивается необходимостью ихковки, т.к. введение ряда легирующих элементов для повышения производительности быстрорежущей стали пагубно влияет на сам процессковки. В



литых быстрорежущих сталях отсутствие процессаковки дает широкие возможности по легированию.

Исследование и разработка высокоизносостойкой быстрорежущей стали проводятся по техническому заданию ОАО «Алтайский трактор» на тему: «Разработка высокоизносостойкой литой быстрорежущей стали для неперетачиваемого инструмента» под научным руководством заведующего научно-исследовательской лабораторией «Металловедение» РИИ АлтГТУ, д.т.н., профессора Н.С. Салманова и технического директора ОАО «Алтайский трактор» А.В. Субботина.

Для снижения металлоемкости заготовок, экономии сырья и энергии целесообразно производить литой составной биметаллический инструмент, с использованием различных способов сварки и пайки. Но при изготовлении составного биметаллического инструмента известные методы имеют различные недостатки, это: высокая трудоемкость изготовления, дороговизна оборудования, потеря стойкости при термической обработке, отсутствие возможности повышения основных свойств режущей части инструмента и т.д.

Проведенный литературный обзор показал, что для снижения трудозатрат при изготовлении составного режущего инструмента, снижения расхода дефицитных быстрорежущих сталей требуется разработка технологического процесса изготовления составного биметаллического инструмента с литыми режущими пластинами с помощью контактно-реактивной пайки при нагреве под закалку.

**Целями работы являются:**

а) разработка и исследование высокоизносостойкой литой быстрорежущей стали с высоким содержанием ванадия для изготовления заготовок составного нешлифуемого биметаллического режущего инструмента;

б) проведение комплексных исследований процесса получения соединений биметаллического инструмента с применением контактно-реактивной пайки в системах Ni-B и Fe-B-Ni-P для новой литой быстрорежущей стали;

в) экономия дефицитных быстрорежущих сталей, снижение трудоемкости при изготовлении составного инструмента за счет совмещения процесса контактно-реактивной пайки-заковки с пониженным нагревом под закалку в соляных хлорбариевых ваннах.

**Научная новизна.** При обосновании оптимального химического состава литой высокоизносостойкой быстрорежущей стали впервые исследовано влияние удельного объема отдельных карбидных фаз на структуры и свойства литой стали. Уменьшение объема карбидных фаз в структуре позволяют значительно повысить механические свойства литой быстрорежущей стали.

Удельный объем карбида VC составляет 8,9 грамм-атом/см<sup>3</sup>, а сложного карбида M<sub>6</sub>C – 50,1. Введение в состав литой быстрорежущей стали большого количества ванадия (≈ 10%) позволило уменьшить объем карбидных фаз в 5,5 раз. При этом их количество увеличивается в несколько раз. Применение этого нового принципа легирования литой стали позволило образовать в структуре большое количество дисперсных карбидов, что способствует значительному повышению вторичной твердости и теплостойкости литой стали. С применением такого принципа легирования получена новая высокоизносостойкая литая быстрорежущая сталь P5M2Ф10СЛ, которая защищена патентом на изобретение.

Впервые выполнено комплексное исследование по определению физико-химических явлений при контактно-реактивной пайке в системах Ni-B и Fe-B-Ni-P, что позволило получить более пластичное соединение для данного вида биметаллического инструмента при пониженном нагреве под закалку в высокотемпературных соляных ваннах.

Изучено строение паяного соединения биметалла: разработанная быстрорежущая сталь + сталь 40 -и установлено, что при контактно-реактивной пайке с интерметаллидами на основе никеля в системе Ni-B обеспечивается в широком интервале температур пайки-закалки (1200-1280 °С) фронтальное растворение быстрорежущей и конструкционной сталей, микротвердость паяных швов изменяется более равномерно, в отличие от исследованных систем Fe-B-Ni-P и Fe-B, уменьшаются остаточные напряжения и повышается прочность на срез.

