

М 325810
Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ФОМИЧЕВ Николай Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА И РАЗРАБОТКА
РЕЖИМОВ СВАРКИ ТРЕНИЕМ
БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ НОВЫХ МАРОК
С КОНСТРУКЦИОННЫМИ СТАЛЯМИ 45 И 40Х

05.04.05 - "Технология и машины сварочного
производства".

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ФОМИЧЕВ Николай Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА И РАЗРАБОТКА

РЕЖИМОВ СВАРКИ ТРЕНИЕМ

БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ НОВЫХ МАРОК

С КОНСТРУКЦИОННЫМИ СТАЛЯМИ 45 И 40Х

05.04.05 - "Технология и машин сварочного
производства".

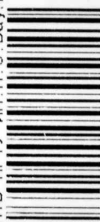
А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

1977

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1325810

Фомичев Н.И. Исследование

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском инструментальном институте "ВНИИ"

Научный руководитель - кандидат технических наук
ИМШЕННИК Константин Павлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
проф.САГАЛЕВИЧ Валерий Михайлович

кандидат технических наук
ВИЛЛЬ Вадим Иванович

Ведущее предприятие - Сестрорецкий
инструментальный завод им. Воскова

Защита диссертации состоится " " 197 г
на заседании специализированного Совета по машинам и
технологии сварочного производства Московского ордена
Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего
технического училища имени Н.Э.Баумана по адресу:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью,
просьба направлять по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан " " ноября 1977 г.

Ученый секретарь специализированного Совета,
доктор технических наук, доц. ЯМПОЛЬСКИЙ В.М.

Тип. МВТУ им. Н.Э.Баумана, тир. 100 экз. зак1614
объем I п.л., подп.к печ. 31/X- 1977 г.

Л-80487

М В Т У
им. Н. Э. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

ВВЕДЕНИЕ. Основные виды режущих инструментов (сверла, метчики, концевые фрезы, развертки, зенкеры и др.) в отечественной промышленности изготавливаются с применением сварки. Важнейшей задачей инструментального производства является снижение себестоимости сварных режущих инструментов с одновременным повышением качества их изготовления. Одним из реальных и перспективных путей решения данной задачи является замена контактной сварки сваркой трением, имеющей лучшие технико-экономические показатели (повышенную производительность, экономия дорогостоящих материалов, снижение энергоёмкости и др.), особенно для хвостового режущего инструмента диаметром до 40 мм.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. Определяется отсутствием технологии сварки трением, обеспечивающей получение прочного сварного соединения быстрорежущих сталей новых марок с конструкционными (инструменты, изготовленные из новых сталей, в определенных условиях эксплуатации имеют лучшую стойкость, чем инструменты из стали Р18).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Разработка промышленной технологии сварки трением быстрорежущих сталей новых марок с конструкционными применительно к хвостовому режущему инструменту на основе изучения процесса и сварных соединений этих пар сталей.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Для исследования процесса сварки применяли: осциллографирование параметров процесса и температуры, киносъемку, микрорентгеноструктурный и химический анализ, металлографические и автордиографические исследования, калориметрирование. Прочность сварных соединений определяли испытаниями на растяжение, статический и ударный изгиб, а готового инструмента - на кручение. При всех количественных измерениях обработку экспериментальных данных проводили с использованием методов математической статистики.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Показано, что промежуточный слой, образующийся в соединении на стадии нагрева, является основным фактором, определяющим качество соединения быстрорежущих сталей с конструкционными; изучены условия формирования слоя, его химический состав, структура, твердость, влияние его на прочность соединения, найдены условия удаления слоя.

Разработана методика экспериментально-расчетного определения режимов сварки трением: созданы формулы, позволяющие связать оптимальные значения параметров процесса с площадью

свариваемого сечения и физико-механическими свойствами быстрорежущей стали.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Разработана промышленная технология сварки трением быстрорежущих сталей марок Р6М5, Р6М3, Р12, Р9К5, Р9К10, Р9Ф5, Р14Ф4, Р18Ф2К8М, Р9М4К8 со сталями 45 и 40Х применительно к заготовкам хвостового режущего инструмента в диапазоне диаметров 10..40 мм.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Результаты работы внедрены на Винницком, Московском, Львовском инструментальных заводах, инструментальном заводе "ФРЕЗЕР", Московском автозаводе имени Ленинского Комсомола и других.

