

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология контактной сварки точками кузовных деталей из  
листовой стали DP 600

Студент

Р.Д. Калмыков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., профессор Г.М. Короткова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

д.т.н., профессор И.В. Краснопевцева

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.т.н., доцент И.В. Дерябин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2022

## Аннотация

Применение высокопрочных сталей освоено для изготовления различных частей кузова автомобиля, как наружных так и внутренних. Наибольшая эффективность применения высокопрочных сталей наблюдается при выполнении из них элементов силового каркаса кузова. В частности, из высокопрочных сталей DP и CP изготавливаются детали пассивной безопасности – центральная стойка, панель пола, лонжероны пола, усилитель щитка передка и другие ответственные детали.

В выпускной квалификационной работе была поставлена цель – повышение эффективности контактной точечной сварки деталей кузова автомобиля из стали повышенной прочности DP 600.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи:

- рассмотреть особенности сварки высокопрочной двухфазной стали DP 600;
- обосновать выбор параметров режима сварки;
- составить проектную технологию сварки.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки изделия позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Проведённые экономические расчёты подтвердили эффективность внедрения результатов выпускной квалификационной работы в массовое производство.

## **Abstract**

The title of the graduation work is «Resistance welding technology for body parts made of sheet steel DP 600».

The use of high-strength steels for the manufacture of various parts of the car body, both external and internal has been mastered. The highest efficiency of the use of high-strength steels for the power frame of the body is observed . It includes passive safety parts that are made from high-strength DP and CP steels : the central pillar, floor panel, floor spars, bulkhead shield reinforcement and other critical parts.

The aim of the work is increasing the efficiency of resistance spot welding of car body parts made of high-strength steel DP 600.

In the course of the work, the following tasks were solved:

- to consider the features of welding high-strength two-phase steel DP 600;
- to justify the choice of welding mode parameters;
- to draw up a design welding technology.

The analysis of the design technology of welding for the presence of dangerous and harmful production factors is performed.

The calculated annual economic effect, taking into account capital investments, is 3,5 million rubles.

## Содержание

Введение . . . . .	6
1 Анализ современного состояния контактной сварки деталей кузова автомобиля. . . . .	8
1.1 Обоснование выбора материала для изготовления кузовных деталей. . . . .	8
1.2 Описание типовой детали кузова автомобиля. . . . .	13
1.3 Сведения о технологии сварки детали. . . . .	16
1.4 Обзор источников научно-технической информации по вопросу применения перспективных материалов для изготовления деталей кузова автомобиля. . . . .	17
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. . . . .	22
2 Построение проектной технологии сварки деталей кузова автомобиля из высокопрочной двухфазной стали. . . . .	24
2.1 Описание материала и особенности его сварки. . . . .	24
2.2 Обоснование выбора типа источника питания. . . . .	29
2.3 Обзор схем инверторов для контактной точечной сварки. . . . .	33
2.4 Повышение эффективности контактной точечной сварки деталей кузова автомобиля из стали DP 600. . . . .	39
3 Безопасность и экологичность технического объекта. . . . .	45
3.1 Технологическая характеристика объекта . . . . .	45
3.2 Идентификация профессиональных рисков . . . . .	46
3.3 Предлагаемые технологические и организационные мероприятия для снижения профессиональных рисков. . . . .	48
3.4 Обеспечение пожарной безопасности . . . . .	50
3.5 Обеспечение экологической безопасности производства . . . . .	52
4 Экономическое обоснование предлагаемых решений. . . . .	55

4.1 Исходные данные для проведения экономических расчётов. . . . .	55
4.2 Оценка фонда времени работы технологического оборудования. .	57
4.3 Расчет штучного времени . . . . .	58
4.4 Расчёт заводской себестоимости вариантов технологии. . . . .	59
4.5 Оценка капитальных затрат по базовой и проектной технологиям. . . . .	64
4.6 Расчёт показателей экономической эффективности. . . . .	66
Заключение . . . . .	69
Список используемой литературы и используемых источников. . . . .	70

## Введение

Производство автомобилей является отраслью, которая постоянно требует совершенствования технологий сварки и контроля качества соединений. По сути, в автомобилестроении происходит перманентная техническая революция, результатом которой становятся применение новых способов сварки, материалов и технологий их обработки. Требования по безопасности и экологичности автомобиля заставляют применять перспективные материалы, которые должны заменить применяющиеся ранее низкоуглеродистые стали при изготовлении деталей кузова автомобиля.

Повышение комфортности автомобиля, уменьшение его массы и повышение безопасности, на первый взгляд, являются противоречивыми требованиями, одновременное выполнение которых невозможно. Однако применение при изготовлении деталей кузова автомобиля композитных материалов, сталей повышенной прочности и легких сплавов позволяет выполнить эти противоречивые требования.

Однако применение новых материалов требует существенного изменения технологии сварки. Кроме того, следует учитывать, что большинство деталей кузова автомобиля в настоящий момент выполняются из заготовок с защитным цинковым покрытием. Наличие цинкового слоя на поверхности деталей усугубляет сложности перехода на новые технологии сварки, так как стабильность качества резко снижается даже при переходе на новые режимы сварки.

Проведенный анализ основных направлений развития материалов и технологий при производстве кузова автомобиля [28], [33], [38] позволяет установить, что самым перспективным направлением является применение сталей AHSS – улучшенных высокопрочных сталей. Сварка этих сталей в условиях массового производства в связи с последними достижениями сварочных технологий становится возможной и экономически эффективной.

Применение высокопрочных сталей освоено для изготовления различных частей кузова автомобиля, как наружных так и внутренних. Наибольшая эффективность применения высокопрочных сталей наблюдается при выполнении из них элементов силового каркаса кузова. В частности, из высокопрочных сталей DP и CP изготавливаются детали пассивной безопасности – центральная стойка, панель пола, лонжероны пола, усилитель щитка передка и другие ответственные детали.

Двухфазные стали (DP) в структуре имеют ферритную матрицу, в которой присутствуют включения мартенсита. За счёт увеличенного содержания в этих сталях углерода и легирующих элементов достигается повышение механических свойств. Однако из-за увеличения эквивалентна углерода страдает свариваемость, что заставляет изменять технологию – корректировать режимы, внедрять перспективные способы сварки и современное оборудование [36], [37]. Также следует учитывать, что применение DP сталей для изготовления деталей кузова автомобиля сопровождается незначительным повышением стоимости производства, что объясняется особенностями их штамповки.

Повышение эффективности выполнения кузова автомобиля из двухфазных сталей повышенной прочности позволит не только повысить пассивную безопасность и улучшить экологические показатели автомобиля, но и обеспечит победу отечественного производителя в конкурентной борьбе с западными автопроизводителями.

На основании вышеизложенного следует признать актуальной целью выпускной квалификационной работы – повышение эффективности контактной точечной сварки деталей кузова автомобиля из стали повышенной прочности DP 600.

# 1 Анализ современного состояния контактной сварки деталей кузова автомобиля

## 1.1 Обоснование выбора материала для изготовления кузовных деталей

При изготовлении деталей кузова автомобиля долгое время применялись низкоуглеродистые качественные стали 08пс, 08Ю и 08кп [9]. Применение этих сталей объясняется их способностью к вытяжке. У стали 08Ю способность к вытяжке ВОСВ, ВОСВ-Т, ОСВ, СВ (ВГ). У стали 08кп и 08пс – ВГ. Категории проката по штампуемости представлены в таблице 1. Широко применяется прокат четырёх способностей вытяжки: «весьма особо сложная» (ВОСВ и ВОСВ-Т), «особо сложная» (ОСВ), «сложная» (СВ), «глубокая» (ВГ).

Таблица 1 – Категории листового проката по способности к вытяжке

Категория проката	Нормируемые характеристики					Способность к вытяжке	Толщина проката, мм, не более
	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_b$	$\delta$	HRB	Глубина сферической лунки		
Первая	-	-	-	-	+	СВ, ВГ	2,0
Вторая	-	+	+	-	-	СВ, ВГ, ОСВ	3,9
Третья	-	+	+	-	+	ОСВ, СВ, ВГ	2,0
Четвёртая	+	+	+	-	+	ВОСВ, ВОСВ-Т, ОСВ, СВ	2,0
Пятая	+	+	+	+	+	ВОСВ, ВОСВ-Т, ОСВ, СВ	2,0

В качестве примеров применения листового проката можно привести:

- распорка рамки радиатора автомобиля ВАЗ 2123, которая изготавливается из стали 08пс толщиной листа 1,5 мм;
- усилитель накладки поперечины средний автомобиля ВАЗ 2123, который изготавливается из стали 08Ю толщиной листа 1,5 мм;
- кронштейн крепления комбинации приборов автомобиля ВАЗ 1118, который изготавливается из стали 08кп толщиной листа 0,8 мм.

Наиболее перспективной низкоуглеродистой качественной сталью для изготовления деталей кузова автомобиля является сталь 08ЮП, производство которой освоено на Новолипецком металлургическом комбинате. Эта сталь обладает достаточной штампуемостью, которая позволяет применять её вместо широко используемых ранее сталей 08пс, 08Ю и 08кп. Проведённые испытания показали, что сталь 08ЮП может быть применена для изготовления таких ответственных деталей, как пол, арки колёс, боковины кузова, которые ранее изготавливались из стали 08Ю. При этом на толщине проката 0,7...1,2 мм обеспечивается снижение массы деталей 10...20 %, что подтверждено на заводах Украины и России.

Алюминиевые сплавы могут рассматриваться как основные претенденты на замену низкоуглеродистых сталей при изготовлении кузова автомобиля [6], [31]. При этом возможно применение сплавов алюминия, представленных в таблице 2.

Таблица 2 – Свойства алюминиевых сплавов для изготовления деталей автомобиля

Сплав	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Коррозионная стойкость
АМцМ	135	50	23	Высокая
АМг6М	340	180	20	Средняя
АД33	285	225	14	Высокая

Сплавы АМц и АМцМ являются деформируемыми сплавами системы «алюминий-марганец». Эти сплавы характеризуются высокой коррозионной стойкостью, которая практически идентична коррозионной стойкости сплава АД1. Сварку заготовок из этих сплавов можно выполнять большинством способов, применяемых в массовом производстве – аргодуговая сварка, контактная сварка. Сплав хорошо деформируется как в холодном, так и в горячем состоянии. Сплав не упрочняется при термической обработке, на предприятии поступают профили в отожжённом и горячепрессовом состоянии [31].

Сплавы АМг5 и АМг6 относятся к системе «алюминий-магний-марганец». Эти сплавы характеризуются высокими пластическими свойствами как в холодном, так и горячем состоянии. Также следует отметить высокую коррозионную стойкость сплавов, которая проявляется в том числе и по отношению к морской воде. Широкое распространение этих сплавов в машиностроении объясняется их хорошей свариваемостью. Сплавы термически не упрочняются, на предприятия поставляются в большинстве случаев в отожженном состоянии. За счёт содержания в сплавах марганца обеспечивается повышение прочностных свойств. Следует отметить возможность упрочнения сплавов при холодной деформации, так, при деформации 2...3 % наблюдается значительное повышение предела текучести без изменения предела прочности.

Сплав АД31 относится к системе «алюминий-магний-кремний». Этот сплав характеризуется высокими пластическими свойствами и высокой коррозионной стойкостью. Сварка практически не уменьшает его коррозионной стойкости. При термической обработке наблюдается интенсивное упрочнение сплава.

В отожжённом состоянии сплав АД31 имеет предел прочности 10...12 кгс/мм<sup>2</sup>, после закалки и естественного старения предел прочности увеличивается до 18...20 кгс/мм<sup>2</sup>. Дальнейшее повышение предела прочности до 27...30 кгс/мм<sup>2</sup> возможно при проведении искусственного старения при температуре 160...190 °С. Однако следует учитывать, что искусственное старение приводит к значительному снижению пластических характеристик.

Существенное влияние на степень упрочнения сплава АД31 в процессе искусственного старения оказывает время, которое прошло между закалкой и искусственным старением. При увеличении этого времени с 1,5 до 4 часов наблюдается уменьшение предела прочности и предела текучести на 3...4 кгс/мм<sup>2</sup>. В тоже время продолжительность выдержки при искусственном старении практически не влияет на механические свойства полуфабрикатов.

В настоящее время, несмотря на явные преимущества использования алюминиевых сплавов в качестве конструкционных материалов для изготовления кузова автомобиля, они получили малое распространение. В первую очередь, это объясняется отсутствием сплавов со свойствами, оптимизированными под автомобилестроение. Также следует принимать во внимание низкий предел текучести алюминиевых сплавов по сравнению со сталями. Так же не разработана технология промышленной штамповки алюминиевых сплавов. Кроме того, сварка деталей из алюминиевых сплавов имеет ряд особенностей по сравнению со сваркой сталей. Кроме того, для сварки деталей из алюминиевых сплавов может потребоваться приобретение большого количества принципиально новых источников тока, нежели для сварки деталей из сталей.

Следующими претендентом на замену низкоуглеродистых сталей при изготовлении кузова автомобиля являются стали повышенной прочности [9].

Расширенная классификация сталей повышенной прочности для автомобилестроения предусматривает учёт значений следующих параметров:

- предела текучести  $\sigma_T$ ;
- временного сопротивления  $\sigma_B$ .

В соответствии с принятой классификацией введено обозначение сталей повышенной прочности:

XX aaa/bbb,

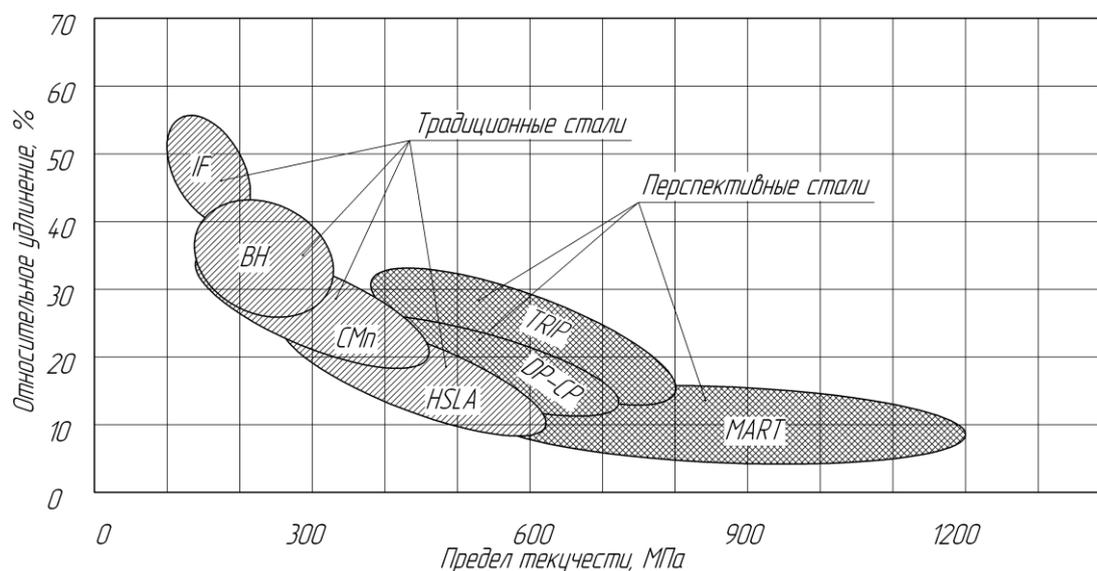
в котором XX – тип стали, принимаемый согласно таблице 3, aaa – минимальный предел текучести стали в МПа, bbb – минимальное временное сопротивление разрыву в МПа.

Например, сталь DP 500/800 будет расшифрована как двухфазная сталь, которая имеет минимальный предел текучести 500 МПа и минимальное временное сопротивление разрыву 800 МПа.

Таблица 3 – Классификация сталей для автомобилестроения

Применяемые типы стали:		Прогрессивные типы сталей (AHSS):	
Mild	= мягкая углеродистая сталь	DP	= двухфазная
IF	= повышенной штампуемости	CP	= многофазная
IS	= изотропная	TRIP	= трансформируемая повышенной пластичности (пластичность наведения превращением)
BH	= термоупрочняемая		
CMn	= марганцевистая	Mart	= мартенситная
HSLA	= низколегированная повышенной прочности		

Стали типа AHSS помимо повышенной прочности обладают уникальными свойствами. Во-первых, эти стали имеют повышенную штампуемость. Во-вторых, стали в значительной мере поглощают энергию удара и имеют высокую способность к деформационному упрочнению. Пределы текучести прогрессивных высокопрочных сталей AHSS находятся в диапазоне 350...1200 МПа. На рисунке 1 приведена прочность различных сталей с учётом их штампуемости.