**Практическая значимость.** Инструмент (сборные фрезы и резцы различной номенклатуры), изготовленный методом контактно-реактивной пайки в системе Ni-B с применением новой износостойкой литой быстрорежущей стали прошли апробирование в условиях ОАО «Алтайский трактор» и внедрены в цехе М – 2.

Разработана литая быстрорежущая сталь P5M2Ф10СЛ, защищенная патентом РФ.

Разработана технология изготовления составного биметаллического режущего инструмента с применением контактно-реактивной пайки в системе Ni-B.

**На защиту выносятся следующие основные положения:**

- разработанная экономнолегированная литая высокоизносостойкая быстрорежущая сталь P5M2Ф10СЛ с высоким содержанием ванадия для режущей части составного биметаллического режущего инструмента;
- результаты экспериментальных и теоретических исследований образования жидкой фазы в системах Ni-B и Fe-B-Ni-P при нагреве под закалку биметаллического режущего инструмента;

- разработанные технологии при изготовлении биметаллических режущих инструментов с использованием контактного плавления, которые позволяют экономить быстрорежущую сталь, улучшать качество и эксплуатационные свойства и снизить температуру процесса пайки без ухудшения прочностных характеристик соединения;

- рекомендации по практическому применению биметаллического режущего инструмента из разработанной литой быстрорежущей стали;

- результаты технологических и конструкторских разработок, выполненных на основе проведенных исследований, внедрены в производство.

**Апробация работы.** Основные результаты и положения диссертации докладывали и обсуждали на:

- 1) третьем Международном симпозиуме «Сибконверс-99», г. Томск, 1999 г.;

- 2) VI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современное технологическое оборудование и технологии», г. Томск, 2000 г.;

- 3) Международной научно-технической конференции, г. Рубцовск, 1999 г.;

- 4) Международной научно-практической конференции «Вузовская наука в современном мире», г. Рубцовск, 1999 г.;

- 5) научно-технической конференции студентов и аспирантов, г. Рубцовск, 2000 г.;

- 6) Международной практической конференции «Проблемы и перспективы литейного, сварочного и кузнечно-штампового производств», г. Барнаул, 2001 г.

- 7) семинарах кафедры «Малый бизнес и сварочное производство» АлтГТУ в 2001, 2002 гг.;

- 8) семинарах НИЛ «Металловедение», РИИ АлтГТУ в 2000, 2002 гг.

**Публикации:** По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ, в том числе один патент РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и общих выводов. Работа изложена на 123 страницах машинописного текста, содержит 45 рисунков, 15 таблиц, список литературных источников из 132 наименований, а также приложения на 3 страницах, в том числе акт внедрения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** кратко изложена актуальность темы, сформулирована цель и положения, выносимые на защиту, отмечена научная новизна и практическая значимость работы и полученных результатов.

**В первой главе** выполнен анализ состояния вопроса о применяемых материалах режущей части, методов получения составного биметаллического режущего инструмента и припоев, определяющих основные эксплуатационные характеристики инструмента.

Эксплуатационные характеристики биметаллического инструмента, в основном, зависят от структуры и свойств режущей части инструмента (быстрорежущей стали). Аналитический обзор показал, что при выборе более экономичной быстрорежущей стали, с высокими эксплуатационными свойствами для изготовления биметаллического инструмента используют литые заготовки. Проведен обзор о влиянии легирующих элементов на структуру и основные свойства литой быстрорежущей стали.

Многие литературные источники утверждают, что существующие технологические процессы получения биметаллического инструмента принципиально изменяют структуру и свойства быстрорежущей стали. Для восстановления свойств режущей части биметаллического инструмента требуются дополнительные операции: отжиг, полный цикл термической обработки и шлифование, что повышает себестоимость инструмента. Методы получения составного биметаллического инструмента с механическим креплением и склеиванием быстрорежущих сталей с конструкционными эпоксидными смолами имеют недостатки. При резании возникают значительные нагрузки на инструмент и механически закрепленные режущие пластины, которые в процессе эксплуатации могут смещаться, тем самым: а) изменяют первоначально заданную геометрию; б) при воздействии тепловых и ударных нагрузок эпоксидные смолы не обеспечивают достаточной прочности.

