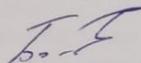


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
Образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи



Бондаревский Дмитрий Михайлович

Исследование процесса создания диффузионного  
соединения элементов режущего инструмента

Направление подготовки  
15.04.01 «Машиностроение»

АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2024

Коротченко  
Лариса Никитовна

Проверено

18.06.2024 Зачтено Библиотека

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольском-на-Амуре государственном университете» на кафедре «Технологии сварочного и металлургического производства имени В.И. Муравьёва»

Научный руководитель:

кандидат технических наук,  
доцент, Заведующий кафедрой  
«Технология сварочного и  
металлургического производства  
имени В.И. Муравьёва» ФГБОУ  
ВО «Комсомольского-на-Амуре  
государственного университета»  
Бахматов Павел Вячеславович

Рецензент:

кандидат технических наук,  
доцент, ведущий научный  
сотрудник Лаборатории проблем  
создания и обработки материалов и  
изделий ИМиМ ДВО РАН,  
г. Комсомольск-на-Амуре  
Жилин Сергей Геннадьевич

Защита состоится «14» июня 2024 г. в 14:30 ч. на заседании  
государственной аттестационной комиссии по направлению  
подготовки 15.04.01 «Машиностроение» в Комсомольском-на-Амуре  
государственном университете по адресу: 681013, Хабаровский край,  
г. Комсомольск-на-Амуре, проспект Ленина, д. 27, учебный корпус 2,  
аудитория 221.

Автореферат разослан 7 июня 2024 г.

Секретарь ГЭК  
К.Т.Н., доцент

О.Н. Клешнина

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность работы** Обработка резанием является и остаётся на многие годы основным технологическим приемом, для изготовления точных деталей машин и механизмов.

Режущий инструмент является главным элементом обработки резанием в различных отраслях машиностроения. На протяжении всей истории обработки металлов резанием, режущий инструмент, как необходимое дополнение к станку, оказывая большое влияние на усовершенствование конструкций металлорежущих станков. Скорость резания инструментов из углеродистых сталей колеблется около 10 м/мин. Инструменты из быстрорежущих сталей позволяют повысить скорость резания до 30...40 м/мин.

Применение твёрдых сплавов в качестве материала режущих инструментов позволило увеличить скорости резания в 3-4 раза по сравнению с инструментами из быстрорежущих сталей.

Применение режущих инструментов, оснащенных режущими элементами из искусственных алмазов, керамики и сверхтвёрдых материалов, потребовалось создание и применение новых металлорежущих станков с увеличенным числом оборотов, и скоростью обработки деталей, с этими требованиями легко справляются станки с числовым программным управлением (ЧПУ).

Усовершенствование конструкций машин, увеличение их точности и качества приводят к тому, что несмотря на развитие разных способов обработки металлов, доля обработки резанием в машиностроении существенно не изменяется, а объём ее значительно возрастает. В ближайшем будущем резание останется наиболее распространенным методом обработки, экономические показатели которой имеют решающее значение в машиностроение, снижением трудоемкости изготовления и качества изделий.

Для получения режущего инструмента, рабочая часть которого выполняется из твёрдого сплава, а хвостовик из конструкционной стали, предлагается на исследование способ сварки трением.

**Цель работы** Определение возможности получения неразъёмного соединения разнородных материалов, для получения режущего инструмента.

Теоретически и экспериментально исследовать возможности соединения разнородных материалов, исследовать структуры и свойства деформаций и прочность сварных соединений.

**Объект исследования** Сварныестыковые соединения, полученные из конструкционной, стали 30ХГСА и твёрдого сплава ВК8 на машине сварки трением. Процессы, происходящие в шве и около шовной зоне.

**Предмет исследования** Полученные детали после ротационной сварки трением, режимы сварки трением, структурные изменения и дефекты сварных швов.

**Научная новизна** Предложен способ ротационной сварки трением, обеспечивающий сварное соединение разнородных металлов, экономический эффект, получаемый в результате исследования сварки трением заготовок, обусловлен значительным снижением затрат и существенной экономии дорогостоящего сплава ВК8, применяя его только для получения рабочей части режущего инструмента.

**Практическая значимость** Применение разработанной технологии позволяет получить прочный и стойкий режущий инструмент с большим ресурсом использования, в сравнении с быстрорежущей сталью, полученные при ротационной сварке трением.

**Личный вклад автора** Соискатель активно принимал участие в проведении экспериментов, в сварке и разрезке разнородных металлов, проводил микроструктурные исследования, механические испытания, обработку и анализ полученных результатов исследования, принимал активное участие в написании научных публикаций.

**Основные положения, выносимые на защиту:** подбор материалов, оборудование и режимы для сварки трением и изготовление, режимы разрезки и изготовление нескольких частей; результаты исследования микроструктуры и механических свойств образцов.