Основное содержание работы доложено на пяти Всесоюзных совещаниях работников ЦЗЛ и технологов горячих цехов инструментальных заводов, 1970..1974 гг(г.Москва), двух конференциях по сварке разнородных материалов, МДНТП им.Ф.Э.Дзержинского, 1972, 1973 гг., 3^й Всесоюзной конференции по сварке трением, 1973, (г.Минск), научном семинаре кафедры "Сварочное производство" МВТУ им.Н.Э.Баумана, 1974, 1977 гг.

ПУБЛИКАЦИЯ. По теме диссертации опубликовано в периодической печати 13 работ и получено одно авторское свидетельство.

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертационная работа содержит 190 страниц машинописного текста, включающих в себя 34 таблицы, 49 рисунков и список литературы (117 наименований).

В П Е Р В О Й Г Л А В Е рассмотрено состояние вопроса, дана характеристика быстрорежущих и конструкционных сталей, определены цель и задачи исследований.

Известно, что контактная стыковая сварка оплавлением не всегда обеспечивает получение высокого и стабильного качества соединения быстрорежущих сталей с конструктивными, поскольку развиваемые высокие температуры в стыке приводят к росту зерна и часто к образованию ледебурита в быстрорежущей стали. Новые виды сварки, диффузионная сварка в вакууме и сварка трением, позволяют снизить температуру в стыке и получать соединение более высокого качества. Сварка трением широко применялась при изготовлении сварного режущего инструмента с рабочей частью из быстрорежущей стали Р18. Количество установок сварки трением на заводах инструментальной отрасли Советского Союза составляет более 100 единиц.

Однако в последние годы произошло резкое изменение мароч-

ной структуры потребления быстрорежущих сталей, характеризующееся заменой высоковольфрамовой стали Р18 маловольфрамовыми сталями нормальной теплостойкости (Р6М5, Р6М3, Р12), а также повышением доли потребления быстрорежущих сталей повышенной теплостойкости (Р9М4К8, Р9К5, Р9К10, Р9Ф5, Р14Ф4, Р18Ф2К8М). Стали отличаются между собой и от стали Р18 физико-механическими и технологическими свойствами, что не позволяло применять для них технологию сварки трением стали Р18 со сталью 45. В связи с этим возникла необходимость в разработке технологии сварки трением быстрорежущих сталей новых марок с конструкционными сталями. Условием успешного решения данной задачи является комплексное изучение процесса сварки трением и сварных соединений этих пар сталей.

Ознакомление с литературными источниками советских и зарубежных учёных (В.И.Вилля, А.С.Гельмана, Н.Н.Рыкалина, В.П.Воинова, К.Эллиса и др.) позволило установить, что в области сварки трением изучены и определены:

а) основные параметры процесса; б) механизм образования соединения; в) процесс тепловыделения и влияние параметров процесса сварки на тепловыделение; г) механические свойства соединений, полученных сваркой трением; д) режимы сварки трением малоуглеродистых сталей, жаропрочных и аустенитных сталей с перлитными сталями, алюминия и его сплавов со сталью меди со сталью, быстрорежущей стали Р18 со сталью 45, быстрорежущих сталей Р6Ф2К8М, Р6М3, Р12Ф2К8М3 со сталью 45 (для стержней диаметром 18 и 20 мм).

Анализ опубликованных работ по сварке трением быстрорежущих сталей с конструкционными (А.И.Христофорова, К.П.Имшенника и В.Л.Головина, Г.Д.Ткачевской и др.) показал, что: а) процесс сварки трением быстрорежущих сталей с конструкционными сталями 45 и 40Х изучен недостаточно. Полностью не определены факторы, влияющие на качество соединения. Отсутствуют данные о температурных полях при сварке трением быстрорежущих сталей новых марок с конструкционными фактора, влияющем на условия формирования и качество соединения (некоторые новые быстрорежущие стали более чувствительны к перегреву, чем сталь Р18; б) режимы сварки трением определяются экспериментально, отсутствует математический аппарат, позволяющий определять оптимальные значения параметров процесса;

в) отсутствуют рекомендации по сварке трением быстрорежущих сталей новых марок с конструкционными сталями 45 и 40Х.

