

**ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи

Бородинов Владимир Александрович

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ
ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА ИЗ
БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ В
ВАКУУМЕ**

Специальность 05.02.08 - Технология машиностроения

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Харьков - 1997





Диссертация

Работа выполнена в Харьковском научно-исследовательском институте технологии машиностроения Министерства машиностроения, военно-промышленного комплекса и конверсии Украины.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Мовшович Александр Яковлевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Тернюк Николай Эммануилович

кандидат технических наук, доцент
Зенкин Николай Анатольевич

Ведущее предприятие: НИИТЭлектромаш г.Харьков

Защита состоится "12" ИЮНЯ 1997г. в 14⁰⁰ часов
на заседании специализированного ученого совета Д 02.09.01
в Харьковском государственном политехническом университете
(310002, г. Харьков-2, ГСП, ул. Фрунзе, 21)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Харьковского государственного политехнического университета

Автореферат разослан "7" МАЯ 1997г.

Ученый секретарь
специализированного ученого совета

Узунян М.Д.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Обработка металлов резанием является основным и наиболее дорогостоящим способом формообразования деталей в машиностроении. Одним из методов сокращения затрат на механическую обработку является применение высокопроизводительного режущего инструмента. Развитие прогрессивного режущего инструмента осуществляется по следующим основным направлениям:

- разработка и внедрение новых инструментальных материалов;
- совершенствование конструкций сборного режущего инструмента с неперетачиваемыми твердосплавными пластинами;
- создание и внедрение высокопроизводительных конструкций режущего инструмента;
- расширение области применения монолитного твердосплавного инструмента;
- разработка и внедрение новых технологий, обеспечивающих снижение затрат при изготовлении прогрессивного режущего инструмента;
- разработка и внедрение различных методов упрочнения инструмента и др.

В настоящее время основную массу применяемого в машиностроении специального режущего инструмента (около 75%) составляет инструмент из быстрорежущих сталей. Однако дефицит быстрорежущих сталей из-за отсутствия на Украине таких легирующих редкоземельных металлов, как W-вольфрам, V - ванадий, Co - кобальт, Cr - хром, сдерживают создание и внедрение прогрессивных видов инструмента.

Анализ потребности ряда машиностроительных предприятий в металлорежущем инструменте из быстрорежущих сталей показывает, что дефицит покрывается только на 40-60 %. Наличие дефицита и высокая стоимость высококачественных инструментальных сталей требуют поиска нетрадиционных инженерных решений в создании экономичного высококачественного инструмента из быстрорежущих сталей.

В данной работе рассматривается и научно обосновывается одно из направлений решения проблемы дефицита металлорежущего инструмента за счет разработки и внедрения ресурсосберегающей технологии и оборудования, основанной на способе вакуумно-дуговой наплавки быстрорежущей стали на режущие кромки инструмента, корпус которого изготавливается из конструкционных сталей.

По мнению автора, данный способ является наиболее перспективным и обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными способами, как с точки зрения обеспечения требуемых ~~повышенных~~ рабочих характеристик получаемого инструмента (стойкость, износ, прочность, твердость), так и благоприятного влияния вакуумной среды на ~~микроструктуру~~ наплавляемого металла в процессе его кристаллизации, позволяющего получить рафинированную быстрорежущую сталь.

Исходя из вышеизложенного, тема данной работы представляется актуальной и своевременной.

Разработка диссертации проводилась в соответствии с тематикой основных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ института и является частью комплекса работ по созданию и внедрению ресурсосберегающих технологий на предприятиях различных отраслей народного хозяйства Украины (тема ТТУ 660-87; тема 1157/07; тема 5625/07).

Диссертация представляет собой научный труд, в котором изложены научно-обоснованные технические и технологические решения, направленные на внедрение достижений науки в производство и реализованные с экономическим эффектом на ряде машиностроительных предприятий Украины.

Цель работы - разработка научно-технических основ создания и внедрения промышленного оборудования и ресурсосберегающей технологии изготовления биметаллического металлорежущего инструмента методом вакуумно-плазменной наплавки быстрорежущей стали на заготовку из конструкционной стали, обеспечивающих повышение срока службы, эффективность применения инструмента и снижение его стоимости.

Методы исследования. Теоретические исследования были проведены на базе теории упругости, сопротивления материалов и технологии машиностроения с использованием вариационных методов Ритца и конечных элементов, дифференциального исчисления функций одной и нескольких переменных. Экспериментальные исследования выполнены на специальной измерительной установке для измерения статических и динамических характеристик контактного взаимодействия при резании, с последующей обработкой результатов методами математической статистики. При исследовании структуры и свойств наплавленной стали использовались методы химического и рентгеноспектрального анализа. При расчетах и обработке экспериментальных данных использовалась ЭВМ.

Научная новизна. Впервые предложен комплексный научно-обоснованный подход к исследованию, разработке и внедрению ресурсосберегающей технологии и оборудования для изготовления инструмента из быстрорежущей стали методом наплавки в вакууме, обоснованы критерии его эффективного применения.

Теоретически исследованы и экспериментально обоснованы геометрические формы и конструктивные параметры основных элементов промышленной установки для наплавки инструмента в вакууме, получены аналитические зависимости для определения напряженно-деформированного состояния корпуса камеры.

Впервые, применительно к инструменту, полученному методом наплавки в вакууме, разработана методика и проведено исследование статических и динамических характеристик процесса резания, установлены зависимости, определяющие связь между основными составляющими режимов резания.

Впервые получены и экспериментально исследованы структура и свойства инструмента из быстрорежущей стали, полученной методом наплавки в вакууме

на промышленной установке, установлены значения технологических параметров и методы улучшения свойств и качества инструмента.

Практическая ценность. На основании результатов проведенных исследований разработана, изготовлена и внедрена в производство промышленная установка с ЧПУ для наплавки быстрорежущей стали на режущие кромки инструмента. Конструкции и способ защищены А.С.№ 1543727 и А.С. № 1698001.

Разработана комплексная ресурсосберегающая технология изготовления в промышленных условиях биметаллического режущего инструмента.

Разработаны рекомендации по улучшению структуры наплавленной в вакууме быстрорежущей стали и достижению оптимальных сочетаний красностойкости, твердости и экономичности.