Анализ литературных источников показывает, что наиболее эффективным является технология контактно-реактивной пайки составного биметаллического режущего инструмента, совмещенная с нагревом для закалки в высокотемпературных соляных хлорбариевых ваннах. Контактная пайка с применением борированных покрытий позволяет получить наиболее прочные соединения быстрорежущая + конструкционная сталь. Покрытия предварительно наносятся на поверхность металлических пластин путем диффузии и химическими способами. В зоне спая образуются эвтектики с интерметаллидами, которые отличаются высокой твердостью и хрупкостью. Повышение прочностных характеристик зоны спая, а также снижение остаточных напряжений в биметалле с применением пластин с различными покрытиями представляются актуальными.

**Во второй главе** рассмотрены методики проведения исследований. Материалами для исследований служили: литая быстрорежущая сталь Р6М5Л, полученная путем переплавки из отходов инструмента и новая высокованадиевая литая быстрорежущая сталь Р5М2Ф10СЛ, для контактно-реактивной пайки, борированные пластины из стали Ст 08 с никельфосфор-

ным покрытием и борированные никелевые пластины с различной толщиной покрытий.

Металлографический анализ выполняли с помощью оптических микроскопов МИМ-8, «Neophot 32» и растрового электронного микроскопа УЭМВ-100К. Фазовый и рентгеноструктурный анализ проводили на установках УРС-50ИМ и рентгеновском дифрактометре ДРОН-2. ДюрOMETрические испытания проводили с помощью микротвердомера ПМТ-3М с самозаписывающим устройством 0,2 Н, нагрузкой 1,0 Н и по Роквеллу.

Прочность на срез соединения быстрорежущая + конструкционная сталь определяли на машине EU-40, с помощью специального приспособления. Износостойкость определяли на машине трения СМЦ-2 по схеме диск-колодка.

Остаточные напряжения в зоне сая определяли по расчетно-экспериментальной методике.

**В третьей главе** изложены результаты исследований по разработке экономнолегированной, высокоизносостойкой литой быстрорежущей стали для биметаллического режущего инструмента.

Известно, что ограничивающим свойством литой стали является ее низкая прочность и высокая хрупкость. Для получения высокой твердости, теплостойкости и износостойкости быстрорежущей стали требуется сложная легированность с большим количеством карбидной фазы, но при этом сталь приобретает высокую хрупкость, что не допустимо.

Изучалось влияние суммарного содержания вольфрама ( $W+1,5Mo$ ), ванадия, углерода, кремния и РЗМ на строение эвтектической сетки литой быстрорежущей стали. С повышением суммарного содержания вольфрама и молибдена в литой стали увеличивается доля карбидов  $M_6C$  с большим удельным объемом и в структуре образуется грубая эвтектическая сетка. Удельный объем на один атом углерода карбида  $M_6C$  составляет 50,1 грамм-атома в  $см^3$ . Известно, что увеличение суммарного содержания вольфрама до 12 % повышает эксплуатационные характеристики быстрорежущей стали, а дальнейшее увеличение не значительно влияет на основные свойства стали. Если на катаных быстрорежущих сталях оптимальное содержание вольфрама 12%, то для литых сталей оно не должно превышать 8 %. Существующее противоречие зависимости прочности и хрупкости от объема карбидных фаз, можно решить с легированием стали карбидообразующими элементами, имеющими наименьший удельный объем карбидной фазы. Одним из таких элементов является ванадий. Удельный объем карбида  $VC$  в 5,5 раза меньше, чем у карбидов  $M_6C$ , и составляет 8,9 грамм-атом в одном  $см^3$ .





