

*27 декабря 2006 г в 14.00 в аудитории № 1307 Нижегородского государственного технического университета на заседании диссертационного совета Д 212.165.09 по адресу Н. Новгород, ул. Минина, д. 24, корп. 1, состоится защита диссертации Абдуллаевым Ширваном Рамазановичем на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему:*

**«РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕЩЕННОГО РЕЗАНИЯ С НАГРЕВОМ ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВКИ ТЕПЛОВЫМ ПОТОКОМ И РАЦИОНАЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ РЕЗЦА».**

На правах рукописи

Абдуллаев Ширван Рамазанович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕЩЕННОГО РЕЗАНИЯ  
С НАГРЕВОМ ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВКИ ТЕПЛОВЫМ ПОТОКОМ  
И РАЦИОНАЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ РЕЗЦА

Специальность 05.03.01. Технологии и оборудование механической  
и физико-технической обработки

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Н. Новгород  
2006

Диссертационная работа выполнена в Нижегородском высшем военно-инженерном командном училище.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Виталий Матвеевич Сорокин

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Александр Николаевич Рыкунов

кандидат технических наук, доцент  
Ирина Николаевна Фролова

Ведущее предприятие: ОАО Авиастроительный завод «Сокол»

Защита состоится «27» декабря 2006 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.165.09 в Нижегородском государственном техническом университете по адресу Н. Новгород, ул. Минина, д. 24, корп. 1, ауд. 1307 603600 ГСП-41.

Ваш отзыв на автореферат, заверенный печатью организации, просим выслать по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского государственного технического университета

Автореферат разослан «25» ноября 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент

Б. В. Устинов

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность.** Ускорение темпов ремонта гусеничной и колесной техники за счет проведения большей части ремонтных работ в полевых условиях позволит значительно сократить сроки ввода отремонтированной техники в состав подразделений, что особенно важно для условий эксплуатации в чрезвычайных ситуациях (ЧС). Большое значение при этом имеют методы восстановления разрушенных поверхностей деталей сваркой или наплавкой с последующей механической обработкой резанием. Как правило, такие работы проводятся в условиях стационарных ремонтных мастерских либо промышленных предприятий в тылу, а это связано с длительными простоем и вводом техники в строй, а также с затратами на эвакуацию техники на ремонтное предприятие.

Для проведения ремонтно-восстановительных работ в полевых условиях, в случае отказа техники по причине разрушения отдельных деталей и их поверхностей, нами предложены передвижные ремонтно-восстановительные мастерские (комплексы) на базе шасси автомобиля (патенты РФ на полезн. мод. № 32053, № 34466), оснащенные сварочно-наплавочным и металлорежущим оборудованием. В этих условиях возникает задача повышения эффективности процесса резания (параметров качества, производительности обработки) восстанавливаемых деталей из различных, в т. ч. и труднообрабатываемых материалов. С этой целью в промышленности нашли применение методы интенсификации процесса резания. К ним, в частности, относятся предварительный нагрев обрабатываемой поверхности в электролите, токами высокой частоты (ТВЧ), лазером, плазменно-

механическая обработка (ПМО) и др. Однако большинство из них отличаются громоздкостью, сложностью изготовления и эксплуатации, дороговизной, поэтому они неприемлемы для использования в полевых условиях.

Проведенный анализ показал, что для обработки металла резанием в полевых условиях может быть использован метод резания с предварительным нагревом обрабатываемой поверхности пламенем ацетилен-кислородной горелки (патент РФ на изобретение № 2188747), разработанный под руководством профессора В. М. Сорокина. Данный метод обработки отличается простотой, а следовательно, и дешевизной применяемого оборудования, высокой степенью доступности, обеспечением качества и требуемых сроков ввода в строй ремонтируемых изделий. В связи с этим исследования в данном направлении являются актуальными.

**Цель работы.** Повышение эффективности ремонта и ввода техники в строй при чрезвычайных ситуациях ее использования на основе разработки процесса совмещенного резания с оптимальным нагревом поверхности заготовки тепловым потоком и рациональным охлаждением режущего инструмента.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи.

1. Выполнить анализ проведенных исследований по проблеме обрабатываемости металлов резанием с нагревом поверхностного слоя заготовки различными способами и на этой основе предложить эффективный способ обработки при ремонте техники в чрезвычайных ситуациях.

2. Разработать рациональные конструкции режущего инструмента и устройства для нагрева обрабатываемой поверхности заготовки, обеспечивающие высокую эффективность процесса обработки: производительность, стойкость инструмента, качество.

3. Выполнить тепловые расчеты параметров процесса резания с нагревом, теоретически и экспериментально обосновать технологические возможности и параметры новых конструкций инструмента и устройства для нагрева обрабатываемой поверхности.

4. Выявить основные закономерности процесса точения цилиндрических поверхностей (валов) из труднообрабатываемых сталей с нагревом в условиях ЧС, влияние режимов нагрева и резания (усилия  $P_y$ ,  $P_z$ , скорости  $v$ , подачи  $S$  и др.) нагретого металла на производительность процесса, стойкость инструмента, показатели качества (шероховатость, точность и др.) обработанной поверхности и на этой основе установить оптимальные условия обработки.

5. Разработать рекомендации по внедрению результатов исследований на производстве, в т. ч. при ремонте изделий в условиях ЧС.

**Объекты и методика исследований.** Основными объектами исследований выбраны натурные детали (валы, оси, штоки) ходовой части, гидроцилиндров транспортных машин и другой спецтехники, образцы из сталей 40Х, 30Х13,

20Х13, 15ХМ, технологические процессы изготовления и восстановления при ремонте деталей, комбинированные процессы (резание с нагревом).

Результаты работы получены путем теоретических и экспериментальных исследований. Теоретические исследования базировались на классической теории источников тепла и совместном рассмотрении тепловых и механических явлений при резании металлов, на методах математического и физического моделирования, основах теории машиностроения и резания материалов.

Экспериментальные исследования проводились в производственно-полевых и лабораторных условиях с применением современных стандартных и оригинальных методик, предусматривающих измерение комплекса параметров резания и изнашивания инструмента, параметров качества обработки.