*IF* – повышенной штампуемости; *BH* – термоупрочняемая сталь; *CMn* – марганцевистая сталь; *HSLA* – низколегированная сталь повышенной прочности; *DP* – двухфазная сталь; *CP* – многофазная сталь; *TRIP* – трансформируемая сталь повышенной прочности; *Mart* – мартенситная сталь

Рисунок 1 – Прочностные и пластические характеристики сталей повышенной прочности

Увеличение прочности стали приводит к некоторому снижению её штампуемости. При этом стали AHSS позволяют получать улучшенную штампуемость на фоне повышения прочности. Высокопрочные стали условно разделяются на несколько групп. К первой группе относят двухфазные стали, которые обозначают как DP. Ко второй группе относят стали с пластичностью, обусловленной мартенситным превращением, их обозначают как TRIP. К третьей группе относят стали с комплексной фазой, их обозначают как CP. К четвёртой группе относят мартенситные стали, их обозначают как Mart.

В настоящее время применяются AHSS стали, которые по структуре принципиально отличаются от применявшихся ранее низкоуглеродистых сталей. AHSS стали являются многофазными, в их структуре присутствует мартенсит, бейнит, остаточный аустенит. В результате этого стали приобретают высокие прочностные свойства в сочетании со штампуемостью.

Из-за деформационного упрочнения происходит увеличение прочности деталей после штамповки.

## **1.2 Описание типовой детали кузова автомобиля**

Типовой деталью кузова автомобиля является поперечина панели задка, внешний вид и расположение сварных точек на котором показаны на рисунке 2.

Эксплуатация детали происходит вместе с кузовом при перепаде температур в диапазоне от -40 до +40 °С. Срок эксплуатации детали совпадает со сроком эксплуатации всего кузова, а сама эксплуатация происходит в условиях действия статических и динамических нагрузений. Также из-за неровностей дорожного покрытия на деталь могут действовать вибрационные нагрузки. Рассматриваемый сварной узел не содержит лицевых поверхностей и не подвергается действию коррозионных сред.

Соединение четырёх деталей происходит посредством постановки 28 сварных точек. Первые 10 сварных точек выполняются по отбортовке на

деталей № 5601452 и № 5601454. Ещё 18 сварных точек выполняются по 9 с каждой стороны при приварке заглушек (детали № 5601456 и № 5601457).

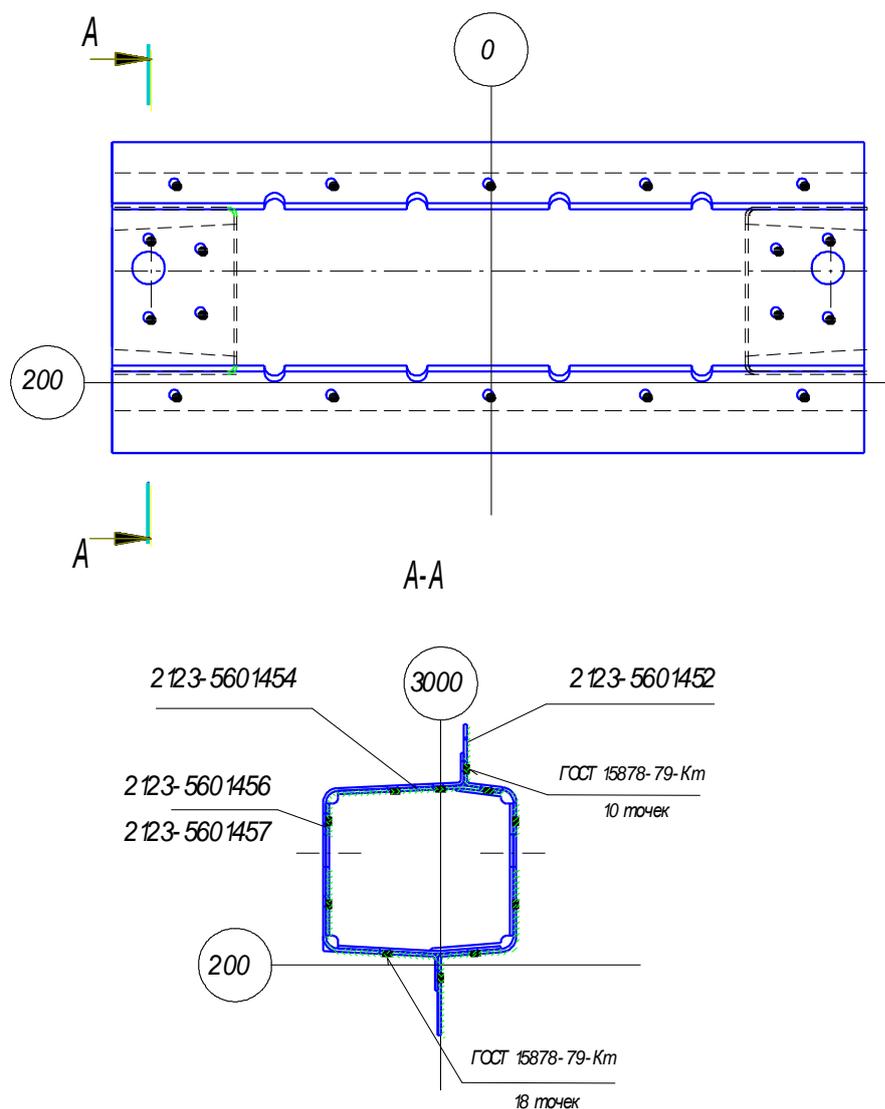


Рисунок 2 – Усилитель поперечины панели задка 2123-5601450

Назначение детали – усиление кузова автомобиля при ударе сзади. Деталь представляет собой сварной узел коробчатой формы. В состав сварного узла входит четыре детали. Первая деталь (№ 5601452) - усилитель поперечины панели задка, вторая деталь (№ 5601454) - надставка усилителя поперечины панели задка. Сварка двух этих деталей друг с другом происходит посредством простановки 10 сварных точек. Третья и четвертая детали (№ 5601456 и № 5601457) – две заглушки, соединение которых с деталями происходит путём простановки 18 сварных точек.

Толщина свариваемых деталей составляет 1 мм. Исходя из требований ГОСТ 15878-79 размеры точечно сварного соединения, представленного на рисунке 2, следующие: минимальный диаметр ядра сварной точки – 5 мм, максимальная глубина вмятины – 0,2 мм, глубина проплавления детали должна быть в пределах 0,2...0,8 мм.

Требование к минимальному диаметру ядра сварной точки (5 мм) обусловлено необходимостью получения прочного соединения, прочность контактной точечной сварки зависит от диаметра ядра сварной точки. В соответствии с литературными данными диаметр ядра 5 мм на толщине деталей 1 мм позволяет получить прочность на разрыв не менее 385 МПа [32], [35], [39].

Элементы рассматриваемого сварного узла изготавливаются из стали 08ЮП. Эта сталь является конструкционной углеродистой качественной, сварка её возможна без ограничений и не требует проведения предварительного подогрева и термической обработки при условии, что толщина свариваемых заготовок не превышает 30 мм. В рассматриваемой детали толщина заготовок составляет 1 мм, поэтому предварительного подогрева и последующей термической обработки не требуется.

Таблица 4 – Содержание химических элементов в стали 08ЮП [24], [25]

С	Р	Al	Mn	Si	S
0,07 %	<0,02 %	0,2...0,7 %	0,35 %	0,3 %	<0,02 %

Таблица 5 – Механические свойства стали 08ЮП [24], [25]

твёрдость по Бринеллю	Ударная вязкость, - 40 °С	Относительное сужение	Относительное удлинение при разрыве	Предел текучести	Предел кратковременной прочности
НВ	KCU	$\gamma$	$\delta_5$	$\sigma_T$	$\sigma_B$
1180	73-108 Дж/см <sup>2</sup>	60 %	36 %	174 МПа	360 МПа

Сталь 08ЮП применяется при изготовлении кузовных деталей, она хорошо штампуется. Содержание химических элементов в стали 08ЮП

приведено в таблице 4. Механические свойства стали 08ЮП представлены в таблице 5.

### **1.3 Сведения о технологии сварки детали**

Технологический процесс автоматизированной контактной сварки с применением многоэлектродной контактной сварочной машины предусматривает последовательное выполнение операций:

- мойка деталей,
- загрузка деталей в приёмные магазины многоэлектродной контактной сварочной машины,
- автоматическая пропановка 18 сварных точек,
- автоматическая доварка 10 сварных точек,
- контроль качества сварки.

Для выполнения мойки деталей применяются механизированные струйные агрегаты, которые установлены в поточной линии производства. Подвешенные на цепи детали поступательно перемещаются, проходя через моечную камеру, в которой подвергаются обработке нагретым до 90 °С моечным 2% раствором кальцинированной соды. После промывки детали просушивают, обдувая сжатым воздухом. Очищенные таким образом детали поступают на последующие операции.

Подготовленные детали в транспортировочной таре поступают на участок сварки. Из транспортировочной тары оператор вручную забирает заготовки и перекладывает их в ячейки подающего приспособления на многоэлектродной сварочной машине. Закладываются: усилитель поперечины панели задка, надаставку усилителя поперечины панели задка, левую и правую заглушки.

Автоматическая пропановка 18 сварных точек происходит после нажатия кнопки «пуск» двурукого включения. Сварочные клещи автоматически позиционируются на каретках, выполняется сжатие

сварочных клещей, последовательное включение сварочного тока.

Параметры режима сварки приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры режима контактной точечной сварки на многоэлектродной контактной машине

№	Наименование параметра	Значение параметра
1	Диаметр сварочного электрода, мм	5
2	Величина сварочного тока, кА	9...10
3	Длительность сварочного импульса, сек	0,08...0.10
4	Усилие на электродах, кН	3...3,4

После автоматической сварки 18 точек сварочные клещи разжимаются, клещи № 1...10 на каретках откатываются и в дальнейшей работе машины участия не принимают. Сварочные клещи № 11...18 при помощи кареток перепозиционируются на место простановки ещё 8 сварных точек. Далее выполняется сжатие этих клещей и автоматическая сварка 8 точек. Параметры режима сварки приведены в таблице 6. После этого сварочные клещи № 14 и № 18 при помощи кареток перепозиционируются и выполняют сварку ещё 2-х сварных точек.

После выполнения 28 сварных точек сварочные клещи полностью разжимаются и на каретках откатываются в крайнее заднее положение. Подъемный стол опускается, срабатывает сбрасыватель, который сбрасывает сваренный узел в накопительную тару. После этого цикл сборки и сварки повторяется.

#### **1.4 Обзор источников научно-технической информации по вопросу применения перспективных материалов для изготовления деталей кузова автомобиля**

Поиск источников научно-технической информации проводился в сети ИНТЕРНЕТ в поисковой системе GOOGLE по ключевым словам: «журнал Сварочное производство», «журнал Автоматическая сварка»,

«Киберленинка», «контактная точечная сварка двухфазных сталей». В ходе поиска в сети ИНТЕРНЕТ было найдено 15 источников научно-технической информации.

В работе [26] «рассмотрены вопросы повышения пластичности сварных соединений контактной точечной сварки TRIP-стали. Особое внимание уделено использованию термообрабатывающего импульса и его параметрам. Исследовано влияние паузы между основным и дополнительным импульсом нагрева, а также величины тока термообработки на механические свойства сварных соединений. Дана оценка результатов электротермообработки на микротвёрдость и механические свойства сварного соединения, которая позволяет оптимизировать длительность паузы и тока термообработки. Сделан вывод о целесообразности применения дополнительного импульса нагрева для повышения пластичности сварных соединений» [26].

В работе [12] на основании анализа мировых тенденций в области автомобилестроения установлено, что производство автомобилей продолжает нуждаться в стальном листе, который должен обладать сложными и противоречивыми свойствами. Во-первых, необходима высокая прочность стального листа. Во-вторых, он должен обладать достаточной штампуемостью. Обеспечение этого комплекса механических свойств может быть получено при использовании стали марки 07ГБЮА, свойства которого даже превосходят требования потребителя.

В работе [29] «исследован механизм разупрочнения двухфазных сталей во время сварочных операций. Экспериментально определены механические характеристики сварных соединений деталей из двухфазных сталей» [29].

В работе [2] проведено «расчетно-аналитическое исследование влияния примесных элементов в стали на прочность межатомной связи и вероятность образования комплексов, содержащих атомы легирующих и примесных элементов. Установлено, что энергия ионно-ковалентной связи атомов различных элементов находится в зависимости от электроотрицательности

элементов. Разработанные положения могут служить теоретической базой для прогнозирования прочностных свойств сталей с различным содержанием легирующих и примесных элементов» [2]. Вклад различных узлов кузова автомобиля в увеличение общей его массы представлен в виде диаграмм на рисунке 3.



Рисунок 3 – Вклад узлов автомобиля в общие вес и увеличение веса

В работе [30] «освещена история и современность уральского автомобилестроения. В фокусе внимания авторов - производство легковых и грузовых автомобилей, а также материалов и комплектующих к ним. Дана оценка практики и перспектив применения высокопрочных сталей в современном автопроме» [30].

В работе [4] «представлены результаты комплексных исследований влияния параметров процесса дрессировки двухфазных сталей на формирование конечных механических свойств металлопроката. Проведена оценка влияния химического состава и силовых условий дрессировки на изменение механических характеристик проката из исследуемых марок стали» [4].

В работе [3] «представлены результаты исследований по повышению качества управления автомобильной промышленности на уровне государства и компании, а именно выявлены ряд проблем по развитию национального автомобилестроения. Определены приоритеты изменения основных элементов управления предприятий и некоторые показатели организации

производства в автомобильной промышленности. Даны рекомендации по текущему состоянию, потенциалу и проблемам развития отечественных предприятий автомобилестроения по совершенствованию производственных и организационных процессов» [3].

В работе [6] «приведены результаты освоения производства изделий из алюминиевых сплавов и применения их на отечественных машиностроительных и ремонтных предприятиях в базовых элементах конструкций автомобилей, подвижного железнодорожного состава, городского транспорта, судов речного и морского транспорта, а также в интерьере и экстерьере этих транспортных средств» [6].

В работе [27] «рассматриваются основные технологические вопросы и современное состояние технологий производства и исследований. Кроме того, для каждой технологической и организационной области выделяются будущие производственные и исследовательские задачи» [27].

В работе [5] результаты исследования позволили сформулировать ряд выводов по влиянию химических элементов, изучаемых двухфазных микролегированных сталей на механические свойства готового металлопроката, что показано на рисунке 4.

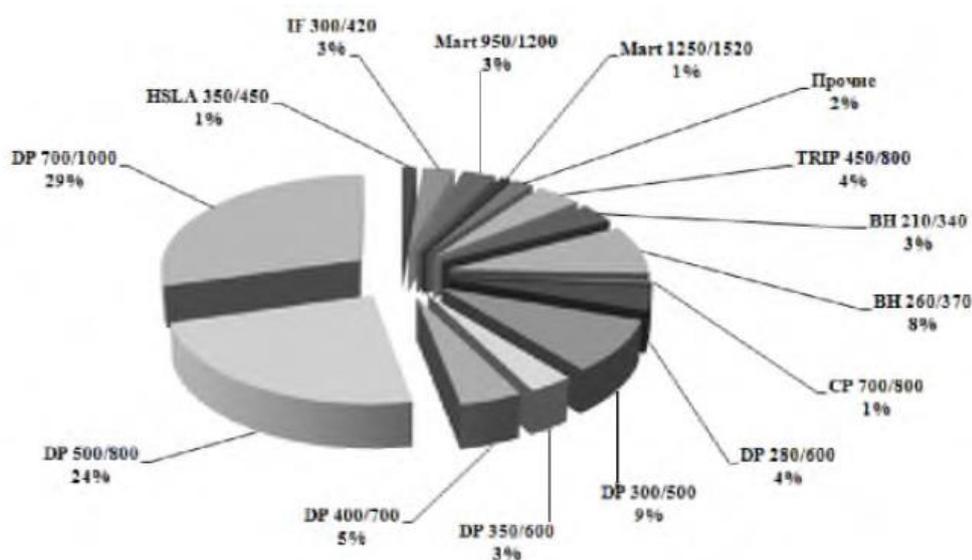


Рисунок 4 – Соотношение типов и марок стали, прочностные свойства которой благоприятны для ее применения при создании облегченного кузова автомобиля

В работе [23] «рассматриваются инверторные источники питания машин контактной сварки, которые имеют выходной выпрямитель со средней точкой. Частота инвертора изменяется от 1000Гц до 10 кГц. Дана схема замещения этого источника, которая позволяет исследовать влияние электромагнитных параметров трансформатора на полную мощность источника, потребляемую из сети, КПД, сварочный ток. Такая схема необходима для разработки экономичных источников питания для сварки деталей из циркония, титана, радиационно-стойких сталей. В схеме замещения источника используется схема замещения трехобмоточного трансформатора, которая имеет ряд преимуществ по сравнению с классической трехлучевой» [23]. Принципиальная схема инверторного источника питания представлена на рисунке 5.