Рисунок 1 - Микроструктура литой быстрорежущей стали P5M2Ф10СЛ в литом состоянии,  $\times 400$

Увеличение концентрации ванадия принципиально важно для эвтектического строения литой быстрорежущей стали. Изучалось влияние ванадия на строение эвтектики в пределах его концентрации от 3,0 до 11,0 %. Повышая концентрации ванадия до 10 %, в литой стали уже наблюдается отсутствие сплошной эвтектической сетки. На рисунке 1 иллюстрирована микроструктура литой быстрорежущей стали P5M2Ф10С, в структуре наблюдается большое количество карбидов VC, с меньшим удельным объемом, в виде «снежинок» и отдельных пластин.

Присутствие прерывистой эвтектической сетки в литой структуре значительно улучшает механические свойства, а избыточные карбиды повышают износостойкость стали.

Кремний полностью растворяется в твердом растворе, тем самым повышает твердость и теплостойкость стали. Легирование кремнием более 1,8 % охрупчивает сталь и поэтому применяют его концентрации 1,1- 1,3 %.

Церий уменьшает параметры решетки карбида  $M_6C$ , который почти полностью растворяется при нагреве для закалки, что способствует повышению вторичной твердости и теплостойкости. Церий, располагаясь по определенным кристаллографическим плоскостям дентрида, препятствует его росту в определенном направлении, измельчает структуру эвтектики.

Для нахождения оптимального состава литой быстрорежущей стали использовалось математическое планирование эксперимента. Независимыми параметрами являются концентрации легирующих элементов: углерода, ванадия, кремния и церия.

Из исследованных составов максимальные эксплуатационные свойства достигаются у стали P5M2Ф10СЛ со следующим химическим составом:

C - 2,10-2,35 %; W - 2,75-3,50 %; Mo - 2,5-3,0 %; Cr - 4,0-4,6 %; V - 9,5-10,5 %; Si - 1,1-1,3 %; Ce - 0,05-0,10 % и остальное Fe.

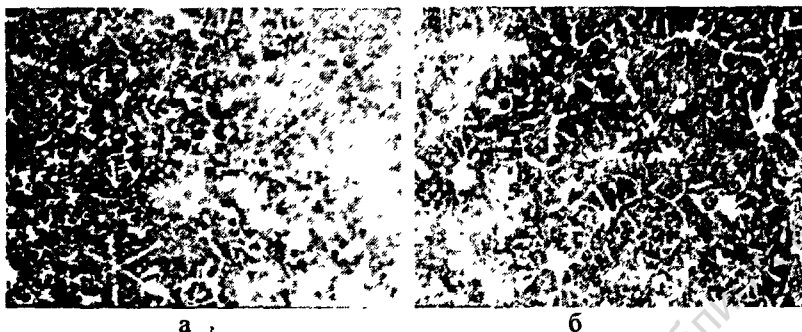


Рисунок 2 - Микроструктура опытной быстрорежущей стали P5M2Ф10СЛ:  
а) в отожженном состоянии, б) после закалки и отпуска,  $\times 400$

Стали выплавляли в открытой индукционной электрической печи с кислой футеровкой объемом 160 кг, были разлиты в оболочковые формы для отливок ножей сборной фрезы и отрезных резцов (рисунок 8). Модифицирование церием, в виде ферроцерия, проводилось в ковше. После выбивки и обрубки отливки подвергают отжигу при температуре  $960^{\circ}\text{C}$ , в защитной среде, охлаждение с печью.

После закалки часть ванадия растворяется в твердом растворе, часть присутствует в сложных карбидах  $\text{M}_6\text{C}$  и  $\text{M}_{23}\text{C}_6$ , а остальная часть образует избыточные карбиды. При отпуске ванадий, который присутствует в твердом растворе, выделяется в виде мельчайших карбидов VC. Объем этих карбидов значительно меньше, однако их количество несоизмеримо больше. При выделении таких дисперсных карбидов происходит наклеп твердого раствора стали.