Обработка результатов экспериментов осуществлялась с использованием методов математической статистики.

### **Научная новизна работы.**

1. На основе комплексных теоретико-экспериментальных исследований разработана прогрессивная технология изготовления и ремонта в условиях ЧС на базе передвижных комплексов (патенты РФ на полезн. мод. №32053, №34466) деталей (типа валы, оси, штоки) из труднообрабатываемых материалов с нагревом их поверхностей и рациональным охлаждением режущей кромки инструмента.

2. Дано теоретическое обоснование предложенному процессу совмещенной обработки резанием с нагревом поверхности заготовки (СОР с НПЗ) тепловым потоком, и на этой основе разработаны новые схемы и конструкции устройств, инструмента и передвижных комплексов, обеспечивающих как улучшение условий обработки, теплоотвода из зоны резания, так и снижение производственных, транспортных и других затрат вследствие простоты, дешевизны и безопасности в процессе изготовления и ремонта изделий.

3. Получены новые результаты и математические модели, оценивающие влияние режимов обработки ( $T_H$ ,  $v$ ,  $S$ ,  $t$ ) поверхности заготовки на усилие резания, стойкость инструмента и показатели ее качества, и на этой основе определены оптимальные условия обработки.

**Практическая значимость работы** состоит в том, что на основе исследований точения цилиндрических деталей, в т. ч. и ремонтируемых сваркой, наплавкой валов с нагревом их поверхностей до температур ниже точки рекристаллизации и одновременного улучшения теплоотвода из зоны резания достигнуто:

- снижение сил резания при снятии припуска металла на черновых и получистовых операциях;
- увеличение стойкости режущей кромки инструмента;
- повышение производительности обработки;

– улучшение показателей качества обрабатываемых поверхностей.

Полученные в работе результаты позволяют разработать технологический процесс обработки поверхностей различных по габаритам и конструктивной форме валов, обеспечивающий необходимые требования к деталям на стадии как черновой, так и получистовой механической обработки резанием.

Разработаны и реализованы на практике конструктивные схемы устройства и инструмента, позволяющие вести высокопроизводительную обработку с заданным качеством поверхностей деталей из труднообрабатываемых материалов на токарном оборудовании в условиях ЧС.

**Реализация результатов работы.** Отдельные положения работы приняты к внедрению. Результаты теоретико-экспериментальных исследований использованы при разработке промышленной технологий изготовления и ремонта

труднообрабатываемых сталей и переданы для апробации и внедрения на ряд ремонтных и эксплуатирующих дорожно-транспортную технику предприятий. Использование их для ремонта валов, в т. ч. и ступенчатых, из конструкционных сталей 45, 40Х, 30Х13 на ремонтном предприятии в/ч 42237 (г. Н. Новгород) позволило получить годовой экономический эффект до 200 тыс. рублей.

Материалы исследований используются в учебном процессе при чтении лекций, проведении практических и лабораторных занятий с курсантами НВВИКУ и студентами ряда вузов (Нижегородской государственной сельхоз академии, академии водного транспорта, НГТУ).

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались :

- на расширенном заседании ученого совета НВВИКУ, г. Кстово, 2006 г.
- заседаниях кафедр «Двигатели и базовые машины» (НВВИКУ), «Технология машиностроения» и «Компьютерное проектирование металлообрабатывающих и инструментальных систем» (НГТУ), 2001-2006 гг.
- всероссийских научно-технических конференциях «Прогрессивные технологии в машино- и приборостроении», ПТ-2004, ПТ-2005, г.Н. Новгород, г. Арзамас 2004, 2005 гг.
- международной научно-практической конференции «Дни науки-2005», г. Днепрпетровск , 2005 г.
- международной научно-технической конференции «Надежность и ремонт машин», г. Орел, 2005 г.
- международной научно-технической конференции «Обеспечение и повышение качества машин на этапах их жизненного цикла», г. Брянск, 2005 г.

**Публикации.** По материалам диссертационной работы опубликовано 11 печатных работ, в том числе получено два патента РФ на полезную модель.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, библиографического списка из 86 наименований и приложения. Содержит ... страниц машинописного текста, ... рисунков и ... таблиц.

## Основное содержание работы.

Во **введении** обоснована актуальность работы. Приводится общая характеристика результатов исследований, полученных в диссертации, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** дается обзор современного состояния в области формообразования поверхностей валов при обработке точением, приводится анализ различных аспектов решения задач повышения производительности и качества обработки валов, дается обоснование применения для этих целей нагрева от внешних источников поверхностей изделий, изготавливаемых из труднообрабатываемых материалов. При этом показан большой вклад отечественных ученых А. А. Авакова, Б. М. Аскинази, В. Ф. Безъязычного, А. С. Верещаки, О. А. Горленко, А. Г. Григорянца, А. С. Даниеляна, Д. Г. Евсеева, Н. Н. Зорева, А. И. Исаева, М. И. Клушина, Б. А. Кравченко, В. А. Кривоухова, Т. Н. Лоладзе, А. Д. Макарова, П. Г. Петрухи, А. В. Подзея, В. Н. Подураева, А. Н. Резникова, Н. Н. Рыкалина, Н. С. Рыкунова, С. С. Силина, А. Н. Строшкова, А. Г. Сулова, Н. В. Талантова, Я. Г. Усачева, М. А. Шатерина, А. В. Якимова, П. И. Ящерицина и др. в развитие теоретических основ теплофизики процессов резания и нагрева металлов. Ряд работ зарубежных ученых Е. Герберта, Х. Такеяма, К. Триггера, Е. Услуги и др. дополняют проведенные исследования. Выполненный анализ литературных источников показал, что применение нагрева поверхности заготовки является эффективным направлением интенсификации процессов лезвийной обработки. Отмечается, что одним из важнейших факторов, ограничивающих производительность и качество обработки, является характер деформации и износа инструмента. Наряду с разработкой конструктивных решений, обеспечивающих снижение износа инструмента, необходимо назначать также режимы обработки с учетом многообразия явлений, сопровождающих процесс резания, в частности тепловой напряженности в зоне обработки. Выявлено, что эффективность процесса резания труднообрабатываемых материалов с предварительным нагревом тем или иным способом связана с возникновением неравномерной тепловой напряженности в зоне обработки и зависит от установления эффективных путей и средств устранения или минимизации разности температур при резании за счет отвода тепла от режущей кромки.

