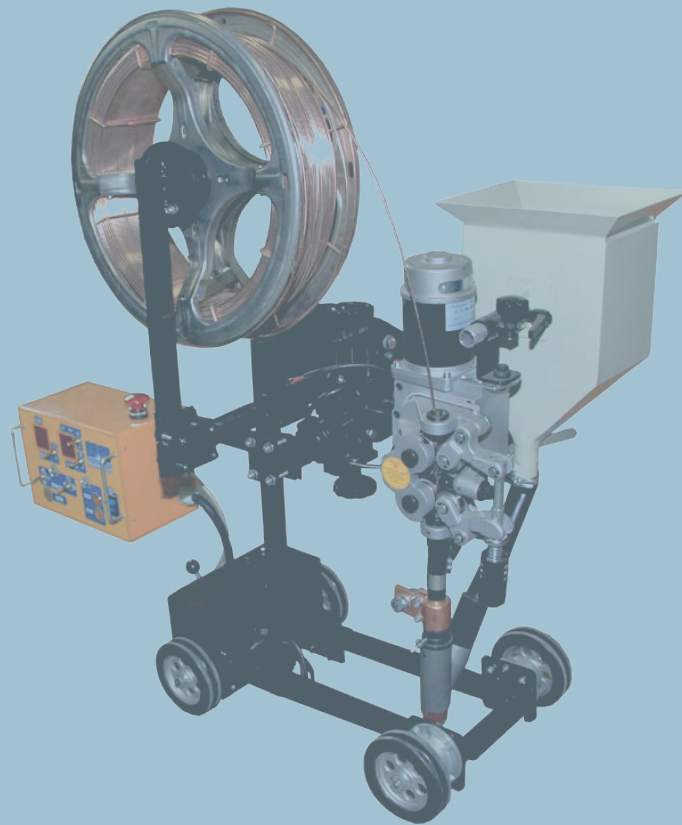
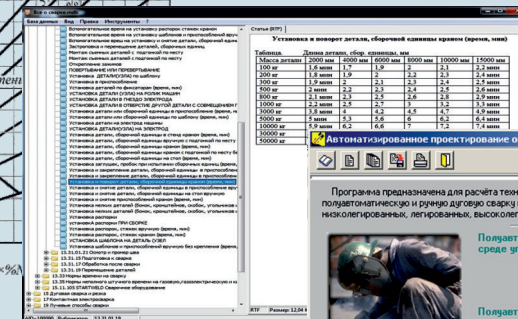
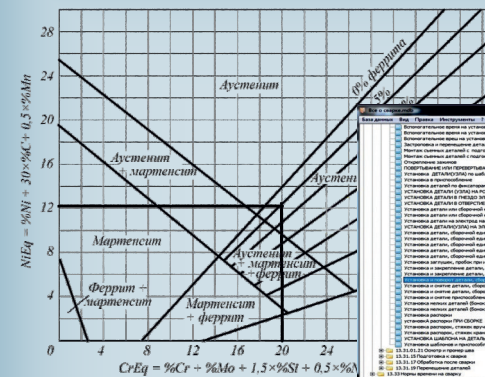


Казаков С. И., Бородин А. Л.



ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДУГОВОЙ СВАРКИ С ВЫБОРОМ ОБОРУДОВАНИЯ И СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СВАРКИ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Учебное пособие



ISBN 978-5-4217-0746-2

9 785421 707462

Курганский государственный университет



Библиотечно-издательский центр
65-48-12

Разраб.	Иванов Р.П.																			
Нормир.	Петров А.Л.																			
Н.контр	Сидоров О.Г.																			
Утв																				
Технологическое и техническое обеспечение изготовления вертикально-цилиндрического резервуара 3000 м ³ (цеховые работы)																				
Опер	цех	Рм	код	наименование	Обозначение документа															
№ п п	Код	Наименование операции			Оборудован.	Приспособле-ния	Время, мин	1св. А	Уд. В	1св. В	1св. М	1св. С	1св. Д	1св. Е	1св. Ж	1св. З	1св. И	1св. К	1св. Л	1св. М
000	Т	Транспортная 1. Подать листы на установку для подготовки и предварительной сборки карт в пояс резервуара			Кран мостовой Q=40т		15													
Технологическое и техническое обеспечение изготовления вертикально-цилиндрического резервуара 3000 м ³																				
005	С6	Сборочная 1.Собрать на прихватки карты в			Сварочный полуавтомат			160-	22-	15-									Сварочная	230,1

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

Казаков С. И., Бородин А. Л.

**ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИИ ДУГОВОЙ СВАРКИ С ВЫБОРОМ
ОБОРУДОВАНИЯ И СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ СВАРКИ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Учебное пособие

Курган 2026

ББК 34.641я73
УДК 621.791(075.8)
К 14

Рецензенты:

Акционерное общество «Курганский машиностроительный завод» главный сварщик Сергей Федосеевич Тарасов;

ООО «Курганский центр аттестации», член Саморегулируемой организации «Ассоциация «Национальное Агентство Контроля Сварки», директор Гончаров Виктор Александрович.

Печатается по решению методического совета Курганского государственного университета.

Казаков С. И.

Оценка технологичности и проектирование технологии дуговой сварки с выбором оборудования и сварочных материалов для сварки стальных изделий / С. И. Казаков, А. Л. Бородин. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2026. – 104 с.

В учебном пособии рассматриваются комплексный подход к разработке технологических процессов дуговой сварки. Представлены оценка технологичности, выбор оптимального способа сварки с учетом свариваемости и образования холодных и горячих трещин, подбор оборудования и инструмента, вспомогательных и сварочных материалов с расчетом потребности на единицу продукции, расчет норм времени. Для расчетов представлены оригинальные компьютерные программы.

Пособие предназначается для дисциплин: Производство сварных конструкций, машиностроительных производств; Автоматизированное проектирование и производство сварных конструкций; Технологические процессы технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств; Проектирование автомобилей и тракторов; Системы автоматизированного проектирования автомобилей и тракторов; Эксплуатация, ремонт и утилизация автомобилей и тракторов; ВКР (дипломная работа); ВКР (магистерская диссертация) 15.03.01, 15.04.01, 23.03.03, 23.05.01.

ISBN 978-5-4217-0746-2

© Курганский
государственный университет, 2026
© Казаков С. И., Бородин А. Л., 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Рациональное проектирование и технологичность сварных конструкций	5
1.1 Экономия металла.....	7
1.2 Снижение трудоемкости изготовления	7
1.3 Экономия времени	9
1.4 Технология изготовления и автоматизация производства сварных конструкций	10
1.5 Задачи оценки технологичности	13
1.6 Выбор материала	15
1.7 Методы оценки технологичности	16
2 Описание алгоритма и блок-схемы процесса проектирования	19
3 Краткий обзор компьютерных программ, используемых при проектировании технологии дуговой сварки.....	24
3.1 Программа анализа тепловых процессов при дуговой сварке.....	24
3.2 Программа выбора оптимального варианта сварного соединения при дуговой сварке сталей (ArcWeldingPro) [3]	25
3.3 Программа анализа склонности сталей к образованию горячих трещин	26
3.4 Информационно-поисковая система по вопросам сварки (brw2015)	27
4 Изучение особенностей сварной конструкции	29
4.1 Изучение механических свойств основного металла, его химический состав и технологические особенности	29
4.2 Оценка свариваемости конструкционных углеродистых и низколегированных сталей	30
5 Выбор способа дуговой сварки плавлением и расчет режимов сварки ..	32
5.1 Расчет режимов сварки	32
5.2 Последовательность расчета	33
5.3 Окончательный выбор способа и режима сварки	42
6 Оценка склонности легированных сталей к образованию горячих трещин.....	45

7	Оценка склонности к межкристаллитной коррозии высоколегированных коррозионностойких сталей	50
8	Выбор сварочных материалов и оценка механических свойств металла шва.....	55
9	Выбор основного сварочного оборудования для дуговой сварки сталей	61
10	Нормирование расхода сварочных материалов	78
10.1	Методика расчета норм расхода материалов при сварке металлов	78
10.2	Методика расчета нормативов расхода сварочных материалов..	79
10.3	Сварка под флюсом	80
10.4	Сварка в углекислом газе и его смесях	81
10.5	Ручная дуговая сварка	82
11	Нормирование трудоемкости изготовления сварной конструкции.....	84
11.1	Состав технической нормы времени дуговой сварки.....	84
11.2	Методические указания по использованию нормативов норм времени на сборочно-сварочные работы	89
12	Проектирование технологических процессов в режиме диалога	91
12.1	Проектирование операций дуговой сварки в защитных газах	92
12.2	Пример проектирования операции дуговой сварки в среде защитных газов	95
13	Оформление технологических процессов сборочно-сварочных работ.....	98
	Библиографический список	102

1 РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Задача создания оригинальных машин или механизмов, предназначенных для выполнения каких-либо новых функций или известных функций, но новым способом, в практике проектирования встречается довольно редко. В большинстве случаев создаваемая конструкция представляет собой итог работы проектировщиков нескольких поколений. Тем не менее всякое вновь проектируемое изделие имеет элемент оригинальности. Разнообразие назначений, форм и размеров сварных конструкций, а также прогресс техники и технологии не позволяют конструктору просто повторять готовые решения. Поэтому проектирование – творческая задача, не исключая разумной конструктивной преемственности. Оптимальными являются такие конструктивные формы, которые отвечают служебному назначению изделия, обеспечивают надежную работу в пределах заданного ресурса, позволяют изготовить изделие при минимальных затратах материалов, труда и времени. Эти признаки определяют понятие *технологичности конструкции*. Кроме того, необходимо, чтобы конструкция отвечала требованиям технической эстетики. Эти требования должны соблюдаться на всех стадиях проектирования конструкции и в процессе ее изготовления.

На этапе *эскизного проектирования* выявляют принципиальную возможность обеспечения заданных служебных свойств изделия при различных вариантах конструктивного оформления и оценивают их технологическую целесообразность.

Генеральное конструктивное оформление обычно предопределяется предшествующим опытом создания изделий данного типа. Напротив, выбор формы и размеров отдельных элементов конструкции определяется параметрами и особенностями данной проектируемой машины. При проектировании этих элементов одновременно с выбором материала и метода получения заготовок конструктор назначает расположение сварных соединений, их тип и способ сварки. Таким образом, основные вопросы технологичности сварных конструкций решаются уже на первом этапе проектирования путем умелого использования богатых возможностей компоновки из отдельных заготовок и применения наиболее прогрессивных приемов изготовления с помощью сварки.

Технолог не в состоянии эффективно использовать передовую технологию там, где конструкция разработана без учета технологичности. Поэтому на всех стадиях проектирования сварной конструкции при отработке технологичности конструктивных решений обязательно участие технологов-сварщиков, которое обеспечивается как через технологические отделы конструкторских бюро, так и путем согласования с отделом главного сварщика.

На стадии *технического проекта* конструкции всех основных узлов и наиболее трудоемких деталей обычно разрабатывают в нескольких вариантах, которые затем сравнивают по их технологичности и надежности в эксплуатации. В случае необходимости производят расчеты трудоемкости изготовления, металлоемкости и других показателей. Не всегда удается изыскать вариант, существенно превосходящий все другие. Тогда выбор производят на основании того показателя, который в данном случае является решающим.

На этапе *рабочего проектирования* производят детальную технологическую проработку принятого варианта конструкции. В первую очередь прорабатывают чертежи и технические условия на крупные заготовки, в особенности поставляемые извне, затем чертежи всех основных узлов и деталей и технические условия на их изготовление, сборку, монтаж и испытания. Рабочие чертежи направляют в отдел главного сварщика. Здесь при разработке рабочей технологии спроектированной конструкции выявляют недостатки, связанные в основном с выбором материалов (по их свариваемости), видов заготовок, размеров швов и характера подготовки кромок, припусков на механическую обработку, допусков формы и размеров, методов контрольных операций. Необходимые изменения по согласованию с конструктором вносят в чертежи и технологическую документацию до запуска изделия в производство. В ряде случаев при создании принципиально новых типов сварных конструкций, а также при освоении новых материалов или сварочных процессов к решению наиболее сложных вопросов привлекают научно-исследовательские организации.

На стадии проектирования работа по улучшению технологичности обычно проводится в основном по трем направлениям.

1.1 Экономия металла

Поиск наилучших конструктивных форм, возможно более точный учет характера и значений действующих нагрузок, применение уточненных методов расчета позволяют конструктору экономить металл, устраняя излишний запас прочности, уменьшая массу металла, слабо участвующего в работе. Целесообразно вместо пространственных решетчатых конструкций использовать оболочковые; требования высокой жесткости удовлетворять, применяя гнутые или гофрированные тонколистовые, а также сотовые элементы; при работе на продольную устойчивость использовать трубчатые элементы. Выбор металла открывает большие возможности снижения массы изделия. Наибольшая экономия металла может быть получена при использовании прочных и высокопрочных сталей и сплавов с высокой удельной прочностью (алюминиевых, титановых). Снижению массы изделия способствует также применение более прочных холоднокатаных элементов вместо горячекатаных. Повышение прочности, а следовательно, и снижение массы изделия достигается термообработкой. Однако повышение прочности металла нередко сопровождается ухудшением его свариваемости или снижением сопротивления разрушению. Поэтому экономия металла за счет повышения его прочности целесообразна только при учете этих факторов. Большие перспективы имеет применение композиционных материалов, например, двухслойных сталей.

При использовании листового проката одним из показателей технологичности разработанной конструкции и технологии ее изготовления является *коэффициент использования металла* листа при раскрое как отношение площади вырезанных деталей (заготовок) к общей площади использованного прокатного листа.

1.2 Снижение трудоемкости изготовления

В этом плане важным является выбор размеров и метода получения заготовок, а также приемов их сварки. При проработке конструктивной схемы и ориентировочном подсчете размеров сечений еще не имеет существенного значения, будет ли конструкция монолитной или сварной. Вопросы, непосредственно связанные со сваркой, возникают при *членении*

изделия на отдельные заготовки. Намечая расположение сварных соединений, проектировщик не только задает форму и размеры отдельных заготовок, а в значительной степени предопределяет решение ряда конструктивных и технологических вопросов, таких, как методы получения заготовок, типы соединений, приемы сварки и т. д. Поэтому выбор варианта расчленения весьма важен с точки зрения его влияния на технологичность конструкции.

При проектировании уникальных изделий большого размера и массы членение нередко является единственно возможным решением задачи, так как изготовить их целиком не позволяет недостаточная мощность существующего оборудования. При членении сложных деталей желательно сочетать простоту форм отдельных заготовок с рациональным расположением сварных соединений. Так, например, цельнолитую сложную стальную отливку большого размера приходится формовать в полу цеха с большими затратами ручного труда. Переход к сварному варианту из небольших простых литых заготовок позволяет применить машинную формовку и значительно сократить трудоемкость. Нередко условия нагружения различных частей сварной конструкции различаются весьма заметно. В этом случае целесообразно выбирать материалы и методы получения заготовок с учетом различия требований к механическим свойствам отдельных частей.

При выборе метода сварки конструктор должен учесть свариваемость металла заготовок, назначить тип соединения и обеспечить удобство выполнения сборочно-сварочных операций. Доставка крупных сварных изделий к месту эксплуатации целиком нередко оказывается невозможной или нецелесообразной. В этом случае часть сварочных операций выполняют при монтаже. Подход к выбору метода сварки и конструктивному оформлению соединений для заводской и монтажной сварки может быть различным. Поэтому размеры элементов и места расположения монтажных швов назначают одновременно с выбором метода сварки. Выбор метода сварки обычно включает назначение типа сварного соединения, приемов его выполнения и применяемого присадочного металла, а также термообработки, если это необходимо. Эти данные предопределяют механические свойства сварного соединения и значения допускаемого напряжения, что необходимо для выполнения расчетов на прочность.

На стадии рабочего проектирования конструктивное оформление

сварных соединений прорабатывается более детально. На чертежах указываются характер обработки кромок, допуски на размер с учетом припусков на последующую механическую обработку узла или изделия.

Вопросы точности и стабильности размеров конструкции, конечно, не исчерпываются выбором метода сварки. Существенным является учет сварочных деформаций и напряжений, назначение технологических мероприятий по их предотвращению и устранению. Этот круг вопросов решают на стадии рабочего проектирования как с целью обоснования значений допусков и припусков, так и с точки зрения целесообразности проведения термообработки. Многие весьма ответственные изделия вполне надежно работают после сварки без какой-либо термической обработки. С другой стороны, применение термообработки нередко заметно улучшает механические свойства и структуру сварных соединений, способствуя повышению их работоспособности. Неоправданное назначение операции термообработки может существенно увеличить трудоемкость изготовления изделия, в особенности в условиях серийного производства, проводить послесварочную термообработку или отказаться от нее – решают, принимая во внимание химический состав металла, метод сварки и присадочный металл, конструктивное оформление соединений и узлов, требования к механическим свойствам, условия эксплуатации и т. д.

1.3 Экономия времени

Наибольшая экономия времени достигается в условиях непрерывного поточного автоматизированного производства при крупносерийном и массовом выпуске продукции, когда все операции согласованы во времени и выполняются механизмами. Следовательно, при проектировании сварных изделий конструктор должен обеспечить эффективность их изготовления с помощью высокопроизводительных механизмов и автоматических устройств. Однако доля сварных конструкций, изготавливаемых в условиях серийного и массового производства, относительно невелика. В мелкосерийном производстве эффективно использовать поточные методы изготовления позволяют *типизация* и *нормализация*. Важно осуществить рациональный выбор системы конструкции и размерных ее параметров.

Изыскание прогрессивных конструктивных форм и технологий позволяет проектировщику ограничить количество типоразмеров и тем самым

увеличить серийность выпускаемых изделий. Рассмотрим решение этих вопросов на примере стропильных ферм, серийному производству которых препятствует большое число типоразмеров и множество коротких различно ориентированных швов, а также необходимость кантовки под сварку уже собранной фермы. В настоящее время разработана типовая конструкция стропильной фермы из минимального числа деталей. Типоразмеры различаются по размерам сечений элементов при сохранении неизменными длины фермы $L=12$ м и высоты $A=1,5$ м. Компоновки из таких ферм позволяют сооружать перекрытия пролетом более 12 м. Это позволяет увеличить выпуск таких типовых ферм до 400000 шт. в год, что обеспечивает возможность перехода к их крупносерийному производству. Кроме того, ограниченное число деталей, их легкая сборка, возможность использования точечной контактной сварки, не требующей кантовки фермы, — все это позволяет организовать производство ферм в условиях автоматической поточной линии.

В случае, когда увеличить серийность выпуска изделия не удастся и изготовление конструкции предполагается в условиях мелкосерийного производства, конструктору следует так подбирать типоразмеры узлов и элементов, чтобы они соответствовали формам и размерам нормализованной технологической оснастки.

1.4 Технология изготовления и автоматизация производства сварных конструкций

Исходными данными для проектирования технологического процесса изготовления сварной конструкции являются чертежи изделия, технические условия и планируемая программа выпуска.

Чертежи содержат данные о материале заготовок, их конфигурации, размерах, типах сварных соединений – решения, которые были приняты конструктором в процессе проектирования изделия и должны быть приняты к исполнению технологом. Технолог не имеет права вносить изменения в чертежи. Поэтому любому отклонению от чертежа должно предшествовать его исправление конструктором.

Технические условия (ТУ) на изготовление определенного типа конструкций содержат перечень требований, которые предъявляются к мате-

риалам, оборудованию и выполнению технологических и контрольных операций. ТУ кратко излагают опыт проектирования, изготовления и эксплуатации, накопленный в данной отрасли производства. Поэтому при проектировании технологических процессов обязательно соблюдение требований ТУ. Отклонение от них в каждом отдельном случае должно быть достаточно обосновано.

Программа выпуска содержит сведения о числе изделий, которые надо изготовить в течение конкретного срока (например, за год). Эти цифры служат основанием для выбора оборудования, технологической оснастки и средств механизации и автоматизации. Кроме того, по программе выпуска производят оценку экономической эффективности этого выбора. Производственный процесс изготовления изделий включает различные технологические, контрольные и транспортные операции. Главное требование, определяющее последовательность выполнения этих операций, их содержание и обеспечение оснасткой, – выполнение заданной программы выпуска изделий высокого качества в кратчайшие сроки при минимальной стоимости.

Последовательность выполнения основных сборочно-сварочных операций определяется выбором варианта членения конструкции на технологические узлы, подузлы и отдельные детали. Оптимальность такого членения определяется следующими соображениями.

1 На монтажной площадке условия труда, возможности применения высокопроизводительной оснастки и средств контроля качества менее благоприятны, чем на заводе. Поэтому изделия большого габарита целесообразно расчленять на такие транспортабельные узлы, которые позволят свести к минимуму работы на монтаже.