При выделении мельчайших частиц, согласно предположению Оравана, движущиеся дислокации при приближении к таким твердым частицам будут выгибаться между ними, а изогнутые участки дислокаций, соединяясь с ними, образуют вокруг каждой частицы остаточную дислокационную петлю. Таким образом, эти частицы действуют как препятствия, задерживающие движение дислокаций, и вызывают интенсивное деформационное упрочнение, а сами твердые частицы обладают высокой твердостью, что способствует резкому повышению износостойкости.

После закалки при температуре  $1220^{\circ}\text{C}$ , с предварительным нагревом, микроструктура состоит из тонкой прерывистой сетки на фоне мартенсита и остаточного аустенита. Отпуск производили при температуре  $560^{\circ}\text{C}$ , три раза по одному часу. Микроструктуры после отжига и закалки + отпуска иллюстрированы на рисунке 2.

Твердость после закалки и отпуска достигается HRCэ 67-68, Теплоустойчивость HRCэ 61,5-59,5, при нагревах 640 и 660 °С 4 часа соответственно. Для сравнения, у стали Р6М5Л, полученной переплавкой из отходов эти значения составляют соответственно HRCэ 57 и 54.

Прочность при изгибе новой стали составляет 2100-2150 МПа, против 1850-1950 МПа для стандартной стали Р6М5Л.

Ударная вязкость 0,09-1,0 МДж/м<sup>2</sup>, против 0,06-0,07 МДж/м<sup>2</sup> для стали Р6М5Л.

Износостойкость в 3-4 раза больше, чем у стали Р6М5Л.

**В четвертой главе** изложены результаты исследования технологических процессов контактно-реактивной пайки в системах Fe-B-Ni-P и Ni-B. Исследование природы физико-химических явлений при пайке через стальную пластину с никельфосфорным покрытием быстрорежущая сталь + конструкционная сталь и «быстрорежущая сталь + борированная никелевая пластина + конструкционная сталь». Изучена кинетика образования паяного шва, который состоит из следующих этапов:

а) удаление окисных пленок и активация поверхностей быстрорежущей и конструкционной сталей;

б) образование жидкой фазы, играющей роль припоя;

в) взаимодействие на границах быстрорежущая и конструкционная стали с жидкой фазой, играющей роль припоя;

г) выравнивание состава паяного шва за счет диффузионных процессов и образование переходных слоев с выделением избыточных зерен твердых растворов;

д) кристаллизация эвтектик (жидкого припоя).

Смачивание расплавленным припоем основного металла сопровождается растворением его в жидкой фазе и диффузией отдельных элементов в основной металл. Первичная жидкость в зоне контакта возникает преимущественно по границам зерен и дефектам структуры металлов. Скорость контактного плавления взаимодействующих металлов при постоянной температуре пайки, определяется диффузией в жидкой и твердой фазах.

Диффузионный массоперенос на границе фаз за время выдержки при пайке получает значительное развитие. Процесс диффузии компонентов расплавленного припоя в основной металл часто протекает одновременно с процессом растворения припоем поверхности основного металла, причем особенно интенсивно по границам зерен. Определены стадии развития диффузионных процессов при образовании паяного шва.

Основными особенностями при контактно-реактивной пайке являются:

- а) несоразмерность технологического процесса (температура нагрева и время выдержки);
- б) влияние на процесс взаимодействие химического состава жидкой фазы, играющей роль припоя;
- в) влияние на процесс взаимодействия основного металла;
- г) ярко выраженная ликвация в шве;
- д) зависимость характера кристаллизации от количества образовавшегося при контактном плавлении припоя в соединительном зазоре.

При кристаллизации в паяных швах обычно происходит, в той или иной мере, направленное зарождение соединительного зазора при движении фронтов кристаллизации от границ основной металл зоны сплавления, в центральной части зоны сплавления во многих случаях можно наблюдать образование дендритов в результате кристаллизации наиболее тугоплавкой составляющей шва (рисунок 3).