Внедрение специального биметаллического инструмента на машиностроительных предприятиях позволило снизить дефицит быстрорежущей стали, повысить качественные характеристики инструмента, снизить его стоимость и получить экономический эффект от внедрения инструмента в размере 158,2 тыс.рублей (в ценах 1991 года).

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены на отраслевом семинаре "Состояние, перспектива развития и внедрения инструмента и УСПО" г. Азов, 1990г.; на 4 Украинской республиканской научно-технической конференции "Современные методы наплавки, упрочняющие покрытия и используемые материалы" г. Харьков, 1990 г.; на Всесоюзной конференции "Высокопроизводительное оборудование и прогрессивные технологии в машиностроении" г. Красногорск, 1991 г.; на научно-техническом семинаре "Презентация новых разработок Харьковского научно-исследовательского института технологии машиностроения" г. Харьков, 1992 г.; на научно-техническом семинаре "Перспективные вопросы развития базовых технологий в машиностроении" г. Харьков, 1995 г.; на научно-технических проблемных семинарах и заседаниях научно-технического совета ХНИИТМ в 1988-1996 г.г. Диссертация полностью докладывалась на заседании кафедры "Металлорежущие станки и системы" Харьковского государственного политехнического университета.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано в научно-технических журналах и сборниках 15 статей и получено 2 авторских свидетельства на конструкцию и способ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы и приложений. Работа содержит 123 стр. машинописного текста, 21 таблиц, 70 рисунков, 137 наименований литературных источников и 19 страниц приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель работы, кратко изложены основные вопросы, рассматриваемые в диссертации и представляющие новые прогрессивные решения исследуемой проблемы, представлены основные положения, выносимые на защиту.

Глава первая посвящена анализу состояния вопроса и перспективе развития прогрессивного режущего инструмента на машиностроительных предприятиях, анализу существующих технологических методов изготовления металлорежущего инструмента, анализу способов получения инструмента из быстрорежущей стали методом наплавки и анализу основных свойств быстрорежущих сталей, сформулированы цель и задачи, решаемые в диссертации для достижения поставленной цели.

С целью снижения расходов на механическую обработку, повышения производительности при изготовлении деталей и уменьшения дефицита редкоземельных материалов на машиностроительных предприятиях применяется значительное количество новых марок быстрорежущих сталей, твердых сплавов, минералокерамики, синтетических сверхтвердых материалов. Основную массу применяемого в машиностроении инструмента (до 75 %) составляет инструмент из быстрорежущих сталей, при этом применение сталей повышенной производительности достигло 25 % от общего объема использования быстрорежущей стали. В последние годы находят все большее применение быстрорежущие стали с пониженным содержанием вольфрама (до 3%). В машиностроении освоена технология изготовления режущего инструмента из быстрорежущих сталей, полученных методом порошковой металлургии. Значительным резервом экономии легирующих редкоземельных материалов является наплавка режущих кромок инструмента и вторичное использование лома быстрорежущей стали. В металлургии освоена технология производства сортового проката из быстрорежущих сталей диаметром 8-100 мм. Для производства крупногабаритного инструмента диаметром свыше 80 мм применяются литые заготовки быстрорежущих сталей электрошлакового переплава. С целью повышения в 2,5-3,0 раза стойкости инструмента при обработке жаропрочных сплавов применяется инструмент из мелкозернистых и особомелкозернистых твердых сплавов. Проводятся работы по изготовлению безвольфрамовых твердых сплавов. На ряде машиностроительных предприятий успешно применяется минералокерамический инструмент. В последние годы значительное внимание уделяется повышению режущих свойств инструмента за счет нанесения на его рабочие поверхности износостойких покрытий.

Проведенный аналитический обзор зарубежных и отечественных источников показал, что основным направлением в развитии прогрессивного режущего инструмента является повышение эффективности обработки деталей с одновременным сокращением расхода дефицитных вольфрамсодержащих материалов.

Основополагающими технологическими направлениями развития прогрессивного режущего инструмента являются:

- применение сталей повышенной теплостойкости;
- применение твердых сплавов с повышенным содержанием Со и основой из карбидов тантала;
- применение безвольфрамовых твердых сплавов;
- применение синтетических твердых и сверхтвердых материалов;
- применение оксидно-карбидной керамики;
- применение биметаллических заготовок;
- получение заготовок порошковой металлургией;
- упрочнение инструмента лазером, нанесение износостойких покрытий и др.

Одним из основных факторов, определяющих выбор метода изготовления заготовки инструмента, является форма сечения, размер и состояние поставляемой инструментальной стали. Стержневой инструмент диаметром более 10 мм рекомендуется изготавливать сварным, при этом до $\varnothing 50$ мм применяют горячекатанный прокат, свыше $\varnothing 50$ мм - поковки. Стержневой инструмент диаметром менее 10-12 мм изготавливают цельным из горячекатанного проката. Насадной цельный инструмент диаметром до 50 мм изготавливают из штучной горячекатанной заготовки. Инструмент диаметром более 50 мм изготавливают из поковки. В крупносерийном производстве заготовки дискового инструмента рекомендуется штамповать, а заготовки концевой инструмента получать прессованием или гидродинамическим выдавливанием.

Заготовки корпусов сборных инструментов изготавливают из горячекатанного сортового проката конструкционной стали. Основными технологическими методами изготовления сборного инструмента являются:

- приваривание пластин из быстрорежущей стали на державки (корпуса) из конструкционной стали;
- припаивание термически обработанных пластин к корпусу или державке;
- наплавление режущих частей инструмента;
- припаивание пластин из твердых сплавов;
- клеевые соединения инструментов;
- закрепление кристаллов из сверхтвердых материалов в державке и др.

Одним из наиболее перспективных способов получения сборного биметаллического инструмента является наплавление. Способ имеет следующие достоинства по сравнению с литыми или коваными заготовками из быстрорежущей стали:

- наплавленный инструмент имеет повышенную стойкость;
- прочность наплавленного инструмента повышена за счет конструкционной марки стали корпуса;
- брак заготовки наплавленного инструмента исключен;
- за счет регулирования процесса наплавки специальными присадками можно получить наплаваемый металл с более высокими режущими свойствами.