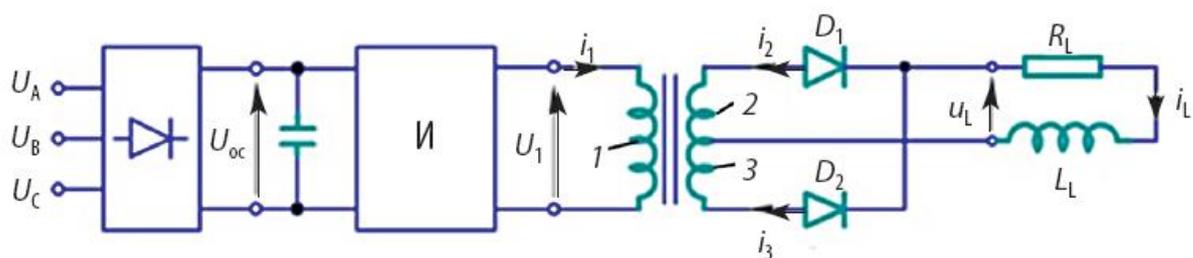


Рисунок 5 – Принципиальная схема инверторного источника питания

В работе [22] «рассматриваются инверторные источники питания повышенной частоты с выпрямителем со средней точкой, которые находят широкое применение при точечной контактной сварке в приборостроении, электронной промышленности, атомной энергетике и автомобилестроении. Особенностью этих источников является существенное влияние электромагнитных параметров входящего в них трехобмоточного трансформатора на сварочный ток и электропотребление. Показано, что сварочный ток и электропотребление источника зависят как от модуля, так и от знака коэффициента связи по потокам рассеяния двухобмоточных трансформаторов, входящих в трехобмоточный трансформатор» [22].

В работе [34] предложена методика повышения стабильности качества контактной сварки в условиях износа электродов, предусматривающая выполнение автоматического регулирования режимов сварки, компенсирующего этот износ. Экспериментально установлено что изменение диаметра рабочей поверхности электрода в некоторых пределах может быть компенсировано путём коррекции сварочного тока. В простейшем случае предложено ступенчато увеличивать сварочный ток по мере простановки сварных точек.

В работе [1] показано, что интенсивная работа в условиях массового производства вызывает ускоренный износ элементов вторичных контуров многоэлектродных машин – токоподводящих кабелей и перемычек, срок службы которых составляет 4...8 недель при работе в две смены (в зависимости от подвижности элементов, к которым они крепятся). Основной причиной отказов является частичное или полное разрушение многожильной токоведущей части из-за перетирания и перегорания медных проволочек, которое внешне может никак не проявляться.

В работе [21] предложена методика определения величины электроэнергии, потребляемой сварочной контактной машиной из сети при контактной сварке, основанная на использовании устройства сбора данных NATIONAL INSTRUMENTS NI USB 6251 и регистратора сварочных процессов РКДП 0401.

### **1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы**

Во введении к настоящей выпускной квалификационной работе обоснована актуальность темы «Технология контактной сварки точками кузовных деталей из листовой стали DP 600», сформулирована цель – повышение эффективности контактной точечной сварки деталей кузова автомобиля из стали повышенной прочности DP 600.

При обосновании выбора материала для изготовления кузовных деталей рассмотрены такие материалы, как низкоуглеродистые качественные стали, алюминиевые сплавы и стали повышенной прочности.

В настоящее время применяются AHSS стали, которые по структуре принципиально отличаются от применявшихся ранее низкоуглеродистых сталей. AHSS стали являются многофазными, в их структуре присутствует мартенсит, бейнит, остаточный аустенит. В результате этого стали приобретают высокие прочностные свойства в сочетании со штампуемостью. Из-за деформационного упрочнения происходит увеличение прочности деталей после штамповки.

Проведённый обзор источников научно-технической информации подтвердил перспективность применения сталей повышенной прочности для изготовления деталей кузова автомобиля. Однако для этого требуется изменение технологии сварки, выбор оптимальных параметров режима, поиск перспективных источников питания.

На основании вышеизложенного следует сформулировать задачи выпускной квалификационной работы:

- рассмотреть особенности сварки высокопрочной двухфазной стали DP 600;
- обосновать выбор параметров режима сварки;
- составить проектную технологию сварки.

Для достижения поставленной цели необходимо идентифицировать опасные и вредные производственные факторы, предложить меры по их устранению [8].

Также необходимо провести экономические расчёты, доказывающие эффективность внедрения результатов выпускной квалификационной работы в массовое производство [10], [11].

## 2 Построение проектной технологии сварки деталей кузова автомобиля из высокопрочной двухфазной стали

### 2.1 Описание материала и особенности его сварки

Для выполнения заготовок предлагается применить высокопрочную двухфазную сталь DP 600 (DP 300/600). Буквы «DP» обозначают, что сталь – двухфазная. В её структуре содержится ферритная матрица, в которой присутствуют включения мартенсита. За счёт увеличенного содержания в этой стали углерода и легирующих элементов достигается повышение механических свойств. Однако из-за увеличения эквивалентна углерода страдает свариваемость, что заставляет изменять технологию – корректировать режимы, внедрять перспективные способы сварки и современное оборудование.

Минимальный предел текучести стали DP 600 составляет 300 МПа, минимальное временное сопротивление составляет 600 МПа. Двухфазные стали получили значительное распространение при изготовлении элементов кузова легкового автомобиля, как показано на рисунке 6.



Рисунок 6 – Применение различных материалов в кузове автомобиля

В микроструктуре высокопрочной двухфазной стали присутствует мягкая ферритная структура, объём которой лежит в диапазоне 20...70 % в зависимости от прочности стали. В некоторых случаях возможно наличие в микроструктуре значительного количества бейнита. Микроструктура стали DP 600 представлена на рисунке 7. В большинстве случаев микроструктура стали имеет непрерывную ферритную фазу, благодаря которой получает высокую штампуемость и ковкость. При деформации стального листа в процессе штамповки остаточные напряжения начинают концентрироваться в ферритной фазе, благодаря чему достигается уникально высокий коэффициент деформационного упрочнения.

Таким образом, двухфазные стали обладают уникальной комбинацией высокого значения относительного удлинения (хорошая штампуемость) и высокого коэффициента деформационного упрочнения (высокая прочность готовой детали).

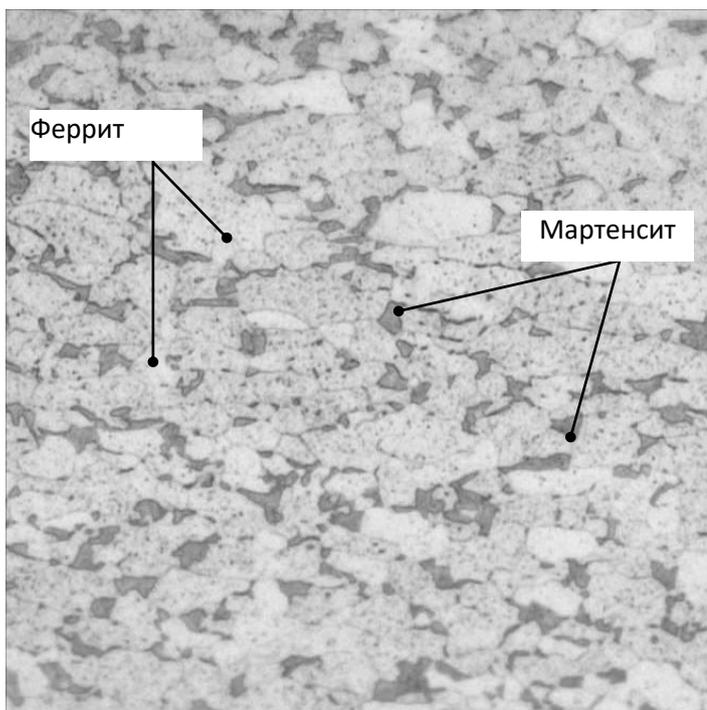


Рисунок 7 – Микроструктура основного металла образца DP 300/600: феррит, мартенсит (20...25%)

Ещё одно преимущество двухфазных сталей заключается в том, что в этих сталях обеспечивается повышение прочности при термической обработке.

Двухфазные стали были разработаны для того, чтобы обеспечить предел прочности вплоть до 1000 МПа. Повышенное содержание углерода формирует в этих сталях мартенситную фазу, которая образуется при обычных скоростях охлаждения. В результате сталь получает способность к закалке. За счёт добавления в сталь таких элементов, как молибден, хром, ванадий, никель и марганец обеспечивается способность стали к упрочнению при деформации и термической обработке.

Соединение деталей из двухфазной высокопрочной стали можно выполнять при помощи контактной точечной сварки, как и в случае сварки низкоуглеродистых сталей. Однако в этом случае возникают трудности, обусловленные отличием сталей повышенной прочности по химическому составу и структуре от низкоуглеродистых сталей. Также следует учитывать, что при сварке сталей повышенной прочности структура соединения в значительной степени зависит от количества введенного в зону сварки тепла и от скорости охлаждения сварного соединения. Высокая скорость охлаждения приводит к образованию в зоне сварки мартенсита и бейнита.

Сварные соединения из сталей повышенной прочности демонстрируют более высокую прочность при растяжении, чем низкоуглеродистые стали, поскольку предел прочности сварного соединения пропорционален прочности основного металла. Разрушение образцов из стали DP 600 толщиной 0,65+1,3 мм представлено на рисунке 8.

Сварка высокопрочных двухфазных сталей предусматривает применение меньшего тока, чем при сварке низкоуглеродистых сталей. Это объясняется их высоким электрическим сопротивлением по сравнению с низкоуглеродистыми сталями. Усилие же на сварочных электродах должно быть больше, чем при сварке низкоуглеродистых сталей.

При сварке оцинкованного проката возникают дополнительные трудности. Во-первых, из-за наличия защитного цинкового слоя уменьшается контактное сопротивление на участке «электрод-деталь» и «деталь-деталь», что изменяет условия нагрева деталей при сварке. Второй трудностью является

значительное ухудшение условия работы, которое приводит к снижению стойкости электродов. Кроме того, становится необходимым интенсивное охлаждение электродов в процессе сварки.



Photograph: Ispat Inland, Inc.

Рисунок 8 – Динамическое испытание с разрушением долотом DP 600 при 0,65 + 1,3 мм

Третьей трудностью является уменьшение коррозионной стойкости в месте выполнения сварки на 20 %. В-четвертых, следует учитывать влияние уменьшения контактных сопротивлений на параметры режима сварки, при сварке требуется увеличение сварочного тока. В-пятых, необходимо принимать во внимание, что толщина защитного слоя и способ его получения оказывает существенное влияние на параметры режима сварки и стабильность качества выполняемых соединений.

Характерные дефекты при сварке сталей повышенной прочности с цинковым покрытием включают в себя:

- возникновение непроваров в виде полости, как показано на рисунке 9;
- кристаллизационные трещины, как показано на рисунке 10;
- цинковые включения, показанные на рисунке 11;
- непровары в виде склейки, показанные на рисунке 12.

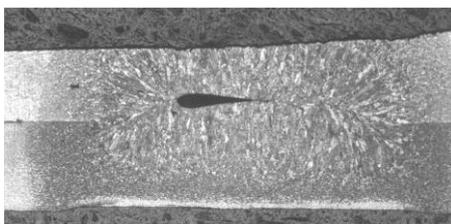


Рисунок 10 – Непровар

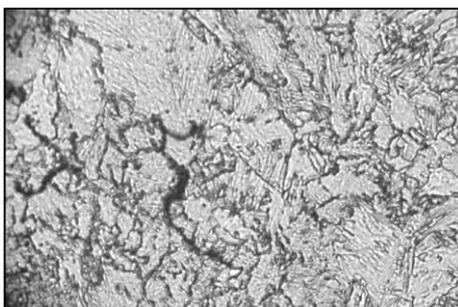


Рисунок 11 – Кристаллизационные трещины (x200)



Рисунок 12 – Включения цинка (x100)

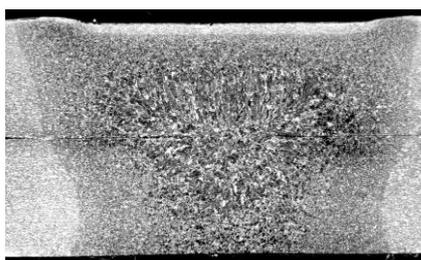


Рисунок 13 – Непровар в виде склейки

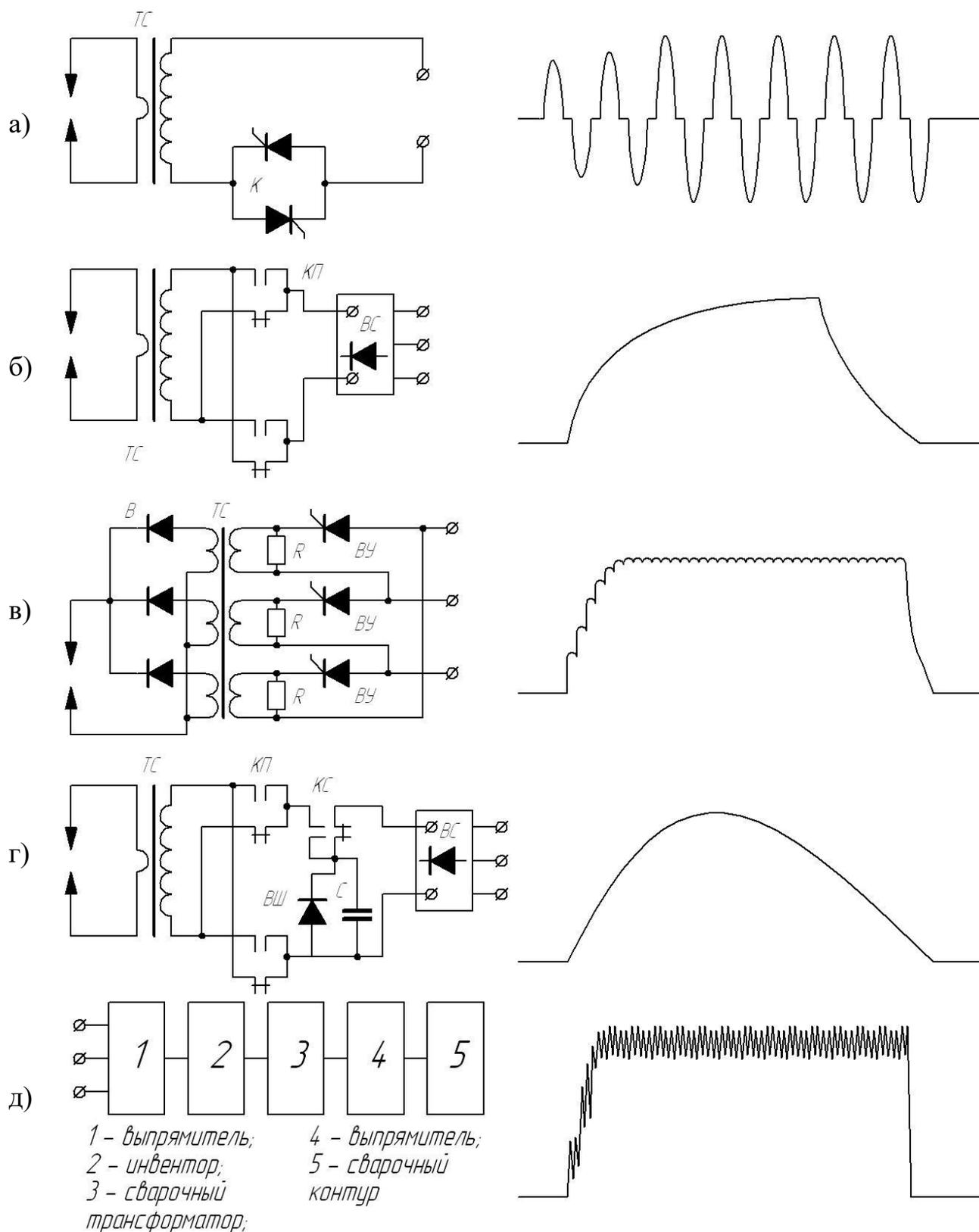
При контроле качества метод проверки расщеплением применительно к деталям из высокопрочных сталей использован быть не может. Ввиду этого повышается роль ультразвуковой дефектоскопии и систем адаптивного управления процессом контактной сварки, работающих в режиме реального времени.