2 С позиции доступности сварных соединений, удобства их выполнения и последующего послеоперационного контроля сборочно-сварочные работы целесообразно выполнять путем последовательного укрупнения отдельных элементов в подузлы и узлы с последующей сборкой всего изделия. Такое чередование сборочных и сварочных операций облегчает использование высокопроизводительной сварочной оснастки, но при малой жесткости отдельных узлов может приводить к росту деформаций от сварки.

3 Для оценки ожидаемых сварочных деформаций и выбора рацио-

нальной последовательности сборочно-сварочных операций следует пользоваться расчетными методами.

4 Требуемую точность размеров и формы сварного изделия следует обеспечивать рациональным построением технологического процесса и применением правочных работ на стадии заготовки элементов и сборки и сварки отдельных узлов. Правка готового изделия является, как правило, крайне трудоемкой.

5 Термообработка всей конструкции может существенно усложнить процесс изготовления, особенно в условиях серийного и массового производства. Поэтому в случае необходимости улучшения механических свойств, снятия остаточных напряжений или стабилизации размеров в какой-либо зоне конструкции выгоден такой выбор последовательности сборки и сварки, который позволяет производить местную или предварительную термообработку отдельных подузлов или деталей.

Разработка технологии имеет целью обеспечить оптимальные условия выполнения каждой отдельной операции и всего процесса в целом. Так как для разных типов сварных конструкций представления об оптимальности технологического процесса могут сильно отличаться, то соображения о рациональном построении процесса изготовления будут подробно рассматриваться в главах, посвященных типовым сварным конструкциям. Однако требование экономии ручного труда является общим и с годами приобретает все большую актуальность.

В крайних случаях и в современных условиях различных санкций приходится прибегать к закупкам оборудования за рубежом. В других странах созданию такого оборудования уделяют больше внимания. Это проявляется в слиянии «сварочных фирм с фирмами, производящими станки с программным управлением. Опыт станкостроителей в этой области способствует совершенствованию сварочного оборудования и позволяет находить новые решения. Примером этого может служить создание промышленных роботов. Для сварочного производства применение роботов, по-видимому, послужит основным средством решения проблемы экономии трудовых ресурсов. Универсальность роботов позволяет организовывать проектирование и изготовление их в специализированных организациях крупными сериями. Применение роботов при производстве сварных изделий может избавить от необходимости для каждой автоматической линии проектирова-

ния и изготовления сложного специализированного оборудования. В серийном, а тем более мелкосерийном производстве универсальность роботов оказывается особенно полезной благодаря относительной простоте перехода от производства одного типоразмера изделия к другому.

Эффективность технологической линии, обслуживаемой устройствами, автоматически выполняющими отдельные операции, может быть существенно повышена с помощью ЭВМ. На их основе создают системы группового управления большим числом механизмов для автоматизации не только основных, но и вспомогательных операций. Путем введения *обратных связей* система группового управления с центральной ЭВМ позволяет организовать контроль качества выполнения технологических операций с компенсацией возникающих искажений технологических режимов. Возможна также организация оперативного контроля состояния оборудования с целью повышения надежности работы линии. Например, перераспределение функций вышедшего из строя робота между остальными роботами позволяет проводить его ремонт без остановки линии, лишь несколько снизив ее производительность. Применение группового управления агрегатами с помощью ЭВМ отражает один из основных принципов использования автоматических систем управления (АСУ) – обеспечение полной и эффективной автоматизации процессов производства.

1.5 Задачи оценки технологичности

Технологичность сварных конструкций – это свойство, определяющее возможность ее изготовления с минимальными трудовыми затратами (минимальными трудоемкостью, расходом материала и себестоимостью) методами прогрессивной технологии в соответствии с требованиями проекта по качеству. При этом должен быть обеспечен количественный выпуск в определенные сроки. Следовательно, технологичность зависит от лучшего использования конструкторских и технологических резервов, связанных с повышением технико-экономических показателей изготовления и качества изделий без нарушения технических требований.

Отработка технологичности конструкции является непрерывным процессом, который начинается с эскизного проекта и продолжается на всех стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации как опытных, так и серийных образцов конструкции.

В процессе изготовления технологичность сварной конструкции оценивают по сравнительной величине материальных и трудовых затрат на ее изготовление. В процессе эксплуатации наиболее технологичной будет такая конструкция, которая при заданной надежности, имеет минимальное число отказов и требует минимальных затрат на восстановление и обслуживание.

Опыты отечественной и зарубежной промышленности показали, что около 75 % эффективности технологичности закладывается на этапе проектирования.

Технологичность конструкций в значительной степени зависит от масштаба выпуска и от типа производства. Конструкция высокотехнологичная для одного масштаба выпуска может оказаться нетехнологичной для другого. Технологичность конструкций необходимо рассматривать как комплексную задачу, учитывающую требования ко всем элементам производственного процесса, начиная от изготовления заготовок деталей и кончая сборкой и испытанием готового изделия, исходя из передового опыта и наиболее высокого технического уровня, достигнутого в данной отрасли производства.

Технологичность отдельных деталей и узлов должна быть увязана со всем изделием в целом. Улучшение их технологичности без взаимосвязи с технологичностью всего изделия может вызвать необходимость проведения изменений, которые ухудшат всю конструкцию.

Большое значение в улучшении технологичности имеет выбор металла для изготовления конструкции. Металл должен обладать достаточной прочностью, иметь минимальный вес и легко свариваться. Для этого необходимо применение наиболее рационального сортамента металла, выбор целесообразных заготовок деталей конструкции.

Вес конструкции и трудоемкость ее изготовления зависят от уменьшения веса наплавленного металла, от типа разделок и катетов швов, которые заложены в конструкцию. Экономное расходование металла связано с применением рационального раскроя, при котором отходы минимальны и т. д.

Кроме перечисленных факторов, на технологичность также влияют: точность изготовления деталей, подбор оптимальных конструктивных и технологических баз и размерных цепей, выбор рациональных способов

сварки и мест эксплуатационных и технологических разъемов, нормализация толщин соединяемых материалов, размеров швов, параметров соединений, возможность наибольшей автоматизации процесса и применения стандартного оборудования при высоком качестве сварки и т. д. Решение этих вопросов в каждом случае зависит от конкретных условий и должно вытекать из тщательного анализа всего сложного комплекса условий производства сварных конструкций.

Для лучшего использования всех возможностей, заложенных в сварочной технике, необходимо искать резервы, как в совершенствовании проектирования, так и в улучшении процессов изготовления сварных конструкций. При этом проектирование не должно противопоставляться изготовлению, все вопросы должны решаться во взаимной связи. Рассмотрим некоторые из них.

1.6 Выбор материала

Выбор материала – важный этап проектирования, так как материал оказывает значительное влияние на эксплуатационные качества конструкции, на ее массу и экономичность изготовления. Поэтому материал выбирают с учетом характера эксплуатационных нагрузок (усталостных, ударных, статических), условий работы конструкций (низкие и высокие температуры), вакуума, агрессивной среды, износа и т. д. Важным параметром качества материала является стабильность его свойств – узость интервала в разбросе показателей механических характеристик. Так же, при выборе материала учитывают: свариваемость, первоначальные затраты на материал, технологическую обработку, проведение сварочных операций и т. д.

При расчетах прочности сварных конструкций принимается номинальное значение предела текучести, т. е. нижнее, по которому металлургические заводы поставляют металл. Верхнее значение предела текучести при поставке металла в производство не оговаривается. В то же время, как показал статистический анализ сертификатных данных поставок углеродистых (15000 т) и низколегированных (10000 т) судостроительных сталей, проведенных Г. А. Бельчуком, нижнему пределу текучести соответствует 2–5 % общего количества стали. Только в двух случаях из 25 эта цифра составляла 10–12 %. Как показали расчеты А. И. Лебедева, при увеличении стандартного предела текучести на 2–3 кгс/мм² вес металлоконструкции

может быть уменьшен на 5–10 %, а если принимать предел текучести близким к среднестатистическому, то этот эффект будет еще больше и окупятся потери в металлургической промышленности, связанные с уменьшением выхода годного металла.

Для сварных конструкций целесообразно использовать хорошо сваривающиеся стали. На этапе конструкторского проектирования в первом приближении свариваемость стали может быть определена по эквиваленту углерода $S_{экв}$, который представляет собой число, получаемое суммированием процентного содержания углерода и других упрочняющих элементов через особый для каждого из них коэффициент. Формулы эти носят, как правило, эмпирический характер.

Медь и фосфор учитываются только в случае, если концентрация меди более 0,5 %, а фосфора более 0,05 %. Если при подсчете эквивалента окажется, что $S_{экв} > 0,45-0,55$, то необходим подогрев и тем выше, чем выше $S_{экв}$. Для проведения качественных сварочных работ необходимо определить температуру подогрева $T_{под}$.

Уточненный расчет характеристик нагрева, температуры, скорости охлаждения металла шва и зоны термического влияния, длительности их выдержки в опасном интервале температур производится при выборе режима сварки по компьютерной программе Welding в соответствии с методикой Н. Н. Рыкалина.

1.7 Методы оценки технологичности

Технологичность сварной конструкции оценивается в зависимости от требований, предъявляемых к конструкции по свариваемости, металлоемкости, себестоимости и т. п. Ниже приведены некоторые из методов такой оценки.

Оценка по удельному весу сварной конструкции

Удельный вес сварной конструкции показывает целесообразность выбора основного металла, обеспечивающего необходимые эксплуатационные качества конструкции, возможность применения прогрессивных методов сварки при минимальном весе конструкции:

$$Y_{СТ} = Q_{СТ}/N; \quad Y_{НОВ} = Q_{НОВ}/N; \quad Y_{СТ} > Y_{НОВ}, \quad (1)$$

где Y – удельный вес конструкции старой или новой;

Q – вес конструкции старой или новой;

N – показатель эксплуатации (грузоподъемность, мощность и т. п.).

Рекомендуемая конструкция при тех же показателях эксплуатации должна обладать меньшим весом.

Уменьшение веса сварной конструкции может быть достигнуто:

1 при более широком использовании литосварных, литокованных и комбинированных конструкций;

2 рациональной заменой сталей легкими материалами – алюминиевыми сплавами и т. д.;

3 при применении низколегированных и высокопрочных сталей;

4 более точным расчетом прочности (уменьшение коэффициентов запаса, учет пластических деформаций, применение регулирования усилий и т. д.);

5 применением рациональных конструктивных систем, тонкостенных балочных конструкций;

6 применением прогрессивных профилей: гнутых, штампованных, прессованных, трубчатых;

7 рациональным применением соответствующих способов соединения (замена клепки, сварки плавлением – контактной электрической сварной, пайкой, склеиванием и т. д.);

8 пересмотром допустимых размеров сварных швов, которые в настоящее время часто принимаются завышенными.

Оценка по удельному весу наплавленного металла

Удельный вес наплавленного металла характеризует выбор оптимальных форм сварных соединений, совершенство применяемых видов сварки, затрат сварочных материалов, электроэнергии, а также прочность и долговечность конструкции:

$$Y_{СТ} = Q_{Н.СТ} / Q_{СТ} \cdot 100\%; Y_{НОВ} = Q_{Н.НОВ} / Q_{НОВ} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $Q_{Н}$ – вес наплавленного металла в старой и новой конструкциях.

Для технологичной конструкции $Y_{НОВ} < Y_{СТ}$

Количество наплавленного металла может быть уменьшено:

1 при применении механизированных способов сварки с повышенной глубиной проплавления в соединениях с угловыми швами;

2 при использовании более точных методов расчета сварных соединений;

3 в результате усовершенствования норм, правил, стандартов, и других руководящих материалов, регламентирующих выбор и назначение конструктивных элементов при проектировании металлоконструкции.

При изготовлении металлоконструкций перерасход наплавленного металла может быть ликвидирован, если повысить точность процессов обработки заготовок и деталей, сборки узлов и элементов, общей сборки изделий и конструкций, а также выбрать оптимальный порядок выполнения сварки и повысить точность выполнения сварных соединений.

Оценка по удельной трудоемкости и удельной себестоимости

Удельная трудоемкость и удельная себестоимость сварной конструкции являются регулирующим критерием, подтверждающим целесообразность мер, применяемых для получения удовлетворительных результатов при определении перечисленных ранее критериев.

Удельная себестоимость характеризует затраты труда всех предприятий, участвующих в изготовлении сварной конструкции. На стадии выбора варианта способа дуговой сварки сталей и подготовки кромок под сварку можно оценить варианты по:

1 расходу наплавленного металла на один метр шва;

2 скорости сварки;

3 расходу электроэнергии на 1 метр шва;

4 по технологической себестоимости сварочных работ с учетом расходов материалов на один метр шва.

Для такой оценки имеются таблицы расчета технологической себестоимости сварочных работ в программе ArcWeldingPro.

2 ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА И БЛОК-СХЕМЫ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Задачей разработки блок-схемы алгоритма является создание визуальной модели процесса, автоматизированного (т. е. человеко-машинного) проектирования последовательности действий при разработке технологии дуговой сварки стальных изделий.

Процесс такого проектирования показан в виде блок-схемы последовательности действий проектировщика по взаимодействию с комплексом компьютерных программ на основе логики специалиста в области теории и технологии дуговой сварки стальных изделий.

Первыми логическими шагами такого проектирования является изучение всех особенностей создаваемой сварной конструкции из основного конструкционного материала. Необходимо уточнить марку стали, класс стали в соответствии со СНиП II-23-81, химический состав всех легирующих элементов и примесей серы и фосфора, механические свойства основного металла в диапазоне изменения климатических и рабочих температур проектируемой сварной конструкции.

Необходимо определить толщины свариваемых деталей, виды сварных соединений и наличие каких-либо ограничений при выполнении сварочных работ, поскольку ограничения по положению в пространстве могут ограничить выбор способа дуговой сварки. Так дуговая сварка под флюсом может быть выполнена только в нижнем положении или «в лодочку». Толщина изделия также влияет на выбор оптимального варианта способа сварки.

После выбора способа сварки необходимо выбрать рациональную форму подготовки кромок, при этом рационально назначать дуговую сварку без скоса кромок, для такого выбора следует рассмотреть различные варианты способов сварки и варианты подготовки кромок в соответствии с ГОСТами на качественное выполнение сварных соединений. Для поиска такого оптимального варианта следует использовать программу ArcWeldingPro [3], разработанную под руководством доцента нашей кафедры Казакова С. И. Программа позволяет определить такие параметры сварного шва как: площадь поперечного сечения шва, время сварки одного метра шва на среднем значении силы тока для рассматриваемой толщины сварной детали, а также определяется в программе расход электроэнергии на сварку одного метра шва. Эти параметры будут определены для каждого возможного по ГОСТ варианта подготовки кромок, что и позволит выбрать

проектировщику оптимальный вариант с указанием буквенно-цифрового обозначения шва по соответствующему ГОСТу на способ сварки.

Следующим шагом в соответствии с блок-схемой (рисунок 1) разработки технологии дуговой сварки стальных изделий является оценка свариваемости стали указанной марки. При этом возможны три группы сталей:

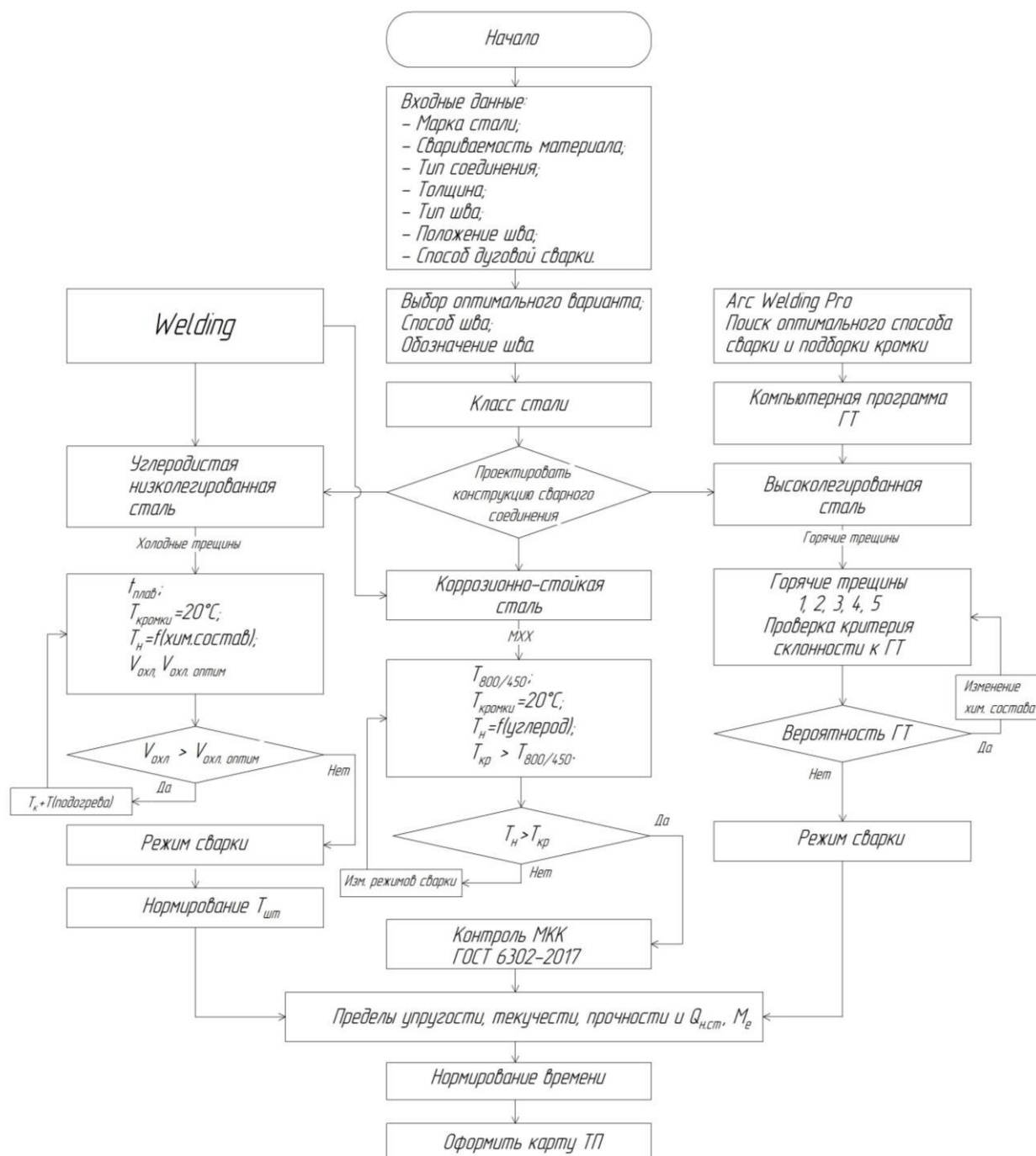


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма сквозного автоматизированного проектирования технологии и выбор сварочных материалов и оборудования для дуговой сварки сталей

1 углеродистые и низколегированные конструкционные стали обычной и повышенной прочности, которые могут быть склонны к образованию холодных трещин при сварке;

2 легированные и высоколегированные стали при сварке которых могут возникать горячие трещины (ГТ);

3 высоколегированные стали аустенитного класса коррозионностойкие в агрессивных средах, но в результате сварки которых возможно образование межкристаллитной коррозии (МКК) в процессе эксплуатации сварной конструкции в агрессивной среде.

Применяемую марку стали проектировщик должен оценить и отнести к одному из трех выше названных классов (три ветви на блок-схеме).

Углеродистые и низколегированные конструкционные стали могут быть склонны к образованию холодных трещин в связи с наличием углерода и других легирующих элементов, способствующих образованию закалочной мартенситной структуры металла шва и зоны термического влияния. Мартенсит – твердая, но хрупкая структура металла шва, возникает при быстром охлаждении металла в процессе сварки и при наличии высокого уровня растягивающих остаточных напряжений, возможно локальное хрупкое замедленное разрушение металла. Критерием оценки склонности к образованию холодных трещин (ХТ) прежде всего является эквивалент углерода – $S_{эkv}$. По формуле, рекомендуемой международным институтом сварки (МИС) следует определить $S_{эkv}$ и если $S_{эkv} > 0,35$ – сталь склонна к образованию ХТ. Такая сталь должна быть дополнительно проверена на образование ХТ с расчетом по программе Welding скорости охлаждения металла шва на линии сплавления при температуре начала распада переохлажденного аустенита. Полученное по программе значение $V_{охл}$ необходимо сравнить с оптимальным интервалом $V_{охл}$ [3] и, если скорость охлаждения превышает оптимальный диапазон, необходимо подобрать с помощью программы Welding необходимую температуру предварительного подогрева свариваемых кромок и эту температуру ввести как один из параметров технологического процесса операции сварки.