На машиностроительных предприятиях при изготовлении специализированного режущего инструмента применяется ручная, механизированная и автоматизированная наплавка плавящимся электродом; механизированная и автоматизированная наплавка под флюсом; аргоно-дуговая наплавка неплавящимся электродом в защитной среде; электроконтактная наплавка и плазменная вакуумно-дуговая наплавка.

Анализ литературных данных позволяет сделать вывод о том, что наиболее перспективным способом изготовления наплавляемого инструмента является способ электродуговой наплавки в вакууме полым катодом. Однако преимущества данного способа могут быть реализованы только при дальнейшем исследовании условий получения качественного соединения наплавляемого металла с основным, разработке технологии и внедрении оборудования, которые обеспечат высокую стабильность свойств наплавленного металла.

Основные показатели качества режущего инструмента - это: твердость, красностойкость, износостойкость, прочность, вязкость и экономичность. Повышение того или иного показателя достигается путем изменения химического состава стали, изменением режимов термообработки, а также нанесением различных покрытий. При этом увеличение одного часто сопровождается снижением других показателей.

Механические свойства наплавленного в вакууме слоя близки или превосходят свойства стандартного металла из проката того же состава. Поскольку толщина наплавляемого слоя небольшая, то кристаллизация происходит ускоренно, и получаемая микроструктура слоя более мелкозернистая и однородная, чем у литых инструментов. Поэтому наплавка позволяет получать более высокую прочность и вязкость, чем у обычной литой стали, и в некоторых случаях можно отказаться от последующей термообработки инструмента.

Анализ способов получения прогрессивного режущего инструмента показал, что одним из наиболее перспективных экономически является способ наплавки в вакууме быстрорежущей стали на заготовку из конструкционной стали. Однако приводимые в литературе рекомендации по узким частным вопросам наплавки и отсутствие единой методики не могут быть использованы в полной мере при разработке научно-технических основ создания промышленного оборудования и ресурсосберегающей технологии изготовления биметаллического металлорежущего инструмента методом вакуумно-плазменной наплавки. Необходимо провести комплекс теоретических и экспериментальных исследований, результаты которых позволят на научной основе создать промышленное оборудование и ресурсосберегающую технологию изготовления инструмента из быстрорежущей стали методом наплавки в вакууме.

На основании вышеизложенного анализа в диссертации определены основные цель и задачи исследования, а также пути их реализации.

Во второй главе представлены конструктивно-технологические основы разработки промышленного оборудования для изготовления инструмента методом наплавки в вакууме. Приведена конструкция опытной установки для получения

заготовок инструмента методом наплавки в вакууме, даны рекомендации по выбору геометрической формы и размеров основных конструктивных элементов установки, представлены методика и результаты теоретических исследований напряженно-деформированного состояния корпуса вакуумной камеры установки - наиболее ответственного элемента конструкции, изложены основы комплексной технологии изготовления инструмента из быстрорежущей стали наплавленной в вакууме на режущие кромки инструмента.

Установка состоит из вакуумной камеры с магазином заготовок, механизма для вращения и перемещения заготовок, механизма подачи присадочной проволоки, горелок для нагрева и наплавки заготовок, вакуумной системы, системы охлаждения, пневмосистемы, системы подготовки подачи аргона, системы смазки и системы управления на базе УЧПУ "Маяк-42-1". Все механизмы перемещений снабжаются дистанционным управлением и приводами с широким диапазоном регулирования.

Установка работает в следующих режимах: ручной режим, установка нуля, автоматический режим управления процессами, выход в исходную точку, разгерметизация камеры.

Для реализации метода наплавки в вакууме быстрорежущей стали разработаны принципиальные схемы устройств - кристаллизаторов некоторых разновидностей металлорежущего инструмента.

Наиболее ответственным и нагруженным элементом конструкции установки является корпус вакуумной камеры, обеспечивающий протекание технологического процесса наплавки с заданной точностью позиционирования конструктивных элементов кинематической схемы. С целью определения прочности, жесткости и экономичности корпуса камеры были проведены теоретические исследования напряженно-деформированного состояния стенок и корпуса с помощью математического моделирования комбинированным методом. В процессе исследования были решены следующие задачи:

- определены критические нагрузки из условий устойчивости стенок камеры под действием сжимающих нагрузок;
- определено напряженно-деформированное состояние камеры;
- проведен анализ влияния некоторых конструктивных параметров вакуумной камеры на прочность и жесткость;
- разработаны рекомендации для конструкторов по выбору основных конструктивных параметров создаваемых вакуумных камер.

Представляя стенки корпуса камеры в виде однослойной пластины, уравнения изгиба стенок корпуса записывается в виде:

$$D \nabla^4 w + q_x \frac{\partial^2 w}{\alpha^2} + q_y \frac{\partial^2 w}{\alpha^2} = q_z, \quad (1)$$

где $D = \frac{EH^3}{12(1-\nu^2)}$ - цилиндрическая жесткость;

w - нормальное перемещение точек корпуса

q_x, q_y - погонные нагрузки вдоль осей x и y ;

q_z - нормальное давление.

Решение уравнение (1) ищется в виде:

$$w = \sum_{m,n=1,3}^{\infty} C_{mn} \cdot \sin \frac{m\pi x'}{a} \cdot \sin \frac{n\pi y'}{b}, \quad (2)$$

где C_{mn} - неопределенные коэффициенты.

Раскладывая правую часть уравнения (1) в ряд Фурье, получаем формулу для определения C_{mn} :

$$C_{mn} = 16q_0 / \left\{ \pi^6 Dmn \left[\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2 - \frac{1}{\pi^2 D} \left(\frac{q_x m^2}{a^2} + \frac{q_y n^2}{b^2} \right) \right] \right\} \quad (3)$$

где $q_z = q_0 = \text{const}$.

Представляя стенки корпуса в виде трехслойных пластин, уравнения их изгиба можно записать в виде:

$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2D_{xy} \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + q_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + q_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = q_z. \quad (4)$$

Соответственно значение C_{mn} для этого случая определяется как:

$$C_{mn} = 16q_0 / \left\{ \pi^2 mn \left[D_x \left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 + 2D_{xy} \left(\frac{m\pi n\pi}{ab} \right)^2 + D_y \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4 - \left(\frac{q_x m^2 \pi^2}{a^2} + \frac{q_y n^2 \pi^2}{b^2} \right) \right] \right\} \quad (5)$$

Формула (5) позволяет оценить влияние сжимающих напряжений в срединной плоскости на величину прогибов стенки.