Рисунок 3 - Микроструктуры зон спая в системе Fe-B-Ni-P×400, толщина никельфосфорного покрытия 60 мкм, × 400

На рисунке 4 показан поперечный разрез соединения конструкционной и новой литой быстрорежущей стали P5M2Ф10СЛ через расплавленную борированную никелевую пластину. При достижении температуры выше плавления эвтектики в системе Fe-B, Ni-P и Ni-B происходит контактное плавление металла с интерметаллидами. На этой стадии жидкая фаза имеет однородный состав эвтектики. Согласно диаграммам состояний Ni-B и Fe-B при взаимодействии железа и слоев боридов при температуре больше температуры эвтектической точки, бор диффундирует в железо, никель и образует твердый раствор. Полученная в результате достижения предельной концентрации бора жидкость образуется со стороны боридов. Поэтому первыми в образовании жидкости начинают растворяться соответственно бориды железа или никеля.



Рисунок 4 - Зона соединения в системе Ni-B, толщина борированного слоя 30 мкм,  $\times 400$

Установлено, что нанесение на борированную стальную пластину никельфосфорного покрытия не обеспечивает достаточной пластичности зоны спая, в отличие от пайки с использованием борированной никелевой пластины. Борированные никелевые пластины обеспечивают при расплаве только фронтальное растворение быстрорежущей и конструкционной сталей.

Температура оказывает значительное влияние на прочность биметалла. Минимальное ее значение соответствует температуре плавления эвтектики в системе Ni-B. Повышение температуры сопровождается увеличением количества жидкой фазы и изменением химического состава зоны сплавления, приводящая к росту прочности соединения биметалла. Такое же влияние на прочность соединения оказывает время процесса. Нерасплавленные бориды, находящиеся в зоне сплавления, вызывают охрупчивание зон, прилегающих к шву, и снижают прочность полученного соединения.

На рисунке 5б показана микроструктура зоны соединения биметалла с применением Fe-B-Ni-P пластины с нерастворившимися боридами железа.

Скачкообразное изменение микротвердости в зоне спая повышает значения остаточных напряжений и уменьшает прочность на срез биметаллического соединения. Наиболее резкое изменение микротвердости в зоне спая наблюдалась в соединении, полученном при N-P покрытии с использованием стальной борированной пластины без растворения слоя боридов при пайке. Микротвердость его изменяется от 1600 до 18050 МПа, а в зоне биметаллического соединения с использованием борированной никелевой пластины микротвердость изменяется плавно от 2300 до 8000 МПа (полное растворение) (рисунок 6).



Рисунок 5 - Микроструктуры зоны спая в системе Fe-B-Ni-P,  $\times 400$ , толщина никельфосфорного покрытия 80 мкм



Рисунок 6 - Распределение микротвердости по сечению зон спая различных систем

На рисунке 7 приведена прочность на срез биметаллических соединений получаемых с применением различных пластин. Отчетливо видно, что максимальная прочность на срез достигается в биметаллическом соединении, полученном с использованием борированных никелевых пластин.

Исследования показали, что на изменение микротвердости в зоне срая влияет толщина борированного слоя на никелевой пластине. С увеличением толщины борированного слоя на пластине микротвердость в зоне срая изменяется плавно, что характеризует уменьшение остаточных напряжений в зоне срая.

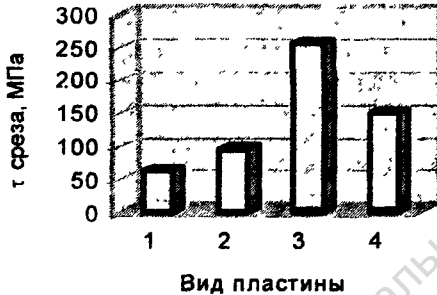


Рисунок 7 - Значения прочности исследованных образцов:

- 1 - борированная стальная пластина;
- 2 - стальная борированная пластина с Ni-P покрытием;
- 3 - борированная никелевая пластина;
- 4 - стальная пластина с Ni-P покрытием

**В пятой главе** представлены результаты разработок технологических процессов изготовления составного биметаллического режущего инструмента методом контактно-реактивной пайки с применением борированных никелевых пластин, а также результаты промышленных апробирований. На рисунке 8 иллюстрированы сборная фреза и отрезной резец с режущими пластинами из высокованадиевой стали P5M2Ф10СЛ, изготовленные методом контактно-реактивной пайки, совмещенной с нагревом для закалки в хлорбариевой ванне.