Для проверки склонности к образованию горячих трещин (ГТ) имеется компьютерная программа ГТ. В соответствии с теорией сварочных процессов можно выделить пять групп сталей, склонных к образованию ГТ. Для каждой группы сформулирована математическая модель расчета критерия стойкости против ГТ. Перечень сталей, включенных в каждую

из 5-й группы сформирован в программе. Программа содержит БД указанных сталей с полным перечнем легирующих элементов с возможным диапазоном изменения количества легирующего элемента. Это позволяет при расчете критерия стойкости против ГТ, как функции химического состава анализируемой марки стали, выполнять анализ стойкости по 3-м вариантам:

- 1 минимальное содержание каждого легирующего элемента;
- 2 среднее содержание каждого легирующего элемента;
- 3 максимальное содержание каждого легирующего элемента.

Такой анализ позволяет точнее определить опасное сочетание легирующих элементов и выявить безопасное сочетание легирующих и разработать проектировщику технологии сварки рекомендации по выбору стали с безопасным содержанием комплекса легирующих элементов или рекомендовать сталь этого же класса, но с другим сочетанием легирующих элементов.

Третья группа сталей с пониженной технологической прочностью после дуговой сварки – это коррозионно-стойкие стали аустенитного класса, которые после сварки могут потерять свою стойкость против образования межкристаллитной коррозии (МКК) (правая ветвь на блок-схеме рисунок 1). Такая потеря может наблюдаться при замедленном охлаждении металла шва в диапазоне от 850 до 450 °С в результате образования в этом диапазоне температур карбидов хрома, что сказывается на снижении содержания металлического хрома ниже критического значения на границах зерен и возникновении интенсивной межкристаллитной коррозии (МКК) при работе сварной конструкции в агрессивной среде. На блок-схеме алгоритма показано, что для такого класса сталей предусмотрен анализ теплового поля после сварки с определением времени пребывания металла шва и ОШЗ в указанном выше диапазоне температур и сравнения длительности такого пребывания с критическим временем возможного охлаждения как функции содержания углерода в сварном соединении. При повышенном содержании углерода образуются карбиды хрома, снижается содержание металлического хрома на границах зерен, что и приводит к появлению МКК. При опасности появления склонности к МКК проектировщик может выбрать дополнительные термические операции после сварки, указанные в описании к блок-схеме алгоритма, для восстановления стойкости против МКК.

После оценки свариваемости и назначения при необходимости меро-

приятый по обеспечению стойкости против ХТ, ГТ и МКК технолог с помощью программы ArcWeldingPro определяет расход сварочных материалов, окончательно задает режимы сварки, рассчитывает расход необходимых сварочных материалов, подсчитывает по приведенным выше методикам (программа brw2015) необходимое время на выполнение каждой из запланированных операций технологического процесса. Выбирает из баз данных (БД) необходимые марки сварочных материалов и определяет требуемые характеристики сварочного оборудования, ориентируясь в современных условиях на отечественное оборудование и российские сварочные материалы, и этот выбор фиксирует в разрабатываемом технологическом процессе.

3 КРАТКИЙ ОБЗОР КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ДУГОВОЙ СВАРКИ

3.1 Программа анализа тепловых процессов при дуговой сварке

Программа WELDER создана в соответствии с теорией тепловых процессов при сварке Н. Н. Рыкалина для точечного источника тепла при дуговой сварке массивного (полубесконечного) однородного тела. После ввода исходных данных: режима дуговой сварки, к.п.д. дуги, начальной температуры свариваемых кромок, теплофизических свойств и удельного веса свариваемого металла указываем границы рассматриваемой области вокруг сварочной дуги. Эта объемная область металла в координатах X от +1 до -100 см с шагом 0,5 см вдоль оси шва ($X = 0$ точка горения дуги), координата Y направлена поперек продольной оси шва от $Y = 0$ (ось шва) до $Y=5$ см с шагом по $Y \Delta = 1$ мм и координата Z направлена вглубь свариваемых кромок $Z_{\max} = 5$ см. При таких условиях в плоскости XY за один сеанс расчета будет определена температура в 10 тысячах точек вокруг дуги. Пример фрагмента такого расчета показан на рисунке 2.

BEZ ПОДОТРЕВА

	Y0=0	Y1=0,1	Y2=0,2	Y3=0,3	Y4=0,4
T1 (-100)	101,8182	101,8022	101,7543	101,6745	101,5629
T2 (-99,5)	102,2294	102,2132	102,1648	102,0842	101,9715
T3 (-99)	102,6447	102,6284	102,5795	102,498	102,3842
T4 (-98,5)	103,0642	103,0477	102,9983	102,9161	102,8011
T5 (-98)	103,488	103,4713	103,4214	103,3384	103,2222
T6 (-97,5)	103,9161	103,8993	103,8489	103,765	103,6476
T7 (-97)	104,3487	104,3317	104,2808	104,1959	104,0774
T8 (-96,5)	104,7857	104,7685	104,7171	104,6314	104,5116
T9 (-96)	105,2273	105,21	105,158	105,0714	104,9503
T10 (-95,5)	105,6735	105,656	105,6035	105,516	105,3936
T11 (-95)	106,1244	106,1067	106,0536	105,9652	105,8416
T12 (-94,5)	106,5801	106,5622	106,5086	106,4192	106,2942

Введите начальные координаты расположения источника сварочного нагрева:
 X0 (-100...1) Y0 (0...5) Z0 (0...4)
 -100 0 0,01

Эффективный КПД источника нагрева (0...1): 0,7
 Сила тока дуги (А): 850
 Напряжение на дуге (В): 36
 Скорость сварки (см/сек): 0,666
 Начальная температура образца (град. С): 20
 Коэф-т теплопроводности (кал/см*сек*град): 0,1
 Удельная теплоемкость (кал/см*3*град): 0,15
 Удельная плотность (гр/см*3): 7,8

T(мин.): T(-100)=101,8182
 T(макс.): T(0)=786939,4731
 Время пребывания: tпроб. = 150,15 сек

Диапазон температур на ветви охлаждения: T(мин.): 300 T(макс.): 600
 Вычислить

Расчет скорости охлаждения:
 Значение температуры (град.С): 445
 Вычислить

Результат:
 Ближайшие точки: Tn(-19,5)=439,5772, Tn+1(-19)=450,6185;
 Скорость охлаждения = 14,71 град.С/сек

Рисунок 2 – Окно исходных данных программы WELDER и результаты вычисления температуры в точках указанных координат по оси X и Y

В правом нижнем углу результат вычисления скорости охлаждения металла на оси шва ($Y=0$) при температуре начала распада переохлажденного аустенита ($T_H=445$ °C) $V_{охл}=14,71$ °C/сек, что видно в окне «Результат».

3.2 Программа выбора оптимального варианта сварного соединения при дуговой сварке сталей (ArcWeldingPro)[3]

Компьютерная программа составлена на основании данных ГОСТ 8713-79, 14771-76 и 5264-80. Эти стандарты содержат сведения о геометрических параметрах подготовки кромок под сварку и размерах выполненного шва. Программа содержит БД всех выше указанных сварных соединений с режимами сварки каждого варианта шва во всем диапазоне толщин, что позволяет определить площадь поперечного сечения для любой возможной толщины свариваемых кромок. На основе сведений по режимам сварки и вычисленной площади поперечного сечения шва вычисляется время сварки один метра шва. По данным режима сварки также вычисляется и расход электроэнергии на сварку один метра шва (рисунок 3).

The screenshot displays the ArcWeldingPro software interface. On the left, there are input fields for 'Тип шва' (Butt joint), 'Толщина' (Thickness: 25), and efficiency settings. The main area shows a table titled 'Найдено вариантов соединения' (Found connection variants) with 72 results. A dialog box titled 'Оценка себестоимости сварного исполнения' (Cost estimation of welded execution) is open, showing detailed cost calculations for a selected variant (row 50).

№	Тип шва	Способ сварки	F, мм ²	T, сек	E, кВтч	Стом. 1м шва
41	C21	РДС	383,093	4137,404	22,516	0
42	C23	ИП	495,305	2593,597	19,408	0
43	C23	УП	495,305	1244,927	11,998	0
44	C23	АФк	317,817	492,96	13,498	0
45	C23	РДС	454,055	4903,794	26,687	0
46	C24	РДС	100,922	1089,958	5,932	0
47	C24	ИП	133,922	701,264	5,248	0
48	C24	УП	133,922	336,607	3,244	0
49	C25	РДС	199,297	2152,408	11,714	0
50	C25	АФ	173,427	395,424	7,326	301,0736
51	C25	МФ	173,427	415,144	5,178	0
52	C25	АФк	292,709	502,66	13,108	0
53	C25	ИП	191,27	1001,559	7,495	0
54	C25	УП	191,27	480,748	4,633	0

Оценка себестоимости сварного исполнения

- Масса наплавленного металла на 1 м шва, г: 1331,919
- Время сварки 1 м шва, с: 395,424
- Затраженная электроэнергия, кВтч: 7,326
- Коэффициент расхода сварочной проволоки: 1,1
- Коэффициент расхода флюса: 1,2
- Стоимость 1 кг сварочной проволоки, руб: 60
- Стоимость 1 кг флюса, руб: 110
- Часовая тарифная ставка, руб: 100
- Стоимость 1 кВтч электроэнергии, руб: 3,6
- Расчитать
- Стоимость сварочной проволоки, руб: 87,91
- Стоимость флюса, руб: 175,81
- Стоимость работы, руб: 10,98
- Стоимость электроэнергии, руб: 26,3736
- Итоговая стоимость 1 м шва, руб: 301,0736

Рисунок 3 – Окно экспертной системы ArcWeldingPro

При вводе данных по ценам на российском рынке сварочных материалов может быть вычислена технологическая себестоимость одного метра шва с указанием статей расхода: электродов, проволоки, флюса, защитного газа, электроэнергии и оплаты труда сварщика, что и позволяет выбрать проектировщику наиболее оптимальный вариант дуговой сварки стальных изделий.

На экране представлен результат запроса стыкового соединения толщиной 25 мм при сварке ручной дуговой, под флюсом и в защитных газах. Программа нашла в БД 72 варианта выполнения шва. На экране анализируется 50-й вариант АФ-С25. Вычислено $F_{нап}$, $T_{св}$, $E_{квт-час}$ и себестоимость 1 м шва $C=301,07$ руб/1 м шва. Стрелкой на экране показан результат расчета массы наплавленного металла по варианту АФ-С25: $M=1331,9$ гр/1 м шва).

3.3 Программа анализа склонности сталей к образованию горячих трещин

Программа (рисунок 4), позволяет проанализировать большое количество (более 100 марок) российских низколегированных, легированных и высоколегированных сталей на их склонность к образованию горячих трещин (ГТ). Подробнее работу с программой ГТ смотри в разделе 8. Результат расчета склонности к ГТ стали.

История результатов:

- Марка стали: 12X18H10T
Cr/Ni: 1.48450244638206
Склонная
- Среднее значение
Марка стали: 12X18H10T
Cr/Ni: 1.44796380090498
Склонная
- Максимальное значение
Марка стали: 12X18H10T
Cr/Ni: 1.58485273492286
Стойкая

Код	Марка	Углеродистые и низколегированные стали		Легированные стали		Высоколегированные стали	
		А-Ф нержавеющие	М-Ф	А-М	М-старение	А жаропрочные	А коррозионностойкие
		Мартенситные	Ферритные	А жаропрочные	А коррозионностойкие		
		С	Si	Mn	Cr	Ni	
1	08X18H10	0.08	0.8	2.0	17.0-19.0	9.0-11.0	
2	08X18H10T	0.08	0.8	2.0	17.0-19.0	9.0-11.0	
3	12X18H10T	0.12	0.8	2.0	17.0-19.0	9.0-11.0	
4	03X18H11	0.03	0.8	2.0	17.0-19.0	10.5-12.5	
5	08X18H11	0.06	0.8	2.0	17.0-19.0	10.0-12.0	
6	10X16H126	0.08	0.8	2.0	17.0-19.0	11.0-13.0	
7	10X14Г14Н4Т	0.10	0.8	13.0-15.0	13.0-16.0	2.8-4.5	
8	10X14АГ15	0.10	0.8	14.5-16.5	13.0-15.0	-	
9	07X21Г7АН5	0.07	0.7	6.0-7.5	19.5-21.0	5.0-6.0	
10	08X17H13M2T	0.08	0.8	2.0	16.0-18.0	12.0-14.0	

Рисунок 4 – Результат расчета склонности к горячим трещинам стали 12X18H10T. Эта сталь стойкая к ГТ при максимальном легировании $Cr_3/Ni_3 > 1,5$

3.4 Информационно-поисковая система по вопросам сварки (brw2015)

Поисковая система содержит следующие базы данных (БД):

- 1 Энциклопедический словарь по сварке от А до Я и от А до Z;
- 2 Энциклопедия сталей и сплавов;
- 3 Энциклопедия сварочного оборудования;
- 4 Все о сварке;
- 5 Сварка пластмасс и склеивание материалов;
- 6 Проектирование сварных конструкций.
- 7 Изобретения в области сварки.

Всего в ИПС содержится более 160 тысяч статей, описаний заявок на изобретения, патенты, рефераты статей из РЖ Сварка и другие документы (рисунок 5).

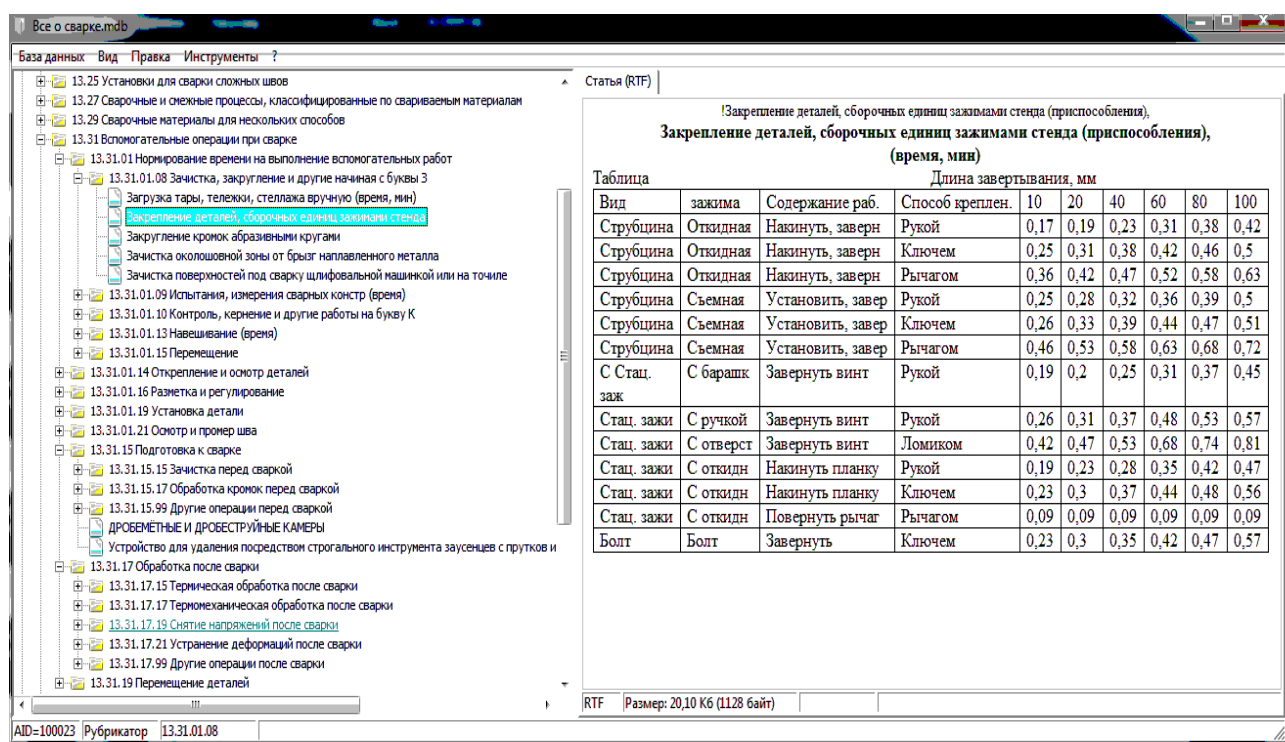


Рисунок 5 – Окно информационно-поисковой системы с открытой (слева) структурой «Нормирования времени на выполнение сварочных и вспомогательных работ». Справа в окне «Таблица норм времени на перемещение и закрепление деталей, сборочных единиц зажимами стенда (приспособления)»

Этот объем информации позволяет пользователю найти сведения по свойствам сталей, алюминиевым сплавам, титана разных марок, медь и медным сплавам, а также чугунам. Проанализировать изобретения и патенты по любым вопросам теории и практики сварочного производства.

База данных «Все о сварке» в разделе «Производство сварных конструкций» содержит большое количество таблиц типовых норм времени на сварочные, сборочно-сварочные, слесарные и другие вспомогательные операции сварочного производства.

4 ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Для изучения стальной конструкции выбирают следующие характеристики:

- 1 Марка стали и ее класс по СНиП II-23-81 «Стальные конструкции. Нормы проектирования»;
- 2 Тип сварного соединения;
- 3 Толщина металла;
- 4 Положение свариваемого шва в пространстве при сварке (имеются ли ограничения по расположению конструкции);
- 5 Длина сварного шва;
- 6 Чертеж изделия (3D модель обязательно).

После подробного изучения сварной конструкции необходимо подсчитать критерии технологичности старой конструкции и нового предлагаемого Вами варианта конструкции:

- 1 удельный вес конструкции (по назначению конструкции);
- 2 удельный вес наплавленного металла.

4.1 Изучение механических свойств основного металла, его химический состав и технологические особенности

Ниже приведен пример свойств стали 10ХСНД [7].

Вид поставки: Сортовой и фасонный прокат, полоса – ГОСТ 19281-89, ГОСТ 6713-91.

Гнутые профили – ГОСТ 19281-89.

Лист – ГОСТ 19281-89, ГОСТ 6713-91, ТУ 302.02.130-91, ТУ 14-1-5241-93.

Содержание: С не более 0,12 %, Si – 0,8-1,1 %, Mn – 0,5-0,8 %, Ni – 0,5-0,8 %, S до 0,035 %, P до 0,035 %, Cr – 0,6-0,9 %, Cu – 0,4-0,6 %.

Назначение. Сталь, конструкционная легированная металлоконструкций и различные детали, к которым предъявляются требования повышенной прочности и коррозионной стойкости с ограничением массы и работающие при температуре от -70 °С до +450 °С. Штампованные детали сосудов, работающие при температуре от -40 °С до +400 °С. Предел текучести

(листовой и широкополосный прокат в горячекатаном или термически обработанном состоянии) $\sigma_T = 345 \text{ Н/мм}^2$ (МПа).

Предел прочности (листовой и широкополосный прокат в горячекатаном или термически обработанном состоянии при толщине до 32 мм) $\sigma_B = 490 \text{ Н/мм}^2$ (МПа).

Ударная вязкость при $t = -60 \text{ }^\circ\text{C}$, КСУ = 31 Дж/см².

Предел выносливости $310/90 \text{ Н/мм}^2$ (числитель – образцы без надреза, знаменатель – с надрезом).

Скорость коррозии 0,0435-0,0573 мм/год (в морской воде).

Свариваемость без ограничений.

Способы сварки: РД, РАД, АФ, УП, ЭШ и КТ.

К отпускной хрупкости малосклонна.

Температурный интервалковки 1200–850 °С.

Подробнее о свойствах см. энциклопедию «Стали и сплавы».

4.2 Оценка свариваемости конструкционных углеродистых и низколегированных сталей

Один из косвенных способов оценки склонности сталей к трещинам в шве и околошовной зоне – расчетное определение эквивалента углерода $C_{экв}$ [3] для конструкционных среднеуглеродистых, низколегированных сталей и сталей повышенной прочности и высокопрочных.

Для углеродистых и марганцовистых сталей широко используется зависимость:

$$C_{экв} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15. \quad (3)$$

Для конструкционных среднелегированных, низколегированных сталей и сталей повышенной прочности $C_{экв}$ следует определять по формуле (2):

$$C_{экв} = C + Mn/6 + (Cr + V)/5 + Mo/4 + Ni/15 + Cu/13 + P/2. \quad (4)$$

Медь и фосфор учитываются только в случае, если концентрация меди больше 0,5 %, а фосфора больше 0,05 %. Если при подсчете эквивалента окажется, что $C_{экв} > 0,45-0,55$, то необходим подогрев и тем выше,

чем выше $C_{эkv}$. Температура подогрева $T_{под}$ определяется ориентировочно:

$$T_{под} = 350 \cdot \sqrt{C_{эkv} - 0,25}. \quad (5)$$

При этом если $C_{эkv} \leq 0,25$ – свариваемость стали хорошая;

$C_{эkv} > 0,25$ до $0,35$ – свариваемость удовлетворительная;

$C_{эkv} > 0,35$ до $0,45$ – свариваемость ограниченная;

$C_{эkv} > 0,45$ сталь плохо свариваемая.