Несмотря на разнообразие способов нагрева заготовки и охлаждения инструмента в зоне резания за счет теплоотвода материалы исследований практиче-

ски не дублируют друг друга, а имеют собственную область применения, определяемую условиями обработки. Имеющиеся результаты исследования тепловых процессов при резании свидетельствуют о сложности и порой противоречивости возникающих при этом явлений, которые приводят к неоднозначным зависимостям между температурным полем и параметрами обработки.

В современных условиях в связи с широким использованием техники в ЧС, а также с развитием сети малых промышленных предприятий и ремонтных организаций весьма эффективно может использоваться газопламенный нагрев обрабатываемых резанием заготовок, отличающийся простотой, дешевизной и безопасностью работ. На основании результатов проведенного анализа сформулированы цель и задачи исследования.

**Вторая глава** посвящена теоретико-экспериментальным исследованиям и разработке процесса совмещенной обработки резанием с одновременным нагревом поверхности заготовок (СОР с НПЗ), описанию и теоретическому обоснованию его конструктивно-технологических параметров и технологических возможностей в составе передвижного ремонтно-технологического комплекса (ПРТК) применительно к использованию в ЧС и других условиях (ремонтные мастерские, малые предприятия).

На основании анализа выявлено, что эффективность СОР и НПЗ в значительной мере зависит от правильного выбора параметров нагрева и процесса резания. Их соотношение должно быть таким, чтобы, с одной стороны, срезаемый припуск нагревался до температуры, при которой в достаточной мере снижаются твердость и предел прочности обрабатываемого материала, а, с другой стороны, суммарная температура (от внешнего источника и работы резания) в зоне обрабатываемой поверхности и режущей кромки инструмента не должна превышать значений, которые нарушали бы структуру обработанной поверхности заготовки и не привели бы к катастрофическому износу инструмента. Для выполнения таких условий обработки в ЧС на базе патента РФ № 2188747 был разработан процесс СОР с НПЗ, а для его реализации предложено оригинальное устройство (рис. 1) в составе ПРТК (патенты на полезн. мод. № 32053, № 34466).

Сущность процесса СОР с НПЗ состоит в том, что перед съемом припуска с поверхности заготовки (например, вала) производят нагрев его поверхностного слоя газопламенной горелкой на глубину  $1-4$  мм в зависимости от требований к детали и назначенного режима. Нагрев поверхности осуществляется с регулированием потока пламени так, чтобы факел пламени в точках касания с поверхностью заготовки имел температуру  $800-1000^{\circ}\text{C}$ , а расстояние  $L$  от центра пятна нагрева до начала резания металла выдерживалось с учетом достижения в срезаемом слое температуры разупрочнения  $T_{cp}=400-600^{\circ}\text{C}$ , при этом поток пламени горелки направляют под углом  $40-60^{\circ}$  к поверхности нагреваемой детали. Резание производится резцом из твердого сплава, снабженным каналами (каме-

рой), куда подается охлаждающая жидкость (вода) для улучшения теплоотвода из зоны резания.

Предлагаемое устройство состоит из стандартной газопламенной горелки 2, снабженной редуктором, автоматически регулирующим мощность потока пламени; блока контроля 3 за нагревом поверхности заготовки и пульта управления 4, которые монтируются на поперечном суппорте 8 токарного станка. Блок контроля 3 за температурой заготовки 1 представляет собой подпружиненный биметаллический элемент 14 и 15 (пружина), соединенный с осью индукционного датчика 16 и связанный проводником через усилитель 17 с блоком управления 18 смесительной камеры газопламенной горелки и пультом управления 4 устройства. Пульт управления 4 устройством включает три пары переключателей, которые управляют перемещением суппорта 8 и резцедержателя 12. При этом одна пара переключателей 19 и 20 служит соответственно для замыкания и размыкания цепи питания двигателя 5 привода (через редуктор 6) продольного перемещения суппорта по винту 7. Два других переключателя 21 и 22 – соответственно для управления (через блок управления 18) мощностью горелки и скоростью перемещения поперечного суппорта 8. Третья пара переключателей 23 и 24 предназначена для включения и выключения цепи поперечной подачи резцедержателя (электродвигатель 9, редуктор 10, винт 11).

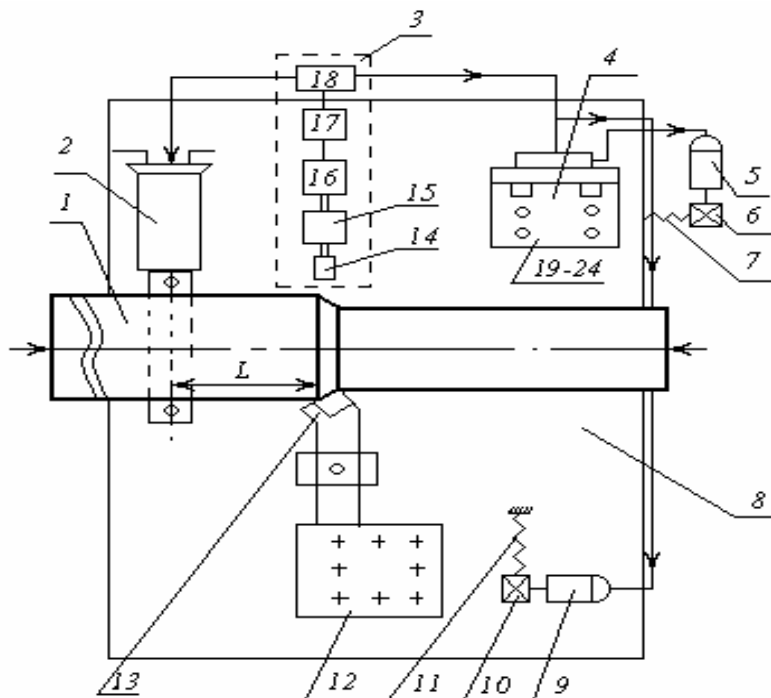


Рис. 1. Устройство для COP с НПЗ:

1-деталь; 2- газопламенная горелка; 3-блок контроля; 4 пульт управления (19-24 три пары переключателей); 5,6,7-двигатель, редуктор и винт привода продольного перемещения суппорта; 8-суппорт; 9,10,11- двигатель, редуктор и винт привода поперечной подачи резцедержателя; 12-резцедержатель; 13- резец; 14,15- подпружиненный биметаллический элемент; 16- индукционный датчик; 17- усилитель; 18-блок управления смесительной камерой

На эффективность процесса COP с НПЗ значительное влияние оказывает соотношение параметров суммарного температурного поля, возникающего в зоне резания. Характер температурного поля зависит от конструктивно-технологических параметров источника нагрева (диаметра сопла  $d$ , состава пламяобразующих газов их расхода  $G$ , мощности пламени  $W$ , угла его наклона  $\psi$  к обрабатываемой поверхности и расстояний  $h$  от сопла до обрабатываемой поверхности и  $L$  от центра полосы нагрева до вершины резца), а также параметров режима резания: скорости  $V$ , подачи  $S$ , глубины  $t$ .

Суммарную температуру в зоне резания нагретого металла  $T_p^+$  в общем виде можно представить выражением

$$T_p^+ = T_n + \Delta T^+, \quad (1)$$

где  $T_n$  – температура нагрева заготовки от внешнего источника тепла;

$\Delta T^+$  – повышение температуры за счет работы собственно резания нагретого металла.

Оптимальное значение  $T_p^+$  соответствует наиболее благоприятным условиям резания, трения и изнашивания инструмента, которые, как установлено, определяются различными комбинациями  $T_n$  заготовки и параметрами ( $v$ ,  $S$ ,  $t$ ) режима резания, обеспечивающими наименьшую интенсивность износа инструмента и наибольшую его размерную стойкость.

При изменении параметров режима резания в зависимости от условий обработки (черновое, получистовое резание и др.), требований к качеству и производительности величина  $\Delta T^+$  будет изменяться и для обеспечения постоянства оптимального значения  $T_p^+$  следует управлять процессом, изменяя температуру  $T_n$ .

Для установления величин  $T_n$  схематизируем процесс воздействия тепловым потоком на заготовку в виде суммы бесконечно большого числа процессов от точечного нормально-сферического источника, что вполне допустимо. Затем, решая задачу о температурном поле в полупространстве, ограниченном плоскостью XOY системы координат, перемещающейся вместе с источником нагрева, находящимся в начале координат, при этом ось OX направлена по движению пятна нагрева, ось OY – в глубину тела, а тепловые потоки в направлении, параллельном оси OZ, незначительны, процесс распространения тепла можно описать уравнением

$$T(y, x, t) = \frac{q}{2\pi\lambda\nu\tau} e^{-\frac{x^2+y^2}{4\omega\tau}} \quad (2)$$

где  $\lambda$  и  $\omega$  – соответственно коэффициенты тепло- и температуропроводности,  $\text{кал/см.с.град. см}^2/\text{с}$ ;

$\tau$  – время, отсчитываемое с момента пересечения источником тепла плоскости XOY, перпендикулярной оси движения источника, через рассматриваемую точку (вершину резца).

Отсюда температуру на поверхности заготовки можно определить по выражению

$$T_n = \frac{2q}{\pi \nu c \gamma (x^2 + y^2)} \quad (3)$$

Тогда, задавая значение температуры в любой точке тела, например на расстоянии  $L^2 = y^2 + x^2$  от источника тепла –  $T_{нл}$ , получим

$$L = \sqrt{\frac{2q}{\pi \nu c \gamma T_{нл}}} \quad (4)$$

где  $c\gamma$  – объемная теплоемкость,  $\text{кал}/\text{см}^3 \cdot \text{град}$ .

Значение интенсивности  $q$  определяется исходя из мощности горелки, используя уравнение Н.Н. Рыкалина

$$q = 0,24W\eta \frac{k_0}{\pi} \quad (5)$$

где  $W$  – мощность пламени газовой горелки,  $\text{Вт}$ ;

$k_0$  – коэффициент, характеризующий сосредоточенность потока тепла в  $1/\text{см}^2$ ;

$\eta$  – коэффициент полезного действия горелки.

Данные коэффициенты определяются экспериментально калориметрированием. В зависимости от условий эксперимента ( $W$ ,  $d$ ,  $h$ ), их величин, следуя методике А. Н. Резникова, их можно оценить выражениями

$$k_0 \approx \frac{2,8 \cdot 10^{-6}}{W^{1,3}} 1/\text{см}^2, \quad \eta \approx 0,005\sqrt{W} \quad (6)$$

Анализ литературных данных и результаты предварительных экспериментов показали, что приращение температуры резания  $\Delta T^+$  приближается к величине, равной разности температуры плавления  $T_{пл}$  обрабатываемого материала и температуры его нагрева горелкой  $T_n$ , следовательно, для данного способа обработки справедлива будет зависимость

$$\Delta T^+ = (T_{нл} - T_n)(1 - e^{-c\nu})k_\gamma k_s \quad (7)$$

где  $c$  – постоянная обрабатываемого материала, определяемая по формуле

$c = e^{-\frac{420}{\sigma_\epsilon(1+23\delta)}}$ ;  $\delta$  – относительное удлинение;  $k_\gamma$  и  $k_s$  – коэффициенты, учитывающие влияние переднего угла резца и подачи, соответственно.

По приведенным зависимостям, используя положения теории резания и задавая для наших условий обработки  $T_p^+ = 900-980^\circ\text{C}$ , установили рациональные конструктивно-технологические параметры установки:  $W=10-15 \text{ кВт}$ ,  $d=4-5 \text{ мм}$ ,  $h=8-10 \text{ мм}$ ,  $\Psi=45^\circ$ ,  $L \leq 70 \text{ мм}$ , которые обеспечивают необходимую  $T_n$  в зоне пятна контакта факела горелки  $\leq 1000^\circ\text{C}$  и в зоне резания  $450-550^\circ\text{C}$  при  $L=60 \text{ мм}$ .