Исходя из поставленной цели на основе анализа литературных источников определены следующие ЗАДАЧИ РАБОТЫ:

1. Исследовать процесс сварки трением быстрорежущих сталей новых марок с конструкционными сталями 45 и 40Х:
 - а) изучить температурные поля при нагреве;
 - б) изучить влияние промежуточного слоя на качество соединения, условия формирования, структуру, химический состав промежуточного слоя;
 - в) определить связь режимов сварки с физико-механическими свойствами быстрорежущей стали.
2. Разработать методику экспериментально-расчетного определения режимов сварки трением быстрорежущих сталей с конструкционными.

3. Разработать режимы сварки трением быстрорежущих сталей марок Р6М5, Р6МЗ, Р12, Р9М4К8, Р9К5, Р9К10, Р9Ф5, Р14Ф4, Р18Ф2К8М с конструкционными сталями 45 и 40Х применительно к заготовкам хвостового режущего инструмента диаметром от 10 до 40 мм.

В О В Т О Р О Й Г Л А В Е изложена методика исследований.

Основные исследования были проведены на сталях марок Р6М5, Р14Ф4 и Р18, наиболее отличающихся по свойствам: сталь Р6М5 имеет высокие теплопроводность и пластичность, сталь Р14Ф4 - низкие теплопроводность и пластичность, сталь Р18 занимает промежуточное положение (табл. 1)

Характеристика сталей

Таблица 1

Марка стали	Средний химический состав, %					Твёр- дость в отож- женном состоя- нии не более, НВ	Теплопро- водность при 600°С кал см.сек.Гр	Пластич- ность, (по числу изги- бов образца до разрушения при 950°С)
	угле- род	хром	воль- фрам	вана- дий	мо- либ- ден			
Р6М5	0,85	4,0	6,0	2,0	5,0	255	0,11	13,0
Р14Ф4	1,25	4,1	14,0	3,7	0,4	269	0,06	9,0
Р18	0,75	4,1	18,0	1,2	0,3	255	0,07	10,0
45	0,48	≤0,25	-	-	-	207	0,085	84,0

Давление на стадии нагрева (p_n) изменяли от 4,7 до 11,7 кг/мм², давление на стадии проковки ($p_{пр}$) - от 5 до 70 кг/мм², время нагрева (t_n) - от 1 до 45 сек, время проковки ($t_{пр}$) -

от 1 до 6 сек. Эксперименты выполняли на машинах сварки трением, применяемых в инструментальном производстве для сварки заготовок режущего инструмента (мод. МФ 327, МСТ 35, МСТ 41). Измерение температуры на контактной поверхности и в сечениях стержня из быстрорежущей стали, отстоящих на 2,3,5,6,10 мм от начальной контактной поверхности, проводили в точках, расположенных в центре и на расстоянии 0,4 и 0,8 радиуса от центра (R).

Измерение момента сил трения, осевого усилия, величин осадки стержней проводили с помощью тензометрических датчиков, наклеенных на упругие элементы. Запись осуществлялась шлейфовым осциллографом Н-700.

Металлографические исследования и фотографирование макро и микроструктуры проводили на оптическом микроскопе МИМ-7 и МИМ-8, твердость измеряли на приборе Виккерса (ГОСТ 2999-59), микротвердость на приборе ПМТ-3 (ГОСТ 1497 - 61).

Химический состав промежуточного слоя определяли с помощью микрорентгеноспектрального анализа на установке МАР-50, распределение углерода при сварке и отжиге исследовали с помощью радиоактивного углерода C^{14} , которым насыщались образцы из стали 45 до сварки.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ приведены результаты исследований процесса. Для изучения условий нагрева и проковки торцов стержней процесс сварки трением целесообразно принять состоящим из пяти стадий (рис 1). Первые три стадии характеризуют нагрев, последние две - проковку.

Нагрев торцов стержней осуществляется источником тепла мощность которого на разных стадиях процесса неодинакова. В первых двух стадиях нагрева источник тепла мощный, но нестабильный, в третьей стадии источник тепла более стабильный, но средняя мощность его в 1,8..2 раза меньше, чем в первых двух стадиях. Мощность источника тепла в первых двух стадиях определяется механическими свойствами быстрорежущей стали (чем выше сопротивление пластической деформации, тем больше мощность) и давлением на стадии нагрева (формула 1)

$$q_1 = q_0 + \delta p_n \quad (1)$$

где δ - коэффициент, имеющий размерность кал/сек .кГ

p_n - текущее значение давления на стадии нагрева, кГ/мм².

q_0 - удельная мощность источника при $p_n = 4,7$ кГ/мм²

δ - текущее значение удельной мощности.