Для расчета напряженно-деформированного состояния камеры использовался вариационный метод Ритца, требующий проведения минимизации функционала полной внутренней энергии исследуемой системы:

$$I = \sum_{k=1}^7 \Pi_k + \sum_{k=1}^7 A_k, \quad (6)$$

где Π_k - потенциальная энергия деформации k -го элемента;

A_k - работа внешних сил для k -го элемента.

Так как стенки камеры представляют собой прямоугольные пластины, то выражение для Π и A имеют вид:

$$\Pi_k = \frac{1}{2} \int_{(s)} D \left\{ \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 + 2(1-\nu) \cdot \left[\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \right\} ds, \quad (7)$$

$$A = \int_{(s)} q \cdot w \cdot ds, \quad (8)$$

где S - область пространства, занимаемая пластиной;

D - цилиндрическая жесткость;

w - прогиб точек срединной плоскости;

q - внешняя нагрузка.

Так как стенки камеры имеют ребра жесткости, то I содержит члены:

$$\Pi_2 = \frac{1}{2} \int_{(s)} E \cdot \frac{s}{t} \cdot \frac{h_2^3}{12} \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 ds, \quad (9)$$

$$\Pi_3 = \frac{1}{2} \int_{(s)} C \cdot \frac{s}{t} \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 ds, \quad (10)$$

где s, t, h_2 - параметры, характеризующие поперечное сечение стенки камеры

$$c = \frac{1}{3} G \cdot Z_1 \cdot Z_2^3 \cdot k,$$

$$Z_1 = \max(s, h_2), \quad Z_2 = \min(s, h_2), \quad G = 0,5E(1+\nu),$$

$$k = \frac{1}{3} \left[1 - 0,63 \frac{Z_2}{Z_1} + 0,052 \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^2 \right]$$

Отсюда I стенки камеры имеет вид:

$$I = \Pi_1 + \Pi_2 + \gamma \Pi_3 + A, \quad (11)$$

где γ - коэффициент, отражающий степень влияния крутильной жесткости

стержней на жесткость стенки.

В конечном итоге функционал (6) принимает вид:

$$I = \frac{1}{2} \sum_k a_k(u_k, v_k) - \sum_k b_k(v_k), \quad (12)$$

где $a_k(u_k, v_k), b_k(v_k)$ - соответственно билинейная и линейная форма от перемещения точек k -го элемента.

Дискретизация I осуществляется путем разложения в ряд искомым функций

w_k :

$$w_k = \sum_i \alpha_{ik} \varphi_i, \quad (13)$$

где α_{ik} - неизвестные коэффициенты;

φ_i - базисные функции, удовлетворяющие граничным условиям.

Подставляя (13) в (12), получаем I в виде функции переменных

$$I = \frac{1}{2} \sum_k \sum_{i,j} A_{kij} \alpha_{ik} \alpha_{jk} - \sum_k \sum_i B_{ki} \alpha_{ik}, \quad (14)$$

где

$$A_{kij} = a_k(\varphi_i, \varphi_j) \quad (15); \quad B_{ki} = b_k(\varphi_i). \quad (16)$$

В качестве базисных функций взята функция

$$\varphi_{kmn} = \psi_k \cdot x_k^m \cdot y_k^n, \quad (17)$$

При этом соотношение (14) принимает вид:

$$I = \frac{1}{2} \sum_k \sum_{i,j,m,n} A_{kijmn} \alpha_{ijk} \alpha_{mnk} - \sum_k \sum_{i,j} B_{kij} \alpha_{ikj}, \quad (18)$$

где A_{kijmn} и B_{kij} - вычисляются по аналогии с (15) и (16).

В дискретной форме условия сопряжения стенок корпуса вакуумной камеры принимает вид:

$$\sum_k z_{kij}^{(r)} \alpha_{ik} = 0, \quad r = 1, \dots, R, \quad (19)$$

где R - количество участков сопряжения стенок камеры;

$z_{kij}^{(r)}$ - коэффициенты, учитывающие уменьшение числа ограничений по участкам сопряжений.

Для минимизации функционала (18) с учетом ограничений (19) был применен метод проекций градиента. В результате итерационный процесс поиска решений записывается следующим образом:

- выбор начального приближения α_0 ;
- установление номера итерационного шага, $k=1$;
- определение градиента ∇I функционала

$$I = \frac{1}{2} \sum_{ij} A_{ij} \bar{\alpha}_i \bar{\alpha}_j - \sum_i B_i \bar{\alpha}_i, \quad (20)$$

$$(\nabla I)_k = \sum_i \bar{A}_{ki} \bar{\alpha}_i^{(n)} - \bar{B}_k, \quad (21)$$

- определение проекции градиента на систему ограничений (19):

$$T = \nabla I - \sum_r g_r \cdot (g_r, \nabla I), \quad (22)$$

где g_r - система ортонормированных векторов, определяемых соотношением (19);

- определение текущего приближения решения

$$\bar{\alpha}^k = \bar{\alpha}^{(k-1)} + \mu T, \quad (23)$$

где
$$\mu = - \frac{\sum_{i,j} \bar{A}_{ij} x_i T_j - \sum_i \bar{B}_i T_i}{\sum_{i,j} \bar{A}_{ij} T_i T_j}, \quad (24)$$

T_k - компоненты вектора, задаваемые формулой (17);

- проверка близости вектора текущего решения к точному

$$\frac{|\Delta I|}{|I|} \leq \varepsilon, \quad (25)$$

где $I, \Delta I$ - функционал и его приращение на k -м шаге минимизации;

ε - некоторая наперед заданная величина, характеризующая точность процесса минимизации.

Предложенная методика была реализована в виде программ для ПЭВМ на языке ФОРТРАН. Выходная информация содержит: параметры C_{mn} правой части формулы (2), распределение прогибов w , изгибающих моментов M_x, M_y и M_{xy} , максимальных напряжений σ_x, σ_y и τ_{xy} и эквивалентных напряжений σ_3 .