## 2.2 Обоснование выбора типа источника питания

Качество выполняемых соединений при контактной точечной сварке в значительной мере зависит от особенностей протекания процесса нагрева и плавления сварной точки. Стабильность энерговыделения на участке «электрод-электрод», в свою очередь, определяется работой аппаратуры управления и характером (родом) сварочного тока, который протекает во вторичном контуре контактной сварочной машины.

По роду сварочного тока машины контактной сварки могут быть классифицированы следующим образом [9]. К первой группе относят машин переменного тока промышленной частоты, их ещё называют однофазные машины переменного тока. Ко второй группе относят машины, работающие на переменном токе пониженной частоты. К третьей группе относят машины постоянного тока, это трёхфазные машины с выпрямлением тока во вторичном контуре. К четвертой группе относят конденсаторные машины, которые могут быть как однофазные, так и трёхфазные. К пятой группе относят машины с инверторным источником питания.

Самыми распространёнными в настоящее время являются машины переменного тока промышленной частоты, которые используются для всех способов контактной сварки и позволяют сваривать детали из различных материалов. Это самый универсальный тип машин, который хорошо зарекомендовал себя в течение длительного промежутка времени. В настоящее время в эксплуатации находится значительное количество стационарных машин переменного тока серии МТ и подвесных машин переменного тока типа МТП. Коммутация тока в первичной цепи таких машин выполняется с помощью тиристорного контактора. Принципиальная электрическая схема контактной машины переменного тока промышленной частоты представлена на рисунке 14-а. Плавное регулирование величины сварочного тока выполняют путём фазового регулирования.



*ТС* – трансформатор сварочный; *К* – контактор тиристорный; *ВС* – выпрямитель силовой;  
*КП* – контактор переключения полярности; *ВШ* – вентиль шунтирующий;  
*С* – конденсаторная батарея; *КС* – контактор управления конденсаторной батареей;  
*В* – выпрямительный блок; *ВУ* – выпрямитель управления; *R* – балластное сопротивление

Рисунок 14 – Силовые электрические схемы сварочных машин

Контактные машины переменного тока пониженной частоты преобразуют трёхфазный переменный ток промышленной частоты в импульсы тока пониженной частоты, что происходит за счёт кратковременного включения выпрямителя на первичную обмотку сварочного трансформатора, как показано на рисунке 14-б. Для того, чтобы исключить насыщение магнитопровода трансформатора из-за протекающего через первичную обмотку трансформатора постоянного тока, при каждом следующем включении чередуют полярность включения. Длительность протекания сварочного тока составляет не более 0,5 с, так как при большей длительности импульса тока возникает опасность перехода трансформатора в аварийный режим из-за насыщения магнитопровода. Форма импульса сварочного тока характеризуется плавным нарастанием и замедленным спадом, что положительно сказывается на качестве выполняемых соединений.

В контактных машинах постоянного тока, принципиальная электрическая схема которых представлена на рисунке 14-в, импульсы сварочного тока имеют одну полярность и практически не имеют ограничения по длительности протекания. Выпрямление электрического тока выполняется при помощи диодов, которые устанавливаются во вторичном контуре сварочной машины. Контактные машины постоянного тока подключаются к трёхфазной сети переменного тока промышленной частоты. При помощи тиристорных ВУ происходит попеременное включение обмоток сварочного трансформатора, параллельно обмоткам трансформатора включают нагрузочные сопротивления  $R$ . Которые улучшают условия работы тиристорных.

По сравнению с низкочастотными машинами машины для сварки на постоянном токе характеризуются меньшими габаритами и массой, обладают большей технологической гибкостью, так как имеют широкие возможности для фазового регулирования величины и формы импульсов сварочного тока.

Конденсаторные контактные машины, принципиальная схема которых представлена на рисунке 14-г, могут быть использованы для сварки деталей из

различных материалов. Формирование сварочного импульса происходит при разрядке конденсатора значительной ёмкости, который предварительно заряжается от силового выпрямителя. Разрядка конденсатора может происходить через полупроводниковые приборы или электромагнитные контакторы. Как и в машинах переменного тока пониженной частоты, полярность разрядки через первичную обмотку трансформатора каждый раз чередуется, что позволяет избежать магнитного насыщения сердечника трансформатора.

Самыми перспективными в настоящее время могут считаться контактные машины с инверторными источниками питания и промежуточным звеном повышенной частоты. Принципиальная схема таких машин показана на рисунке 14-д и предусматривает выполнение трёхкратного преобразования электрической энергии. На первом этапе происходит выпрямление электрического тока трехфазным выпрямителем. На втором этапе происходит инвертирование постоянного напряжения в переменное напряжение повышенной частоты, которое подаётся на первичную обмотку сварочного трансформатора. На третьем этапе происходит выпрямление переменного тока повышенной частоты во вторичном контуре контактной машины.

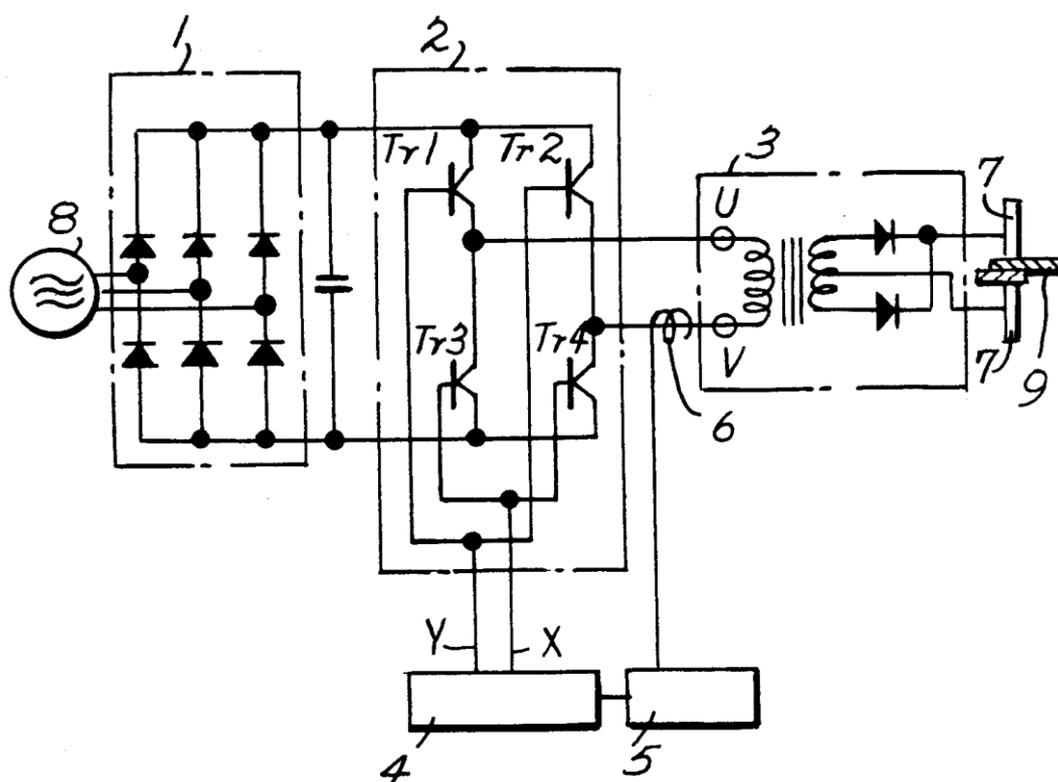
Функциональная схема инверторного источника питания для контактной сварки предусматривает наличие трёхфазного выпрямителя 1, который подключается к сети переменного напряжения повышенной частоты, инвертора 2, который обеспечивает преобразование постоянного напряжения в импульсы переменного напряжения высокой частоты, высокочастотного понижающего трансформатора 3, выходного выпрямителя 4, который выпрямляет ток во вторичном контуре контактной машины, сварочного контура 5.

Инверторные машины позволяют уменьшить массу сварочного трансформатора и сочетать в себе положительные особенности контактных машин переменного тока и постоянного тока.

## 2.3 Обзор схем инверторов для контактной точечной сварки

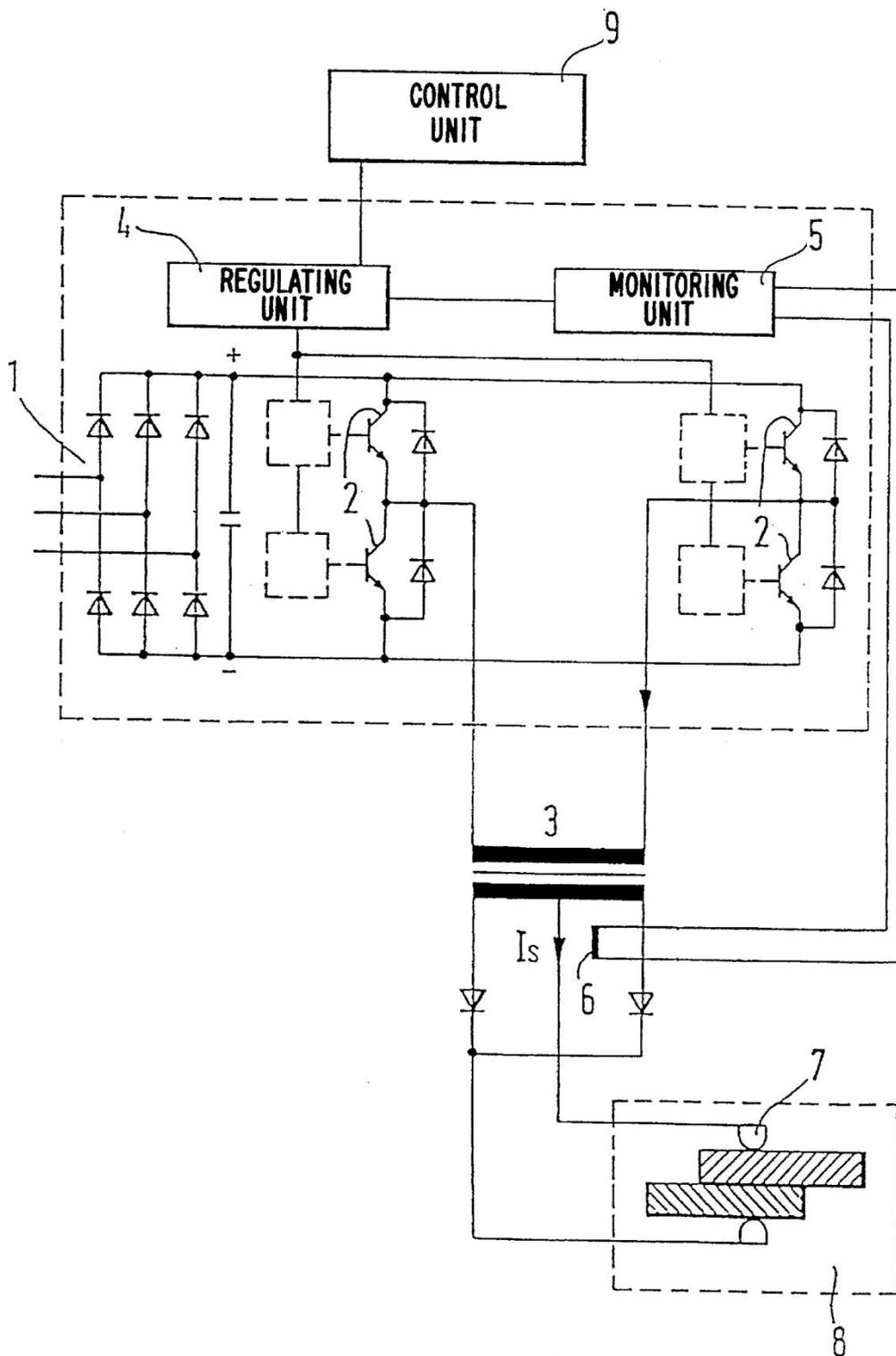
В инверторных контактных машинах возможно построение различных схем управления сварочным током.

В первом случае для управления током могут использоваться результаты измерений со стороны первичной обмотки сварочного трансформатора, как показано на рисунке 15 [14], [15], [16], [19]. Во втором случае для управления применяется измеренное значение тока во вторичном контуре, как показано на рисунке 16 [17], [18]. В третьем случае параметрами обратной связи являются ток во вторичном контуре и падение напряжения на электродах, как показано на рисунке 17, такая схема позволяет регулировать энерговыделение при сварке [13], [20].



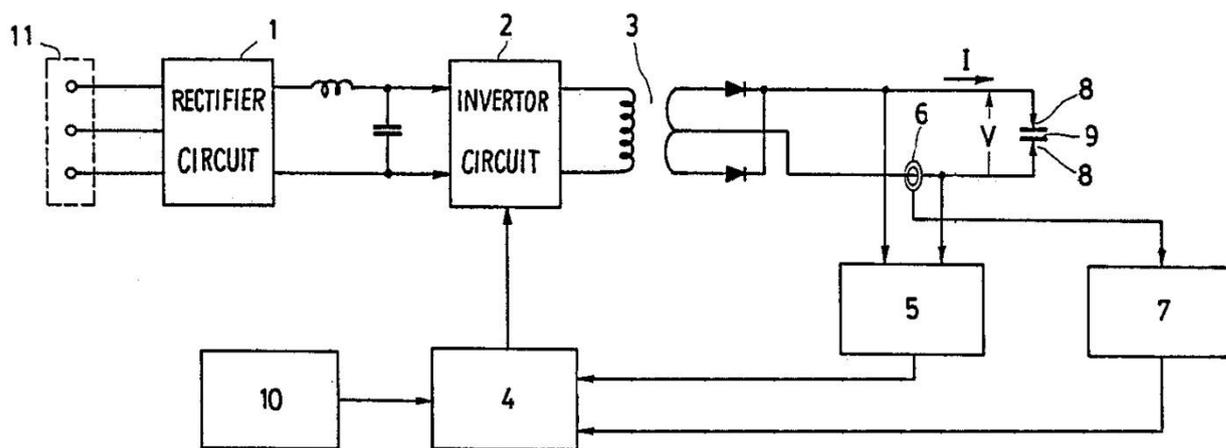
1 – выпрямитель; 2 – инвертор; 3 – сварочный трансформатор; 4 – блок управления инвертором; 5 – измеритель тока; 6 – датчик тока; 7 – сварочные клещи; 8 – источник переменного тока; 9 – свариваемые детали

Рисунок 15 – Схема инверторного источника питания с измерением тока со стороны первичной обмотки сварочного трансформатора [15]



1 – выпрямитель; 2 – инвертор; 3 – сварочный трансформатор; 4 – блок управления инвертором; 5 – измерительный блок; 6 – датчик тока; 7 – сварочные клещи; 8 – свариваемые детали; 9 – блок контроля

Рисунок 16 – Схема инверторного источника питания с измерением тока во вторичном контуре [17]



1 – выпрямитель; 2 – инвертор; 3 – сварочный трансформатор; 4 – блок управления инвертором; 5 – блок измерения тока; 6 – датчик тока; 7 – блок измерения напряжения; 8 – сварочные клещи; 9 – свариваемые детали; 10 – блок контроля; 11 – источник переменного тока

Рисунок 17 – Схема инверторного источника питания с измерением тока и падения напряжения на электродах [13]

Выполняли экспериментальную сварку образцов из стали DP 600 толщиной 1+1 и 1,5+1,5 мм. Сварку можно выполнять на машине переменного тока и на машине с инверторным источником питания (машина постоянного тока со звеном повышенной частоты). При сварке на машине переменного тока принимали значение сварочного тока 7400 А для толщины 1+1 мм и 7600 А для толщины 1,5+1,5 мм. При сварке на машине с инверторным источником питания принимали значение сварочного тока 7300 А для толщины 1+1 мм и 7400 А для толщины 1,5+1,5 мм.