Поскольку при резании заготовки с нагревом режущий клин инструмента нагревается до высоких температур, то его необходимо охлаждать, при этом следует избегать больших градиентов температур, иначе могут появиться нежелательные напряжения и трещины в материале режущей части инструмента (твердосплавных пластин). В связи с этим был предложен резец с водяным охлаждением (рис. 2).

С привлечением теории теплопроводности проанализирована тепловая напряженность его рабочих элементов (по А. Н. Резникову).

Количество теплоты, поступающей в единицу времени в режущий инструмент составит  $(Q_p^+ + Q_{изл})$ , где  $Q_p^+$  – количество теплоты, поступающей из зоны резания при нагреве заготовки;  $Q_{изл}$  – теплота, попадающая на рабочие части инструмента в виде излучения пламени горелки, ее можно определить по формуле

$$Q_{изл} \approx 0,15 \frac{W(1-\eta)}{\pi} \frac{v \cdot \ell}{L^2} \quad (8)$$

где  $v$  – ширина режущей кромки;  $\ell$  – вылет инструмента.

Часть этой теплоты  $(Q_p^+ + Q_{изл}) \cdot \xi_1$  необходимо отвести через канал диаметром  $d_{эkv}$  (эквивалентный) и активной длиной  $l_k$ , в котором с расходом  $G$  ( $\text{см}^3/\text{с}$ ) циркулирует вода. Обозначая через  $T_o$  температуру на поверхности стенок канала, а  $\alpha$  ( $\text{Вт}/\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ) – коэффициент теплоотдачи, получим

$$d_{эkv} = \frac{100\xi_1(Q_p^+ + Q_{изл})}{\pi\alpha T_o l_k} \quad (9)$$

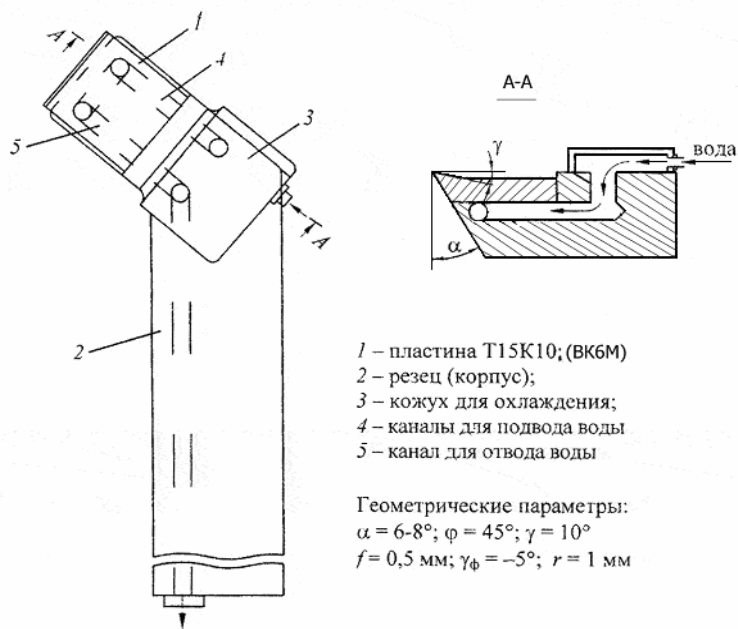


Рис. 2. Конструкция резца с внутренним водяным охлаждением

Значение  $\alpha \approx G0,8/d_{\text{экв}}^{1,8}$  определяется через критерии Прандтля, Нуссельта и Рейнольдса,  $T_0$  рассчитывается в соответствии с формулами теплофизики. Тогда, после преобразований получим соотношение

$$G = d_{\text{экв}} \left( \frac{\ell_k}{10\xi_1 \lambda_p \nu} \ell_n \frac{225\omega_p \tau}{l_1^2} \right)^{-1,25}, \quad (10)$$

где  $l_1$  – расстояние от кромки резца до стенки канала (канал располагается параллельно режущей грани твердосплавной пластины).

Данная формула позволяет рассчитать расход воды для охлаждения или, при заданном  $G$  – диаметр теплоотводящих каналов. Выполненные расчеты позволили установить:  $d_{\text{экв}} \approx 7,6 \text{ мм}$ ;  $G \approx 4,5 \text{ см}^3/\text{с} \approx 0,3 \text{ м}^3/\text{мин}$  при  $l_k \approx 0,8\text{в}$ ;  $\lambda_p \approx 0,385$ ;  $\omega_p \approx 0,145$ ;  $\ell_1 \approx 12 \text{ мм}$ ;  $\xi_1 \approx 0,5$ ;  $\tau \approx 720 \text{ с}$ .

При таких условиях охлаждения тепловая напряженность в зоне режущей

кромки, как показали расчеты снижается на  $135-140^\circ\text{C}$ , и как будет показано ниже стойкость резца повышается в 1,5-2 раза по сравнению с обработкой без охлаждения.

В третьей главе приводятся методики экспериментальных исследований процесса СОР с НПЗ при черновой и получистовой обработках цилиндрических поверхностей. Описываются оборудование и инструмент. Обосновываются выбор измеряемых параметров, их диапазон и выбор измерительной аппаратуры заданной точности. Раскрываются методика планирования и постановки эксперимента, а также методика статистической обработки результатов измерений, проводимая на различных этапах исследования.

Исследования включали в себя проведение контрольных экспериментов по установлению характера распределения температурного поля, определению температур нагрева и резания заготовки, определению сил резания, определению относительного линейного износа (стойкости) инструмента, определению показателей качества обработки длинномерных деталей (точности, шероховатости, наклепа).