Для стержней диаметром 20 мм q_0 равно для сталей: Р6М5- 288, Р18- 300, Р14Ф4- 310 кал/см²сек; δ равен $3,5 \cdot 10^{-2}$ кал/сек.кГ. (скорость вращения стержней при этом составляет 1500 об/мин).

Мощность источника тепла в третьей стадии мало зависит от давления на стадии нагрева и практически не зависит от свойств быстрорежущей стали. Для приведенных выше условий сварки q_0 равно 160 кал/см²сек, δ равен $0,5 \cdot 10^{-2}$ кал/сек.кГ.

Мощность теплового источника в первой стадии неравномерна по поверхности трения. Показано, что источник тепла в начале первой стадии имеет кольцевую форму шириной 0,5..0,65 Р. Неравномерность распределения мощности источника подтверждается измерением температуры контактных поверхностей (табл. 2)

Таблица 2

Температура в точках контактной поверхности стержня из быстрорежущей стали диаметром 20 мм в конце первой стадии нагрева.

Свариваемые стали	Давление на- грева, кГ/мм ²	Температура, °С		
		В цент- ре	На расстоянии от центра:	
			0,4R	0,8R
Р6М5 и 45	7,6	750	820	150
	9,4	700	850	150
Р18 и 45	7,6	700	825	130
	9,4	700	830	140
Р14Ф4 и 45	7,6	750	820	140
	9,4	780	840	170

Выравнивание температур в периферийной области контактной поверхности происходит при пластическом оттеснении металла поверхностных слоев средней и центральной зон в грат, начало выравнивания совпадает с началом осадки стержней. Это подтвердили киносъемка и осциллографирование процесса.

Время выравнивания температуры контактных поверхностей определяется давлением на стадии нагрева:

$$t_1 = t_0 - \alpha P_H \quad (2)$$

где t_0 - коэффициент, зависящий от свойств быстрорежущей стали, сек. Для стержней диаметром 20 мм из стали Р6М5 он составляет 7,45; из стали Р18- 6,58, из стали Р14Ф4 - 6,38 сек.

P_H - текущее значение давления на стадии нагрева, кГ/мм²;

α - коэффициент, равен $0,206 \text{ мм}^2\text{сек/кГ}$

Температурные поля в поперечных сечениях приконтактной зоны аналогичны температурным полям контактных поверхностей, но с меньшей степенью неравномерности.

В третьей стадии процесса рост температуры

контактных поверхностей по мере развития стадии снижается, доля тепла, затрачиваемого на нагрев контактных поверхностей, уменьшается до 2..3% (табл 3). Конечная средняя температура контактных поверхностей не превышает температуру образования ледебурита в быстрорежущей стали. Отсутствие в стыке при сварке трением ледебуритной структуры подтверждено металлографическими исследованиями, проведенными параллельно с измерением температуры.

Таблица 3
Распределение тепла в стадиях процесса нагрева

Стадии процесса	Тепло на нагрев, %		Тепло, уносимое с гратом, %	Тепло на лучеиспускание и конвекцию	Тепло, отводимое осадочной матрицей
	контактных поверхностей	при контактной зоне			
1 и 2	76...83	11...17	6...7	-	-
3	2...3	60...69	9...19	5	14

Вместе с тем, прочность соединения зависит от температуры контактных поверхностей перед проковкой. Изучение прочностных характеристик соединений, полученных без проведения третьей стадии и с проведением её, показало, что в первом случае прочность соединения существенно ниже, чем во втором (табл 4).