Результаты сварки деталей толщиной 1+1 мм представлены на рисунке 18. Результаты сварки деталей толщиной 1,5+1,5 мм представлены на рисунке 19.

Более высокое качество соединений наблюдается при сварке с использованием инверторного источника питания (MFDC), что можно объяснить особенностями протекания электрических и тепловых процессов в системе «машина-деталь». В частности, можно рассмотреть осциллограммы напряжений на первичной обмотке сварочного трансформатора представленные на рисунке 20.

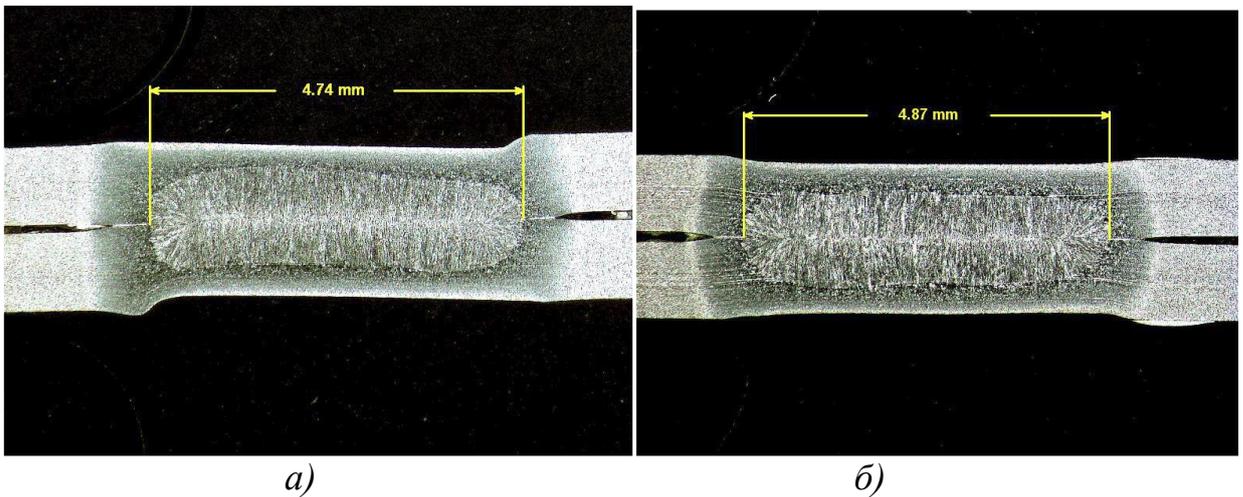


Рисунок 18 – Результаты сварки образцов из стали DP 600 толщиной 1+1 мм на машине переменного тока (а) и машине постоянного тока со звеном повышенной частоты (б)

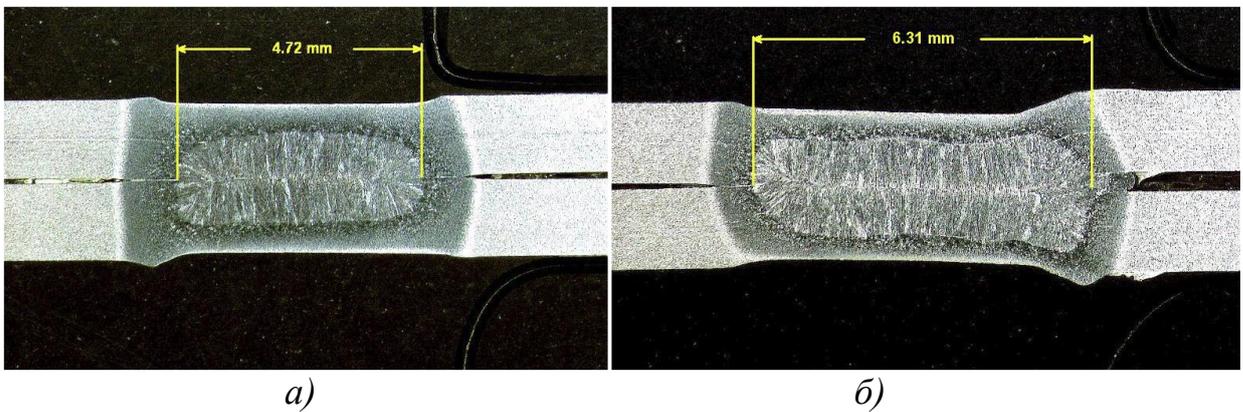


Рисунок 19 – Результаты сварки образцов из стали DP 600 толщиной 1,5+1,5 мм на машине переменного тока (а) и машине постоянного тока со звеном повышенной частоты (б)

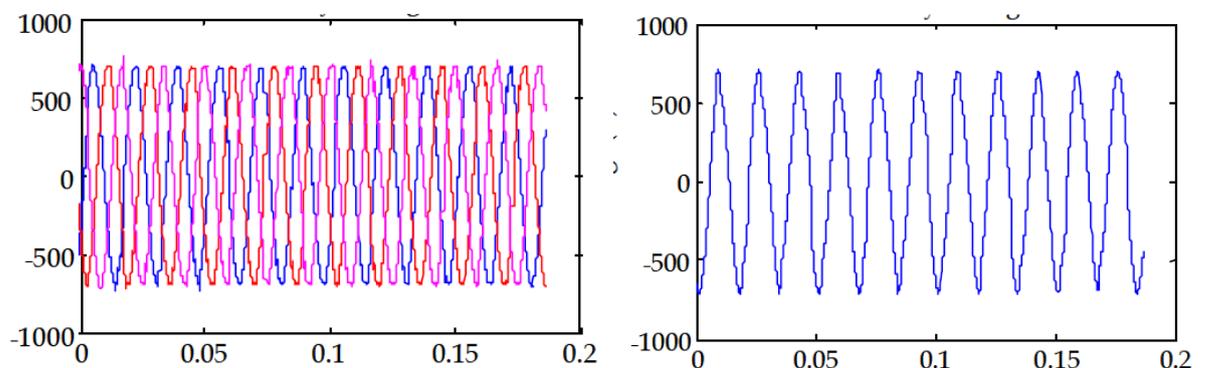


Рисунок 20 – Осциллограммы первичного напряжения при сварке MFDC (а) и AC (б)

На рисунке 21 представлены осциллограммы напряжений на электродах при сварке с использованием инверторного источника питания и с использованием машины переменного тока промышленной частоты. На этих осциллограммах видно, что пульсации напряжения при использовании инверторного источника питания меньше.

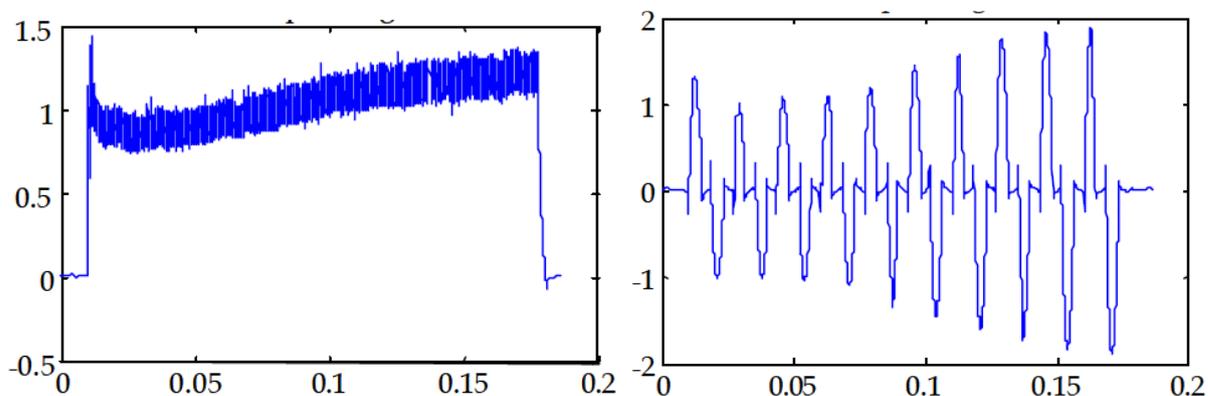


Рисунок 21 – Осциллограммы вторичного напряжения при сварке MFDC (а) и АС (б)

На рисунке 22 представлены осциллограммы первичного тока при сварке с использованием инверторного источника питания и с использованием машины переменного тока промышленной частоты. На этих осциллограммах видно, что пульсации тока при использовании инверторного источника питания меньше. Также следует указать на высокую частоту тока в первом случае, что расширяет возможности регулирования сварочного тока в каждом периоде.

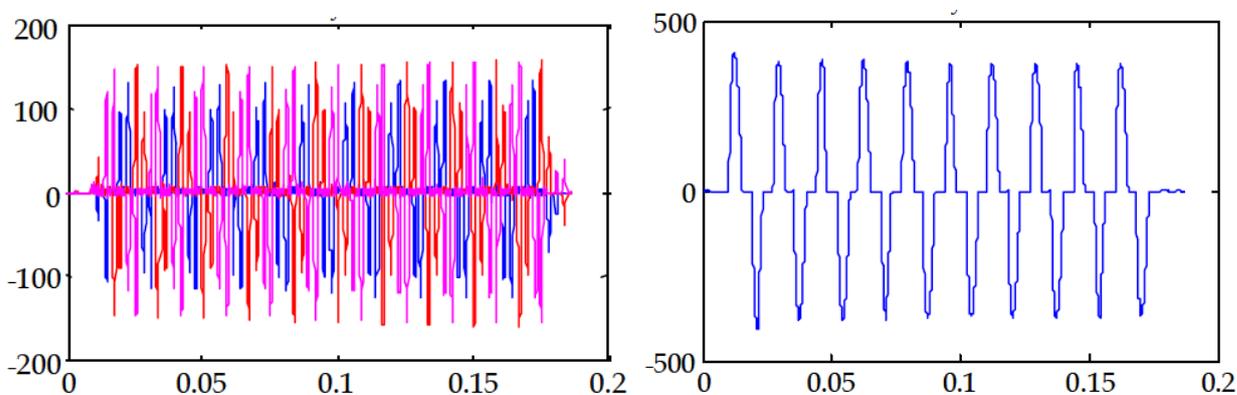


Рисунок 22 – Осциллограммы первичного тока при сварке MFDC (а) и АС (б)

На рисунке 23 представлены осциллограммы вторичного тока при сварке с использованием инверторного источника питания и с использованием машины переменного тока промышленной частоты. На этих осциллограммах видно, что пульсации тока при использовании инверторного источника питания меньше. Что говорит о высокой стабильности поддержания режима при сварке с использованием инверторного источника.

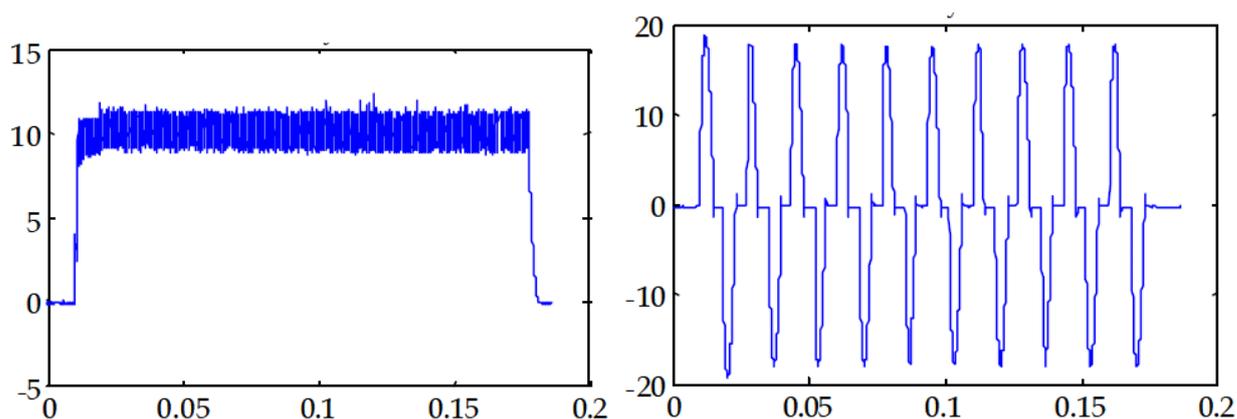


Рисунок 23 – Осциллограммы вторичного тока при сварке MFDC (а) и АС (б)

В числе преимуществ сварки с использованием промежуточного звена повышенной частоты можно указать следующее.

Во-первых, величина сварочного тока может поддерживаться стабильной независимо от действующих возмущений. К числу таких возмущений относят внесение в сварочный контур ферромагнитных масс, перегрев элементов вторичного контура при длительной работе, колебания напряжения питающей сети.

Во-вторых, на осциллограмме вторичного тока не присутствуют пульсации, характерные для сварки на переменном токе промышленной частоты. Это позволяет обеспечить равномерный нагрев деталей в процессе сварки и уменьшить зависимость качества от различных возмущений.

В-третьих, следует отметить высокую частоту следования импульсов тока при сварке с использованием инверторного источника, что позволяет вносить управляющее воздействие более часто и повысить эффективность регулирования сварочного тока.

В-четвертых, за счёт равномерного и интенсивного нагрева деталей становится возможным уменьшить время сварки, что не только повышает производительность процесса, но и существенно снижает перегрев деталей, уменьшая остаточные напряжения в конструкции и экономя электрическую энергию.

В-пятых, за счёт сглаживания пульсаций уменьшается износ сварочных электродов, что продлевает срок их службы и позволяет увеличить промежутки времени между зачистками.

В-шестых, следует отметить улучшение свариваемости деталей различной толщины и из различных материалов, что достигается за счёт стабилизации энерговыделения по объёму деталей.

В-пятых, необходимо отметить существенное уменьшение выплесков расплавленного металла, что положительно сказывается на внешнем виде деталей и условиях труда сварщиков.

В шестых, следует отметить равномерную электрическую нагрузку на фазы питающей сети, что положительно сказывается на работе других потребителей электрической энергии.

#### **2.4 Повышение эффективности контактной точечной сварки деталей кузова автомобиля из стали DP 600**

В ранее рассмотренных научных работах показано, что высокопрочные стали можно сваривать с применением контактной точечной сварки. Однако, рядом исследователей отмечается, что сварка оцинкованных сталей повышенной прочности вызывает ряд трудностей. В частности, указывается на высокую вероятность получения горячих трещин, что происходит по причине проникновения расплавленного цинка в межкристаллитную область приповерхностного слоя, в которой действуют растягивающие напряжения.

Для устранения этого эффекта предлагается выполнить подбор оптимальных параметров режима сварки. Экспериментальную сварку

выполняли на машине PPN 135, которая представлена на рисунке 24. Машина имеет инверторный источник питания. Критерием качества контактной сварки являлось получение соединения согласно ГОСТ 15878-79 без таких дефектов, как трещины, поры, раковины и непровары.



Рисунок 24 – Машина PPN 135 постоянного тока с промежуточным звеном повышенной частоты

Отработку технологии сварки оцинкованной стали повышенной прочности вели с учётом того факта, что цинковый слой на поверхности деталей приводит к ухудшению свариваемости. При расплавлении цинкового покрытия увеличивается фактическая площадь касания «деталь-электрод», что приводит к снижению плотности сварочного тока и возникновению непроваров. Увеличение сварочного тока приводит к подплавлению цинкового покрытия снижению его коррозионной стойкости. Кроме того, увеличение сварочного тока приводит к ускоренному протеканию процесса изнашивания сварочных электродов.

Перегрев металла в контакте «деталь-электрод» и наличие в нём расплавленной прослойки цинка создаёт условия для проникновения цинка между кристаллитами и образования приповерхностных трещин.