Для проведения экспериментальных исследований была спроектирована и изготовлена специальная установка, позволяющая варьировать температурой нагрева и режимами резания, которые устанавливались на суппорте токарно-винторезного (см. рис. 1) станка мод. 16К20 или 1К62. В качестве обрабатываемых материалов приняты различные конструкционные легированные стали 40Х, 30Х13, 15ХМ, отличающиеся одна от другой химическим составом, механическими и теплофизическими свойствами. Образцами для исследований приняты заготовки в виде вала диаметрами 20-60 мм длиной 300 мм. Обработка производилась резцами с припаянными пластинами из твердого сплава Т15К6 с геометрическими параметрами  $\alpha=6-8^\circ$ ,  $\varphi=45^\circ$ ,  $\gamma=10^\circ$ ,  $f=0,5 \text{ мм}$ ,  $\gamma_\phi=-7^\circ$ ,  $r=1,5 \text{ мм}$ .

По результатам предварительных исследований установлены следующие пределы режимов нагрева и резания заготовок:  $T_n=300-700^\circ\text{C}$ ,  $v=10-100 \text{ м/мин}$ ,  $S=0,2-1,5 \text{ мм/об}$ ,  $t=0,5-4 \text{ мм}$ .

Для измерения сил резания использовался универсальный динамометр УДМ-600 конструкции ВНИИ с усилителем ТА-5 и осциллографом Н-117. Измерение температур нагрева заготовки  $T_n$  в зоне резания (на расстоянии  $L=60-70 \text{ мм}$  от центра пятна нагрева) производилось специальной хромель-алюмелевой термопарой, ввернутой в образцы, с помощью тарированного милливольтметра. Температура резания измерялась методом естественной термопары.

Оценку шероховатости обработанной поверхности производили на профилографе модели 201 завода «Калибр». Измерения микротвердости и наклепа поверхностного слоя проведены по изготовленным образцам микрошлифов на приборе ПМТ-3 с нагрузкой на индикатор 50 г, окулярмикроскопа типа МОВ-1-15.



Точность обработанной поверхности контролировали по наружному диаметру индикатором типа СН (ГОСТ 11098-75) завода «КРИН» с точностью до  $0,01$  мм. Измерение размерного износа, или стойкости инструмента, осуществлялось в специальном приспособлении с индикатором часового типа с ценой деления  $0,001$  мм. В качестве критерия износа принята ширина фаски износа  $0,6$  мм при черновой и  $0,3$  мм при получистовой обработках, так как с дальнейшим увеличением износа повышалась шероховатость поверхности образцов, а режущие кромки инструментов разрушались.

**В четвертой главе** приводятся результаты экспериментальных исследований процесса СОР с НПЗ на этапах черновой и получистовой обработки и анализ полученных данных.

На первом этапе исследовали характер распределения тепла в верхнем слое металла заготовки в зависимости от условий испытаний. При модельных испытаниях по методике А. Н. Строшкова и др. построено температурное поле для различных скоростей перемещения газопламенной горелки и ее мощности. В качестве примера приведем следующие результаты: при скорости  $v=10-20$  м/мин, что соответствует скорости черновой обработки при нагреве пламенем  $W=9,5-10$  кВт, на глубине залегания термопары  $1,6$  мм зарегистрирована температура  $\approx 500^\circ\text{C}$ ; в аналогичных условиях при  $W=13$  кВт,  $T_n$  составила уже  $850^\circ\text{C}$ . С увеличением мощности горелки возрастает ширина участка, нагреваемого пламенем горелки. Так, для изотерм выше  $160^\circ\text{C}$  она составила  $27$  мм, а для  $W=13$  кВт -  $38$  мм.

Результаты данных исследований подтвердили, в частности, теоретический расчет (гл. 2) расстояния  $L$  расположения резца относительно потока пламени горелки  $L=70-80$  мм (погрешность составила не более 15%).

На втором этапе исследовали температуры и стойкость инструмента в зоне резания в зависимости от режимов обработки. Результаты измерения температур для принятых условий ( $v, S, t$ ) испытаний пар ВК6М или Т15К6 – сталь 30Х13, 15ХМ, 40Х, показали, что с уменьшением  $v$  в интервале  $10-100$  м/мин и  $S=0,21-1,1$  мм/об как при черновой, так и при получистой ( $v=35-100$  м/мин,  $S=0,21-0,3$  мм/об) обработках интенсивность и температуры нагрева возрастают это можно объяснить снижением динамического фактора контакта пары резец – заготовка и уменьшением прерывистости контакта (при меньших  $S$ ). С изменением  $v$  в интервале  $35-100$  м/мин,  $S=0,21-0,6$  мм/об при  $t=0,5-1$  мм величины температур оптимального нагрева пламенем горелки составляют  $360-600^\circ\text{C}$ , причем с ростом  $v$  при меньших  $S$  ( $0,21-0,3$  мм/об) величины  $T_n$  снижаются до  $350-400^\circ\text{C}$ , и их снижение происходит интенсивнее, чем для других подач. Это связано с разупрочнением контактных слоев в непосредственной близости к режущей кромке за счет роста температур собственно резания  $\Delta T^+$ . Указанное подтверждает, что с увеличением параметров режима (для повышения производительности) необхо-

димо снижать (регулировать) температуру нагрева  $T_n$ . Это вызвано необходимостью обеспечения постоянства температуры на контактирующих поверхностях инструмента, так как в процессе обработки происходит повышение температуры собственно работы резания  $\Delta T^+$  и, следовательно, ее доля в  $T_p^+$  возрастает. Например, в условиях нашего эксперимента только при повышении подачи с  $0,2$  до  $1,0$  мм/об при  $v=50$  м/мин и  $t=0,5$  мм доля  $\Delta T^+$  в  $T_p^+$  возросла с 23 до 54%, что соответственно потребовало снижения  $T_n$  в 2,4 раза.

Оптимальные температуры в зоне резания  $T_p^+$  и нагрева заготовки  $T_n$  для исследуемых материалов и условий обработки, полученные в результате стойкостных испытаний инструментов, составляют:  $T_p^+=950-1050^\circ\text{C}$  (без охлаждения реза),  $T_p^+=780-870^\circ\text{C}$  (охлаждаемый резец),  $T_n=400-500^\circ\text{C}$  (рис.3).