**Публикации** по магистерской диссертации опубликовано 2 печатных работы.

**Объём и структура диссертации** Диссертация состоит из введения, трёх глав, основных выводов, списка используемых источников. Содержание диссертации 67 страниц; 40 рисунков, 24 таблицы, объём списка используемых источников 37 наименований.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** Приведена актуальность темы исследования, научная новизна, экономический эффект, актуальность работы, определены цели и задачи работы.

**В первой главе** Литературный обзор по теме диссертации, главными параметрами ротационной сварки трением являются; высокая производительность сварки, надёжность сварных соединений, минимальная деформация свариваемых деталей, способность сваривать разнородные металлы для получения режущего инструмента.

Обзор существующих неразъёмных соединений твёрдого сплава и конструкционной стали; с помощью пайки, также представлен материал о диффузионной сварке этих металлов.

**Во второй главе** Представлена методика экспериментального исследования. Описание технологического процесса ротационной сварки трением, для выполнения стыковых соединений разнородных металлов, таких как конструкционная сталь 30ХГСА и твёрдый сплав ВК8, необходимые режимы для этого соединения. Показан химический состав свариваемых деталей.

Так же описывается процесс термической операции по нормализации исследуемых материалов, описание необходимого режима охлаждения после сварки, в этой главе присутствует процесс разрезки соединённых металлов электроэррозионной машиной, с режимом разрезки и необходимой проволокой. После всех производственных операций детали проходят обязательный контроль сварного соединения, на разрушающем методе испытаний. Описание задействованного оборудования для сварки, нормализации, разрезки и испытаний неразъёмного соединения.

**В третьей главе** Показаны результаты исследований полученных ротационной сваркой трением, по соединению разнородных металлов.

При соединении разнородных металлов, твёрдого сплава ВК8 с конструкционной сталью 30ХГСА на машине сварки трением МСТ-23, получился положительный результат, и детали сварились между собой. Результат сварки представлен на рисунке 1



Рисунок 1 слева первый образец, справа второй образец

В первом эксперименте для сварки использовались прутки диаметром 12 мм, длиной 100 мм – 30ХГСА, и 50 мм – ВК8. Для эксперимента использовалась концевая фреза, её рабочая часть находилась во вращающемся зажимном механизме, который при сжатии сломал рабочую часть концевой фрезы (рисунок 1).

Во втором эксперименте для соединения разнородных материалов использовались прутки, конструкционная сталь 30ХГСА диаметром 16 мм длиной 100 мм, и твёрдый сплав ВК8 диаметром 10 мм длиной 60 мм (рисунок 1).

В третьем эксперименте для сварки использовались прутки одного диаметра 12 мм, быстрорежущая сталь Р18 длиной 100 мм и твёрдый сплав ВК8 длиной 50 мм, пристыковке этих металлов, Р18 раздуло в разные стороны, как показано на (рисунок 2) и стыковое соединение на машине сварки трением не получилось.



Рисунок 2 - Пример раздутия Р18 при РСТ

Для продолжения эксперимента заготовки первого и второго соединения. Заготовки с полученным сварным соединением отправились в электропечь НАКАЛ ПКМ 6.12.5 для нормализации и постепенном остужении

металлов после сварки, чтобы не образовались трещины в сварном шве, из-за быстрого охлаждения при комнатной температуре. Заготовки прошли нормализацию и остывли до комнатной температуры, было принято решение не снимать грат в первом сварном соединении из-за неуверенности в надёжности сварки, и разрезать с гратом, для механических испытаний на разрез.

Во втором соединении твёрдый сплав зашёл внутрь конструкционной стали на 19 мм, осмотрев заготовку, было принято решение снять лишний металл на токарном станке, и так же, как и первое сварное соединение разрезать на электроэрозионном станке AGIE AGIECUT CLASSIC 2S



Рисунок 3 - Второе соединение после токарной обработки  
Полученные сварные соединения прошли раскрой на  
электроэрозионном станке.

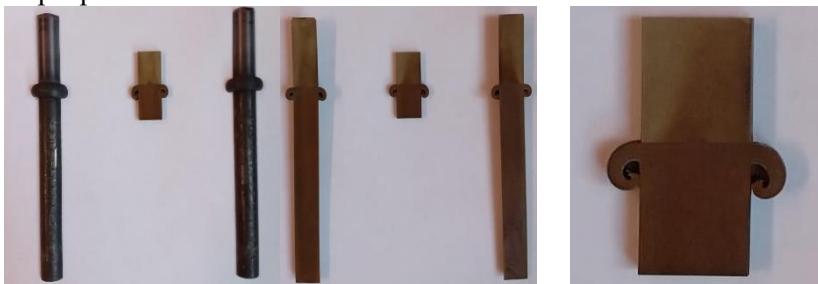


Рисунок 4 - Первый образец, слева разрез детали на три части вид с  
двух сторон, средняя часть справа

Левая и правая часть для механических испытаний на статический разрыв и изгиб, средняя часть была отрезана с обоих сторон до длины 30 мм (рисунок 4) на микроструктурный анализ сварочного соединения.