Широкое промышленное апробирование сборных паяных фрез и резцов из стали P5M2Ф10СЛ, полученных с использованием борированных никелевых пластин, проведенных в цехах М-2 и автоматном ОАО «Алтайский трактор», подтвердили повышение стойкости в 1,2 – 1,3 раза, по сравнению с инструментом, закрепленным механическим путем.

Также инструменты, изготовленные с режущими пластинами из новой литой высокоизносостойкой быстрорежущей стали, показали повышение

стойкости в 2,0 – 2,5 раза, по сравнению с инструментом с режущей частью из стали Р6М5Л.

Инструменты из новой стали, изготовленные методом контактно-реактивной пайки с использованием борированных никелевых пластин, прошли широкое апробирование и внедрены на ОАО «Алтайский трактор». Акт внедрения представлен в приложении к диссертации.

Проведен математический статистический анализ по результатам стойкостных испытаний.



Рисунок 8 - Сборная фреза и отрезной резец

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. В заготовках биметаллического инструмента из литой быстрорежущей стали с ванадием до 9 – 10 % в структуре наблюдается тонкая не сплошная эвтектическая сетка, в отличие от литых быстрорежущих сталей с пониженной концентрацией ванадия стандартного состава.

2. Установлено, что при легировании быстрорежущей стали ванадием, при котором образуется карбид VC, имеющий наименьший удельный объем (8,9 грамм – атома/см<sup>3</sup>, а для W<sub>6</sub>C он составляет 50,1), уменьшается общий объем и увеличивается количество карбидных фаз.

3. Установлено, что прочность разработанной литой быстрорежущей стали на 15%, ударная вязкость на 30% и износостойкость в 3 – 4 раза превышают соответствующие свойства литой быстрорежущей стали Р6М5Л стандартного состава.

4. Установлено, что вторичная твердость литой стали Р5М2Ф10СЛ составляет HRC<sub>э</sub> 67,5–68,0, а теплостойкость HRC<sub>э</sub> 61,5, при нагреве 640 °С, 4 часа.

5. В результате исследования влияния ванадия, вольфрама и РЗМ разработана высокованадиевая литая быстрорежущая сталь для заготовок биме-



таллического режущего инструмента и на новую литую быстрорежущую сталь получен патент на изобретение.

6. Изучена природа, кинетика формирования биметаллического соединения быстрорежущая + конструкционная сталь с использованием интерметаллидных соединений на основе никеля в системе Ni-B при совмещении с нагревом для закалки инструмента в высокотемпературных хлорбачных ваннах:

- установлено, что достигаемый перегрев  $80 - 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  (относительно температуры плавления эвтектики) образующейся жидкой фазы при температурах закалки инструмента ( $1225-1230\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) из новой быстрорежущей стали при использовании боридных покрытий на никеле, является наиболее благоприятным и способствует удалению окисных пленок, активации поверхностей и физико-химических связей на границах раздела;

- установлено, что в результате плавления покрытий массоперенос, связанный с диффузией и кристаллизацией в зоне спая, полученный с борированной никелевой пластиной, происходит диффузии бора в никель с образованием твердого раствора и эвтектики;

- установлено, что при использовании Ni-B эвтектики, играющей роль припоя для пайки биметаллического инструмента в интервале температур закалки  $1200-1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , обеспечивается фронтальное растворение быстрорежущей и конструкционной сталей на границах раздела фаз, в отличие от наблюдаемого локального при использовании Fe-B эвтектик. Фронтальное растворение способствует формированию более благоприятных структур в зоне соединения инструмента, с меньшей неоднородностью. Величина внутренних напряжений в биметаллических соединениях, полученных через Ni-B пластины, на  $10-20\%$  ниже, чем при использовании стальной борированной пластины.