Исследование стойкости (износа) инструмента из сплава Т15К6 в зависимости от параметров режима ( $T_n, v, S, t$ ) обработки показало следующее. Между стойкостью инструмента  $C_m$  и  $T_n$  зависимость экстремальная (рис. 3), поскольку при постоянных значениях параметров режима резания путь  $v C_m$  пропорционален периоду стойкости инструмента, а  $T_n$  однозначно связана с мощностью горелки  $W$ . Так как оптимальное значение  $T_n$  зависит от свойств обрабатываемого и инструментального материалов, а также от режима резания, то единых значений  $T_n$ , рекомендуемых для обеспечения наибольшей  $C_m$  инструмента, не может быть; они должны определяться (оптимизироваться) в каждом конкретном случае для тех или иных условий СОР с НПЗ.

Особенностями изнашивания резцов при СОР с НПЗ являются практически отсутствие времени приработки инструмента и линейная зависимость величины фаски износа по задней поверхности инструмента от времени. Это свидетельствует об адгезионном характере изнашивания контактной поверхности твердосплавного резца.

Исследования составляющих сил резания  $P_z$  и  $P_y$  при точении с нагревом ( $T_n=450^\circ\text{C}$ ) и без него показали, что происходящее в результате нагрева разупрочнение верхнего слоя металла приводит к снижению сил резания практически для всех режимов обработки в 1,3-2 раза. Такое снижение нагрузки на инструмент является существенным резервом повышения, во-первых, точности размеров на 1-2 качества при обработке нежестких валов и, во-вторых, подачи и глубины резания, а значит – производительности обработки в 5-7 раз, особенно на черновых операциях.

Сравнительные результаты измерений шероховатости обработанных поверхностей способом СОР с НПЗ показали, что ее величина при черновом точении находится в пределах  $R_a=8,5-3,8$  мкм, при получистовом -  $R_a=2,3-1,22$  мкм. Эти значения параметра  $R_a$  в 2-2,5 раза ниже, чем при точении без нагрева заготовки.

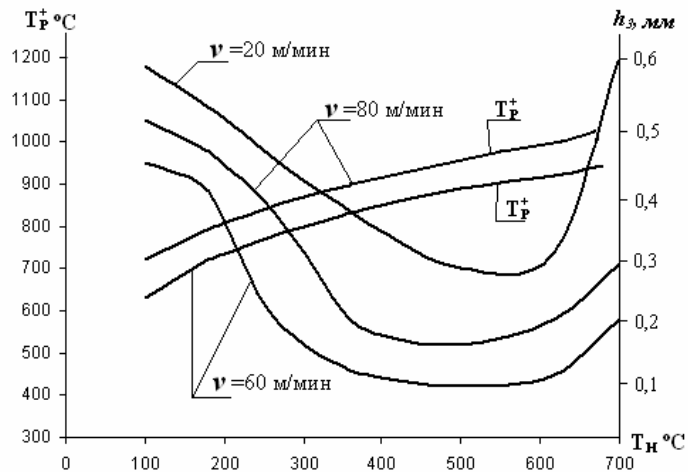


Рис. 3. Зависимости температуры резания  $T_p^+$  и относительного износа  $h_z$  охлаждаемого резца от температуры нагрева  $T_n$  заготовки и скорости резания  $v$  при постоянных значениях  $S=0,25$  мм/об,  $t=0,5$  мм

В результате статистической обработки результатов измерения износа инструментов, составляющих сил резания, шероховатости обработанных поверхностей в исследуемом диапазоне режимов резания и нагрева получены следующие математические зависимости:

$$C_T = \frac{2,3 \cdot 10^4}{v \sqrt{S \cdot t}} \sqrt{\frac{W}{L}}; \quad (11)$$

$$P_z = 20,4 \frac{v^{1,03} \cdot S^{1,005} \cdot t^{0,01}}{T_n^{1,86}}; \quad (12)$$

$$R_a = \frac{v^{0,02+\ln v} \cdot S^{0,14+\ln S} \cdot t^{0,005+\ln t} \cdot T_n^{0,427}}{v^{0,35} \cdot T_n^{0,04+\ln T_n}}. \quad (13)$$

В пятой главе показано практическое применение результатов теоретических и экспериментальных исследований для разработки прогрессивной технологии изготовления и ремонта деталей в составе ПРТК в чрезвычайных ситуациях и других условиях использования техники.

Представлены конструктивные схемы, описания и характеристики элементов ПРТК и применяемого оборудования. Приведены практические рекомендации по выбору рациональных значений конструктивно-технологических параметров режимов и условий, обеспечивающих эффективность процесса СОР с НПЗ типа длиномерных валов. Определена область практического применения процесса, разработаны технологические процессы изготовления и ремонта конкретных деталей. Дается расчет экономического эффекта, от использования результатов исследований, годовой экономический эффект только по данным одного предприятия (в/ч) составил 125 тыс. рублей в год.

### Основные результаты и выводы

1. На основе анализа работ отечественных и зарубежных ученых, исследований и разработок автора решена актуальная научно-техническая задача, направленная на обеспечение быстрого и качественного ввода в строй спецтехники, эксплуатирующейся в ЧС, за счет создания ПРТК (патенты РФ № 32053, № 34463) по изготовлению и ремонту деталей с использованием способов совмещения операций резания и нагрева их поверхностей пламенем горелки (способ СОР с НПЗ).

2. Разработан и теоретически обоснован процесс СОР с НПЗ, входящий в состав ПРТК. На основе теории источников тепла и теплопроводности математически описан процесс нагрева и распространения тепла от пламени горелки в зоне ее действия и обработки резанием. Получены формулы для оценки температур нагрева в зоне резания и определения технологических параметров (в частности, расположения горелки относительно резца).

3. На основе анализа и выполненных исследований:

а) предложены конструктивные схемы и конструкции автоматизированного устройства к токарному станку, охлаждаемого резец (св. на полезн. мод. № 24131), обеспечивающего управление процессом нагрева и температурным режимом в зоне резания с учетом снижения теплонапряженности на режущей кромке резца;

б) определены рациональные конструктивно-технологические параметры разработанных устройств ( $W$ ,  $d$ ,  $h$  и др.) и охлаждаемого резца ( $d_{экс}$ ,  $G$  и др.).