Например, при расчете величины $C_{эkv}$ для ранее рассмотренной стали 10ХСНД $C_{эkv}$ от 0,37 до 0,526 – диапазон свариваемости стали 10ХСНД от ограниченно свариваемой до плохо свариваемой (при максимальном содержании легирующих элементов). Это значит, что при сварке возможно образование трещин. Это предварительный результат и его можно и нужно будет уточнить при анализе теплового поля при сварке на выбранном далее режиме горения дуги.

5 ВЫБОР СПОСОБА ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И РАСЧЕТ РЕЖИМОВ СВАРКИ

Соединения при дуговой сварке: стыковые, угловые, тавровые и нахлесточные.

При дуговой сварке сталей используется один из 3-х основных способов:

1 дуговая под слоем флюса по ГОСТ 8713-79;

2 дуговая в защитных газах по ГОСТ 14771-76;

3 ручная дуговая штучными электродами по ГОСТ 5264-80;

Под острыми и тупыми углами по ГОСТ 11533-75, ГОСТ 23518, ГОСТ 11534-75 соответственно.

С учетом всех особенностей рассматриваемой конструкции нужно обосновать выбор способа сварки.

В соответствии с толщиной, назначением и другими особенностями и ограничениями сварные швы могут быть односторонние или двухсторонние (указать буквенно-цифровое обозначение шва по ГОСТ).

Например, для сварки встык кромок стальных листов толщиной 16 мм при длине шва более 1000 мм может быть выбран способ дуговой сварки в защитных газах ГОСТ 14771-76 С15 двусторонний с двумя симметричными скосами одной кромки или способ сварки под слоем флюса двусторонний без скоса кромок ГОСТ 8713-79 С7. Какой из этих двух вариантов предпочтительнее? Для ответа на этот вопрос надо определить режим сварки каждого варианта и оценить на выбранных режимах скорости охлаждения металла шва при температуре начала распада переохлажденного аустенита. Для определения режима сварки при выбранном способе сварки наряду с расчетом режима по приведенной ниже методике может быть выбран режим.

5.1 Расчет режимов сварки

Расчет режимов дуговой сварки под флюсом и в среде защитных газов может быть осуществлен по следующей методике: из условий получения заданных геометрических размеров шва, с последующей проверкой данных геометрических параметров, исходя из полученной погонной энергии и

мгновенных скоростей охлаждения металла в околошовной зоне при температуре наименьшей устойчивости аустенита. Для этого варианта расчета характерно достижение наивысшей производительности сварки за один проход или при минимальном количестве проходов (при многослойных швах), однако может оказаться, что для выполнения расчетных режимов потребуется предварительный подогрев, для которого необходимо при назначении технологии предусматривать дополнительное технологическое оборудование (индукторы, газовые горелки и т. д.) [4].

5.2 Последовательность расчета

Вычерчивают в натуральную величину или в определенном масштабе сварное соединение, которое необходимо сварить. При этом следуют рекомендациям ГОСТ 8713-79 (для сварки под флюсом), ГОСТ 14771-76 (для сварки в защитных газах – CO₂ или смеси Ar + CO₂), другим ГОСТам или (для нестандартных швов) заводским нормам, техническим условиям, а также проектному варианту, предлагаемому в проекте. Максимальное сечение однопроходного шва обычно не должно превышать 100 мм². Следует также иметь в виду, что дуговую сварку целесообразно применять при толщине металла до 50 мм. При сварке конструкций с большей толщиной рекомендуется электрошлаковая сварка.

По чертежу, пример которого показан на рисунок 6 (а, б, в), для односторонней сварки (соответственно без зазора, с гарантированным зазором и с разделкой кромок) определяют hp .

$$\text{Сила тока: } I_{св} = (80...100) \cdot hp, \text{ А,} \quad (6)$$

где hp – расчетная глубина проплавления, которая для швов с неполным проплавлением $hp = h$, мм; далее $hp = S$ при сварке с полным проплавлением при односторонней сварке, при этом S – толщина сварного соединения при сварке на подкладке или без нее (на весу); $hp = c$, при заварке корня шва отдельным валиком для соединений с разделкой кромок с притуплением, равным «с» для многослойной сварки; $hp = (0,6...0,7)S$ – при двухсторонней сварке с полным проплавлением (с перекрытием валиков). При сварке соединений с гарантированным зазором (рисунок 6, б) и с разделкой

кромок за один проход расчетную глубину проплавления определяют следующим образом:

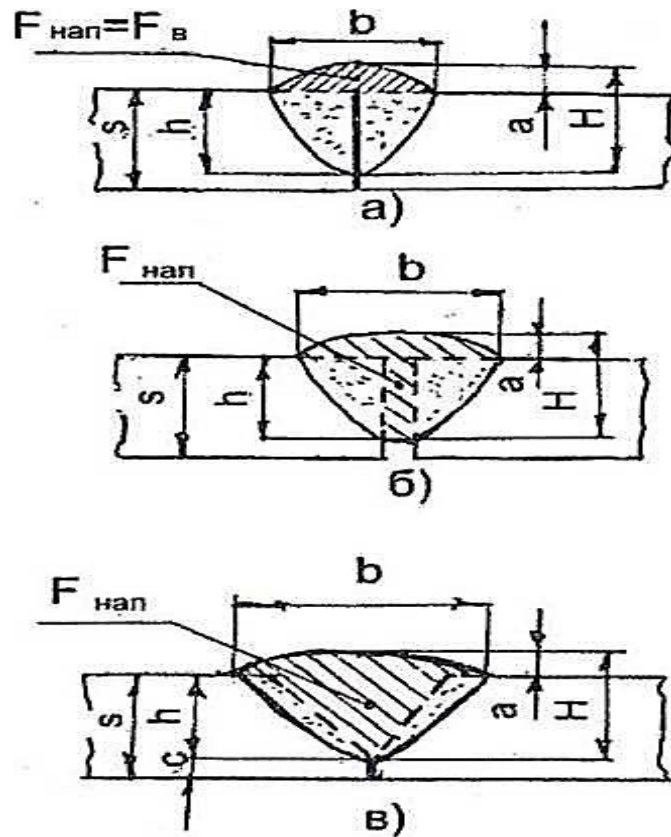


Рисунок 6 – Геометрические параметры сварных швов

$$h_p = H - (F_{нап} / 0,75 b). \quad (7)$$

При сварке угловых швов (для тавровых и нахлесточных соединений) расчетную глубину проплавления рассчитывают также как для случая стыкового соединения с углом раскрытия кромок 90° . При этом для вогнутых швов $H=h-a$. В данном случае величина «а» играет роль наибольшего размера вогнутости углового шва.

Определение диаметра электродной проволоки:

$$d_{эл} = 1,13 (I_{св}/j)^{0,5}, \quad (8)$$

Для определения диаметра проволоки необходимо знать плотность тока в проволоке j (см. таблицы 1 и 2).

Таблица 1 – Плотности тока в зависимости от $d_{эл}$ проволоки для сварки под флюсом

$d_{эл}, мм$	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$j, А/мм^2$	65... 200	45...90	35...60	30...50	25...45

Таблица 2 – Плотности тока в зависимости от $d_{эл}$ проволоки для сварки в среде CO_2

$d_{эл}, мм$	1,2	1,4	1,6	2,0	3,0	4,0
$j, А/мм^2$	95..270	90...250	80...200	55...140	45...100	35...60

Необходимое напряжение на дуге U_d рассчитывается по формуле:

$$U_d = 20 + [5 \cdot I_{св} / (10^2 d_{эл}^{0,5})] \pm 1 В. \quad (9)$$

Скорость сварки под флюсом и в среде активных газов $V_{св}$ рассчитывается по формуле:

$$V_{св} = a_n \cdot I_{св} / (3600 F_{нап} \gamma), \text{ см/сек}, \quad (10)$$

где a_n – коэффициент наплавки, г/(А·ч);

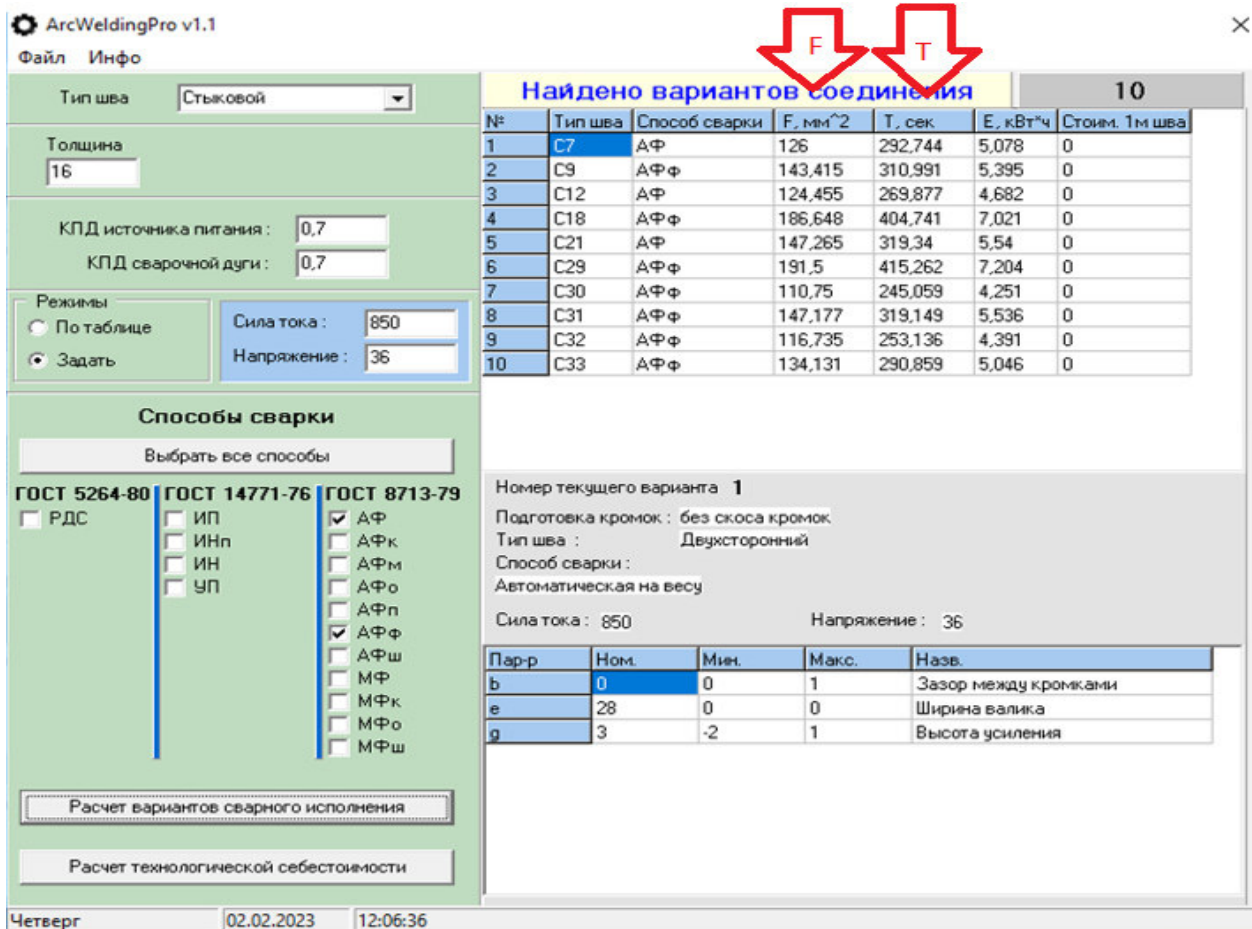
γ – плотность металла (для сталей рассматриваемого класса $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$);

Формулу (10) можно преобразовать и упростить, если $F_{нап}$ выразить в $мм^2$, а γ – плотность металла для стали оставить в $см^3$, то произведение в знаменателе ($F_{нап} \cdot \gamma$) будет численно равно количеству наплавленного металла на 1 метр сварного шва ($г/1 \text{ метр шва}$), а результат вычисления по формуле (10) будет численно равен $V_{св}$ (м/час) и формула (10) будет преобразована в формулу (11) для указанных выше условий:

$$V_{св} = a_n \cdot I_{св} / (F_{нап} \cdot \gamma), \text{ м/час}. \quad (11)$$

Геометрические параметры шва: ширину шва – b , глубину проплавления – h и высоту усиления следует взять из соответствующего ГОСТа. Затем определяют общую площадь наплавленного металла – F_n , для упрощения расчета разбивая ее на простые геометрические фигуры (как правило, треугольники, прямоугольники и сегменты, при этом площадь сегмента –

усиление шва (валика) определяют по приближенной формуле ($F_n = 0,75 \cdot b \cdot a$) с последующим их суммированием, а также общую высоту шва $H = b + a$ [1]. $F_{нап}$ следует брать с учетом размерностей в формуле (11). Конкретное значение $F_{нап}$ можно определить по программе ArcWeldingPro (рисунок 7):



Найдено вариантов соединения 10

№	Тип шва	Способ сварки	$F, \text{мм}^2$	$T, \text{сек}$	$E, \text{кВт}\cdot\text{ч}$	Стоим. 1м шва
1	C7	АФ	126	292,744	5,078	0
2	C9	АФФ	143,415	310,991	5,395	0
3	C12	АФ	124,455	269,877	4,682	0
4	C18	АФФ	186,648	404,741	7,021	0
5	C21	АФ	147,265	319,34	5,54	0
6	C29	АФФ	191,5	415,262	7,204	0
7	C30	АФФ	110,75	245,059	4,251	0
8	C31	АФФ	147,177	319,149	5,536	0
9	C32	АФФ	116,735	253,136	4,391	0
10	C33	АФФ	134,131	290,859	5,046	0

Номер текущего варианта: 1
 Подготовка кромок: без скоса кромок
 Тип шва: Двухсторонний
 Способ сварки: Автоматическая на весу
 Сила тока: 850 Напряжение: 36

Пар-р	Ном.	Мин.	Макс.	Назв.
b	0	0	1	Зазор между кромками
e	28	0	0	Ширина валика
d	3	-2	1	Высота усиления

Рисунок 7 – Результат расчета $F_{нап}$ и $T_{св}$ по программе ArcWeldingPro

При определении $V_{св}$ по формуле (11) при однопроходной сварке $F_{нап}$ следует взять из программы ArcWeldingPro для соответствующего соединения, имея в виду, что для двустороннего шва площадь $F_{нап}$ приведена суммарная для двух проходов. При многослойной (многoproходной) сварке площадь поперечного сечения наплавленного металла за один проход рекомендуется, например, по стандарту мостостроения (СТО – ГК «Трансстрой» – 012–2007) принимать для первого корневого шва $20 \dots 25 \text{ мм}^2$, для последующих – $30 \dots 60 \text{ мм}^2$.

Ручную дуговую сварку, например, мостовых конструкций необходимо выполнять постоянным током обратной полярности (плюс на элек-

трое), тип электродов Э50А диаметром 3, 4 или 5 мм. Площадь поперечного сечения шва при этом следует принимать для первого прохода (6...8) $d_{эл}$, но не более 30 мм²; для последующих проходов (8...12) $d_{эл}$.

Для полуавтоматической сварки в среде защитных газов диаметр проволоки не должен превышать 2 мм, так как управление процессом сварки при дальнейшем увеличении диаметра электрода будет затруднительным (слишком тяжелая горелка для работы сварщика в течение смены).

Основная трудность при расчете скорости сварки по формуле (10) состоит в определении коэффициента наплавки α_p . Часто производители сварочных материалов дают среднее значение данной величины в паспорте на проволоку или технических условиях на поставку. При этом данная величина для сварки под флюсом и в среде активных газов может иметь существенные различия. Графоаналитическая методика рассчитана для сварки под флюсом, предложенная П. В. Деменцевичем, является приближенной (рисунок 8).

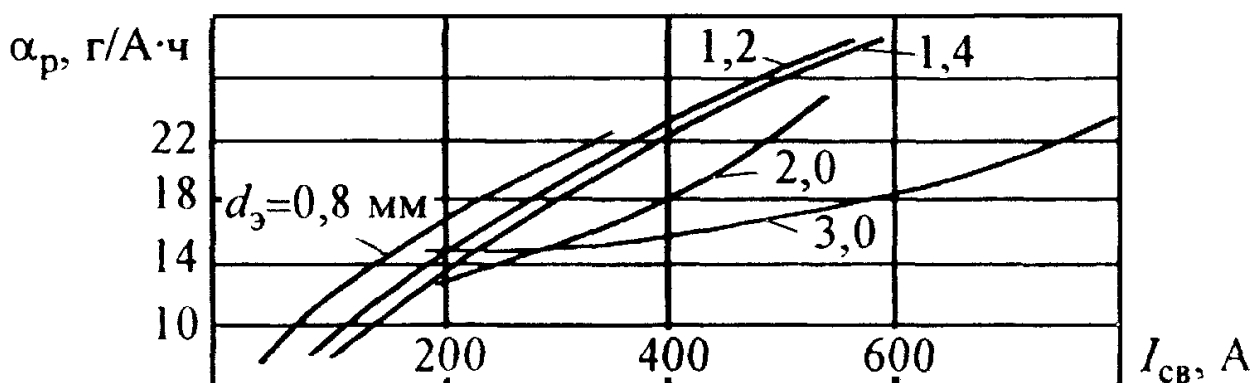


Рисунок 8 – Зависимость коэффициента расплавления α_p от диаметра сварочной проволоки и сварочного тока

Другим вариантом определения режимов сварки является практика выбора режимов по рекомендациям предприятий по изготовлению сварных конструкций, например, таблицы режимов сварки в области мостостроения, приведенные ниже (таблицы 3 и 4).

Таблица 3 – Режимы автоматической сварки под флюсом стыковых соединений на флюсовой подушке сталей 10-15ХСНД по ГОСТ 6713 для конструкций обычного и северного исполнений

Подготовка кромок	Толщина металла S, мм	Число проходов	Сила тока I _{св} , А	Напряжение на дуге U _д , В	Скорость сварки V _{св} , м/ч	Скорость подачи проволоки V _{п.п} , м/ч
Без скоса С29-АФф	10	2	650...700	32...34	29..32	49...55
Без скоса С29-АФф	12	2	700... 750	32...34	29..32	55...61
Без скоса С29-АФф	14	1	750... 800	32...34	26 29	55...61
		1	750... 800	34...36	26.. 29	61...66
Без скоса С29-АФф	16	1	800... 850	34...36	22...26	68...66
		1	750... 800	36...38	22..26	61...66
Со скосом С38-АФф	20	1-я сторона 1-й слой	700 .750	32...34	18..20	55...61
		последующие	750 .800	32...34	22..26	61..66
Со скосом С38-АФф	25	1-я сторона 1-й слой	700 750	32...34	18...20	55...61
		последующие	750 800	32...34	22 ..26	61...66
Со скосом С38-АФф	32	1-я сторона 1-й слой	700 750	34...36	18..20	55...61
		последующие	750 800	34...36	22..26	61..66
Со скосом С38-АФф	40	1-я сторона 1-й слой	700..750	36...38	18..20	55...61
		последующие	750..800	36...38	22..26	61..66

Примечания: 1 Диаметр сварочной проволоки – 5 мм. 2 Вылет электрода – 35 – 40 мм.

Таблица 4 – Режимы автоматической и механизированной сварки в смеси защитных газов сварочной проволокой сплошного сечения стыковых и угловых швов в нижнем положении

Поперечное сечение кромок и шва ГОСТ 14771-76*	Толщина металла S или катет шва К, мм	Диам. св. проволоки, мм	Число проходов	Сила тока I _{св} , А	Напряжение на дуге U _д , В	Скорость сварки V _{св} , м/ч
1	2	3	4	5	6	7
Стыковое без скоса С7	S = 6...8	1,2	По 1 с каждой стороны	200...220	20...24	24...28
	S = 6...8	1,4	То же	200...260	24...26	24...28
	S = 6...8	1,6	То же	250...300	26...30	24...28
	S = 6...8	2	То же	300...350	28...34	28...32

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7
Стыковое со- скосом кро- мок С17, С15, С25	S = 10...25	1,2	1-й проход	200...220	18...20	18...23
			Последующие	220...260	22...24	18...22
		1,4	1-й проход	200...240	18...22	16...20
			Последующие	250...270	22...26	18...22
		1,6	1-й проход	240...260	22...28	18...22
			Последующие	280...300	24...30	18...22
		2	1-й проход	250...300	24...28	16...20
			Последующие	300...350	26...32	20...22
Тавровое с полным проваром в корне шва ТЗ	K=6	1,2	1	120...160	20...22	22...28
		1,6	1	160...200	27...29	20...24
	K=8	2	1	250...300	28...30	18...20
		1,6	1	200...250	28...30	12...16
	K=10	2	1	300...350	30...32	14...18
		2	2	300...350	30...32	14...18
K=12	2	3	300...350	30...32	12...14	

Примечания: 1 Расход смеси защитных газов для стыковых соединений 20...24 л/мин, для угловых швов – 18...22 л/мин. 2 Вылет электрода должен быть 8...15 и 15...25 мм для диаметров сварочной проволоки соответственно 1,2...1,4 и 1,6...2 мм. 3 При сварке стыковых и угловых швов в вертикальном и потолочном положениях сила сварочного тока уменьшается соответственно на 10 и 15 %, а остальные параметры сварки уточняют согласно заводским нормам.