Таблица 4
Прочностные характеристики соединений, полученных при равной температуре контактных поверхностей перед проковкой (диаметр стержней 20 мм, свариваемые стали Р6М5 и 45)

№ п/п	Стадия окончания нагрева	Время нагрева, сек	Средняя температура контактных поверхностей перед проковкой, °C	Прочность соединения на растяжение, кг/мм ² (при $R_{пр}/R_H$)				
				1	1,5	2	2,5	
1	2	2,5	1000	33	34	35	37	
2	2	5,5	1100	36	38	40	45	
3	3	8,0	1150	36	42	47	50	
4	3	15,0	1200	49	55	58	58	
5	3	18,0	1250	57	58	58	58	

Например, прочность соединения стержней диаметром 20 мм, полученного при окончании нагрева в конце второй стадии (пример 2) на 30...40% ниже прочности стали 45 в отожженном состоянии (предел прочности стали 45 в отожженном состоянии равен 57..59 кг/мм²). В отличие от сварки трением малоуглеродистых и жаропрочных сталей, для которых нагрев рекомендуется заканчивать в конце второй стадии, для сварки быстрорежущих сталей

с конструктивными необходимо проведение третьей стадии.

В работе показано, что температура контактной поверхности, рассчитанная по имеющимся в литературе формулам в 1,2..2 раза ниже фактически наблюдаемой. Расчет температуры на ЭВМ (по экспериментально полученным значениям мощности источника) дает удовлетворительное совпадение с фактически наблюдаемой. Это достигается в первую очередь за счет учета неравномерности распределения мощности источника тепла по радиусу торца стержня, а также учета изменения теплофизических свойств сталей в зависимости от температуры и учета теплоотдачи в окружающую среду.

Исследование контактных поверхностей стержней после различной длительности нагрева трением и микроструктуры соединения быстрорежущих сталей с конструктивными показали, что в первых двух стадиях нагрева в стыке образуется промежуточный слой. Образование промежуточного слоя происходит в результате переноса быстрорежущей стали на поверхность стержня из конструктивной стали при разрушении очагов схватывания по быстрорежущей стали (как менее пластичной). Толщина промежуточного слоя по мере нагрева растет и в конце второй стадии достигает максимального значения равного 0,3...1 мм.

Содержание углерода в промежуточном слое среднее по отношению к содержанию его в свариваемых сталях. Количество основных легирующих элементов в промежуточном слое составляет 30..60% от содержания их в быстрорежущей стали. Структура промежуточного слоя после сварки и охлаждения на воздухе - аустенит, мартенсит и мелкие карбиды, твердость HV 820..840. Структура промежуточного слоя после отжига - сорбитообразный перлит и мелкие карбиды. Волокна в промежуточном слое расположены перпендикулярно волокнам в основном металле. В промежуточном слое могут быть несплошности в виде "блестящих колец" полностью или частично сформированных. Показано, что присутствие в стыке промежуточного слоя, характеризующегося наличием в нем несплошностей, химической и механической неоднородностью по отношению к свариваемым сталям, снижает прочность соединения; чем больше толщина промежуточного слоя, тем ниже прочность соединения (рис.2.). Этим объясняется никакая прочность соединения, полученного при окончании нагрева в конце второй стадии.

Установлено, что присутствие промежуточного слоя в соединениях быстрорежущих сталей с конструкционными является дефектом соединения.

Удаление промежуточного слоя из стыка в грат происходит в третьей стадии и при проковке. В начале третьей стадии между промежуточным слоем и быстрорежущей сталью образуется особая прослойка, которая ограничивает рост промежуточного слоя. Процесс трения от глубинного вырывания очагов схватывания в первых двух стадиях (разрушение очагов схватывания происходит в слое толщиной 0,5...0,7 мм) переходит в третьей стадии к локализации деформации среза и тепла трения в тонком приповерхностном слое, формирующимся при охлаждении соединения в виде особой прослойки. Толщина прослойки при исследуемых условиях сварки составляла 0,02...0,09 мм.

По мере развития третьей стадии промежуточный слой удаляется в грат. Время удаления промежуточного слоя в грат определяется давлением на стадии нагрева и сопротивлением пластической деформации быстрорежущей стали. При сварке стержней диаметром 20 мм из сталей Р6М5 и 45 минимальное время, требующееся для удаления промежуточного слоя равно 18,5...20 сек, из сталей Р14Ф4 и 45 - 13...14 сек, из сталей Р18 и 45 - 16...17 сек. (давление на стадии нагрева в первом случае 6...7, во втором 9...10, в третьем 8...8,5 кг/мм²). С увеличением давления на стадии нагрева для случая сварки стали Р6М5 появляется вероятность разрыва особой прослойки и вновь возникновения условий образования промежуточного слоя. Поэтому быстрорежущие стали с пониженным сопротивлением пластической деформации (типа Р6М5) следует сваривать при сравнительно низких давлениях на стадии нагрева, быстрорежущие стали с повышенным сопротивлением пластической деформации (типа Р14Ф4) - при высоких давлениях на стадии нагрева, чем для стали Р18.