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \sum_{m,n} C_{mn} \left(\frac{m\pi}{a} \right) \cos \left(\frac{m\pi x'}{a} \right) \sin \left(\frac{n\pi y'}{b} \right), \quad (26)$$

$$\frac{\partial w}{\partial y} = \sum_{m,n} C_{mn} \left(\frac{n\pi}{b} \right) \sin \left(\frac{m\pi x'}{a} \right) \cos \left(\frac{n\pi y'}{b} \right), \quad (27)$$

$$M_x = -D_x \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right); \quad (28)$$

$$M_y = -D_y \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right); \quad (29)$$

$$M_{xy} = -D_{xy} (1 - \nu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}; \quad (30)$$

$$\sigma_x = \frac{M_x}{2D_x} \cdot H; \quad (31) \quad \sigma_y = \frac{M_y}{2D_y} \cdot H; \quad (32) \quad \tau_{xy} = \frac{M_{xy}}{2D_{xy}} \cdot H; \quad (33)$$

$$\sigma_3 = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (34)$$

В результате проведенных расчетов были определены основные геометрические размеры стенок и параметры корпуса вакуумной камеры, а также установлено, что потери устойчивости стенок вакуумной камеры при длительном производственном процессе не происходит, эквивалентные напряжения в корпусе вакуумной камеры не превышают 60 МПа, что обеспечивает работу материала в упругой области ($[\sigma] = 200$ МПа).

В главе даны основы комплексной технологии изготовления инструмента из быстрорежущей стали методом наплавки. В предлагаемом способе изготовления режущего инструмента наплавка производится полым катодом дуговым разрядом в вакууме 1,33±0,133 МПа в канавки, выполненные на заготовке инструмента и повторяющие форму и размер режущей кромки зуба, причем поверхность заготовки инструмента перед наплавкой нагревается выше критической точки (A_{c3}) перехода металла заготовки в аустенит, но не более 1100°C, а затем, без оплавления материала заготовки, канавки заполняются быстрорежущей сталью, при этом поддерживается капельный перенос присадочного материала проволоки в канавку. Благодаря регламентации расхода присадочного материала и нанесению его в виде капель на нагретую заготовку инструмента в вакууме получается прочное качественное соединение наплавляемого металла с основным металлом заготовки без перемешивания.

Основными параметрами режима при наплавке инструмента являются: температура предварительного подогрева заготовки, сварочный ток и напряжение дуги, размеры и формы зоны нагрева, длина дугового промежутка и скорость наплавки. Существенное влияние на наплавку оказывают диаметры полого катода и присадочной проволоки, размер выходного отверстия для плазмы из

формирователя, скорость подачи проволоки, размеры и масса заготовки для наплавки.

Таким образом созданная конструкция камеры сочетает оптимальные параметры жесткости, прочности и экономичности. Комплексная технология изготовления режущего инструмента обеспечивает экономию до 85 % быстрорежущей стали.

В третьей главе приведены методика и результаты сравнительных экспериментальных исследований по комплексному изучению параметров изнашивания быстрорежущего инструмента из обычной кованой стали и полученного различными режимами наплавки в вакуум, а также статических и динамических характеристик контактного взаимодействия в процессе резания.

Изучалась величина интенсивности изнашивания по задней поверхности режущего инструмента. Необходимые измерения проводились на инструментальном микроскопе МБИ. Для измерения и регистрации статических характеристик процесса контактного взаимодействия использовалась специальная измерительная установка. Установка позволяла измерять составляющие сил резания и регистрировать постоянную (\bar{E}) и переменную (\tilde{E}) составляющие термо-ЭДС естественной термопары деталь-инструмент.

Сравнительные исследования изнашивания производились на инструменте из: стандартной кованой быстрорежущей стали Р18; наплавленной Р18 плазменным методом в молибденовый кристаллизатор; наплавленной в вакууме Р18 плазменным методом в охлаждаемый проточной водой медный кристаллизатор и наплавленной в вакууме плазменным методом Р18 при свободном формировании слоя.

Среднее значение износа и среднеквадратичное отклонение S определялись по известным формулам

$$\bar{h}_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{3i}; \quad s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (h_{3i} - \bar{h}_3)^2}. \quad (35)$$

По критерию ω^2 Н.В.Смирнова проверялась гипотеза о нормальном распределении износа

$$\omega^2 = \frac{1}{12n^2} + \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left[p(h_3) - \frac{2k-1}{2n} \right]^2, \quad (36)$$

где n - объем выборки;
 $p(h_3)$ функция распределения износа,

$$p(h_3) = 0,5 + \Phi_0 \left(\frac{h_3 - \bar{h}_3}{s} \right); \quad (37)$$

где Φ_0 - нормированная функция Лапласа.

Сравнительный анализ результатов исследований режущих свойств быстрорежущей стали при точении стали 45 в традиционных системах координат "износ задней поверхности инструмента - время" и "стойкость - скорость резания" позволяет утверждать, что повышение износостойкости наплавленной стали составляет в среднем 20-50 %, особенно стали, полученной наплавкой в вакууме в охлажденный катализатор.

Для исследования влияния режимов резания на статические и динамические характеристики процесса контактного взаимодействия была проведена серия экспериментов по измерению составляющих сил резания и термо-ЭДС при точении стали 45 и 12Х18Н10Т.

Анализ результатов эксперимента показал, что при резании стали 45 значимых различий в составляющих сил резания P_x , P_y и P_z для исследуемых быстрорежущих сталей нет. Однако при резании стали 12Х18Н10Т инструмент из Р18, полученный вакуумным наплавом, обеспечивает устойчивую тенденцию к снижению составляющих сил резания P_x , P_y и P_z по сравнению с ковальной быстрорежущей сталью. Это указывает на то, что наплавленная сталь Р18 по сравнению с ковальной имеет лучшие фрикционные характеристики скольжения стружки.

Анализ среднеквадратичных значений вибраций характеризует рост всех компонентов виброхарактеристик с увеличением скорости резания. Однако быстрорежущие стали, полученные вакуумным переплавом, уменьшают величины вибраций по сравнению с ковальной Р18 в среднем на 15-60%. Это говорит о том, что контактные процессы, протекающие на флуктуационном уровне, характеризуются для наплавленных сталей не только меньшей адгезионной активностью к обрабатываемому материалу, но и меньшими значениями мощности теплового источника от флуктуации скоростей.