Определив режим сварки расчетом по приведенным формулам или определив режим сварки по приведенным таблицам 3 и 4, необходимо по программе Welding рассчитать тепловое поле вокруг дуги, определить положение линии сплавления (определить значение «у», при котором температура не превышает $T_{плав}$, но и не ниже $T_{плав}$ на ± 50 °С). Повторить расчет теплового поля при найденном значении «У» – это значит выйти на линию сплавления, на которой необходимо определить скорость охлаждения металла шва при температуре начала распада переохлажденного аустенита T_n .

$$T_n = 540 - 492 \cdot C - 30 \cdot Mn - 31 \cdot Si - 14 \cdot Cr - 16 \cdot Mo - 23 \cdot Ni + 68 \cdot U + 215 \cdot Ti + 270 \cdot Nb - 10 \cdot Cu + 220 \cdot P - 406 \cdot N + 12 \cdot C \cdot Cr - 4.2 \cdot Cr \cdot Mo - 4.6 \cdot C \cdot Ni + 8.2 \cdot Cr \cdot U + 160 \cdot C^2 + 13 \cdot Si^2 + 0.9 \cdot Ni - 103 \cdot U^2 + 0.313 / (C + 0,001), \quad (12)$$

где C , Mn , Si и др. – легирующие компоненты анализируемой стали в процентах по массе.

Далее необходимо ввести полученное значение T_n в окно программы Welding и повторить вычисление скорости охлаждения. Сравнить полученное значение $V_{охл}$ с оптимальным диапазоном $V_{охл}$ (таблица 5) для исследуемой марки стали. Если $V_{охл}$ превышает оптимальный диапазон, ввести в

программу Welding предварительный подогрев свариваемых кромок, например, 100 °С, и повторно рассчитать тепловое поле с определением скорости охлаждения на линии сплавления. Если скорость охлаждения по прежнему $V_{охл} > V_{охл.оптим}$ продолжить подбор температуры подогрева для достижения скорости охлаждения $V_{охл} = V_{охл.оптим}$. Эту температуру подогрева запомнить и ввести в проектируемый технологический процесс для операции сварки.

Таблица 5 – Оптимальный интервал скоростей охлаждения при сварке по данным изменения структуры и свойств сталей

Сталь	Оптимальный интервал $V_{охл}$, °С/с	Количество мартенсита в структуре, %	Твердость НВ
Углеродистая обыкновенного качества			
Ст2	6-18	-	155-170
Ст3кп	1,2-12	-	155-170
МСт5	0,12-40	-	130-190
БСт3	1,4-15	-	155-165
Углеродистая качественная конструкционная			
35	0,12-7,0	0-30	130-200
40	2,4-5,0		265-280
45	2,0-4,0	<5	230-250
Низколегированная конструкционная			
09Г2	1,0-15	-	215-185
10Г2Б	0,1-70	0-10	210-165
14Г2	1,0-1,2	-	225-270
16ГС	1,0-12	-	190-225
17ГС	10,0-30	-	225-235
14ХГС	0,8 - 2,6	-	170-215
12ХГСМФ	0,1 -30	0-20	205-300
15ХГНМ	1,0-10	0-20	250-320
14ХГ2	1,2 -5,5	-	325-335
17ХГ2САФ	0,1-20	0-5	180-305
10ХСНД	0,8- 15	-	250-275
15ХСНД	1,8-9,0	-	230-250
Легированная конструкционная			
40Х	4-14	75-90	340-460
30Г2Л	<=6,0	0-20	300
25ХГНА	<=20	-	365
30ХМА	0,1 -5,0	0-40	190-250
35ХМ	1,0-5,0	0-40	230-340
25Н3	0,8 - 70	0-100	175-455
20ХГСА	1,6-7,0	0-100	250-420
30ХГСА	1,6-6,0	0-80	345-450
40ХГСА	<=0,5	0-50	<=380

Пример выбора режима сварки по таблице 3 и 4

Выбор режимов сварки стали 10ХСНД толщиной 16 мм при сварке стыкового шва по приведенным выше таблицам 3 и 4.

При сварке под флюсом толщиной 16 можно сварить без разделки кромок двусторонним швом С29 – АФФ на режиме «Сила тока 850 А, напряжение на дуге 36 В со скоростью сварки $V_{св} = 0,66 \text{ см/сек}$ ».

При сварке же в защитных газах по таблице 4 «сила тока 250 А, напряжение 25 В со скоростью сварки каждого из 4-х проходов $V_{св} = 0,66 \text{ см/сек}$ ».

При таких параметрах режимов сварки определим скорость охлаждения как основной параметр оценки свариваемости как при сварке под флюсом, так и в среде защитных газов. При этом скорость охлаждения $V_{охл}$ не должна превышать $15 \text{ }^\circ\text{C/сек}$. Анализ показывает, что при сварке под флюсом при температуре наименьшей устойчивости аустенита $T_n = 445 \text{ }^\circ\text{C}$ скорость охлаждения металла шва и околошовной зоны составляет $V_{охл} = 14,71 \text{ }^\circ\text{C/сек} < 15 \text{ }^\circ\text{C/сек}$ (рисунок 9). При сварке же в защитных газах рекомендуемая сила тока всего 250 А вместо 850 А под флюсом. По этой причине скорость охлаждения в защитных газах при той же температуре металла шва $T_n = 445 \text{ }^\circ\text{C}$ без подогрева свариваемых кромок будет намного выше: $V_{охл} = 70 \text{ }^\circ\text{C/сек} > V_{огт} = 15 \text{ }^\circ\text{C/сек}$, что недопустимо. Устранить это противоречие можно, выполнив предварительно до сварки подогрев свариваемых кромок до температуры $250 \text{ }^\circ\text{C}$ и при такой температуре подогрева скорость охлаждения снижается до $V_{охл} = 14,55 \text{ }^\circ\text{C/сек}$ (рисунок 10).

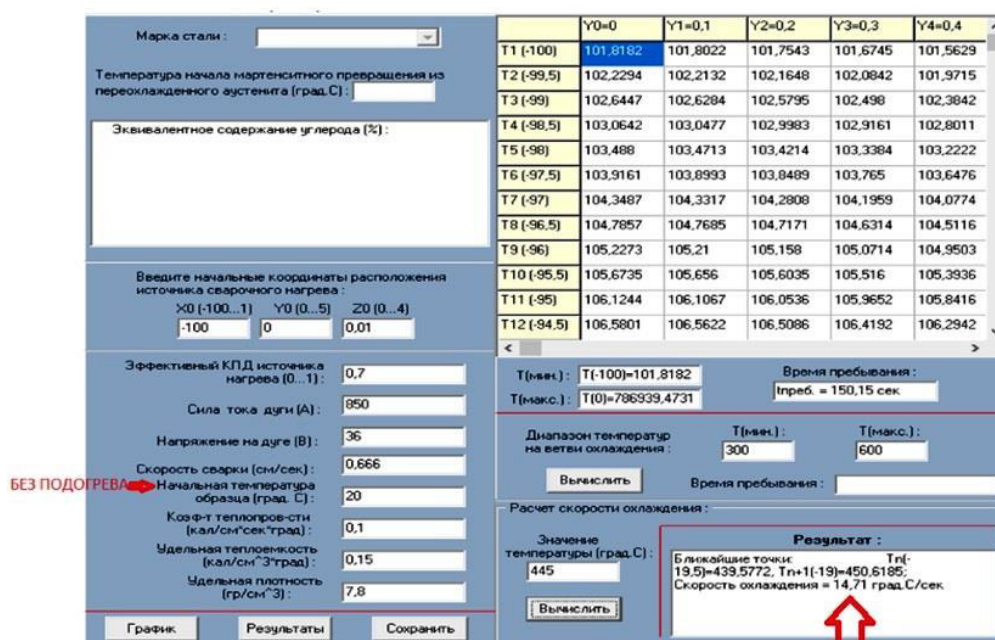


Рисунок 9 – Результат расчета скорости охлаждения при сварке под слоем флюса на указанном выше режиме сварки без подогрева кромок ($V_{охл} = 14,71 \text{ }^\circ\text{C/сек}$)

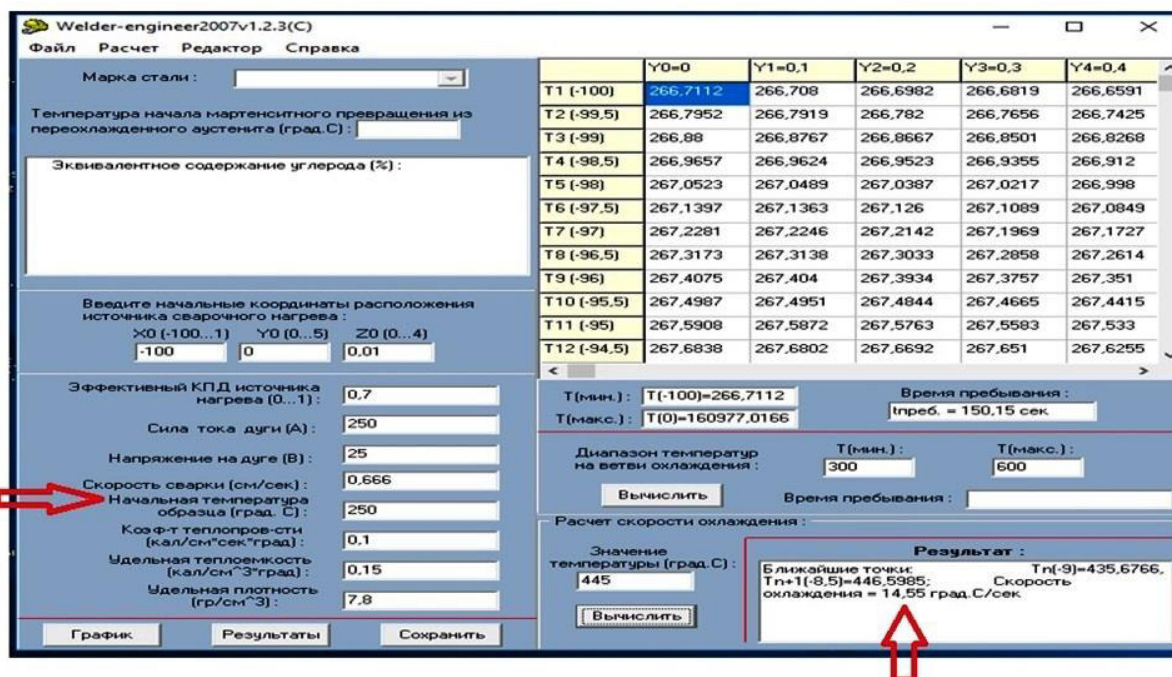


Рисунок 10 – Результат расчета скорости охлаждения при сварке в защитных газах на указанном выше режиме сварки с подогревом кромок до 250 °С ($V_{\text{охл}} = 14,55 \text{ } ^\circ\text{C/сек}$)

Эта температура была определена при расчете теплового поля при сварке в защитных газах путем пробного подбора $T_{\text{под}}$ температур 150, 200 и 250 °С, что легко реализуется в программе анализа тепловых полей Welding. Температуру начала распада переохлажденного аустенита T_n определять по формуле (12).

5.3 Окончательный выбор способа и режима сварки

Для окончательного выбора способа и режима сварки на основе анализа тепловых полей необходимо выбрать окончательно вариант сварки с использованием программы ArcWeldingPro [3]. Для рассмотренного ранее примера сварки стыкового шва толщиной 16 мм при анализе тепловых полей получили, что при сварке под флюсом на режиме «Сила тока 850 А, напряжение на дуге 36 В со скоростью сварки $V_{\text{св}} = 0,66 \text{ см/сек}$ » скорость охлаждения металла шва и околошовной зоны составляет $V_{\text{охл}} = 14,71 \text{ } ^\circ\text{C/сек} < 15 \text{ } ^\circ\text{C/сек}$, что позволяет выполнять сварку под флюсом без подогрева.

По программе ArcWeldingPro проанализировать варианты возможной

сварки под слоем флюса и при сварке в защитных газах (смеси газов плавящимся электродом): время сварки 1 метра шва; количество наплавленного металла на 1 метр шва.

Окончательно выбрать наиболее производительный способ сварки и для этого варианта зафиксировать все параметры режима сварки для ввода в технологический процесс: Сила тока, А; Диаметр электродной проволоки, мм; Напряжение на дуге, В; Скорость сварки, м/час; Скорость подачи проволоки, м/час; Температура предварительного подогрева свариваемых кромок, °С.

Результаты анализа приведены на рисунках 11 и 12.

Найдено вариантов соединения 10

№	Тип шва	Способ сварки	F, мм ²	T, сек.	E, кВт*ч	Стоим. 1м шва
1	C7	АФ	126	292,744	5,078	0
2	C9	АФФ	143,415	310,991	5,395	0
3	C12	АФ	124,455	269,877	4,682	0
4	C18	АФФ	186,648	404,741	7,021	0
5	C21	АФ	147,265	319,34	5,54	0
6	C29	АФФ	191,5	415,262	7,204	0
7	C30	АФФ	110,75	245,059	4,251	0
8	C31	АФФ	147,177	319,149	5,536	0
9	C32	АФФ	116,735	253,136	4,391	0
10	C33	АФФ	134,131	290,859	5,046	0

Пар-р: б, e, g
 Назв.: Зазор между кромками, Ширина валика, Высота усиления

Рисунок 11 – Результат расчета $F_{нап}$ и времени сварки 1 м шва при сварке под флюсом АФ С7 $F_{нап}=126 \text{ мм}^2$ $T_{св}= 292,7 \text{ сек}/ 1 \text{ м шва}$

Получили: ГОСТ 8713-79 АФ С7 $F_n=126 \text{ мм}^2$ $T_{св}= 292 \text{ сек}/ 1 \text{ м шва}$;
 ГОСТ 14771-76 УП С15 $F_n= 81,2 \text{ мм}^2$ $T_{св}= 427 \text{ сек}/ 1 \text{ м шва}$.

ArcWeldingPro v1.1

Файл Инфо

Тип шва:

Толщина:

КПД источника питания:

КПД сварочной дуги:

Режимы: По таблице Задать

Сила тока:

Напряжение:

Способы сварки

Выбрать все способы

ГОСТ 5264-80 РДС

ГОСТ 14771-76 ИП ИНп ИН УП

ГОСТ 8713-79 АФ АФк АФм АФо АФп АФф АФш МФ МФк МФо МФш

Расчет вариантов сварного исполнения

Расчет технологической себестоимости

Четверг 02.02.2023 12:09:47

F T

Найдено вариантов соединения 15

№	Тип шва	Способ сварки	F, мм ²	T, сек	E, кВт·ч	Стоим. 1м шва
1	C8	УП	147,232	904,593	3,205	0
2	C9	УП	159,232	978,321	3,466	0
3	C10	УП	150,232	830,723	2,943	0
4	C11	УП	175,405	969,919	3,437	0
5	C12	УП	159,232	880,489	3,12	0
6	C15	ИП	81,199	748,33	2,651	0
7	C15	УП	81,199	427,617	1,515	0
8	C17	УП	115,338	708,637	2,511	0
9	C18	УП	130,338	655,197	2,321	0
10	C19	УП	140,893	708,256	2,509	0
11	C20	УП	133,338	670,278	2,375	0
12	C21	УП	167,338	881,25	3,122	0
13	C22	ИП	105,87	975,698	3,457	0
14	C25	ИП	71,947	663,064	2,349	0

Номер текущего варианта 7

Подготовка кромок: с двумя симметричными скосами одной кромки

Тип шва: Двусторонний

Способ сварки: В углекислом газе и его смеси с кислородом плавящимся электродом

Сила тока: 250 Напряжение: 25

Пар-р	Ном.	Мин.	Макс.	Назв.
b	1	-1	1	Зазор между кромками
e	12	2	2	Ширина валика
d	1	-1	1	Высота усиления
c	1	-1	1	Пригупление кромок
a	40	2	2	Угол скоса кромок

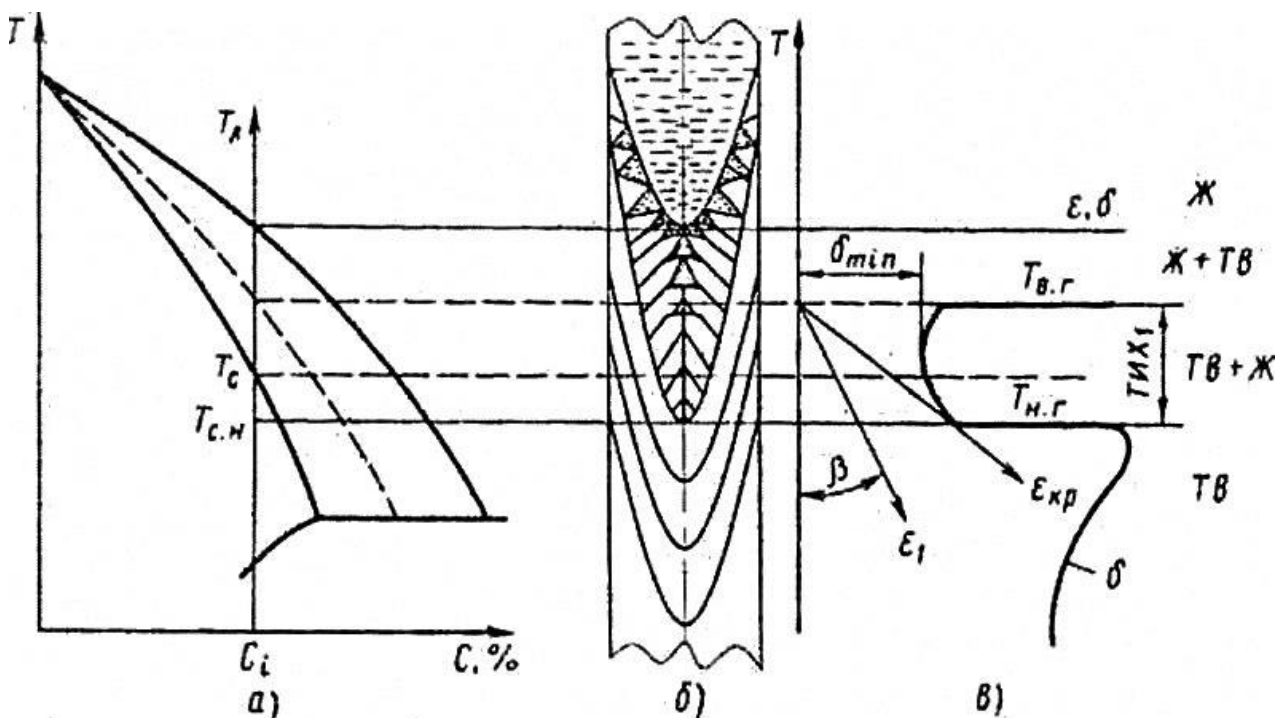
Рисунок 12 – Результат расчета $F_{нап}$ и времени сварки 1 м шва при сварке УП С15: $F_{нап}=81,199 \text{ мм}^2$ и $T_{св}= 427,617 \text{ сек/ 1 м шва}$

Вывод по Главе 5. Производительность сварки под слоем флюса на заданных выше режимах в 1,5 раза выше, чем в защитных газах, при том, что площадь поперечного сечения шва при сварке в защитных газах в 1,55 раза меньше, чем под флюсом.

Однозначный вывод: стальные листы стали 10ХСНД толщиной 16 мм при большой длине шва следует сваривать дуговой сваркой под слоем флюса двусторонним швом без скоса кромок и без предварительного подогрева.

6 ОЦЕНКА СКЛОННОСТИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ К ОБРАЗОВАНИЮ ГОРЯЧИХ ТРЕЩИН

Сплавы в процессе кристаллизации имеют интервал температур, названный температурный интервал хрупкости (ТИХ), в котором значения прочности и пластичности весьма малы, а разрушение носит хрупкий характер и происходит по зонам срастания кристаллитов или по границам зерен [12]. Из схемы (см. рисунок 13) следует, что при температурах, прилегающих к ликвидусу T_l , значение пластичности (δ) велико и определяется высокой способностью металла в жидко-твердом состоянии к релаксации сдвиговых напряжений. В начальный период кристаллизации появление твердой фазы не снижает деформационную способность сплава, так как металл деформируется за счет относительного перемещения участков твердой фазы и циркуляции жидкой фазы между ними. По мере дальнейшего охлаждения сплавов непрерывно снижается объем жидкой фазы и металл переходит в твердо-жидкое состояние (рисунок 13, б), что приводит к соприкосновению кристаллитов при деформировании.