7. ДюрOMETрические испытания подтвердили, что распределение микротвердости по сечению спая, полученной с борированной никелевой пластиной, происходит плавно и изменяется от  $3000$  до  $10200$  МПа. В зонах спая, полученных с борированными стальными пластинами с никельфосфорным покрытием, изменение микротвердости происходит скачкообразно от  $1800$  до  $19500$  МПа.

8. Установлено, что максимальной прочностью на срез и минимальной хрупкостью обладают контактно-реактивно паяные соединения, полученные с применением борированной никелевой пластины.

9. Промышленное апробирование сборных фрез, полученных контактно-реактивной пайкой, показало, что повышение их стойкости составляет в  $1,2 - 1,3$  раза, по сравнению с фрезами, полученными путем механического закрепления режущих пластин.

10. Производственные апробирования сборных фрез и отрезных резцов с режущими пластинами из стали P5M2Ф10СЛ в условиях цехов М – 2 и Автоматном ОАО «Алтайский трактор» показали, что при фрезеровании происходит повышение стойкости в 2,5 раза и при точении в 1,95 раз по сравнению с аналогичным инструментом из стали P6M5Л.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

1. Салманов Н.С., Кононов А.А., Салманов М.Н. Литейная высокованадиевая быстрорежущая сталь // Литейное производство. 2001. № 2. С. 7.

2. Патент RU № 2175683 Литая быстрорежущая сталь. 10.11.2001 Бюл. № 31 (Салманов Н.С., Кононов А.А., Салманов М.Н., Субботин А.В).

3. Kononov A., Salmanov N., Salmanov M. High wear resistance cast high-speed steel VI International Scientific Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists. «Modern techniques and technology MTT – 2000, IEEE Catalog Number: 300EX369, INSN: 0-7803-5789-2, Library of Congress: 99-65473. p. 159 – 160

4. Салманов Н.С., Кононов А.А., Салманов М.Н. Высокоизносостойкая литая быстрорежущая сталь. // Тезисы докладов VI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные технологические оборудования и технологии» - Томск, 2000.- С. 159-160.

5. Занозин А.А., Салманов Н.С., Кононов А.А., Салманов М.Н. Исследование и разработка режимов термической обработки новой высокоизносостойкой быстрорежущей стали 240P5M2Ф10СЛ. // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции. - Рубцовск, 1999. С. 112.

6. Салманов Н.С., Кононов А.А., Салманов М.Н. Влияние модифицирования на структуру и свойства литой быстрорежущей стали P5M2Ф10СЛ // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции. - Рубцовск, 1999. – С 114 – 115.

7. Салманов Н.С. Кононов А.А., Салманов М. Н., Токарев В.В. Высокоизносостойкая литая быстрорежущая сталь // Тезисы докладов научно-технической конференции студентов и аспирантов. – Рубцовск, 2000. – С. 114-116;

8. Салманов Н.С., Шабалин В.Н., Кононов А.А. Сборник научных трудов МПК «Проблемы и перспективы литейного, сварочного и кузнечно-штампового производств»: Выпуск 3: Часть 2. Барнаул, 2001. - С. 58;

9. Салманов Н.С., Шабалин В.Н., Салманов М.Н., Кононов А.А. Новый высокованадиевый наплавочный материал для штампов горячего деформирования и пресс-форм // Сварочное производство. 2001. № 10. С. 22.

Из фондов Российской национальной библиотеки

РНБ Русский фонд

2004-4  
13367

---

Подписано к печати 29.03.02. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 1,2. Тираж 100 экз. Заказ 02-109. Рег. №17.

Отпечатано в РИО Рубцовского индустриального института.  
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6



24 АПР 2002