При выборе параметров режима сварки предполагали, что применение специального цикла сварки приведёт к уменьшению расплавления цинкового покрытия. Для этого можно использовать импульс с модуляцией переднего фронта или подогревающий импульс. Предотвращение появления в зоне сварки закалочных структур можно достигнуть за счёт применения мягких режимов сварки, которые характеризуются меньшим сварочным током и большим временем его протекания. Также на уменьшение количества закалочных структур положительно скажется применение послесварочного подогрева.

Для реализации технологии сварки двухфазных сталей предложено две циклограммы, представленные на рисунке 25.

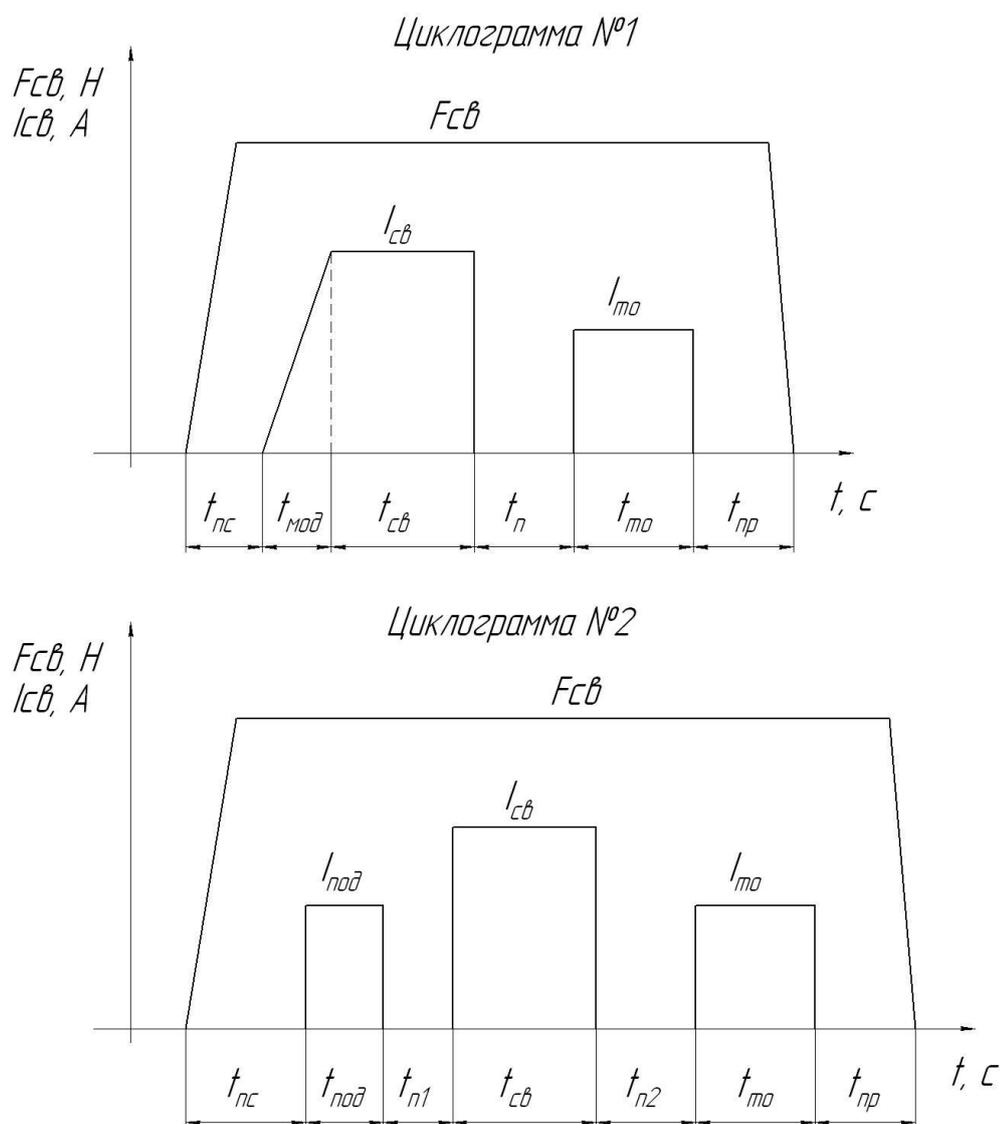


Рисунок 25 – Схемы циклов контактной точечной сварки

После выполнения сварки по предложенным циклограммам проводили визуально-измерительный контроль и контроль разрушением с измерением диаметра ядра сварной точки.

Сварку деталей толщиной 1,5+1,5 мм предложено выполнять на параметрах режима, представленных в таблице 7 и таблице 8. Дополнительную оценку качества проводили с использованием металлографических исследований. Установлено, что сварка по циклограмме № 1 сопровождается получением соединений с микротрещинами, как показано на рисунке 26. При сварке по циклограмме № 2 трещин нет.

Таблица 7 – Параметры режима контактной точечной сварки стали DP 600 по циклограмме № 1

Наименование параметра сварки	Обозначение	Размерность	Значение
Время предварительного сжатия	$t_{пс}$	с	1,5
Время модуляции	$t_{мод}$	с	0,1
Ток сварки	$I_{св}$	кА	8,5
Время сварки	$t_{св}$	с	0,5
Время паузы	$t_{п}$	с	1
Ток послесварочного подогрева	$I_{то}$	кА	6
Время послесварочного подогрева	$t_{то}$	с	0,86
Время проковки	$t_{пр}$	с	0,5
Сила прижатия электродов	F	кН	7,0

Таблица 8 – Параметры режима контактной точечной сварки стали DP 600 по циклограмме № 2

Наименование параметра сварки	Обозначение	Размерность	Значение
Время предварительного сжатия	$t_{пс}$	с	1,5
Ток предварительного подогрева	$I_{под}$	кА	3
Время предварительного подогрева	$t_{под}$	с	0,1
Время паузы	$t_{п1}$	с	0,2
Ток сварки	$I_{св}$	кА	8,5
Время сварки	$t_{св}$	с	0,5
Время паузы	$t_{п2}$	с	1
Ток послесварочного подогрева	$I_{то}$	кА	6
Время послесварочного подогрева	$t_{то}$	с	0,86
Время проковки	$t_{пр}$	с	0,5
Сила прижатия электродов	F	кН	7,0

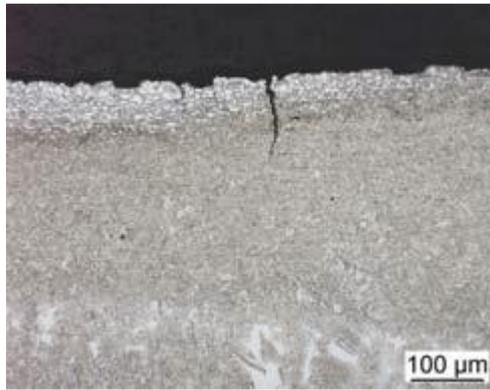


Рисунок 26 – Микротрещина в зоне приложения сварочной силы к образцу, сваренному контактной точечной сваркой по циклу №1

Визуальный осмотр места сварки показал, что размеры зоны термического влияния и диаметр подплавления защитного покрытия при рассмотренных циклограммах сварки одинаковы, что показано на рисунке 27 и рисунке 28.



Рисунок 27 – Снимки соединений, выполненных контактной точечной сваркой по циклу №1



Рисунок 28 – Снимки соединений, выполненных контактной точечной сваркой по циклу №2

После измерения установлено, что диаметры ядра сварной точки в обоих случаях составляет не менее 7 мм, что позволяет судить о высоком качестве сварного соединения. Испытания на разрушение с использованием разрывной машины позволяют установить, что разрушение образцов происходит по основному металлу.

Таким образом, установлено, что применение циклограммы сварки с подогревающим импульсом тока позволяет избежать образования горячих трещин в приповерхностном слое металла.

### Выводы по второму разделу

При выполнении настоящего раздела выпускной квалификационной работы обоснован выбор инверторного источника питания для сварки оцинкованных сталей повышенной прочности.

Выполнен обзор инверторов для контактной точечной сварки, на основании которого предложено строить системы автоматического управления контактной сваркой с использованием в качестве параметра обратной связи величины тока во вторичном контуре.

Доказан положительный технологический эффект при использовании инверторного источника питания в случае сварки двухфазных сталей, который объясняется особенностями протекания электрических процессов в системе «машина-деталь».

Экспериментально установлено, что применение циклограммы сварки с подогревающим импульсом тока позволяет избежать образования горячих трещин в приповерхностном слое металла.

Для достижения поставленной цели необходимо идентифицировать опасные и вредные производственные факторы, предложить меры по их устранению [8]. Также необходимо провести экономические расчёты, доказывающие эффективность внедрения результатов выпускной квалификационной работы в массовое производство [10], [11].

### **3 Безопасность и экологичность технического объекта**

#### **3.1 Технологическая характеристика объекта**

В настоящей выпускной квалификационной работе обоснован выбор инверторного источника питания для сварки оцинкованных сталей повышенной прочности.

По базовому варианту технологии сварка выполняется с применением стационарных машин с источником переменного тока промышленной частоты. Недостатками базовой технологии являются:

- низкая стабильность качества выполняемых сварных соединений;
- малая производительность сварки.

Проектный технологический процесс предусматривает применение машин с инверторным источником тока и существенно отличается от базового процесса. Во-первых, изменились операции согласно карте технологического процесса. Во-вторых, используется оборудование, отличное от оборудования для осуществления базового процесса. В-третьих, изменены параметры режима сварки. Изменение технологического процесса по сравнению с базовым процессом сварки может привести к возникновению новых опасных и вредных производственных факторов, которые скажутся негативно на здоровье персонала и состоянии окружающей среды.

В связи с этим необходимо провести исследования особенностей осуществления проектного технологического процесса, направленные на идентификацию опасных и вредных производственных факторов. Идентификация опасных и вредных производственных факторов, в свою очередь, позволит предложить технологические и организационные мероприятия для устранения негативного влияния этих факторов или уменьшения их влияния до допустимого уровня.

Таблица 9 – Технологически паспорт объекта сборки и сварки балки крыши

Наименование операции технологического процесса	Наименование должности работника, выполняющего данную операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые на операции
- подготовка поверхности заготовок к сварке	Слесарь-сборщик	- машинка угловая шлифовальная; - щетка металлическая; - камера помывочная	- моющий раствор; - вода техническая; - ветошь
- загрузка заготовок в магазины многоэлектродной машины	Сварщик на автоматических машинах	- многоэлектродная машина для контактной сварки; - приёмные магазины-накопители	- сжатый воздух
- автоматическая сборка и сварка деталей кузова автомобиля	Сварщик на автоматических машинах	- многоэлектродная машина для контактной сварки; - сборочный кондуктор	- сжатый воздух; - вода техническая
- контроль качества сварки	Дефектоскопист	- дефектоскоп; - лупа; - штангенциркуль; - зубило; - молоток	- машинное масло

Кроме того, повышение экологической ответственности производственных предприятий делает необходимым проведение дополнительных технологических и организационных мероприятий, направленных на снижение негативного воздействия производств на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу).

Анализ данных в таблице 9 позволяет в дальнейшем провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которые возникают при реализации проектной технологии.

### 3.2 Идентификация профессиональных рисков

Эксплуатация технологического оборудования приводит к возникновению опасных и вредных производственных факторов, которые для удобства сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Идентификация профессиональных рисков при реализации проектной технологии

Наименование операции технологического процесса	Опасный или вредный производственный фактор, являющийся причиной возникновения профессионального риска	Оборудование или иные объекты, становящиеся причиной возникновения опасного или вредного производственного фактора
- подготовка поверхности заготовок к сварке	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев;</li> <li>- превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам;</li> <li>- опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые края сварочного оборудования;</li> <li>- острые края свариваемых заготовок</li> <li>- питающая электрическая сеть</li> </ul>
- загрузка заготовок в магазины многоэлектродной машины	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев;</li> <li>- механические взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования;</li> <li>- превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам;</li> <li>- опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые края сварочного оборудования;</li> <li>- острые края свариваемых заготовок</li> <li>- питающая электрическая сеть</li> </ul>
- автоматическая сборка и сварка деталей кузова автомобиля	<ul style="list-style-type: none"> <li>- механические взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования;</li> <li>- превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам;</li> <li>- нагрев поверхности деталей до высоких температур;</li> <li>- опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые края сварочного оборудования;</li> <li>- острые края свариваемых заготовок</li> <li>- питающая электрическая сеть</li> </ul>
- контроль качества сварки	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев;</li> <li>- превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам;</li> <li>- опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока</li> <li>- ультразвуковое излучение</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые края сварочного оборудования;</li> <li>- острые края свариваемых заготовок</li> <li>- питающая электрическая сеть;</li> <li>- ультразвуковой дефектоскоп</li> </ul>

Проведение идентификации профессиональных рисков при реализации проектной технологии делает необходимым выявление и анализ опасных и вредных производственных факторов. Эти факторы приводят к возникновению производственных травм и развитию у работников профессиональных заболеваний.

Таким образом, на основании проведённой идентификации профессиональных рисков, которые возникают при реализации проектной технологии, было выделено восемь негативных производственных факторов:

- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев;
- механическое взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования;
- опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока;
- превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам;
- нагрев поверхности деталей до высоких температур;
- ультразвуковое излучение.

### **3.3 Предлагаемые технологические и организационные мероприятия для снижения профессиональных рисков**

Ранее была выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, совокупное или раздельное действие которых приводит к возникновению профессиональных рисков.

Анализ этих факторов позволяет предложить для каждого из них стандартные технологические и организационные мероприятия, позволяющие устранить действие этих факторов или уменьшить их действие до приемлемого уровня.

Внедряемые на предприятии технологические и организационные мероприятия представлены в таблице 11. Как видно из этой таблицы, предлагаемые мероприятия имеют стандартное исполнение, разработка специализированных средств защиты не требуется.

Таблица 11 – Технологические и организационные мероприятия по снижению профессиональных рисков

Опасный или вредный производственный фактор, являющийся причиной возникновения профессионального риска	Наименование технологического или организационного мероприятия по снижению профессиональных рисков	Применяемые средства индивидуальной защиты
- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев	- оснащение оборудования, ограждения и конструкций соответствующими предупреждающими табличками и плакатами; - периодический инструктаж работников о необходимости соблюдения производственной безопасности	спецодежда
- механические взаимодействия с массивными движущимися частями технологического оборудования	- монтаж ограждений для ограничения попаданий работников в опасную зону, где они могут столкнуться с движущимися частями оборудования; - оснащение оборудования, ограждения и конструкций соответствующими предупреждающими табличками и плакатами	спецодежда
- превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам	- организация местного удаления загрязнённого воздуха рабочей зоны; - устройство общеобменной вентиляции для поступления чистого воздуха в рабочую зону	средства индивидуальной защиты дыхательных путей
- опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока	- оснащение технологического оборудования защитным заземлением и устройствами защитного отключения; - периодический инструктаж работников о необходимости соблюдения производственной безопасности; - проведение периодических замеров сопротивления изоляции и заземления	спецодежда
- нагрев поверхности деталей до высоких температур	- периодический инструктаж работников о необходимости соблюдения производственной безопасности; - повышение уровня автоматизации основных и вспомогательных операций	спецодежда
- ультразвуковое излучение	- оснащение оборудования, ограждения и конструкций соответствующими предупреждающими табличками и плакатами; - ограничение длительности воздействия вредного фактора на персонал	спецодежда

Предлагаемые в работе меры позволяют значительно снизить травматизм персонала при выполнении проектной технологии. Также значительно уменьшается вероятность появления у персонала профессиональных заболеваний.

Следует учитывать, что после внедрения в производство предлагаемых в выпускной квалификационной работе технических решений не только возникнут опасные и вредные производственные факторы.

Производственное предприятие постоянно подвергается риску возникновения пожаров, которые могут причинить вред работникам и имуществу предприятия. Кроме того, работа предприятия сопровождается отрицательным воздействием на окружающую среду, загрязнением атмосферы, гидросферы и литосферы.

Поэтому в следующей части экологического раздела следует рассмотреть мероприятия по обеспечению пожарной безопасности и экологической безопасности разрабатываемого технологического объекта.