а – диаграмма состояния сплава; C_i – состав сплава; T_l , T_c и $T_{с.н.}$ – температуры соответственно ликвидуса, равновесного и неравновесного солидусов; б – процесс кристаллизации сварного шва; в – распределение пластичности δ ; ε – интенсивность сварочных деформаций

Рисунок 13 – Схема образования ГТ в сварных швах

Это ограничивает циркуляцию жидкой фазы и резко снижает деформационную способность сплава до минимума (δ_{min}). Температура, соответствующая этому состоянию, называется верхней границей ТИХ $T_{в.г}$. При деформации такого металла кристаллиты воспринимают в местах контакта напряжения, что способствует появлению определенного уровня сопротивления деформированию. Нижняя граница ТИХ – $T_{н.г}$ соответствует неравновесному солидусу $T_{с.н}$. Ниже $T_{н.г}$ деформационная способность резко возрастает и достигает максимума, так как в деформации участвует весь объем полностью затвердевшего металла.

Качество конструкционных материалов, предназначенных для изготовления сварных конструкций, сварочных материалов и технологии в отношении образования ГТ при сварке может быть определено несколькими методами (таблица 6). Расчетно-статистический метод оценки стойкости сплавов против образования ГТ является косвенным, так как основан на использовании параметрических уравнений, составленных с помощью регрессионного анализа, и применим только для тех сплавов, которые входят в концентрационные пределы изученных композиций.

Таблица 6 – Методы оценки стойкости против образования ГТ в процессе кристаллизации при сварке

Название метода	Показатели	Примечание
Расчетно-статистический, по параметрическим уравнениям и структурным диаграммам	Фактор склонности к ГТ (HCS, CSF, CSF2, L). Единицы склонности к ГТ (U(UCS)). Критический темп деформации $tg\alpha_{кр}$. Хромоникелевый эквивалент (Cr_3/Ni_3)	Для приближенной оценки
Экспериментальный, с помощью машинных методов испытания	Критическая скорость ($V_{кр}$) и темп деформации ($B_{кр}$). Критическая деформация	Для сравнительной оценки и выбора технологических вариантов сварки
Экспериментальный, с технологическими методами испытаний	Наличие ГТ при сварке проб. Частота образования ГТ. Относительная длина ГТ. Критическая скорость сварки. Критический размер образца пробы	Для сравнительной оценки склонности сплавов к ГТ
Расчетно-экспериментальный с помощью технологических проб и эталонных сварочных материалов	Запас стойкости против образования ГТ	Для оценки стойкости сварной конструкции против ГТ при сварке в заданном диапазоне режимов сварки

Второй недостаток этого метода – невозможность учета аномалий по примесям, не входящим в параметрические уравнения, а также аномалий по технологическим параметрам сварки, выходящим за исследованные пределы. Поэтому расчетно-статистический метод рекомендуется для приближенных экспресс-оценок, а экспериментальный как проверочный. Рекомендуемые параметрические уравнения сведены в таблицу 7.

Перечень сталей, оцениваемых к склонности ГТ, включенных в программу ГТ

Углеродистые стали: В Ст 3сп, В Ст 3кп, В Ст 3пс, В Ст 3Г пс, В Ст 4пс, В Ст 5пс, 08кп, сталь 10, сталь 20, 15кп, 16кп, 18К, 20К.

Низколегированные: 14Г, 15Г, 09Г2, 14Г2, 18Г2, 12ГС, 16ГС, 17ГС, 09Г2С, 10Г2С1, 10ХСНД, 15ХСНД.

Микролегированные: 14Г2АФ, 16Г2АФ, 18Г2АФ, 09Г2ФБ, 10Г2ФБ, 12Г2СМФ, 12ГН2МФАЮ.

Легированные: 13ХГМРБ, 14Х2ГМРБ, 14Х2МРЛ, 14Х2ГМ, 12Г2СМФАЮ, 12ГН2МФАЮ, 12ХГН2МФБАЮ, 12ХГН2МФБДАЮ, 12ХГН2МФДРА, 14ХГН2МДАФБ, 14ХГ2САФД, 12ГН3МФАЮДРС, 12ХГН3МАФД.СШ, 12ХГН3МАФЮДР.С, 14ХГНМДАФБРТ,

Высоколегированные мартенситные: 08Х22НБТ, 12Х21Н5Т, 08Х21Н6М2Т, 03Х23Н6, 03Х22Н6М2.

Аустенитно-ферритные нержавеющие: 08Х13, 12Х13, 20Х13, 08Х14МФ, 14Х17Н2.

Аустенитно-мартенситные: 07Х16Н6, 09Х15Н8Ю, 08Х17Н5М3, 10Х15Н4АМ3.

Аустенитные жаропрочные: 08Х16Н9М2, 10Х14Н16Б, 10Х18Н12Т, 10Х14Н14В2М, 10Х16Н14В2БР, 09Х14Н18В4Т, 10Х14Н18В4Т, 10Х14Н18В2БР1, 20Х23Н18, 08Х23Н18, 1Х15Н25МБА, 40Х18Н25С2, 20Х25Н20С2, 10Х12Н20Т3Р, 10Х15Н35ВТ, Х15Н35ВТР.

Аустенитные коррозионностойкие: Н18К9М5Т, 03Х11Н9М2Т, Н12Х5М3, 08Х15Н5Д2Т, 30Н8К4ХМФ, 08Х18Н10, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 03Х18Н11, 08Х18Н11, 10Х16Н12Б, 10Х14Г14Н4Т, 10Х14АГ15, 07Х21Г7АМ5, 08Х17Н13М2Т, 10Х17Н18М3Т, 08Х17Н15М3Т, 03Х16Н15М3, 03Х21Н21М4ГБ, 02Х8Н22С6, 15Х18Н12С4ТЮ.

Мартенситные стареющие: Н18К9М5Т, 03Х11Н9М2Т, Н12Х5М3, 08Х15Н5Д2Т, 30Н8К4ХМФ.

Для каждой стали из этого списка можно определить склонность к ГТ при минимальном, среднем и максимальном уровне легирования.

Один из способов снижения склонности к ГТ проводить сварку на малой погонной энергии, накладывая шов малого сечения.

Для снижения склонности к ГТ шов должен быть лучше широким (e – ширина шва) и h – глубина проплавления с отношением: $e/h > 2$. Кинжальное проплавление более склонно к ГТ.

В соответствии с таблицей 7 создана программа расчета склонности легированных сталей к образованию горячих трещин (ГТ).

Таблица 7 – Расчетно-статистические показатели склонности к ГТ

Параметрическое уравнение	Вид оценки	Область применения
1 $HCS = \frac{C(S + P + Si / 25 + 0,01Ni) \cdot 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V}$	<4 – несклонная <2 – несклонная	Для сталей $\sigma_B < 700$ МПа, для сталей $\sigma_B > 700$ МПа
2 UCS=230 (C) +190(S)+75(P)+45(Nb) - 12.3(Si)-5.4(Mn) – 1	< 10 – стойкая, ≥ 30 – склонная	Nb – микро- легированные стали
3 $V_{кр} = 19 - 42(C) - 411(S) - 3,3(Si) + 5,6(Mn) + 6,7(Mo)$	≥ 6 – стойкая, < 1,8 – склонная	легированные стали
4 $\frac{Cr_s}{Ni_s} = \frac{Cr + 1,37(Mo) + 1,5(Si) + 2(Nb) + 3(Ti)}{Ni + 0,31(Mn) + 22(C) + 14,2(N) + Cu}$	>1,5 при P+S= 0,02-0,035 стойкая <1,5 при P+S>0,02 – склонная	Cr-Ni – аустенитные стали
5 $L = 299(C) + 8(Ni) + 142(Nb) - 5,5(\% \delta - Fe)^2 - 105$	L>0 –склонная	аустенитно-феррит- ные стали

Как видно из таблицы, легированные стали разбиты на 5 групп с соответствующими критериями оценки склонности к ГТ. Всего в базе содержатся сведения о 102 марках сталей. Для оценки склонности к ГТ необходимо найти в базе интересующую проектировщика марку стали и выполнить расчет, который может быть проведен по 3-м вариантам: минимальное легирование сплава; среднее легирование; максимальное легирование.

По результатам анализа делается заключение о склонности свариваемой стали к ГТ и намечают мероприятия по предотвращению ГТ. Так в приведенном ниже примере (рисунок 14) сталь 12X18H10T при максимальном содержании легирующих компонентов стойкая против ГТ.

На рисунке 14 видно, что критерий склонности к ГТ определялся как

отношение эквивалента Cr к эквиваленту Ni , если $Cr_{эк}/Ni_{эк} > 1,5$ – нержавеющая сталь не склонна к ГТ.

Горячие трещины

0:18:00

Введите марку стали: 12X18H10T

Поиск

Расчет

Выбор значения расчета:

- Максимальное
- Среднее
- Минимальное
$$\frac{Cr_3}{Ni_3} = \frac{Cr + 1.37(Mo) + 1.5(Si) + 2(Nb) + 3(Ti)}{Ni + 0.31(Mn) + 22(C) + 14.2(N) + Cu}$$

История результатов:

Марка стали: 12X18H10T
S/Ni: 1.48450244638206
Склонная

Среднее значение
Марка стали: 12X18H10T
S/Ni: 1.44796380090498
Склонная

Максимальное значение
Марка стали: 12X18H10T
S/Ni: 1.58485273492286
Стойкая

Сохранить

Очистить

Углеродистые и низколегированные стали | Легированные стали | Высоколегированные стали

		А-Ф нержавеющие		А-М		М-старение	
		Мартенситные	М-Ф	Феритные		А жаропрочные	
Код	Марка	C	Si	Mn	Cr	Ni	А коррозионностойкие
1	08X18H10	0.08	0.8	2.0	17.0-19.0	9.0-11.0	
2	08X18H10T	0.08	0.8	2.0	17.0-19.0	9.0-11.0	
3	12X18H10T	0.12	0.8	2.0	17.0-19.0	9.0-11.0	
4	03X18H11	0.03	0.8	2.0	17.0-19.0	10.5-12.5	
5	08X18H11	0.06	0.8	2.0	17.0-19.0	10.0-12.0	
6	10X16H12S	0.08	0.8	2.0	17.0-19.0	11.0-13.0	
7	10X14Г14Н4Т	0.10	0.8	13.0-15.0	13.0-16.0	2.8-4.5	
8	10X14АГ15	0.10	0.8	14.5-16.5	13.0-15.0	-	
9	07X21Г7АН5	0.07	0.7	6.0-7.5	19.5-21.0	5.0-6.0	
10	08X17H13M2T	0.08	0.8	2.0	16.0-18.0	12.0-14.0	

Рисунок 14 – Результат расчета склонности к ГТ стали 12X18H10T

Одной из причин образования ГТ является повышенное содержание вредных примесей серы и фосфора. Повышенное содержание серы приводит к образованию по границам зерен сульфида железа Fe_2S_3 . Температура плавления которого ~ 700 °С, эта температура на 400 °С ниже температуры полной кристаллизации стали, значит при повышенном содержании серы $>0,03$ % может быть жидкая прослойка между зёрнами стали – это готовая горячая трещина. Поэтому в параметрическом уравнении 2 (таблица 7) S и P введены с наибольшими коэффициентами «вредности» среди легирующих элементов.

7 ОЦЕНКА СКЛОННОСТИ К МЕЖКРИСТАЛЛИТНОЙ КОРРОЗИИ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ

Одним из показателей свариваемости хромоникелевых сталей является коррозионная стойкость их сварных соединений. Появление склонности металла к межкристаллитной коррозии (МКК) возможно на следующих участках сварного соединения: в основном металле на некотором расстоянии от шва; в металле шва; непосредственно у границы сплавления.

Причины, вызывающие развитие коррозии, на различных участках сварного соединения различны. Появление очагов коррозии на некотором расстоянии от шва связано с длительным пребыванием металла в температурном интервале 450–850 °С и выпадением из аустенита комплексных карбидов железа и хрома, обедняющих хромом периферийные участки зерен аустенита [15]. Потеря коррозионной стойкости металла и приводит к его разрушению по границам зерен. Возможность появления межкристаллитной коррозии зависит от температуры и длительности пребывания при этой температуре. Наименьшее время выдержки, необходимое для того, чтобы металл приобрел чувствительность к межкристаллитной коррозии, лежит в температурном интервале 730–750 °С. Отвечающее этому интервалу время называется критическим – $t_{кр}$. При нагреве как ниже, так и выше указанных температур увеличивается время, требуемое для появления в металле чувствительности к коррозии, а при температуре выше 850 °С структурных изменений, способствующих межкристаллитной коррозии в металле, вообще не наблюдается. Большое влияние на величину $t_{кр}$ оказывает содержание углерода в стали, с его увеличением значение $t_{кр}$ интенсивно уменьшается. Математическая обработка данных из литературы позволяет выразить указанную выше зависимость в виде полинома:

$$t_{кр} = 1/(10,32 \cdot C - 0.48), \text{ мин} \quad (13)$$

где C – содержание углерода в стали, %.

Выражение (13) справедливо при содержании углерода в интервале 0,05–0,15 %. Одним из средств борьбы с межкристаллитной коррозией и является снижение содержания углерода в хромоникелевых сталях. Увели-

чить $t_{кр}$ можно также за счет введения в металл более сильных карбидообразователей, чем хром, например, *Ti*, *Nb*. В этом случае обеднение хромом аустенита не происходит, так как образуются преимущественно мелкодисперсные карбиды титана и ниобия. Исходя из этих соображений, хромоникелевые стали легируют *Ti* и *Nb*. К числу наиболее существенных мер борьбы с межкристаллитной коррозией в зоне термовлияния (ЗТВ) относятся следующие пункты:

1 Закалка на гомогенный твердый раствор. При нагреве под закалку выпавшие ранее карбиды хрома растворяются в аустените. Последующее быстрое охлаждение позволяет получить однородный аустенит. Однако повторный нагрев в области критических температур может вновь привести к выпадению карбидов хрома.

2 Стабилизирующий, или диффузионный отжиг, заключающийся в нагреве металла до 850–900 °С в течение 2–3 часов с последующим охлаждением на воздухе. В этом случае карбиды хрома выпадают наиболее полно, но за счет диффузионных процессов содержание хрома в объеме зерен аустенита выравнивается и поэтому металл становится нечувствительным к межкристаллитной коррозии.

3 Тепловой режим сварки должен исключать перегрев металла (необходимо использование малой погонной энергии, искусственное охлаждение металла в зоне термовлияния и др.).

Межкристаллитная коррозия в металле шва может быть вызвана наличием карбидов хрома на границах зерен. Чтобы получить металл шва, стойкий к выпадению карбидной фазы с участием хрома, целесообразно создавать двухфазную аустенито-ферритную структуру металла шва с содержанием феррита ≈10 %. Наличие ферритных фаз в металле шва предотвращает склонность его к межкристаллитной коррозии. Суть этого заключается в способности феррита локализовывать выделения избыточной фазы и ускорять диффузионные процессы на границе раздела фаз. Для коррозионно-стойких сталей содержание первичного феррита может достигать до 15–25 %.

Из указанных выше соображений и следует анализировать, и подбирать необходимый хим. состав металла шва с использованием диаграммы Шеффлера [11]. Построенная диаграмма (рисунок 15) показывает, что первичная структура металла для исследуемой стали 08X18H10 – аустенит с небольшой добавкой 0–5 % феррита.

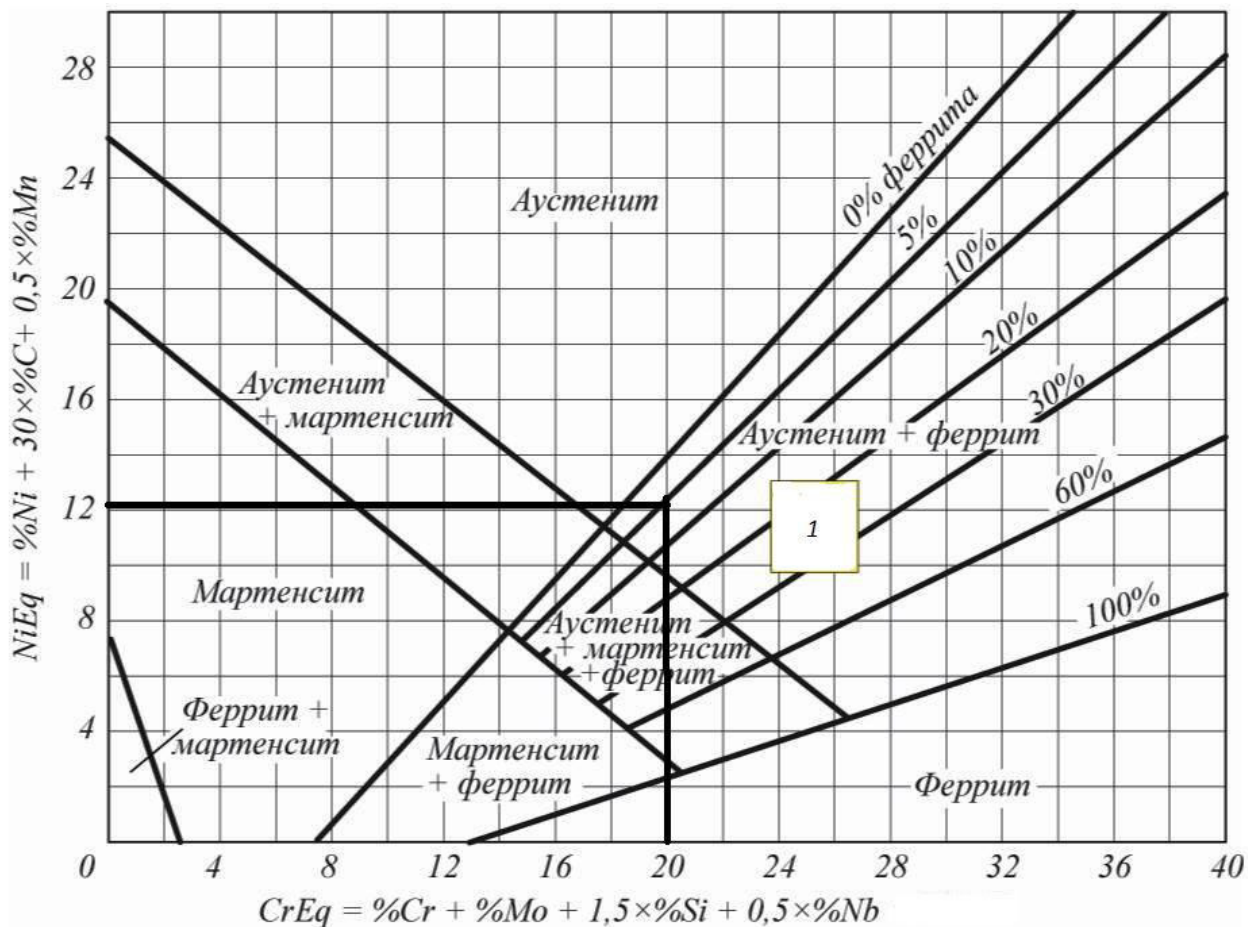


Рисунок 15 – Диаграмма Шеффлера при анализе стали 08X18H10.

Структура металла шва – аустенит с небольшим количеством 0–5 % феррита. При $Ni_{эқв} \approx 12\%$ и $Cr_{эқв} \approx 20\%$ точка пересечения на наклонной линии $\approx 5\%$ феррита

Для повышения стойкости против кристаллизационных трещин и МКК шва необходимо увеличить процентное содержание феррита за счет легирования металла шва молибденом, кремнием и (или) ниобием. Так повышение содержания молибдена до 2,0 % и ниобия до 1,0 % приводит к увеличению ферритной фазы в металле шва до 20 %, что и отражено на диаграмме (рисунок 16).

Для повышения стойкости выполненного сварного соединения можно рекомендовать выполнение одной из двух операций, указанных ранее в разделе (п.1 или п. 2).