Рисунок 5 – Второй образец слева разрез детали на три части вид с  
двух сторон, средняя часть справа

Во время разрезки второй заготовки, левая и правая части отвалились из-за отсутствия сварочного соединения, а средняя часть осталась приваренной (рисунок 5)

Испытания на статическое растяжение и изгиб проводились на универсальной испытательной машине INSTRON. Образцы для испытаний соответствовали ГОСТ 6996, тип XII и XXVII.



Рисунок 6 - Методика и оснастка для проведения статического растяжения (а) и изгиба (б)

Испытания на статический изгиб проводятся для определения способности сварного соединения выдерживать заданную пластическую деформацию или для оценки предельной пластичности металла при изгибе. Предельная пластичность характеризуется углом изгиба  $\alpha$  (рисунок 7) до образования первой трещины (по ГОСТ 6996).

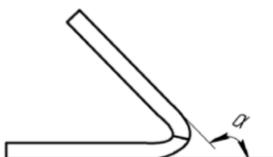


Рисунок 7 - Схема определения угла  $\alpha$  изгиба сварного соединения

В процессе испытаний образец с постоянной площадью поперечного сечения, лежащий в горизонтальной плоскости на двух параллельных цилиндрических опорах, при помощи оправки изгибали до разрушения или до достижения заданного угла изгиба.

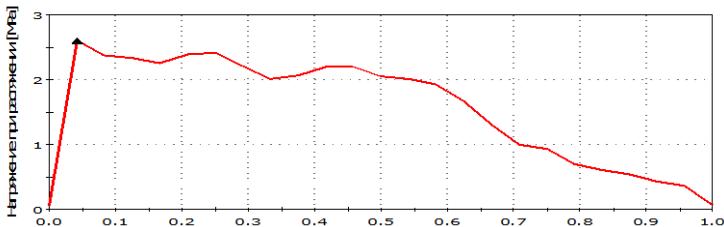


Рисунок 8 – График деформации при растяжении

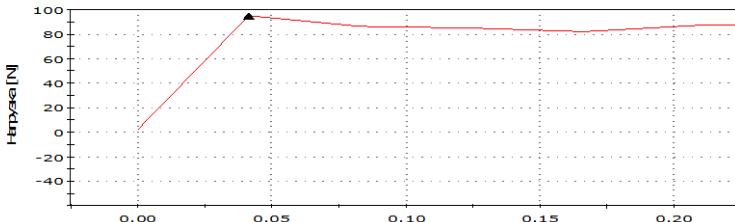


Рисунок 9 – График продольная деформация при растяжении  
Таблица 2 - Данные машины INSTRON 3382 на статическое  
растяжение

№ образца	Модуль, МПа	Условный предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Максимум нагрузки, Н	Деформация при растяжении, %
1	---	---	2,6	94,73349	0,04125

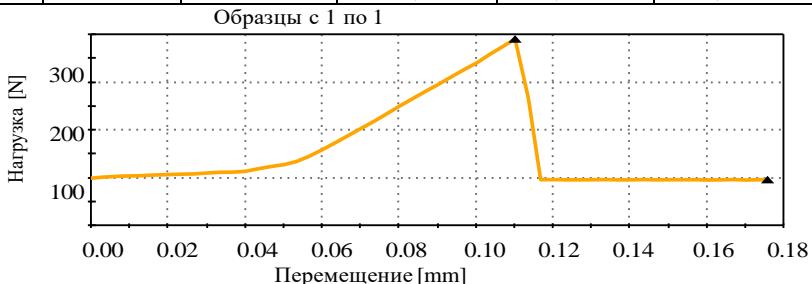


Рисунок 10 – График сопротивления при изгибе  
Таблица 3 - Данные машины INSTRON 3382 на статический изгиб

№ образца	Максимальная нагрузка, Н	Напряжение при изгибе с максимальной нагрузкой, МПа	Расстояние между опорами, мм	Толщина образца, мм	Ширина образца, мм
1	290,30344	83,46431	30,0	4,3	8,465