Результаты экспериментальных исследований среднеквадратических значений переменной составляющей термо-ЭДС (\bar{E}) позволяет утверждать, что инструмент, изготовленный из Р18 методом вакуумной наплавки, обеспечивает более низкий, на 20-35%, уровень диссипируемой тепловой энергии в зоне резания по сравнению с ковальной быстрорежущей сталью.

Анализ результатов проведенных исследований позволяет сделать вывод, что деформационные процессы и процессы трения для инструмента из стали Р18, наплавленной в вакууме, протекают на более высоком структурном уровне металлов при меньших энергетических затратах, приводящих к снижению изнашивания по сравнению с инструментом из ковальной стали Р18. При этом стойкость увеличивается в 1,4-1,7 раза, износ уменьшается на 25-35%, составляющие сил резания P_x , P_y и P_z значимых различий не имеют, виброхарактеристики уменьшаются на 15-60 % в зависимости от обрабатываемого металла.

Четвертая глава посвящена вопросам исследования структуры и свойств быстрорежущей стали, полученной методом наплавки в вакууме. Приведены результаты исследования и анализа химического состава различных образцов быстрорежущей стали, рассмотрены особенности ее макро- и микроструктуры, исследована возможность улучшения свойств наплавляемой быстрорежущей стали путем изменения скорости кристаллизации и влияние термической обработки на ее структуру и свойства.

Исследование химического состава стали Р18 проводилось на спектрографе средней дисперсии ИСП-30 с медным подставным электродом и комплектом эталонов стандартных образцов ВНИИСО-86а. Кроме того, был проведен сравнительный контроль химического состава быстрорежущей стали на рентгеновском многоканальном спектрометре СРМ-20М флюоресцентным рентгеноспектральным методом. Результаты исследований показывают, что химический состав наплавленной в вакууме быстрорежущей стали Р18 мало отличается от химического состава исходного наплавочного материала. Содержание основных легирующих элементов остается практически неизменным. Происходит испарение и окисление хрома и марганца.

Для исследования особенной макро- и микроструктуры наплавленной быстрорежущей стали были наплавлены образцы из стали 40Х прямоугольной формы с полукруглыми канавками различной глубины. Наплавка проводилась на один, два и три прохода. После наплавки образцы прошли полный цикл термической обработки. Металлографические исследования этих образцов проводились на микроскопах "Неофот-21" и "МИМ-8" непосредственно после наплавки, отжига, закалки и отпусков - однократного, двукратного и трехкратного. Анализ полученных при исследовании результатов позволяет сделать вывод, что наилучшими характеристиками и микроструктурой обладают наплавленные в вакууме быстрорежущие стали, закаленные и отпущенные по стандартным режимам термообработки для стали Р18.

Для проведения комплекса исследований по улучшению свойств быстрорежущей стали путем изменения скорости кристаллизации были наплавлены образцы дуговым разрядом в вакууме при свободном формировании наплавляемого слоя и при наплавке в охлажденный кристаллизатор; ручной аргоно-дуговой сваркой в камере с контролируемой атмосферой аргона. Сравнение проводили с образцами из ковanej быстрорежущей стали. Изучение микроструктуры проводили на оптическом микроскопе МИМ-8. Измерение микротвердости проводились на твердомере ПМТ-3. Определение равномерности распределения легирующих элементов по сечению наплавленного слоя осуществлялось на спектрографе ИСП-30 с генератором спектрального анализа ЗГЛИ-2. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что применение охлаждаемого кристаллизатора при наплавке в вакууме приводит к измельчению зерна и улучшению распределения эвтектических карбидов, вследствие чего возрастает микротвердость отдельных фаз структуры быстрорежущей стали, что, в свою очередь, влечет за собой изменение общей твердости наплавленного слоя. В

результате анализа распределения легирующих элементов по сечению наплавленного слоя установлено, что наиболее равномерно легирующие элементы (W, Cr, V и Co) распределяются в слое, наплавленном в кристаллизатор в вакууме. В целом содержание легирующих элементов в образцах вакуумной наплавки выше, чем при ручной дуговой в аргоне.

Для изучения микроструктуры в различных состояниях термообработки образцы свободной вакуумной наплавки и наплавки в кристаллизатор стали P18 на сталь 40X подвергали последовательно отжигу, закалке и отпуску. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что:

- твердость быстрорежущей стали, наплавленной в вакууме, закаленной и отпущенной по стандартной технологии термообработки - максимальна: HRC 62 + 66;

- прочность наплавленного соединения в отожженном состоянии определяется прочностью стали 40X, в закаленном и отпущенном - прочностью наплавки из стали P18 и переходной зоны;

- красностойкость наплавленного слоя сохраняется до температуры 650°C;

- твердость наплавки сохраняется высокой HRC 55+62 в интервале температур 600 ÷ 650°C;

- однократный и двукратный отпуск дает более высокую прочность наплавленного соединения, чем трехкратный отпуск.

В пятой главе представлены результаты промышленных испытаний и внедрения оборудования с технологией изготовления инструмента из быстрорежущей стали методом наплавки в вакууме, приведена методика расчета экономической эффективности и результаты внедрения инструмента на ряде машиностроительных предприятий.

Созданная и изготовленная опытная установка для изготовления инструмента методом наплавки в вакууме позволяет выполнять значительный спектр технологических операций и работает в ручном и автоматическом режимах.

Установка смонтирована и введена в эксплуатацию в опытном производстве Харьковского научно-исследовательского института технологии машиностроения. В проведенной серии производственных испытаний опытной установки проверялась эффективность конструктивных и технологических решений, принятых по результатам комплекса выполненных исследований, определялась работоспособность, параметрическая и прочностная надежность установки, достоверность расчетов кинематической схемы, подтверждено экспериментально высокое качество наплавки в вакууме быстрорежущей стали на заготовки из конструкционной стали. Испытания проводились на различных видах инструмента при экстремальных режимах эксплуатации и максимальных нагрузках как самой установки, так и наплавленного на ней инструмента. Результаты проведенных испытаний показали полное соответствие технических, эксплуатационных и технологических характеристик установки и ресурсосберегающей технологии изготовления инструмента из быстрорежущей

стали методом наплавки в вакууме исходным требованиям, целям и задачам, сформулированным в работе.