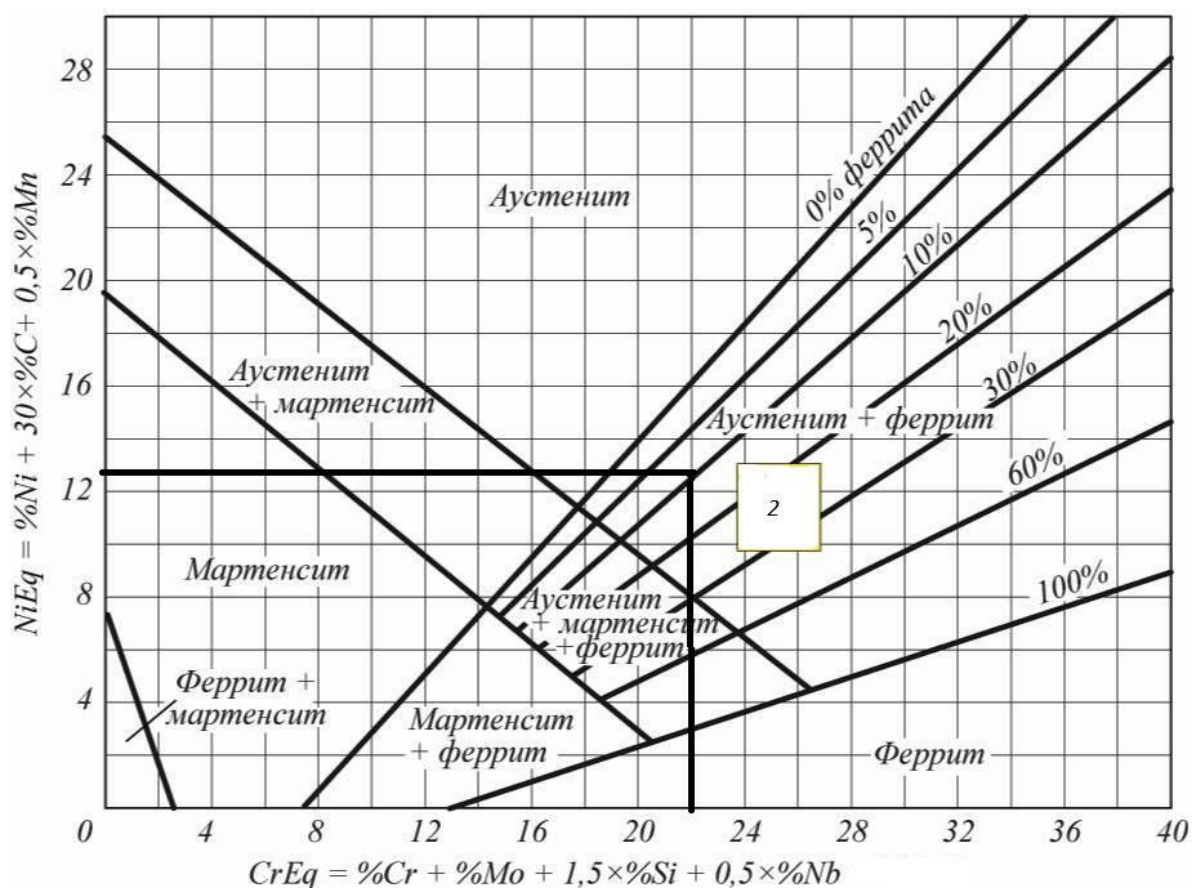


Рисунок 16 – Результат выбора хим. состава металла шва для получения двухфазной его структуры. Структура шва Аустенит + Феррит при этом точка пересечения $Ni_{экв}$, $Cr_{экв}$ показывает, что содержание феррита (10–20 %)

Другим вариантом повышения стойкости металла шва против образования МКК можно рекомендовать ручную дуговую сварку электродами марки НИАТ-1/04Х19Н9 (тип Э-08Х17Н8М2).

Косвенным методом оценки склонности к МКК является оценка времени пребывания металла ОШЗ при охлаждении в интервале температур от 850 до 450 °С. С этой целью проводится расчет теплового поля по программе Welding для исследуемой коррозионностойкой стали на выбранном ранее режиме сварки. По выполнению команды «вычислить» (рисунок 17) получаем расчетное время охлаждения металла ОШЗ в указанном интервале температур. Это расчетное время сравниваем с критическим, вычисленным по формуле (13). Для стали 08Х18Н10 (рисунок 16) при содержании $C = 0,08\%$ по формуле 12 получаем $t_{кр} = 2,89 \text{ мин (173 сек)}$, полученный результат сравниваем с $t_{преб} = 22,73 \text{ сек}$ (рисунок 17) и получаем:

$t_{кр} = 173 \text{ сек} > t_{проб} = 22,73 \text{ сек}$ делаем заключение, что сталь 08Х18Н10 стойкая против образования МКК.

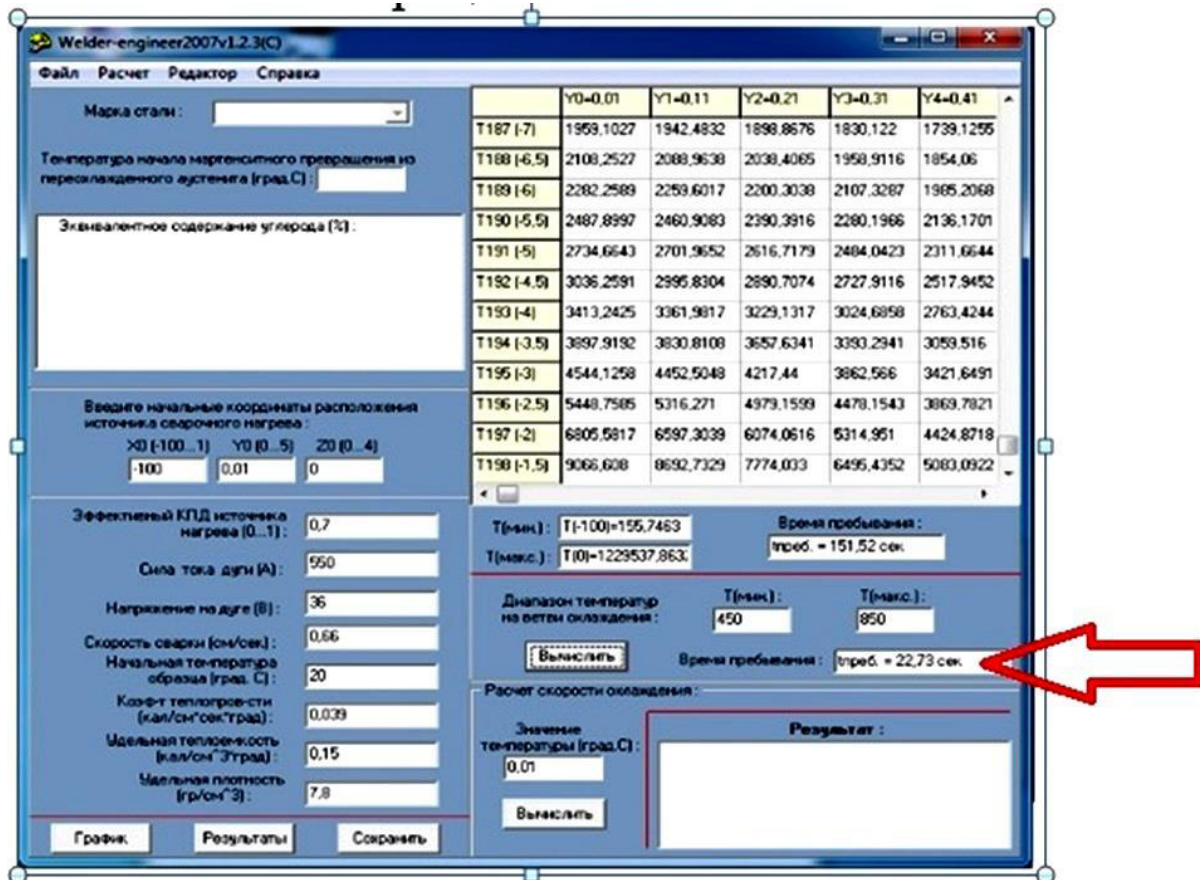


Рисунок 17 – Расчет времени пребывания металла шва на стадии охлаждения после сварки в интервале от 850 до 450 °С ($t_{проб} = 22,73 \text{ сек}$)

При наличии склонности к МКК намечаем мероприятия по пунктам 1 или 2 раздела 7, что необходимо отразить в разрабатываемом технологическом процессе. Простейшим вариантом решения проблемы повышения стойкости против МКК может быть выбор другой марки стали из раздела 6 (перечень сталей, оцениваемых на склонность к ГТ) близкого по назначению, но более высокой коррозионной стойкости и отсутствие склонности к образованию ГТ.

8 ВЫБОР СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ШВА

Для обеспечения высокой прочности и равнопрочности основного металла и сварного шва необходимо придерживаться рекомендаций «СНиП II-23-81 Стальные конструкции. Нормы проектирования». Для заданных в ТУ марки стали и класса стали в соответствии с выбранным способом сварки по таблице 55, Приложения 2, СНиП II-23-81 выбрать сварочные материалы.

Для выбранных сварочных материалов определить по ГОСТ или ТУ на материалы химический состав сварочной проволоки. Для выполненного сварного шва необходимо определить химический состав наплавленного металла для последующей расчетной оценки механических свойств металла шва.

Для оценки механических свойств низколегированного металла шва в относительно узком диапазоне значений длительности охлаждения в интервале температур от 850 до 500 °С (10...40 с) можно использовать следующие регрессионные модели, описывающие зависимость свойств от химического состава [5]:

$$\begin{aligned} \sigma_s = & 350 + 1720C + 171Mn - \\ & - 23,6Si + 202Cr + 147Mo + 97Ni + 426V + 170C \cdot Mn + 1330C \cdot Si + 870C \cdot Cr - \\ & - 160C \cdot Mo + 310C \cdot Ni - 694C \cdot V - 23,5Mn \cdot Ni + 64,5Si \cdot Cr - 43Cr \cdot Mo - 25,5Cr \cdot V - \\ & - 20,7Mo \cdot Ni - 0,7Mo \cdot V + 16,1Ni \cdot V + 86C^2 - 17Mn^2 - 50Cr^2 - 4,5Mo^2 + 5,4Ni^2 - 255V^2 - \\ & - (23,0 + 290C + 3Mn + 2,5Si + 14Cr - 13Mo + 10,8Ni + 13V) \cdot \ln t. \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{0,2} = & 290,0 + 1660C + 164Mn + 17,4Si + 103Cr + 190Mo + 92Ni + 324V - \\ & - 32,3C \cdot Mn + 712C \cdot Si + 291C \cdot Ni + 470C \cdot V - 24,1Mn \cdot Ni + 65,1Si \cdot Cr - \\ & - 64,2Si \cdot V + 201Si \cdot V - 24Mo \cdot Ni - 59,2Mo \cdot V + 15,3Ni \cdot V - 161C^2 - 31,3Mn^2 - 15Mo^2 - \\ & - 4,5Ni^2 - 275V^2 - (27,5 + 350C + 4,1Mn + 4,3Cr + 3,4Mo + 2,2Ni + 6,6V) \cdot \ln t. \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \delta = & 37 - 103C - 3,94Mn + 1,61Si - 8,59Cr - 9,0Mo - 20,6V + 9,2C \cdot Mn + 11C \cdot Cr + 20C \cdot Mo - \\ & - 1,1Mn \cdot Si + 1,64Mn \cdot Mo + 0,557Cr \cdot Ni - 18(S+P) + 0,826Mo \cdot Ni + 3,8Mo \cdot V + 78C^2 + \\ & + 0,27Cr^2 + 0,686Mo^2 + 2,12V^2 + (8,4C + 0,905Cr - 0,596Ni + 4,9V) \ln t. \end{aligned} \quad (16)$$

где $\ln t$ – натуральный логарифм длительности охлаждения (сек) металла шва от 850 до 500 °С.

Если ожидаемые значения механических свойств не удовлетворяют проектировщика, он может изменить марку электродной проволоки, после чего получить новые расчетные оценки свойств.

Основные Российские производители сварочных материалов в настоящее время объединились в промышленную группу ARCUS и поставляют свою продукцию по единым нормам и ГОСТам, что упрощает работу потребителей [ARCUS].

Предприятия, входящие в группу ARCUS:

- ЧЗСМ-Урал, г. Магнитогорск;
- Череповецкий завод сварочных материалов (ЧЗСМ) г. Череповец Вологодская область;
- Магнитогорский электродный завод (МЭЗ) г. Магнитогорск;
- СварМонтажСтрой (СМС) г. Долгопрудный;
- Амета электрод г. Светлогорск, Республика Беларусь.

Для более широкого выбора сварочных материалов смотри БД «Сварочные материалы», пример в таблице 8.

Таблица 8 – Материалы для сварки, соответствующие стали (таблица 55 СНиП II-23-81)

Группы конструкций в климатических районах	Стали	Материалы для сварки			Вид электрода
		под флюсом	в углекислом газе (по ГОСТ 8050-85) или его смеси с аргоном (по ГОСТ10157-79)	в углекислом газе (по ГОСТ 8050-85) или его смеси с аргоном (по ГОСТ10157-79)	
		Под флюсом	Под флюсом		
		Марки			
	флюсов по ГОСТ 9087-81	сварочной проволоки по ГОСТ 2246-70)			
1	2	3	4	5	6
II2, 3 и 4 – во всех районах, кроме II1, II2, II3.	C235, 245, C255, 275, C285, 20, BСт3кп, BСт3пс, BСт3сп	АН348А, АН-60	Св-08А Св-08ГА	Св-08Г2С	РДС Э42, Э46

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	
П2, 3 и 4 – во всех районах, кроме 11, 12, П2 и П3.	С345, 345Т,	АН-47,	СВ-10НМА,	СВ-08Г2С	РДС	
	С375, 375Т, С390, 390Т, С390К, С440, 16Г2АФ, 09Г2С	АН-43, АН-17-М, АН-348-А1	СВ-10Г2 ² , СВ-08-ГА ² , СВ-10ГА ²		Э50	
	С345К	АН-348А	СВ-08Х1ДЮ	СВ-08ХГ2СДЮ	Э50А	
1 – во всех районах; 2, 3 и 4 – в районах 11, 12, П2 и П3	С235, 245, С255, 275, С285,20, ВСт3кп, ВСт3пс, ВСт3сп	АН-348А	СВ-08А, СВ-08ГА	СВ-08Г2С	Э42А, Э46А	
	С345, 345Т, С375, 375Т, 09Г2С	АН-47, АН-43, АН-348А	СВ-10НМА, СВ-10Г2 ² , СВ-08ГА ² , СВ-10ГА ²		Э50А	
	С390, 390Т, С390К, С440, 16Г2АФ	АН-47, АН-17-М, АН-348А1	СВ-10НМА, СВ-10Г2 ² , СВ-08ГА ² , СВ-10ГА ²		Э50А	
	С345К	АН-348А	СВ-08Х1ДЮ		СВ-08ХГ2СДЮ	Э50А
	С590, С590К, С590КШ	АН-17М	СВ-08ХН2ГМЮ, СВ-10НМА		СВ-10ХГ2СМА, СВ-08ХГСМА, СВ-08Г2С	Э60, Э70

Примечания: 1 Проволока марки СВ-08Х1ДЮ поставляется по ТУ 14-1-1148–75, марки СВ-08ХГ2СДЮ по ТУ 14-1-3665- 83. 2 При соответствующем технико-экономическом обосновании для сварки конструкций разрешается использовать сварочные материалы (проволоки, флюсы, защитные газы), не указанные в таблице 55, СНиП II-23-81.

При этом механические свойства металла шва, выполняемого с их применением, должны быть не ниже свойств, обеспечиваемых применением материалов согласно настоящей таблице. Кроме Таблицы 55, СНиП II-23-81 рекомендации по применению сварочных материалов проектировщик найдет в ТУ на соответствующие конструкции и каталогах на сварочные материалы.

Примеры сварочных материалов группы ARCUS:

1 Проволока СВ-08Г2С ГОСТ 2246-70, ТУ 1227-002-66167121-2019

Проволока сплошного сечения для дуговой сварки в среде защитных

газов плавящимся электродом для углеродистых и низколегированных сталей обычной, повышенной и высокой прочности. Неомедненная сварочная проволока для автоматической и роботизированной сварки с уникальным покрытием, обеспечивающим легкое продвижение проволоки по подающему каналу. Низкое содержание вредных примесей, таких как S и P, позволяет добиться высоких механических свойств наплавленного металла при температурах -40 °С, -60 °С и ниже. Проволока 08Г2С может использоваться на оборудовании любого класса сложности от простых до импульсных и инверторных источников питания для сварки изделий из конструкционных нелегированных и низколегированных сталей. Широко используется в машиностроении, судостроении, мостостроении и производстве стальных конструкций, атомном машиностроении и многих других отраслях промышленности. Химический состав и свойства приведены в таблицах 9 и 10.

Таблица 9 – Химический состав проволоки Св-08Г2С, %

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
0,05-0,11	0,70-0,95	1,8-1,9	≥0,03	≥0,015	≥0,05	≥0,020	≥0,025

Таблица 10 – Механические свойства наплавленного металла при растяжении и Ударная вязкость KCV и KCU Дж/см²

Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относит. удлинение, %	Относит. сужение, %	KCV,	KCU,	KCV,	KCU,	KCV,	KCU,
				-20°С	-20°С	-40°С	-40°С	-60°С	-60°С
520	390	22	60	64	83	60	79	47	57

Защитный газ: С1 (СО₂ 100 %) или смесь М21 (Ar 80 %+ СО₂ 20 %) Род тока DC +. Свидетельства, одобрения – НАКС (КСМ, СК, ГДО, КО, МО, НГДО, ОТОГ, ОХНВП, ПТО).

2 Проволока Св-08ГА ГОСТ 2246-70

Проволока стальная сварочная с уникальной обработкой поверхности для автоматической сварки под флюсом. Используется для сварки конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей конструкций мостов, опор, труб, трубопроводов при отрицательных температурах и кот-

лов, работающих при высоких давлениях и температурах. Химический состав и свойства приведены в таблицах 11 и 12.

Таблица 11 – Химический состав проволоки Св-08ГА, %

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
≥0,10	≥0,05	0,8-1,1	≥0,015	≥0,015	≥0,05	≥0,010

Таблица 12 – Механические свойства наплавленного металла при растяжении и Ударная вязкость KCV и KCU Дж/см²

Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относит. удлинение, %	KCV, -40°С·Дж/см ²	KCU, -40°С·Дж/см ²
≥400	≥305	≥20	≥30	≥80

Проволока для дуговой сварки под слоем флюса Род тока DC +. Свидетельства, одобрения –НАКС (КСМ, СК, ГДО, КО, МО, НГДО, ОТОГ, ОХНВП, ПТО).

3 Электроды УОНИ 13/55 Тип Э=50А Э-50А-УОНИ-13/55-Ø-УД ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75. Е 514(4)-Б20 ТУ 25.93.15-002-16302447-2018

Указанные электроды для ручной дуговой сварки особо ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, когда к металлу сварного шва предъявляются повышенные требования по пластичности и ударной вязкости. Сварка во всех пространственных положениях, кроме вертикальной сверху вниз. Электроды рекомендуются для сварки конструкций, работающих в условиях пониженных температур. Химический состав и свойства приведены в таблицах 13 и 14.

Таблица 13 – Химический состав наплавленного Ме, %

C	Mn	Si	S	P
≤0,10	0,60-1,20	0,30-0,50	≤0,030	≤0,035

Таблица 14 – Свойства наплавленного металла и металла шва

Временное сопротивление разрыву, МПа	Предел текучести МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость Дж/см ²
≥ 490	>375	>22	>128

Минимальная температура, при которой ударная вязкость КСV на образцах типа IX по ГОСТ 6996-66 составляет не менее 35 Дж/см² при температуре -30 °С.

Ударная вязкость КСУ на образцах VI ГОСТ 6996-66 при температуре -60 °С не менее 50 Дж/см².

Коэффициент наплавки, г/А·ч – 9,0-10,0.

Расход электродов на 1 кг наплавленного металла – 1,65 кг.

Род тока – Dc+; Длина дуги: короткая и средняя; Покрытие электродов – основное. Свидетельства, Одобрения: *НАКС РФ по группам технических устройств; ГДО. ГО, КО. МО, НГДО, ОТОГ, ОХНВП, ПТО, СК.*

РКО (Российское Классификационное Общество): категория ЗУН (река), категория ЗУН10; ЗУ40Н10 (река-море).

Российский морской регистр судоходства, категория ЗУН10.

Санитарно-эпидемиологической экспертизы продукции.

Система сертификации ГОСТ.

4 Электроды марки НИАТ-1/04X19Н9 Тип электрода Э-08X17Н8М2 Э 08X17Н8М2-НИАТ-1/04X19Н9-Ø-BC ГОСТ 9466-75, ГОСТ 10052-75 E2005-B20

Для ручной дуговой сварки ответственного оборудования из сталей аустенитного класса марок 08X18Н10, 12X18Н10Т, 10X17Н13М2Т и им подобных, когда к металлу шва предъявляют требования стойкости к межкристаллитной коррозии. Сварка во всех пространственных положениях, кроме вертикального сверху вниз. Химический состав и свойства приведены в таблицах 15 и 16.

Таблица 15 – Химический состав наплавленного металла, %

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
0,05-0,12	≤1.1	0.8-2.0	≤0.03	≤0.02	7,2-10,0	15,5-19.5	1,8-2.5

Таблица 16 – Механические свойства наплавленного металла и металла шва

Временное сопротивление разрыву σ _B , МПа	Относительное удлинение δ, %	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ²
≥ 539	≥30	≥98

- Свидетельства, одобрения (электродов в системе НАКС);
- Санитарно-эпидемиологические экспертизы продукции;
- Система сертификации ГОСТ Р.

9 ВЫБОР ОСНОВНОГО СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ СТАЛЕЙ

На современном предприятии по изготовлению стальных сварных конструкций прежде всего необходимо иметь современное универсальное оборудование для дуговой сварки под слоем флюса, в среде смеси защитных газов ($Ar + CO_2$) и универсальные источники питания для ручной дуговой сварки штучными электродами (для заварки мест с выявленными дефектами и для ручной дуговой строжки корня шва) [4].