Полное удаление промежуточного слоя и особой прослойки происходит выдавливанием их из соединения при проковке. Усилие проковки определяется степенью и скоростью деформации и величиной зоны пластической деформации. Скорость и степень деформации определяют сопротивление металла пластической деформации. В работе показано, что средние скорости деформации стали 45 при проковке составляют 0,03...0,08 сек⁻¹, степень деформации 10...15%. Средние скорости деформации быстрорежущей

стали в 1,5..2 раза меньше. Повышение скорости деформации с 0,007 до 0,05 сек⁻¹ приводит к увеличению сопротивления деформации быстрорежущей стали (на примере стали Р18) на 70%, стали 45 на 20% (при степени деформации 10%). Усилие проковки при сварке трением разнородных металлов определяется сопротивлением деформации более прочного материала. Показано, что отношение усилия на стадии проковки к усилию на стадии нагрева определяется сопротивлением пластической деформации быстрорежущей стали. Установлено, что при сварке трением быстрорежущих сталей с пониженным сопротивлением пластической деформации (стали типа Р6М5) оптимальное значение $r_{пр} = (1,5..1,8)r_H$, при сварке сталей с повышенным сопротивлением деформации (стали типа Р14Ф4) $-r_{пр} = (2,2..2,5)r_H$, величина осадки стержней при этом составляет 0,04..0,05 диаметра стержня.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ представлены результаты экспериментального исследования режимов сварки трением быстрорежущих сталей новых марок, разработана методика экспериментально-расчетного их определения.

Из данных таблицы 5, полученных экспериментально, видно, что значения параметров процесса сварки трением определяются площадью свариваемого сечения и различны для быстрорежущих сталей, отличающихся по своим физико-механическим свойствам.

Таблица 5.
Значения параметров процесса при сварке трением быстрорежущих сталей с конструкционными сталями 45 и 40Х.

Марка стали	Площадь сечения стержня, мм ²	Давление, кг/мм ²		Время нагрева, сек	Припуск на сварку стержней, мм, из	
		нагрева	проковки		б/р стали	ст 15
Р6М5	154	12,0..13,0	15..26	9,0...10,0	2,2	2,7
	314	6,0..7,0	8..14	18,5..20,0	2,0	2,4
Р14Ф4	154	18,0..18,5	32..35	6,0...6,5	1,2	2,4
	314	9,0..10,5	15..17	13,0..14,0	1,0	2,3
Р9М4К8	154	14,0..15,0	20..25	7,0..8,0	1,5	2,5
	314	7,5...8,0	15..16	15,0..16,0	1,2	2,2

Математическая обработка экспериментальных зависимостей для сталей Р6М5, Р14Ф4, Р9К5, Р9М4К8 позволила получить экспериментально-расчетные формулы, связывающие значения параметров процесса с площадью свариваемого сечения с учетом физико-механических свойств быстрорежущей стали.

$$P_H = C \cdot F^{-\frac{1}{5}} \text{ кг/мм}^2 \quad (3) \quad P_{пр} = \beta \cdot C \cdot F^{-\frac{1}{5}} \text{ кг/мм}^2 \quad (4)$$

$$t_H = \alpha \cdot F^{\frac{1}{5}} \text{ сек} \quad (5) \quad \Delta^{\pm 0,5} = -k \cdot F + m \text{ мм} \quad (6)$$

где F — площадь свариваемого сечения, мм²

$C, \beta, \alpha, \delta, k, m$ — коэффициенты, зависящие от свойств быстрорежущей стали.