### **3.4 Обеспечение пожарной безопасности**

При реализации проектной технологии существует риск подвергания персонала и имущества предприятия опасным факторам пожара. Для того, чтобы предложить меры защиты от пожара, следует, во-первых, разработать мероприятия против возникновения пожара, во-вторых, предусмотреть средства для устранения пожара.

Идентификация опасных факторов при возникновении на предприятии пожара представлена в таблице 12. На основании анализа этих опасных факторов предложены технологические решения по обеспечению пожарной безопасности, представленные в таблице 13.

Таблица 12 – Определение класса пожара и идентификация опасных факторов

Обозначение производственного участка	Перечень имеющегося на участке оборудования	Классификация пожара по виду горящего вещества	Перечень опасных факторов, возникающих при пожаре	Перечень вторичных опасных факторов, возникающих при пожаре
Участок автоматической сборки и сварки кузовных деталей автомобиля	Многоэлектродная сварочная машина, вспомогательное оборудование, масляная станция, компрессорная станция	«пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [8]	«Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него» [8].	«Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения» [8].

Таблица 13 – Перечень технических средств, обеспечивающих пожарную безопасность

Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.	«Первичные средства пожаротушения
Специализированные расчеты (вызываются)	Мобильные средства пожаротушения
Нет необходимости	Стационарные установки системы пожаротушения
Нет необходимости	Средства пожарной автоматики
Пожарный кран	Пожарное оборудование
План эвакуации	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре
Ведро конусное, лом, лопата штыковая	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)
Кнопка оповещения» [8]	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.

Таблица 14 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок автоматической сборки и сварки кузовных деталей автомобиля	«Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами» [8].	«На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр» [8].

Для того, чтобы обеспечить защиту персонала и имущества предприятия от возможного пожара, предусмотрены мероприятия, перечисленные в таблице 14.

### 3.5 Обеспечение экологической безопасности производства

Осуществление проектного технологического процесса приводит к возникновению не только опасных и вредных производственных факторов, но и значительно ухудшает экологическую обстановку из-за отрицательного воздействия на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу). В ходе выполнения настоящего раздела необходимо провести идентификацию вредных экологических факторов, которые возникают при реализации проектной технологии согласно таблице 15.

Таблица 15 – Негативные факторы, влияющие на окружающую среду, возникающие при реализации проектного технологического процесса

Наименование технологического процесса	Перечень операций технологического процесса	Негативные факторы, влияющие		
		на атмосферу	на гидросферу	на литосферу
Автоматическая контактная сварка с применением многоэлектродных машин	- подготовка - сборка - сварка - контроль качества	выделение в атмосферу частиц и газов при работе технологического оборудования	попадание в воду машинного масла	загрязнение литосферы бытовым мусором, частицами упаковки, отходами производства

Таблица 16 – Технологические и организационные мероприятия по защите окружающей среды от выявленных вредных экологических факторов

Наименование технического объекта	Автоматическая сборка и сварка на многоэлектродной машине
Мероприятия по устранению вредных экологических факторов на атмосферу	Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества
Мероприятия по устранению вредных экологических факторов на гидросферу	Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять
Мероприятия по устранению вредных экологических факторов на литосферу	На участке выполнения сварки необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора.

По результатам идентификации вредных экологических факторов, действующих на атмосферу, гидросферу и литосферу, необходимо предложить мероприятия по защите от них, представленные в таблице 16.

#### Выводы по экологическому разделу

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы предусматривает проведение поиска и анализа опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих осуществление проектной технологии сборки и сварки изделия.

В проектной технологии применяется автоматическая сборка и сварка с применением машин с инверторным источником тока, внедрение которых в производство изменило технологический процесс. Анализ этого процесса позволил идентифицировать опасные и вредные факторы, выделить особенности их влияния на персонал и окружающую среду. По результатам проведённых работ предложены технологические и организационные мероприятия, позволяющие устранить негативное действие выявленных опасных и вредных производственных факторов.

Также в разделе предложены мероприятия по защите рабочего персонала и предприятия от возникающих пожаров, что выполнено путём идентификации опасных факторов пожара и назначения способов устранения этих факторов. Предложены стандартные средства и мероприятия по устранению опасности возникновения пожара и тушению пожара, если он произошёл.

При оценке экологичности проектного технологического процесса рассмотрены отрицательные воздействия результатов проведения процесса на окружающую среду – атмосферу, гидросферу и литосферу. Предложенные в разделе мероприятия позволяют выполнить экологические требования, предъявляемые предприятию со стороны природоохранных организаций.

Установлено, что устранение опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих осуществление проектного технологического процесса, может быть осуществлено с применением стандартных средств и методик защиты.

## **4 Экономическое обоснование предлагаемых решений**

### **4.1 Исходные данные для проведения экономических расчётов**

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения качества сварки деталей кузова автомобиля из высокопрочных сталей.

По базовому варианту технологии сварка выполняется с применением подвесных сварочных клещей, оснащённых источником питания переменного тока промышленной частоты. Недостатками базовой технологии являются:

- низкая стабильность качества выполняемых сварных соединений (пропуски и смещения точек, выплески и непровары);
- малая производительность сварки;
- значительные финансовые затраты на обеспечение безопасности персонала.

Выполнен обзор инверторов для контактной точечной сварки, на основании которого предложено строить системы автоматического управления контактной сваркой с использованием в качестве параметра обратной связи величины тока во вторичном контуре.

Доказан положительный технологический эффект при использовании инверторного источника питания в случае сварки двухфазных сталей, который объясняется особенностями протекания электрических процессов в системе «машина-деталь».

Также необходимо провести экономические расчёты, доказывающие эффективность внедрения результатов выпускной квалификационной работы в массовое производство [10].

В таблицу 17 сведены данные по базовому и проектному вариантам технологии, которые позволят провести экономические расчёты и обосновать применение предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.

Таблица 17 – Данные по базовой и проектной технологиям для выполнения экономических расчётов

Наименование параметра экономической характеристики	Условное обозначение в расчётах	Единица измерения	Значение параметра экономической характеристики	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	2	2
Разряд работников	$P_p$	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	$K_d$	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$C_{об}$	руб.	1800 тыс.	8500 тыс.
Норма амортизации оборудования	$K_a$	%	19,5	19,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	120	100
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$C_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02
Коэффициент полезного действия	КПД	-	0,7	0,7
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	$S$	м <sup>2</sup>	70	70
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/м <sup>2</sup> )/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$C_{пл}$	Р/м <sup>2</sup>	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	$E_n$	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [10]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

На основании данных в таблице 17 рассчитаем экономические показатели для базового и проектного варианта технологического процесса.

## 4.2 Оценка фонда времени работы технологического оборудования

При осуществлении проектного и базового варианта технологического процесса затрачивается время, в течение которого эксплуатируется технологическое оборудование и выполняет свои функции рабочий персонал, получающий заработную плату. Также фонд времени работы оборудования будет влиять на величину расходов на производственные площади и амортизацию оборудования.

Базовый и проектный вариант технологии предусматривает расходование одинакового фонда времени, который и рассчитаем в настоящем разделе. Суммарное количество в календарном году рабочих дней задаётся как  $D_p = 277$  дней. В рабочие дни продолжительность смены составляет  $T_{см} = 8$  часов. В предпраздничные дни продолжительность рабочей смены уменьшается на один час. В настоящей выпускной квалификационной работе количество рабочих смен по базовому и проектному вариантам технологии составляет  $K_{см} = 2$ . С учётом вышеперечисленных данных выполним расчёт фонда времени по формуле:

$$F_n = (D_p \cdot T_{см} - D_n \cdot T_n) \cdot K_{см} . \quad (1)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $F_n = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 2 = 4418$  ч.

При расчётах следует запланировать потери рабочего времени, которые составляют  $B = 7$  %, таким образом, эффективный фонд рабочего времени уменьшится на 7%:

$$F_э = F_n(1 - B/100). \quad (2)$$

После подстановки получаем:  $F_э = 4418 \cdot (1 - 7/100) = 4108$  ч.

### 4.3 Расчёт штучного времени

Штучное время по проектному и базовому вариантам технологии определяет расходование фонда времени работы оборудования на одно изделие. Значение штучного времени для вариантов технологии задаём с использованием нормирования труда и данных технологических карт.

Штучное время включает в себя затраты времени на выполнение основных технологических операций (машинное время  $t_{\text{маш}}$ ), выполнение вспомогательных операций технологического процесса (вспомогательное время  $t_{\text{всп}}$ ), обслуживание рабочего места и оборудования (время обслуживания  $t_{\text{обсл}}$ ), личный отдых работников (время отдыха  $t_{\text{отд}}$ ), подготовку и окончание работы (подготовительно-заключительное время  $t_{\text{п-з}}$ ):

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{МАШ}} + t_{\text{ВСП}} + t_{\text{ОБСЛ}} + t_{\text{ОТД}} + t_{\text{П-З}}. \quad (3)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$t_{\text{шт.баз}} = 0,05 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,06 \text{ ч.}$$

$$t_{\text{шт.проектн.}} = 0,03 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,04 \text{ ч.}$$

Расчёт годовой программы выпуска изделий проводим в соответствии с рассчитанными ранее фондом времени работы оборудования и штучного времени для проектного и базового вариантов технологического процесса:

$$П_{\Gamma} = F_{\text{э}} / t_{\text{шт}}. \quad (4)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$П_{\Gamma.\text{баз.}} = 4108 / 0,06 = 68466 \text{ за год};$$

$$П_{\Gamma.\text{проектн.}} = 4108 / 0,04 = 102700 \text{ за год.}$$

Дальнейшие экономические расчёты проводим исходя из годовой программы для базового и проектного вариантов технологии  $Пг = 50$  тыс. деталей за год.

Расчёт необходимого количества технологического оборудования выполним с учётом коэффициента выполнения нормы  $K_{вн} = 1,03$ :

$$n_{расч} = t_{шт} \cdot Пг / (F_3 \cdot K_{вн}). \quad (5)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$n_{расч.б} = \frac{0,06 \cdot 50000}{4108 \cdot 1,03} = 0,7$$

$$n_{расч.пр} = \frac{0,04 \cdot 50000}{4108 \cdot 1,03} = 0,5$$

Для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам технологии принимаем количество оборудования  $n=1$ . Далее выполним расчёт коэффициента загрузки оборудования:

$$Kз = n_{расч}/n_{пр}. \quad (6)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$Kзб = 0,7/1 = 0,7;$$

$$Kзп = 0,5/1 = 0,5.$$

Полученные расчётные значения коэффициентов загрузки оборудования по базовому и проектному вариантам применим в дальнейших расчётах.

#### **4.4 Расчёт заводской себестоимости вариантов технологии**

Выполнение контактной точечной сварки предполагает расходование материалов, к которым следует отнести сварочные электроды, сжатый воздух

и техническую воду. Затраты на сварочные материалы вычисляем с учётом нормы расходов  $H_p$ , цены материалов  $Ц_m$  и коэффициента  $K_{tz}$  транспортно-заготовительных расходов по формуле:

$$M = Ц_m \cdot H_p \cdot K_{tz}, \quad (7)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$З_{мб} = З_{мпр} = 7,4 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата  $З_{осн}$  рассчитывается с учётом ранее определённого штучного времени  $t_{шт}$  и часовой тарифной ставки  $C_ч$  с учётом коэффициента  $K_d$  доплат к заработной плате:

$$З_{осн} = t_{шт} \cdot C_ч \cdot K_d. \quad (8)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$З_{осн.баз.} = 0,06 \cdot 200 \cdot 1,88 = 22,6 \text{ руб.};$$

$$З_{осн.проектн.} = 0,04 \cdot 200 \cdot 1,88 = 15,0 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата  $З_{доп}$  рассчитывается с учётом коэффициента дополнительных доплат  $K_{доп}$  по ранее определённому значению основной заработной платы  $З_{осн}$ :

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot K_{доп} / 100. \quad (9)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$З_{доп.базов.} = 22,6 \cdot 12 / 100 = 2,7 \text{ руб.};$$

$$З_{доп.проектн.} = 15,0 \cdot 12 / 100 = 1,8 \text{ руб.}$$

Размер фонда заработной платы  $\Phi ЗП$  рассчитывается как сумма основной заработной платы  $З_{осн}$  и дополнительной заработной платы  $З_{доп}$ :

$$\Phi ЗП_{базов.} = 22,6 + 2,7 = 25,3 \text{ руб.};$$

$$\Phi ЗП_{проектн.} = 15,0 + 1,8 = 16,8 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды  $O_{сн}$  рассчитываются исходя из ранее определённого объёма фонда заработной платы по проектному и базовому вариантам технологии с учётом коэффициента  $K_{сн}$  отчислений на социальные нужды по формуле:

$$O_{сн} = \Phi ЗП \cdot K_{сн} / 100. \quad (10)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$O_{сн\text{ баз.}} = 25,3 \cdot 34 / 100 = 8,6 \text{ руб.};$$

$$O_{сн\text{ проектн.}} = 16,8 \cdot 34 / 100 = 5,7 \text{ руб.}$$

Для вычисления затрат на оборудование  $Z_{об}$  необходимо определить амортизационные отчисления  $A_{об}$  и затраты на электрическую энергию  $P_{э}$ :

$$Z_{об} = A_{об} + P_{э}. \quad (11)$$

Амортизационные отчисления рассчитываются исходя из нормы амортизации  $H_a$ , эффективного фонда времени  $F_э$ , цены оборудования  $C_{об}$  и машинного времени  $t_{маш}$  с использованием формулы:

$$A_{об} = \frac{C_{об} \cdot H_a \cdot t_{МАШ}}{F_э \cdot 100}. \quad (12)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$A_{об. баз.} = 1800000 \cdot 19,5 \cdot 0,06 / 4108 / 100 = 5,1 \text{ руб.},$$

$$A_{об. пр.} = 8500000 \cdot 19,5 \cdot 0,04 / 4108 / 100 = 16,1 \text{ руб.}$$

Расчётное определение затрат на электрическую энергию, необходимую для операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам проводим с учётом цены электрической энергии  $C_{э}$ , установленной мощности оборудования  $M_{уст}$  и коэффициента полезного действия КПД оборудования с использованием формулы:

$$P_{\text{ээ}} = M_{\text{уст}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot Ц_{\text{ээ}} / КПД. \quad (13)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$P_{\text{ээ баз}} = 120 \cdot 0,06 \cdot 3,2 / 0,7 = 32,9 \text{ руб.},$$

$$P_{\text{ээ пр}} = 100 \cdot 0,04 \cdot 3,2 / 0,7 = 18,3 \text{ руб.}$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$Зоб_{\text{баз.}} = 5,1 + 32,9 = 38,0 \text{ рублей}$$

$$Зоб_{\text{проектн.}} = 16,1 + 18,3 = 34,4 \text{ рублей}$$

Вычисление технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$  проводим по ранее определённым затратам на фонд заработной платы  $\Phi ЗП$ , материалы  $M$ , оборудование  $З_{\text{об}}$  и отчислений на социальные нужды  $O_{\text{сс}}$ :

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \Phi ЗП + O_{\text{сс}} + З_{\text{ОБ}} \quad (14)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 7,4 + 25,3 + 8,6 + 38,0 = 79,3 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 7,4 + 16,8 + 5,7 + 34,4 = 64,3 \text{ руб.}$$

Размер цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$  вычислим с учётом ранее определённого значения технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$ , основной заработной платы  $З_{\text{осн}}$  и принятого из таблицы исходных данных коэффициента цеховых расходов  $K_{\text{цех}}$ :

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + З_{\text{осн}} \cdot K_{\text{цех}}. \quad (15)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 79,3 + 1,5 \cdot 22,6 = 79,3 + 33,9 = 113,2 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 64,3 + 1,5 \cdot 15,0 = 64,3 + 22,5 = 86,8 \text{ руб.}$$

Расчёт заводской себестоимости  $C_{зав}$  проводим с учётом ранее определённого значения цеховой себестоимости  $C_{цех}$ , основной заработной платы  $Z_{осн}$  и принятого из таблицы исходных данных коэффициента заводских расходов  $K_{цех}$ :

$$C_{зав} = C_{цех} + Z_{осн} \cdot K_{зав}. \quad (16)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$C_{ЗАВБаз.} = 113,2 + 1,15 \cdot 22,6 = 113,2 + 26,0 = 139,2 \text{ руб.},$$

$$C_{ЗАВПроектн.} = 86,8 + 1,15 \cdot 15,0 = 86,8 + 17,3 = 104,1 \text{ руб.}$$

Сводные данные, которые используются для расчёта заводской себестоимости по проектному и базовому вариантам технологии, представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Исходные данные и расчёт заводской себестоимости

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
«Фонд заработной платы	ФЗП	25,3	16,8
Отчисления на соц. нужды	$O_{осн}$	8,6	5,7
Затраты на оборудование	$Z_{об}$	38,0	34,4
Затраты на материалы	$M$	7,4	7,4
Себестоимость технологич.	$C_{тех}$	79,3	64,3
Расходы цеховые	$P_{цех}$	33,9	22,5
Себестоимость цеховая	$C_{цех}$	113,2	86,8
Расходы заводские	$P_{зав}$	26,0	17,3
Себестоимость заводская» [10]	$C_{зав}$	139,2	104,1

На основании данных в таблице 18 можно выполнить предварительную оценку эффективности предлагаемых технологических решений. Проектная технология характеризуется меньшими по сравнению с базовым вариантом технологической себестоимостью, цеховой себестоимостью и заводской себестоимостью.