Различные виды специального инструмента (резцы, фрезы, метчики и др.) из быстрорежущей стали, полученного методом наплавки в вакууме, внедрены и эффективно эксплуатируются на Харьковском заводе транспортного оборудования, НПК "ФЭД", Харьковском заводе специальной технологической оснастки, ЭП ХНИИТМа и других, имеют стойкость в 1,4÷1,7 раза выше, чем у стандартного, экономия быстрорежущей стали на каждой единице инструмента составляет от 65 до 85%, что подтверждено проведенными испытаниями и расчетами.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Предлагаемая технология и оборудование для изготовления биметаллического инструмента из быстрорежущей стали методом наплавки в вакууме является эффективным способом получения экономичного высококачественного инструмента, позволяющего на 65÷85% сократить расход дефицитной быстрорежущей стали.

2. Разработана оригинальная конструкция установки для наплавки биметаллического инструмента из быстрорежущей стали в вакууме, позволяющая в автоматизированном режиме реализовать технологическую схему наплавки с отдельным регулированием тепловложения в заготовку и присадочную проволоку.

3. Разработаны расчетные схемы и математические модели инженерных расчетов наиболее ответственных элементов конструкции установок для наплавки инструмента в вакууме.

4. В результате теоретического исследования напряженно-деформированного состояния базового варианта корпуса установлены его прочностные и жесткостные характеристики при обеспечении минимальной металлоемкости. При этом эквивалентные напряжения в корпусе вакуумной камеры не превышают 60 МПа, что обеспечивает работу материалов в упругой области.

5. В результате экспериментальных исследований технологических характеристик инструмента, полученного методом наплавки в вакууме, в сравнении со стандартным быстрорежущим инструментом из стали P18 на операциях точения и фрезерования установлено:

- уменьшение износа на 25÷35 %;
- повышение стойкости в 1,4÷1,7 раза в зависимости от обрабатываемого материала;
- величины сил резания P_x, P_y и P_z изменяются незначительно, а величины виброхарактеристик уменьшаются на 15÷60 %.

6. Экспериментально установленные величины постоянной (E) и переменной (\bar{E}) термо-ЭДС позволяют сделать вывод о том, что тепловая энергия, выделяемая в зоне резания, уменьшается на 20÷35 %, в результате чего создается более благоприятная энергетическая обстановка в зоне резания.

7. Спектральный анализ и металлографические исследования показали, что при наплавке в вакууме переход от основного металла к наплавленному характеризуется резко выраженной и ровной границей сплавления со значительно более мелкозернистой структурой.

8. Проведенный комплекс исследований макро- и микроструктуры в сопоставлении со стандартной, наплавленной в вакууме, быстрорежущей стали, позволил установить, что размеры, форма и характер распределения карбидной фазы в структуре оказывают существенное влияние на износостойкость инструмента. Более высокие режущие свойства наплавленной в вакууме стали обеспечиваются:

- сохранением исходного содержания легирующих элементов и более равномерным их распределением в наплавленном слое;
- рафинированием быстрорежущих сталей при вакуумно-дуговом переплаве за счет дегазации и испарения вредных включений;
- макрозернистой микроструктурой с характерным распределением эвтектических карбидов в виде тонкой разорванной сетки по границам зерен и отсутствием перемешивания наплавленного слоя с основной конструкционной сталью.

Стойкость наплавленного в вакууме инструмента превышает на 40÷45 % при точении и на 60÷70 % при фрезеровании конструкционных сталей, стали 12Х18Н10Т и черных чугунов.

9. Применение в процессе наплавки различных конструкций кристаллизаторов позволяет улучшить качественные показатели наплавленного в вакууме слоя быстрорежущей стали (по сравнению со свободным формированием наплавленного слоя) на 50÷70 %.

10. Улучшение качественных показателей наплавленного слоя путем проведения различных видов термообработки, проведенные при этом исследования позволяют сделать вывод о том, что:

- твердость наплавленной быстрорежущей стали, закаленной и отпущенной по стандартной технологии термообработки, максимальна и составляет HRC 62 ÷ 66 единиц;
- прочность наплавленного соединения в отожженном состоянии определяется прочностью материала корпуса, в закаленном и отпущенном состоянии - прочностью наплавленной быстрорежущей стали и переходной зоны.
- красностойкость наплавленного слоя P18 сохраняется до температуры 650°С;
- твердость наплавки сохраняется высокой HRC 55÷62 в интервале температур 600÷ 650°С;
- однократный и двукратный отпуск дает более высокую прочность наплавленного соединения, чем трехкратный отпуск.

11. Основные результаты и практические рекомендации работы внедрены в производство на Харьковском заводе транспортного оборудования, НПК "ФЭД" г.