При определении режимов сварки любой новой быстрорежущей стали задача сводится к отысканию коэффициентов. Последние определяются путем решения системы уравнений, полученных при подстановке в соответствующие формулы значений параметров процесса, найденных экспериментально для двух стержней произвольных размеров. Полученные формулы были проверены при определении режимов сварки быстрорежущих сталей марок Р6М3, Р9К5, Р9Ф5, Р12, Р18Ф2К8М. Расчетные значения параметров процесса удовлетворительно совпадают с экспериментальными, что позволяет рекомендовать расчетно-экспериментальные формулы при определении режимов сварки трением быстрорежущих сталей, а также для других видов сталей. Коэффициенты к расчетным формулам для исследованных быстрорежущих сталей приведены в табл. 6, где примеры 1..8 относятся к заготовкам инструмента диаметром 10..22 мм, сваренным на машине с числом оборотов 1500 в мин., а примеры 9..15 к заготовкам диаметром 23..40 мм, сваренным на машине с числом оборотов 750..1000 в мин. Время выдержки на стадии проковки для всех примеров равно 3...3,5 сек.

Таблица 6
Значения коэффициентов пропорциональности

№ п/п	Марка стали	Значения коэффициентов							
		C	β	α	$\delta \cdot 10^{-2}$	k	β	$k \cdot 10^{-3}$	m
1.	Р6М5	835	1,20	1,5..1,8	6,9	0,98	3,5	5,5	
2.	Р6М3	1230	1,10	1,5..1,8	7,0	0,96	5,0	5,6	
3.	Р12	1570	1,06	1,5..2,0	8,4	0,93	5,5	5,5	
4.	Р9М4К8	1560	1,10	1,7..2,0	7,6	0,92	3,5	4,5	
5.	Р9К5, Р9К10	1360	1,15	2,0..2,2	3,7	1,03	2,5	4,3	
6.	Р18Ф2К8М	1760	1,09	2,0..2,2	7,1	0,87	5,2	5,6	
7.	Р9Ф5	1350	1,16	2,2..2,5	1,0	1,25	1,5	4,0	
8.	Р14Ф4	1230	1,17	2,2..2,5	1,7	1,15	1,5	3,9	
9.	Р6М5	3180	1,13	1,5..1,8	94	0,55	1,4	5,0	
10.	Р6М3	2350	1,20	1,5..1,8	55	0,60	1,2	4,7	
11.	Р12	4080	1,10	1,5..2,0	37	0,65	1,2	4,6	
12.	Р9М4К8	4900	1,08	2,0..2,2	44	0,61	1,4	4,5	
13.	Р9К5, Р9К10	8350	1,00	2,0..2,2	37	0,63	1,3	4,3	
14.	Р9Ф5	6230	1,05	2,2..2,5	30	0,65	0,5	3,6	
15.	Р14Ф4	6800	1,04	2,2..2,5	27	0,66	0,5	3,5	

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Показано, что при разрушении очагов схватывания, образующихся при взаимодействии контактных поверхностей, на поверхности трения стержня из конструкционной стали остаются частицы быстрорежущей стали. По мере развития схватывания число таких частиц увеличивается и при максимальном моменте вращения они практически распространяются по всей поверхности трения образуя промежуточный слой. Интенсивность наращивания толщины промежуточного слоя по мере снижения момента вращения уменьшается и при стабилизации момента вращения в своем минимальном значении близка к нулю.

2. Металлографическими исследованиями, микрорентгеноструктурными и химическими анализами установлено, что: а) волокна промежуточного слоя ориентированы перпендикулярно волокнам основного металла; б) количество основных легирующих элементов в промежуточном слое составляет 30..60% от содержания их в быстрорежущей стали; в) промежуточный слой может иметь несплошности.

3. Установлено, что образующийся на стадии нагрева при сварке трением быстрорежущих сталей с конструктивными промежуточный слой, характеризующийся наличием в нем несплошностей, химической и механической неоднородностью по отношению к свариваемым сталям, является основным фактором определяющим прочность соединения. Для получения соединения высокого качества необходимо промежуточный слой удалить из соединения, что достигается продолжением нагрева после выравнивания температур контактных поверхностей и последующей проковкой.

Температура контактных поверхностей после выравнивания стабилизируется, величина её не превышает $1250 \pm 50^\circ\text{C}$.

4. Установлено, что длительность нагрева, требующегося для удаления промежуточного слоя в грат, определяется давлением на стадии нагрева и сопротивлением пластической деформации быстрорежущей стали. С целью сокращения длительности нагрева быстрорежущие стали с пониженным сопротивлением пластической деформации следует сваривать при сравнительно низких давлениях, быстрорежущие стали с повышенным сопротивлением пластической деформации — при больших давлениях на стадии нагрева.