#### 4.5 Оценка капитальных затрат по базовой и проектной технологиям

Вычисление капитальных затрат  $K_{\text{общ. б.}}$  при реализации базового варианта технологии выполняем с использованием ранее рассчитанного коэффициента загрузки оборудования  $K_{з. б.}$  и стоимости оборудования  $Ц_{\text{об.б.}}$ , которые были определены для базового варианта технологии:

$$K_{\text{общ. б.}} = Ц_{\text{ОБ.Б}} \cdot K_{з.б.} \quad (17)$$

Расчёт остаточной стоимости оборудования, которое применялось для выполнения операций технологического процесса по базовому варианту, проводим с учётом срока его службы  $T_c$ , рыночной стоимости оборудования  $Ц_{\text{перв}}$  и нормы амортизации  $H_a$ :

$$Ц_{\text{об.б.}} = Ц_{\text{ПЕРВ.}} - (Ц_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$Ц_{\text{ОБ.Баз.}} = 1800000 - (1800000 \cdot 3 \cdot 19,5 / 100) = 747000 \text{ руб.};$$

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 747000 \cdot 0,7 = 522900 \text{ руб.}$$

Величина капитальных затрат  $K_{\text{общ. пр.}}$  на осуществление технологии по проектному варианту определяется с учётом затрат на производственные площади  $K_{\text{пл. пр.}}$ , сопутствующих затрат  $K_{\text{соп}}$  и затрат на оборудование  $K_{\text{об. пр.}}$ :

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{пл. пр.}} + K_{\text{соп.}} \quad (19)$$

Величина капитальных вложений в оборудование  $K_{\text{об. пр.}}$  рассчитывается по цене оборудования  $Ц_{\text{об. пр.}}$  с учётом коэффициента загрузки оборудования  $K_{зп}$  и коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{тз}$ :

$$K_{\text{об. пр.}} = Ц_{\text{об. пр.}} \cdot K_{тз} \cdot K_{зп.} \quad (20)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$K_{\text{об.пр}} = 8500000 \cdot 1,05 \cdot 0,5 = 4462500 \text{ руб.}$$

Величина сопутствующих капитальных затрат  $K_{\text{соп}}$  при реализации проектной технологии может быть рассчитана с учётом расходов  $K_{\text{монт}}$  на монтаж оборудования для выполнения операций по проектной технологии и расходов  $K_{\text{дем}}$  на демонтаж оборудования для выполнения операций по базовой технологии:

$$K_{\text{соп}} = K_{\text{дем}} + K_{\text{монт}}. \quad (21)$$

Величина затрат на демонтаж  $K_{\text{дем}}$  и монтаж  $K_{\text{монт}}$  оборудования вычисляется с учётом стоимости оборудования по базовому и проектному вариантам технологии из таблицы исходных значений:

$$K_{\text{дем}} = C_{\text{об. б.}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (22)$$

$$K_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}}. \quad (23)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$K_{\text{дем}} = 1 \cdot 1800000 \cdot 0,05 = 90000 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{монт}} = 8500000 \cdot 0,05 = 425000 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{соп}} = 90000 + 425000 = 515000 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{общ.пр.}} = 4462500 + 515000 = 4977500 \text{ руб.}$$

Объём дополнительных капитальных затрат для организации производства по осуществлению проектного варианта технологии вычисляем как:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб.}} \quad (24)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$K_{\text{доп}} = 4977500 - 522900 = 4454600 \text{ руб.}$$

Удельные капитальные вложения  $K_{уд}$  для базового и проектного вариантов технологического процесса рассчитываем с учётом величины годовой программы  $П_{Г}$  как:

$$K_{уд} = \frac{K_{общ.}}{П_{Г}}, \quad (25)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$K_{удБаз.} = 522900/50000 = 10,5 \text{ руб./ед.};$$

$$K_{удПроектн.} = 4977500/50000 = 99,6 \text{ руб./ед.}$$

Полученные расчётные значения удельных капитальных вложений по базовому и проектному вариантам применим в дальнейших расчётах.

#### 4.6 Расчёт показателей экономической эффективности

Снижение трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$ , которое получается при реализации проектного технологического процесса вычисляется по штучному времени по базовому варианту технологии  $t_{шт.б.}$  и штучному времени по проектному варианту технологии  $t_{шт.пр.}$ :

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПР}}{t_{штБ}} \cdot 100\% \quad . \quad (26)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$\Delta t_{шт} = \frac{0,06 - 0,04}{0,06} \cdot 100\% = 33\%$$

Повышение производительности труда  $П_{Г}$ , которое получается при реализации проектного технологического процесса, вычисляется по рассчитанному ранее снижению трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$ :

$$П_{Г} = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} \quad . \quad (27)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$P_T = \frac{100 \cdot 33}{100 - 33} = 49\%$$

Снижение технологической себестоимости  $\Delta C_{\text{тех}}$ , которое получается при реализации проектного технологического процесса, вычисляется по ранее определённым технологической себестоимости базового и проектного вариантов:

$$\Delta C_{\text{тех}} = (C_{\text{тех.б.}} - C_{\text{тех.пр.}}) \cdot 100\% / C_{\text{тех.б.}}, \quad (28)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$\Delta C_{\text{тех}} = (79,3 - 64,3) \cdot 100\% / 79,3 = 19 \%$$

Условно-годовая экономия (ожидаемая прибыль) рассчитывается согласно:

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left( C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot P_T \cdot \quad (29)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (139,2 - 104,1) \cdot 50000 = 17550000 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений вычисляем как:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\text{Э}_{\text{у.г.}}} \cdot \quad (30)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$T_{\text{ок}} = 4454600 / 17550000 = 0,3 \text{ года}$$

Годовой экономический эффект  $\text{Э}_T$ , который получается при реализации проектного технологического процесса, вычисляется как

$$\text{Э}_T = \text{Э}_{\text{у.г.}} - E_n \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$\text{ЭГ} = 17550000 - 0,33 \cdot 4454600 = 16979000 \text{ руб.}$$

Таким образом, рассчитанный экономический эффект составляет порядка 17 млн. рублей в год.

### Выводы по экономическому разделу

По базовому варианту технологии сварка выполняется с применением подвесных сварочных клещей, оснащённых источником питания переменного тока промышленной частоты. Недостатками базовой технологии являются:

- низкая стабильность качества выполняемых сварных соединений (пропуски и смещения точек, выплески и непровары);
- малая производительность сварки;
- значительные финансовые затраты на обеспечение безопасности персонала.

Доказан положительный технологический эффект при использовании инверторного источника питания в случае сварки двухфазных сталей, который объясняется особенностями протекания электрических процессов в системе «машина-деталь».

В ходе проведения экономических расчётов установлено, что трудоёмкость выполнения операций технологического процесса уменьшилась на 33 %, а производительность труда увеличилась 49 %. За счёт снижения сопутствующих расходов и расходов на заработную плату технологическая себестоимость уменьшается на 19 %. Условно-годовая экономия при реализации проектного варианта технологии составляет 17,5 млн. рублей.

Годовой экономический эффект с учётом капитальных вложений составляет 17,0 млн. рублей. Затраты на внедрение проектной технологии окупятся за 0,3 года.

## Заключение

Цель настоящей выпускной квалификационной работы – повышение эффективности контактной точечной сварки деталей кузова автомобиля из стали повышенной прочности DP 600.

Проведённый обзор источников научно-технической информации подтвердил перспективность применения сталей повышенной прочности для изготовления деталей кузова автомобиля. Однако для этого требуется изменение технологии сварки, выбор оптимальных параметров режима, поиск перспективных источников питания.

Выполнен обзор инверторов для контактной точечной сварки, на основании которого предложено строить системы автоматического управления контактной сваркой с использованием в качестве параметра обратной связи величины тока во вторичном контуре.

Доказан положительный технологический эффект при использовании инверторного источника питания в случае сварки двухфазных сталей, который объясняется особенностями протекания электрических процессов в системе «машина-деталь».

Экспериментально установлено, что применение циклограммы сварки с подогревающим импульсом тока позволяет избежать образования горячих трещин в приповерхностном слое металла.

Изучение особенностей технологического процесса автоматической сборки и сварки изделия позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы.

Внедрение результатов выпускной квалификационной работы в производство позволит получить годовой экономический эффект в размере 17,0 млн. рублей.

На основании вышеизложенного следует считать поставленную цель достигнутой.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Анциборов А. Н., Климов А. С., Климов В. С., Кудинов А. К. Контроль состояния вторичных контуров контактных машин в условиях массового производства // Сварочное производство, 2019. № 6. С. 20–25.
3. Гаврилова В. Г., Помазков М. В., Караваева Н. Е. Анализ возможности применения различных материалов для изготовления деталей кузовов в практике автомобилестроения // Вісник Приазовського державного технічного університету. 2015. Вып. 31. С. 42-50.
2. Гаибназарова З. Т. Тенденция развития мировой и отечественной автомобильной промышленности в современных условиях // Экономика и финансы (Узбекистан). 2021. № 5. С. 2-11.
4. Голубчик Э. М., Тарасов П. С. Исследование влияния параметров дрессировки на механические свойства металлопроката из высокопрочных двухфазных микролегированных сталей // Качество в обработке материалов. 2016. № 2. С. 27-32.
5. Голубчик Э. М., Тарасов П. П. Оценка влияния химического состава на механические свойства металлопроката из высокопрочных двухфазных микролегированных сталей // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2016. С. 51-57.
6. Горбунов Ю. А. Применение изделий из алюминиевых сплавов при производстве и ремонте наземного и водного транспорта в РФ // Технология лёгких сплавов. 2015. № 1. С. 87-92.
7. Горин А. Д., Чистяков И. П. Техничко-економическое обоснование применения улучшенных сталей повышенной прочности (AHSS) в конструкции кузова автомобиля 2116 // Исследовательский центр, ОАО «АВТОВАЗ», 2005. 72 с.
8. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.

9. Климов А.С., Смирнов И.В., Кудинов А. К. Основы технологии и построения оборудования для контактной сварки. СПб. : Лань, 2021. 336 с.
10. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
11. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
12. Никифоров Б. А., Салганик В. М., Денисов С. В. Основание производства высокопрочного проката для автомобилестроения в ОАО «ММК» // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. 2006. № 4. С. 41-45.
13. Патент № 4792656 США, МПК В23К11/24. Inverter-type resistance welding machine; Заявл. 11.09.1987; Оpubл. 20.12.1988.
14. Патент № 4910375 США, МПК В23К11/24. Inverter-type resistance welding machine; Заявл. 10.09.1987; Оpubл. 20.03.1990.
15. Патент № 4973815 США, МПК В23К11/24. Resistance welder using an inverter; Заявл. 2.10.1989; Оpubл. 27.11.1990.
16. Патент № 5196668 США, МПК В23К11/24. DC resistance welding apparatus; Заявл. 12.03.1992; Оpubл. 23.03.1993.
17. Патент № 5570254 США, МПК В23К11/24. Method and device for preventing excessive currents in a welding converter; Заявл. 15.10.1992; Оpubл. 29.10.1996.
18. Патент № 5938947 США, МПК В23К11/24. Method of controlling welding current and inverter-controlled DC resistance welding apparatus; Заявл. 27.01.1998; Оpubл. 17.08.1999.
19. Патент № 6046424 США, МПК В23К11/24. Resistance welding control apparatus; Заявл. 23.05.1999; Оpubл. 4.04.2000.
20. Патент № 6586701 США, МПК В23К11/24. Resistance welding method and device; Заявл. 27.09.2001; Оpubл. 31.01.2002.
21. Поляков А. Ю., Фурманов С. М., Федотов Б. В. Экспериментальное определение энергетических параметров процесса контактной рельефной

сварки // Вестник Белорусско-Российского университета. 2017. № 1. С. 74–84.

22. Сахно Л. И. Сахно О. И. Фёдоров П. Д. Влияние трансформатора на электропотребление инверторного источника питания машины контактной сварки // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2017. № 4. С. 181-190.

23. Сахно Л. И. Сахно О. И. Фёдоров П. Д. Разработка схемы замещения инверторного источника питания машины контактной сварки // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2017. № 2. С. 91-100.

24. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. Санкт-Петербург : Лань, 2021. 268 с.

25. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.

26. Терехов А.А. Повышение пластичности сварных соединений TRIP-стали с использованием дополнительного импульса нагрева при контактной точечной сварке // Машиностроение и компьютерные технологии. 2013. № 4. С. 41-52.

27. Тешабоев У. М. Новые тенденции развития автомобилестроения // Universum: технические науки. 2012. № 10. С. 33-36.

28. Титов В. В. Стальной прокат для автомобильной промышленности за рубежом // Национальная металлургия. 2004. № 5. С. 84-89.

29. Фалалеев А. П. Влияние сварочных операций на прочностные свойства двухфазных сталей // Вестник Самарского государственного технического университета. 2012. №4. С. 144-149.

30. Филиппов М. А., Ямщиков А. В. Новые материалы и технологии для автомобилестроения // Урал индустриальный. Бакунинские чтения. Индустриальная модернизация Урала в XVIII-XXI вв. : материалы XI Всероссийской научной конференции, Екатеринбург, 26-27 сентября 2013 г. Екатеринбург: УМЦ УПИ, 2013. Том 2. С. 263-269.

31. Фридляндер И. Н., Сандлер В. Г., Грушко О. Е. Алюминиевые сплавы – перспективный материал в автомобилестроении // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2002. № 9. С. 3–9.
32. Чулошников, П. Л. Контактная сварка / П.Л. Чулошников. – М.: Машиностроение, 1987. – 176 с.
33. Шахпазов Е. Х., Родионова И. Г. Развитие проката повышенной прочности для автомобилестроения // *Проблемы черной металлургии и материаловедения*. 2007. № 1. С. 47-52.
34. Шереверов, В.И. Серийный микропроцессорный контроллер контактной сварки ККС–01 / В.И. Шереверов, С.А. Бухтин, А.Г. Лившиц // *Сварочное производство*. – 1988. – № 11. – С. 23–24.
35. Gedeon S. A., Sorensen C. D., Ulrich K. T., Eagar T. W. Measurement of dynamic electrical and mechanical properties of resistance spot welding // *Welding Journal*. 1987. № 12. P. 378–385.
36. Khan M. I., Kuntz M. L., Biro E. Microstructure and Mechanical Properties of Resistance Spot Welded Advanced High Strength Steels // *Materials transactions .The Japan Institute of Metals and Materials*, 2008. № 7. P. 1629-1637.
37. Maggi S., Scavino G. Fatigue characterization of automotive steel sheets // 11th international Conference on Fracture. Vol. 1. Torino, Italy, 2005. P. 522-1-522-6.
38. Shi G., Westgate S.A. Techniques for improving the weldability of TRIP steel using resistance spot welding // 1st International Conference Super-High Strength Steels. Rome, Italy, 2-4 November 2005.
39. Tang H., Hou W., Hu S. J. Influence of Welding Machine Mechanical Characteristics on the Resistance Spot Welding Process and Weld Quality // *Welding Journal*. 2003. № 5. P. 116–124.