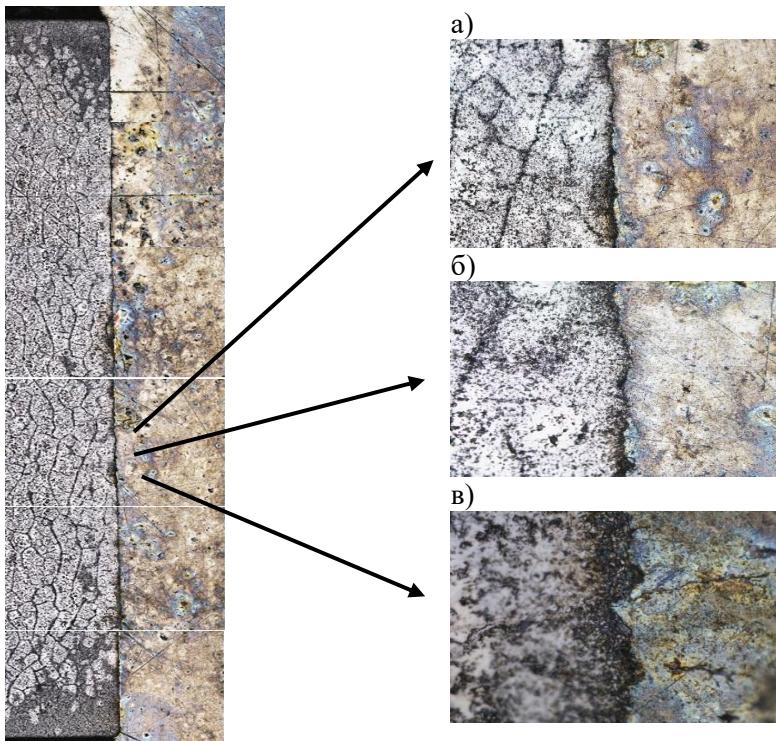


Рисунок 11 Микроструктура сварного шва BK8 и 30ХГСА слева  
увеличение x100, справа а)x200, б)x400, в)x1000

Исследования микроструктуры сварного соединения проводились на микроскопе NIKON ECLIPSE MA 200. Большинство металлургических элементов имеют микроскопические размеры; их невозможно увидеть без оптического увеличения от 50 до 1000 раз. Для анализа таких поверхностей, металлический образец должен быть отшлифован до зеркального блеска. В микроскоп такая тонко отполированная поверхность выглядит, как простое белое пятно.

Для создания контраста микроструктуры металла, используются химические растворы, которые разъедают некоторые из этих элементов, и проявляются в виде более темных участков. Структура или фаза металла изменяются и коррозируют с большей скоростью, при воздействии специального химического раствора.

**Заключение** В работе поставлена цель – получить неразъёмное соединение разнородных металлов; твёрдого сплава ВК8 и конструкционной стали 30ХГСА, на машине сварки трением МСТ-23, и сделать выводы о дальнейшем возможном применении этого способа сварки с предложенными металлами.

При положительном результате этого эксперимента, сварка трением выйдет на новый уровень и станет ещё более эффективной технологией в производстве. Это позволит раздвинуть границы сварочных соединений, повысить производительность и снизить затраты на дорогостоящие материалы.

Однако не все металлы способны прочно свариваться между собой предложенным способом. После проведения всех производственных процессов; соединение в машине сварки трением, нормализация в электропечи и разрезка в электроэррозионном станке, испытания на растяжение и изгиб, и исследование микроструктуры сварного шва, стало ясно, что сварное соединение оказалось не прочным. Для окончательного вывода необходимо большое количество заготовок ВК8 и 30ХГСА, и разные режимы сварки. В первой главе описывается процесс диффузационной сварки с полученным прочным соединением, ВК20 и 35ХГСА. Предположим, что диффузационная сварка получилась из-за того, что ВК20 имеет 20% кобальта в хим. составе, и применение прокладки пермаллоя, а при сварке трением соединение оказалось не надёжным потому что, ВК8 содержит всего 8% кобальта, и отсутствие прокладки между соединяемыми металлами.

Теоретически, для того что бы получить надёжное сварное соединение, при ротационной сварке трением, необходимо провести эксперименты по сварке конструкционной стали 30ХГСА с твёрдым сплавом ВК химический состав которого содержит около 20% кобальта, и применить прокладку из пермаллоя.

## **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

1. Бондаревский Д.М., Бахматов П.В. О возможности сварки трением твёрдосплавных материалов. // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, г. Комсомольск-на-Амуре, 14-18 ноября 2022 г. / редкол.: А. В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2022. – Ч. 2. с. 110-112.
2. Бондаревский Д.М., Бахматов П.В. Моделирование теплового процесса ротационной сварки трением конструкционной стали и твёрдого сплава // Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы VI Всерос. нац. науч. конф. молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 10-14 апреля 2023 г.: в 3 ч. / А. В. Космынин, А. В. Ахметова, Т. Н. Шелковникова – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2023. – Ч.1. с. 12-15.