5. Установлено влияние температуры контактных поверхностей перед проковкой, величины давления, времени выдержки

на стадии проковки на качество соединения. Предложено оценивать режим термомеханического воздействия на стадии проковки по величине осадки при определенных скоростях деформации.

6. На основании проведенных исследований разработана методика расчетно-экспериментального определения режимов сварки трением быстрорежущих сталей с конструкционными, которая использует формулы, полученные путем математической обработки экспериментальных зависимостей оптимальных значений параметров процесса от площади свариваемого сечения с учетом физико-механических свойств быстрорежущих сталей.

7. Разработана промышленная технология сварки трением быстрорежущих сталей новых марок Р6М5, Р6М3, Р12, Р9М4К8, Р18Ф2К8, Р9К5, Р9К10, Р9Ф5, Р14Ф4 со сталями 45 и 40Х для стержней диаметром от 10 до 40 мм. Результаты работы внедрены на семи инструментальных и машиностроительных заводах и вошли в ОСТ 2Н-83-9-76 на сварку трением для инструментальных заводов.

8. Опыт лабораторного опробования и внедрения на семи заводах разработанной технологии сварки трением быстрорежущих сталей новых марок с конструкционными показал, что сварной инструмент, изготовленный по этой технологии, полностью отвечает техническим требованиям, что позволяет рекомендовать её для широкого промышленного внедрения. Экономический эффект от внедрения разработанной технологии на заводах инструментальной отрасли составит 512600 рублей в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Имшенник К.П., Фомичев Н.И. Особенности сварки трением быстрорежущих сталей с конструкционными сталями 45 и 40Х. В сб. - "Лекции по сварке разнородных и разноименных материалов", МДНТИ им.Ф.Э.Дзержинского, 1973, часть 1.
2. Имшенник К.П., Фомичев Н.И. Некоторые положения о процессе сварки трением быстрорежущих сталей с конструкционными. В сб. - "Материалы 3го Всесоюзного совещания по сварке трением", Минск, 1973.
3. Имшенник К.П., Фомичев Н.И. Особенности сварки трением заготовок инструмента с рабочей частью из новых быстрорежущих сталей. В сб. - "Металлорежущий и контрольно-измерительный инструмент", НИИМШ, 1971, #1
4. Имшенник К.П., Фомичев Н.И. Характеристика процесса осадки при сварке трением быстрорежущих сталей с конструкционными. Ж. - "Сварочное производство", 1974, #4.
5. Фомичев Н.И., Имшенник К.П. Особенности сварки трением заготовок инструмента с рабочей частью из стали Р6М5.

В сб. - "Материалы совещания по обмену опытом работников ЦЗЛ и технологов горячих цехов инструментальных заводов", ВНИИ, 1971

6. Имшенник К.П., Фомичев Н.И. Режим сварки трением быстрорежущих сталей с конструкционными. В сб. - "Технология производства, научная организация труда и управления", М, НИИМАШ, 1974, №3

7. Головин В.Л., Фомичев Н.И., Имшенник К.П. Способ сварки трением. Авторское свидетельство №509365. "Бюллетень изобретений", №13, 1976



Рис 1. Схема процесса сварки трением быстрорежущих сталей с конструкционными.

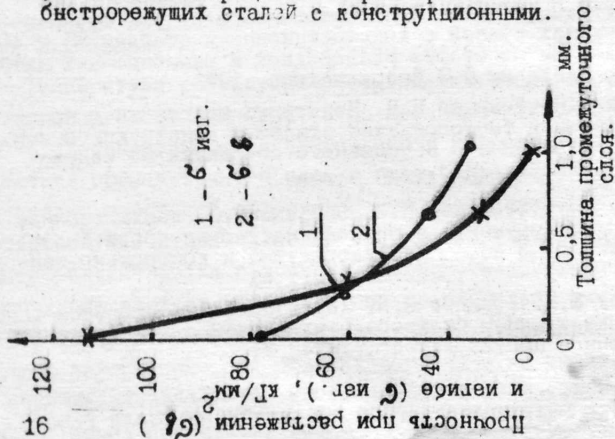


Рис.2. Влияние толщины промежуточного слоя на прочность соединения при растяжении и при изгибе