Харьков, Харьковском заводе специальной технологической оснастки, в экспериментальном производстве ХНИИТМа, АО "Станкотехника" г. Тула. Экономический эффект от внедрения результатов работы составил 158,2 тыс.руб. в ценах на 1.01.1991 г., что подтверждено соответствующими актами.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Бородинов В.А. Наплавка режущего инструмента и деталей машин дуговым разрядом в вакууме. // Вопросы оборонной техники - М.: ЦНИИинформации, серия 2, № 5, 1989, с.37-39.
2. Бородинов В.А., Иванов О.Е., Колядинский А.В. Технология и оборудование для изготовления деталей из разнородных сплавов с особыми свойствами методом вакуумно-плазменной наплавки. // Вопросы оборонной техники - М.: ЦНИИинформации, серия 2, № 3, 1993, с.11-14.
3. Бородинов В.А. Исследование трибологических характеристик быстрорежущего инструмента при резании металлов. // Вопросы оборонной техники - М.: ЦНИИинформации, серия 2, № 4, 1993, с.53-55.
4. Бородинов В.А., Нестеренко Н.Г., Будник В.Н. Особенности формирования наплавленного слоя в вакууме при наплавлении поверхностей деталей машин. // Оборонная техника - М.: ЦНИИинформации, № 12, 1994, с.28-32.
5. Бородинов В.А., Лихтштейн В.И., Анфилов Е.Н. Комплексные показатели оценки технического и организационного уровня производства на предприятиях. // Вопросы оборонной техники - М.: ЦНИИинформации, серия 3, № 2(179), 1985, с.26-32.
6. А.С. № 1698001 (СССР). Способ наплавки и дуговой сварки металлов в вакууме. Бородинов В.А., Будник В.Н., Нестеренко Н.Г. и др. Оpubл. 23.02.89. БИ 4654218.
7. Бородинов В.А., Дигтенко В.Г. Технологические методы повышения износостойкости инструмента для различных операций механообработки. // Вопросы оборонной техники - М.: ЦНИИинформации, серия 2, № 3, 1991, с.35-37.
8. А.С. № 1543727 (СССР). Устройство для сварки в вакууме. Бородин В.А., Нестеренко Н.Г., Будник В.Н., и др. Оpubл. 30.05.88. БИ 4432293.
9. Бородинов В.А., Лихтштейн В.И. Анализ состояния и пути совершенствования структуры парка металлорежущего оборудования предприятий спецстанкостроения. // Вопросы оборонной техники - М.: ЦНИИинформации, серия 3, № 5 (182), 1985, с.12-13.
10. Бородинов В.А., Растворцев М.В. Опыт освоения серийного производства вспомогательного инструмента к станкам типа "ОЦ". // Вопросы оборонной техники - М.: ЦНИИинформации, серия 2, № 7, 1987, с.34-36.
11. Бородинов В.А., Нестеренко Н.Г., Ткач Ю.Ф. Технология наплавки металлорежущего инструмента в вакууме. // Вопросы оборонной техники - М.: ЦНИИинформации, серия 2, № 2, 1991, с.19-21.

12. Бородинов В.А., Будник В.Н. Наплавка металлорежущего инструмента. // Тезисы докладов 4 Украинской республиканской научно-технической конференции "Современные методы наплавки, упрочняющие защитные покрытия и используемые материалы".- Харьков, 1990, с.37-39.
13. Бородинов В.А. Исследование технологических характеристик быстрорежущего инструмента при резании металлов. // Тезисы докладов научно-технического семинара "Презентация новых разработок ХНИИТМа"- Харьков, 1992, с.74-82.
14. Бородинов В.А. Оборудование и технология для наплавки инструмента в вакууме. // Тезисы докладов отраслевого семинара "Состояние, перспективы развития и внедрения УСПО и инструмента на предприятиях отрасли"- Азов. АОМЗ, 1990, с.16-18
15. Бородинов В.А. Прогрессивное оборудование и технология наплавки инструмента и деталей машин дуговым разрядом в вакууме. // Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Высокопроизводительное оборудование и прогрессивные технологии в машиностроении"- Красногорск: НТЦ "Информтехника", 1991, с.28-30.
16. Бородинов В.А. Технология и оборудование для наплавки инструмента и деталей машин в вакууме. // Тезисы докладов научно-технической конференции "Техническое совершенствование производства на предприятиях ГТУСО МОП"- Харьков: НИТИ "Прогресс", 1989, с.28-31.
17. Бородинов В.А. Наплавки металлов дуговым разрядом в вакууме, детонационно-газовое нанесение защитных покрытий на детали станков и инструмент. // Тезисы докладов отраслевого семинара "Организационные структуры и прогрессивные процессы изготовления продукции станкопроизводствами отрасли"- Ижевск: НИТИ "Прогресс", 1988, с.21-24.

Личный вклад автора: в работах 1,2,4,6,10,11,12,16 приведены технология получения заготовок для специального режущего инструмента из быстрорежущих сталей методом наплавки в вакууме на корпус из конструкционных сталей, а также методы улучшения структуры наплавленной стали и рекомендации по финишной обработке инструмента, в разработке которых участвовал автор.

В работах 2,8,14,15 приведены конструктивные решения созданной вакуумной установки и даны рекомендации разработчикам вакуумной техники аналогичного назначения.

В работах 3,7,13 описаны проводимые исследования по изучению различных качественных характеристик инструмента из быстрорежущей стали, полученной методом наплавки в вакууме и методы их улучшения.

В работах 5,9 приведен анализ состояния парка металлорежущего оборудования и состояние инструментального обеспечения производств отрасли, предложены пути совершенствования. Во всех этих работах автор принимал непосредственное участие.

Annotation

W.A. Borodinov. Elaboration And Introduction Of the Resource-saving Technology Of Making an Instrument of High-Speed Steel By Method of Over-Melting in Vacuum.

The dissertation is presented for the Candidate degree in Engineering Sciences speciality 05.02.08 - The Technology of Mechanical Engineering, Kharkiv State Polytechnical University, Kharkiv, 1997.

Includes the methods and the results of theoretical and experimental research, that represents the scientific bases and some design and technological recommendation as to the design, technology of manufacturing and introduction of equipment and resource-saving technology of an instrumentmaking of high-speed steel by method of over-melting in vacuum. The technology and equipment for vacuum over-melting of an instrument have been introduced at one of the Ukrainian industrial works. The instrument, produced using the resource-saving technology has been introduced at 4 engineering works in Ukraine.

Анотація

Бородинов В.О. Розробка та впровадження ресурсозберігаючої технології виготовлення інструменту з швидкоріжучої сталі методом наплавлення у вакуумі. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 - "Технологія машинобудування", Харківський державний політехнічний університет, м. Харків, 1997 р.

Містить методики та результати теоретичних та експериментальних досліджень, які становлять собою наукові засади та конструкторсько-технологічні рекомендації щодо конструювання, технології виготовлення та впровадження обладнання та ресурсозберігаючої технології виготовлення інструменту з швидкоріжучої сталі методом наплавлення у вакуумі. Технологія і обладнання для наплавлення інструменту у вакуумі впроваджена на одному з підприємств України. Інструмент, виготовлений з застосуванням ресурсозберігаючої технології, впроваджено на чотирьох машинобудівних підприємствах України.

Ключові слова: ресурсозберігаюча технологія, швидкоріжуча сталь, вакуум, наплавлення, інструмент, структура, дослідження, ефективність, методика.

Ротапринт ХННІІТМ Заказ № 95 . 1 печ. лист.
Підписано к печати 06.05. 1997 г.
Тираж - 100 экз.

[Faint, illegible text covering the majority of the page, likely bleed-through from the reverse side.]