4. Выполненные экспериментальные исследования подтвердили, эффективность применения процесса СОР с НПЗ газовой горелкой в составе ПРТК. При черновом и получистовом точении цельных и сварных заготовок из труднообрабатываемых материалов (стали 30X13, 40X и др.) получено снижение сил резания

в 1,4-2,2 раза, температуры резания - в среднем на 25% по сравнению с обработкой без нагрева, что является существенным резервом повышения точности размеров на 1-2 квалитета при обработке нежестких валов, а также подачи и глубины резания и, следовательно, – производительности в 3-7 раз, особенно на черновых операциях.

5. Исследованы параметры стойкости резцов из твердых сплавов (Т15К6, ВК6М) в зависимости от температуры нагрева заготовки и режимов резания. За критерий затупления при обработке исследуемых материалов (30X13, 15XM и др.) приняты фаски на задней поверхности 0,6 мм для черногого и 0,3 мм для получистового точения. Установлено, что максимальная стойкость  $S_m=60-100$  мин соответствует  $T_n=450-550^{\circ}C$ ;  $v=40-60$  об/мин;  $S=0,21-0,7$  мм/об;  $t=0,5-1$  мм.

6. Установлено, что процесс СОР с НПЗ на исследуемых этапах (черновом и получистовом) и приведенных выше режимах обеспечивает снижение шероховатости поверхности обработанной заготовки в 2-2,5 раза по сравнению с обработкой без нагрева. Так при получистовом точении заготовки из сталей 30X13 и 40X шероховатость  $R_a$  снизилась с 4,8-3,2 до 2,3-1,22 мм. Это весьма важный показатель для ремонтируемых изделий (например, штоков гидроцилиндров) в условиях ЧС.

Существенных изменений физико-механических и структурных характеристик качества поверхностного слоя практически не происходит.

7. Получены математические зависимости в виде полиномиальных моделей, отражающие влияние режимов нагрева и точения труднообрабатываемых материалов на усилие резания  $P_z$ , качество обработанной поверхности и стойкость инструмента. Оптимизация полученных зависимостей позволяет определить рациональные технологические параметры обработки, обеспечивающие получение заданного качества поверхностного слоя, формы поверхности и производительности труда.

8. На базе полученных в работе результатов разработаны и внедрены в производство технологические процессы изготовления и ремонта длинномерных валов с нагревом поверхности, обеспечивающие возможность повышения производительности при обработке конкретных длинномерных деталей более чем в 3 раза при установленных (требуемых) параметрах качества поверхностного слоя и микроотклонений формы поверхности. При этом годовой экономический эффект от внедрения СОР с НПЗ в составе ПРТК, по данным в/ч, составил 200 тыс. рублей.

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:

1. Пат. РФ № 32053 на полезн. мод. Передвижная ремонтная мастерская /В. М. Сорокин, В. И. Котельников, Ш. Р. Абдуллаев / Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели». № 25 от 10.09.2003г.

2. Пат. РФ № 34463 на полезн. мод. Автофургон аварийно-технической службы /В. М. Сорокин, В. И. Котельников, Ш. Р. Абдуллаев /Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели». № 34 от 10.12.2003 г.

1 Абдуллаев Ш. Р. Применение обработки металла резанием с нагревом при ремонте деталей машин /Ш. Р. Абдуллаев, А. А. Ларин, В. И. Котельников Прогрессивные технологии в машино- и приборостроении //Межвузовский сборник статей по материалам ВНТК. – Н. Новгород – Арзамас.: НГТУ, 2004.- с. 75-77.

2. Абдуллаев Ш. Р. Восстановление изношенных деталей машин резанием с нагревом снимаемого слоя /Ш. Р. Абдуллаев, В.М. Сорокин, Г. Н. Гаврилов, А. А. Ларин, В. И. Котельников. Прогрессивные технологии в машино- и приборостроении //Межвузовский сборник статей по материалам ВНТК. –Н. Новгород – Арзамас.; НГТУ, 2004. – с. 78-81.

3. Котельников В. И. Резание с нагревом стальных деталей, сваренных при ремонте / В. И. Котельников, Ш. Р. Абдуллаев Информационный листок, №11-014-05. ГРАНТИ 55.19.13; Нижегородский Центр научно-технической информации. – Н.Новгород.; 2005. –с. 4.

4. Котельников В. И. Обработка резанием с нагревом стальных деталей сваренных при ремонте /В. И. Котельников, Ш. Р. Абдуллаев Материалы Международной научно-практической конференции «Дни науки - 2005». – Днепропетровск.; 2005. –с. 75-77.

5. Котельников В. И. Повышение качества механической обработки сварных деталей при ремонте /В. И. Котельников, Ш. Р. Абдуллаев Материалы пятой Международной научно-технической конференции «Обеспечение и повышение качества машин на этапах их жизненного цикла». – Брянск.; БГТУ, 2005. –с. 261-262.

6. Гаврилов Г. Н. Исследование резания с нагревом для повышения эффективности ремонта колесной техники /Г. Н. Гаврилов, В. И. Котельников, Ш. Р. Абдуллаев НТС №5. – Кстово.; НФВИУ, 2004. –с. 35-87.

7. Котельников В. И. Интенсификация ремонта колесной и гусеничной техники резанием с нагревом заготовки и одновременным охлаждением режущего инструмента /В. И. Котельников, Ш. Р. Абдуллаев НТС №6. – Кстово.: НФВИКУ, 2005. –с. 71-74.

8. Котельников В. И. Улучшение качества сварных поверхностей резания с нагревом при ремонте /В. И. Котельников, Ш. Р. Абдуллаев Материалы второй Международной НТК «Надежность и ремонт машин». – Орел,: 2005. –с. 26-28.

9. Абдуллаев Ш.Р. Определение температурных режимов при резании металла с нагревом обрабатываемой поверхности пламенем ацетилен-кислородной горелки /НТС №7. – Кстово,: НВВИКУ, 2006. –с. 8-10.