В современных условиях с ограничением контактов с зарубежными специалистами в области сварки необходимо ориентироваться на отечественных производителей сварочной техники и материалов. Можно перечислить некоторые известные фирмы России, выпускающие сварочное оборудование: Рязанский приборный завод выпускает сварочное оборудование для сварки в защитных газах под маркой «Форсаж», завод «Уралтермосвар» и фирма «Шторм» в Екатеринбурге, Псковский завод тяжелого электросварочного оборудования для контактной точечной и шовной сварки, завод «Электрик» в Санкт-Петербурге, Технотрон и другие.

Далее приведены отдельные примеры современного сварочного оборудования России

1 АВТОМАТ АДФ 10030-1 с источником питания ВДУ-1202 для сварки мостовых конструкций (рисунок 18)

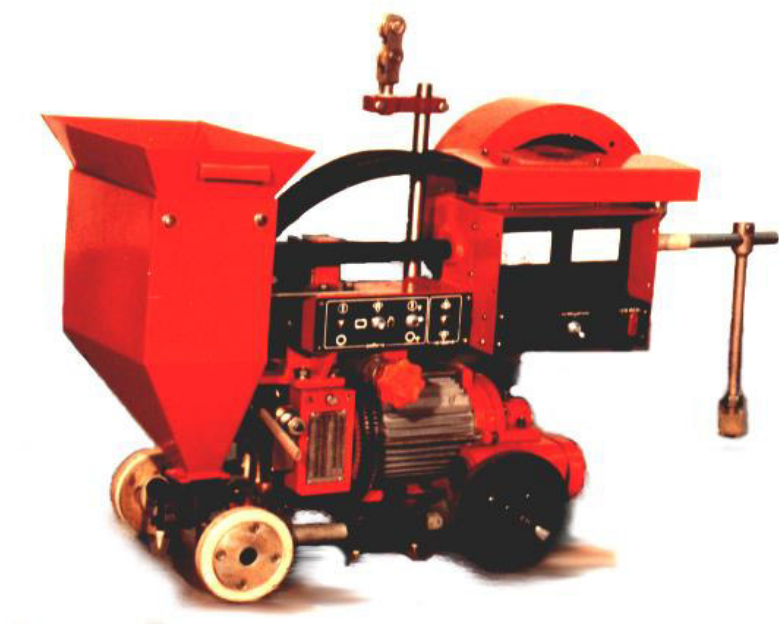


Рисунок 18 – АДФ 10030-1

ОСОБЕННОСТИ ТРАКТОРА АДФ 10030-1.

Мощность двигателя (550 Вт). Надежность работы всех механизмов. Улучшенная изоляция корпуса от токоведущих частей, гарантия электробезопасности оператора. Жесткая конструкция передних штанг, исключая их прогиб при движении трактора без одного колеса. Наличие датчика сварочного тока, исключающего включение двигателя без включения сварочного источника питания.

ПРЕИМУЩЕСТВА

Использование выпрямителя ВДУ-1202 в качестве источника питания позволяет: значительно *поднять КПД (до 83 %)* по сравнению с ВДМ-1201 с балластными реостатами, производить сварку как на падающей, так и на жесткой характеристике, с помощью дистанционного пульта управления ПУ-19 плавно регулировать сварочный ток при работе на падающей характеристике, сварочное напряжение при работе на жесткой характеристике, обеспечить стабилизацию сварочных режимов при изменениях питающей сети.

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ УДОБСТВО СОЗДАЮТ:

- 1 Подсветка приборов контроля тока и напряжения для работы в темное время суток.
- 2 Наличие правильного устройства для электродной проволоки.
- 3 Механизм корректировки положения электрода обеспечивает его оптимальные наклон и смещение относительно оси шва.
- 4 Замена фрикционной муфты на торцевую зубчатую в приводе заднего моста исключает проскальзывание колес.

КОМПЛЕКТ ПОСТАВКИ:

Сварочный автомат, трактор АДФ 10030-1(ТС-30), выпрямитель ВДУ-1202, блок управления БУ-031-1, пульт дистанционного управления ПУ-19, комплект ЗИП, для сварки протяженных швов может комплектоваться кабелем управления и сварочными проводами длиной до 35 м. Технические характеристики приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Технические характеристики устройства

Параметры	Значение
1	2
Номинальное напряжение питающей сети частотой 50 Гц, В	380
Номинальный сварочный ток при ПВ = 100 %, А	1000
Пределы регулирования сварочного тока, А	250...1000

Продолжение таблицы 17

1	2
Диаметры стальной электродной проволоки, мм	3...5
Номинальная мощность электродвигателя, кВт	0,55
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	50...400
Дискретность ступенчатой регулировки скорости подачи электродной проволоки, м/ч	4
Скорость сварки, м/ч	14...128
Предельный угол наклона сварочной головки в плоскости, перпендикулярной шву, град.	45
Емкость барабана для проволоки, кг	15
Емкость бункера для флюса, дм ³	7
Габаритные размеры трактора, мм	
- длина	735
- ширина	365
- высота	550
Масса трактора без проволоки и флюса, кг, не более	50
Габаритные размеры блока управления, мм	
- длина	410
- ширина	180
- высота	350
Масса блока управления, кг, не более	25

2 Сварочный автомат тракторного типа АДФ-1006 Урал

Компактный и облегченный АДФ-1006 Урал (рисунок 19) предназначен для сварки прямолинейных и криволинейных стыковых швов под флюсом с разделкой и без разделки кромок. Позволяет использовать ролик-копир для движения по стыку. Сцепление и расцепление колес с приводом осуществляется с помощью специальной муфты.

Микропроцессорный блок управления автомата позволяет точно устанавливать и плавно независимо регулировать (в том числе в процессе сварки) следующие параметры:

- 1 автоматическое поддержание заданных параметров;
- 2 цифровую индикацию величин: напряжение на дуге;
- 3 сварочный ток;
- 4 скорость подачи проволоки;
- 5 скорость движения автомата;
- 6 возможность запоминания выбранных режимов;

7 возможность регулирования времени подачи повышенного напряжения при зажигании дуги, времени растяжки дуги и заварки кратера.

8 имеет независимые приводы подачи проволоки и перемещения тележки;

9 возможность сцепления и расцепления колес с приводом с помощью муфты.



Рисунок 19 – Сварочный автомат тракторного типа АДФ-1006 Урал

АДФ-1006 Урал может производить сварку балок в положении «лодочка». Автомат работает в комплекте с источниками ВДУ- 1250 Урал, ВДУ-1250 (Сэлма) и ВДУ-500 Урал (02). Технические характеристики устройства приведены таблице 18.

Таблица 18 – Технические характеристики устройства

Номинальный сварочный ток каждой дуги (ПВ=100%), А	1000
Диапазон регулирования сварочного тока, А	200–1000
Диаметр проволоки, мм	3,2–5
Диапазон регулирования скорости подачи проволоки, м/ч (м/мин)	18–150 (0,3–2,5)
Диапазон регулирования скорости сварки, м/ч (м/мин)	18–60 (0,3–1,0)
Диапазон угла наклона сварочной головки к плоскости, перпендикулярной сварному шву (градусы)	0-45
Масса без проволоки и флюса, кг	54
Потребляемая мощность в системе управления и перемещения, Вт	520

3 Сварочный аппарат ФОРСАЖ 502 (Рязанский приборный завод)

Самый мощный российский сварочный аппарат ФОРСАЖ 502 (рисунок 20) для промышленной полуавтоматической сварки и ручной электродуговой сварки штучными электродами. Отвечает всем требованиям, предъявляемым к оборудованию данного класса.



Рисунок 20 – Сварочный аппарат (полуавтомат) ФОРСАЖ 502

Микропроцессорное управление позволяет выбирать оптимальные режимы для получения качественной сварки. Дополнительные регулировки дают возможность управлять процессом сварки от момента зажигания дуги и до окончания сварки. Аппарат оснащен всеми необходимыми защитными функциями, обеспечивающими надежную безаварийную работу и высокую безопасность в жестких производственных условиях. Мощность аппарата в сочетании с универсальностью и мобильностью гарантируют достижение высокой производительности при выполнении большого объема сварочных работ.

Функциональные особенности:

- Максимальный сварочный ток дуги – 500 А.
- Цифровая индикация и регулировка выходного тока и напряжения.
- Автоматическое переключение режимов работы.
- Защита от перегрева, перегрузки или при аварии.
- Дистанционное управление сварочным током и напряжением.

- Возможность питания сварочного аппарата от автономных передвижных электростанций мощностью не менее 30 кВт А.
- Автоматическое запоминание текущих параметров сварки.
- Функции **HOT START, ARC FORCE, ANTISTICK** в режиме **ММА**.
- **TIG** сварка при наличии специального оборудования.

Базовая модификация

- Отключаемый **HOT START**
- Нерегулируемый **ARC FORCE**
- Функция **ANTISTICK**
- Дистанционное управление

Расширенная модификация

- Регулируемый **HOT START**
- Регулируемый **ARCFORCE**
- Регулируемая Функция «Наклон ВАН»
- Регулируемая Функция «Индуктивность»
- Регулируемая Функция «Базовый ток»
- Регулируемая Функция **PILOTARC**
- Импульсный режим
- Хранение 72-х пользовательских программ
- Функция **ANTISTICK**
- Дистанционное управление

Аппарат выполнен со степенью защиты IP22 по ГОСТ 14254-96. По степени защиты от поражения электрическим током аппарат относится к классу I по ГОСТ 12.2.007.0-75.

4 СВАРОЧНЫЙ КОМПЛЕКС «СКАЛА»

Создан по техническим требованиям предприятий судостроительной промышленности и представляет собой комплект оборудования для выполнения широкого спектра сварочных работ. Это мощный промышленный комплекс со 100 % ПВ на токе 500А.

Комплекс предназначен для:

- 1 механизированной сварки – MIG/ MAG,
- 2 ручной дуговой сварки – ММА и дуговой сварки.

В состав комплекса «Скала» входит сварочный аппарат ДС500 «СКАЛА» и подающий механизм ПМ 4,4 «СКАЛА».

Оборудование поддерживает все передовые процессы и функции

сварки: синергетический подбор параметров сварки; импульсный режим и режим двойного импульса; цифровое формирование характеристик и контроль дуги; динамическое поддержание длины дуги; управляемое зажигание и гашение дуги; минимизацию разбрызгивания; цифровые протоколы хранения и передачи данных.

ИСТОЧНИК ДС500 «СКАЛА» – это 500-амперный сварочный аппарат в стальном промышленном корпусе, построенный на цифровой платформе, рисунок 21.



а – полуавтомат в комплекте; б – подающий механизм

Рисунок 21 – Сварочный комплекс «СКАЛА»

ПОЛУАВТОМАТ ПМ 4.4.: «СКАЛА». Предназначен для работы в тяжелых промышленных условиях. Обеспечивает подачу проволоки сплошного сечения и порошковой проволоки диаметром от 0,6 до 2,4 мм на удалении до 80 м от сварочного источника.

РЕЖИМ MIG/MAG

- Сварка стальной и алюминиевой проволокой сплошного сечения и порошковой проволокой.
- Задание всех параметров и управление сварочными процессами с подающего механизма.
- Кнопки «быстрой памяти» для вызова одной из пяти сохраненных сварочных программ.

- Синергетическое управление сваркой с автоматическим подбором параметров.
- Адаптивная система поддержания длины дуги.
- Режим импульсной сварки и сварки с двойным импульсом.
- Точное и управляемое зажигание сварочной дуги и формирование качественного начала шва.

Таблица 19 – Технические характеристики аппарата ДС500 «Скала»

Напряжение питания, В	380 ,+10% -10%
Потребляемая мощность. кВА. не более	24
Напряжение в режиме MiG/MAG - (плавнорегулируемое. Дискретность 0.1), В	16.5–39
Сварочный ток в режиме MIG/MAG, А	40–500
Сварочный ток в режиме ММА (дискретность 1А), А	40–400
Номинальный режим работы ПН. %	100
Диапазон рабочих температур, °С	От -40 до +40
Масса, кг	50
Габаритные размеры, мм	730x320x550
Подающий механизм Технические характеристики ПМ4.4	
Напряжение питания, В	~36
Потребляемая мощность, кВА, не более	0,15
Скорость подачи проволоки, м/мин	1-25
Диаметр проволоки, мм	
Сплошная	0,6–2,0
Алюминиевая	1.2–2.4
Порошковая	1.6–2.4
Диапазон рабочих температур. °С	От -40 до +40
Масса, кг	14
Габаритные размеры, мм	500x210x410

Подающий механизм ПМ 4,4 «СКАЛА» обеспечивает:

- Плавную регулировку скорости подачи сварочной проволоки и напряжения на дуге за счет четырехроликового механизма подачи проволоки, отдельных регулируемых прижимов для каждой пары роликов.
- Подсветку внутреннего пространства подающего механизма.
- Встроенный отсекаТЕЛЬ защитного газа.
- Возможность работы в 2-х и 4-х тактном режиме.

- Надежное крепление силовых кабелей и горелки тросиком к корпусу полуавтомата.
- Количество управляющих проводов в соединительных кабелях уменьшено до 4 за счет цифрового протокола передачи данных.
- Автоматическое измерение сопротивления сварочного контура для стабильной работы на длинных кабелях.

Режим дуговой строжки

Вольтамперная характеристика источника питания специально адаптирована для дуговой строжки, чтобы обеспечить максимальную эластичность дуги. Аппарат позволяет выбирать дефекты сварных швов, резать металл, делать отверстия, удалять дефекты литья и наплавленный металл.

5 Выпрямитель инверторного типа УРАЛТЕРМОСВАР

Выпрямители предназначены для питания одного поста ручной дуговой сварки электродами с любым типом покрытия, поста аргонодуговой сварки на постоянном токе с контактным зажиганием дуги (дуга зажигается в момент отрыва электрода от металла, что исключает попадание вольфрама в сварочный шов). При аргонодуговой сварке нарастание тока до установленного значения и снижение по окончании сварки плавное (время регулируется), время заварки кратера также регулируется. **УРАЛ-Мастер 300** (исп.02) и **УРАЛ-Мастер 500** используется также для механизированной сварки и наплавки самозащитной порошковой проволокой и проволокой сплошного сечения.

Выпрямители в режиме ручной дуговой сварки обеспечивают:

- плавную настройку сварочного тока как с источника, так и с пульта дистанционного управления;
- ограничение напряжения холостого хода (12В);
- форсирование тока короткого замыкания;
- защиту от прилипания электрода;
- индикацию параметров сварки на цифровом дисплее;

Выпрямитель УРАЛ-206И

Выпрямитель УРАЛ-206И (рисунок 22) имеет 3 исполнения: стандартное, с дистанционным регулятором (исп.01, длина кабеля по заказу до 30 метров), для работы от сети с пониженным до 100В напряжением (исп.02).



Рисунок 22 – Выпрямитель УРАЛ-206И инверторный

Все платы управления покрыты слоем лака для защиты от пыли и влаги. Корпус источников состоит из двух изолированных друг от друга отсеков, в верхнем находятся платы управления, а в нижние силовые элементы: IGBT модули с радиаторами, силовой трансформатор, дроссель и т. д. Охлаждающий воздух протекает только по нижнему отсеку, что предохраняет платы от попадания пыли и влаги. Во всех источниках используется мягкая коммутация IGBT модулей (переключение транзисторов происходит при нулевом токе и нулевом напряжении).

Выпрямители рекомендуются для сварки неповоротных стыков труб нефте- и газопроводов и других ответственных конструкций. Могут устанавливаться в любых передвижных агрегатах. Характеристики при ручной дуговой сварке УРАЛ-206И представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Характеристики при ручной дуговой сварке УРАЛ-206И

Номинальный сварочный ток, (при ПН-100 %) А	200
Номинальное рабочее напряжение, В	28
Пределы регулирования сварочного тока, тока А	30–200
Напряжение холостого хода, В	12
Напряжение питающей сети, В (при 50 Гц)	220
Мощность, потребляемая при номинал.токе, кВт	6
Габаритные размеры, мм	330 x145 x 250
Масса, кг	5,5

5 Оборудование аргодуговой сварки НИТИ ПРОГРЕСС

Одним из направлений деятельности нашего института является создание оборудования для автоматической аргодуговой сварки изделий различного назначения из конструкционных и нержавеющей сталей, алюминиевых, титановых сплавов.

Сварка может производиться ручным способом, полуавтоматическим и автоматическим, поэтому существует классификация режимов, которые зависят именно от вышеописанных способов и вида электрода (плавящийся и неплавящийся), участвующего в процессе сварки. Сваркой неплавящимся электродом можно гарантировать прочное и надежное соединение двух металлов, даже разнородных.

Институт занимается механизацией и автоматизацией сварочного процесса как неплавящимся, так и плавящимся электродом. Мы беремся не только за изготовление серийного и штучного оборудования, но и за разработку технологии и промышленное внедрение оборудования «под ключ» на территории заказчика. В этом направлении было разработано, изготовлено и внедрено более 200 единиц сварочных установок, ступелей и машин.

Их можно разделить на:

- универсальное оборудование для сварки кольцевых швов;
- универсальное оборудование для сварки продольных швов;
- универсальное оборудование для сварки продольных и кольцевых швов;
- установки для сварки в контролируемой атмосфере;
- оборудование специального назначения.

При создании оборудования для сварки кольцевых и продольных швов мы стремились к универсальности, чтобы применить это оборудование для решения новых задач. В соответствии с этим были создан ряд универсальных установок для автоматической сварки кольцевых и продольных швов УСКП-300/500, УСКП-400/1500.

С целью обеспечения высокого качества сварного соединения, снижения цикла сварки, повышения удобства работы оператора применены современные комплектующие детали и узлы и комплексы:

- шарико-винтовые пары и шариковые направляющие в приводах перемещения сварочного стола и сварочной головки;
- инверторные источники питания сварочной дуги, обеспечивающие широкие возможности в программировании режима сварки;

- лазерные датчики и эндоскопы для поиска стыка при автоматической сварке труднодоступных швов;
- промышленные контроллеры и системы ЧПУ, обеспечивающие программирование и контроль параметров процесса сварки, протоколирование и хранение их в памяти системы управления, формирование паспорта сварки;
- робототехнические комплексы.

Кроме разработки и изготовления новых установок ОАО «НИТИ «Прогресс» выполняет работы по ремонту и модернизации установок других производителей оборудования. На установках заменяется систему управления на современную, на базе промышленного контроллера заменяется сварочное оборудование на современные инверторные сварочные аппараты. Установки восстанавливаются до первоначальных технических характеристик

Работы «НИТИ "Прогресс"» по разработке технологий дуговой сварки

Разработка технологий сварки:

- 1 Сварка неплавящимся электродом в среде аргона тонколистовых материалов (от 0,2 мм).
- 2 Сварка кольцевых и продольных швов изделий из высокопрочной стали, титановых и алюминиевых сплавов.
- 3 Сварка изделий по сложной траектории перемещения сварочной горелки и свариваемой детали с управлением от системы ЧПУ.
- 4 Многопроходная сварка кольцевых швов с подачей присадочной проволоки и колебанием сварочной горелки.
- 5 Импульсная сварка изделий с различной толщиной свариваемых деталей.
- 6 Специальные возможности оборудования для реализации разработанных технологий.
- 7 Автоматическое управление параметрами технологического процесса сварки: сварочным током, скоростью сварки, расходом защитного газа, скоростью подачи присадочной проволоки, напряжением дуги, амплитудой и частотой колебания сварочной горелки.
- 8 Автоматическое определение стыка свариваемых деталей.
- 9 Автоматическое отслеживание длины дугового промежутка (система АРНД).

10 Возможность видеонаблюдения за процессом настройки сварочной горелки на свариваемый стык и формирования сварного шва.

11 Протоколирование процесса сварки и формирование паспорта сварки.

12 Для сварки продольных швов тонкостенных обечаек разработана система управления клавишными прижимами «Бегущая волна».

Сварка разнородных материалов

Разработка технологий, проектирование и изготовление оборудования для сварки разнородных металлов и сплавов, а также наплавки различных материалов под конкретные требования заказчика.

Сварка малых толщин

Разработка оборудования и технологий для сварки кольцевых и продольных швов изделий из нержавеющей стали и титановых сплавов толщиной $\geq 0,1$ мм.

Одна из разработок «НИТИ "Прогресс"» представлена на рисунке 23, а технические характеристики устройства приведены в таблице 21.



Рисунок 23 – Установка аргонодуговой сварки кольцевых и круговых швов УСГА-400

Таблица 21 – Технические характеристики устройства

Назначение	Автоматизированная аргодуговая сварка кольцевых и круговых швов УСГА-400
Размеры свариваемых деталей (мм): диаметр длина толщина металла	20–400 до 3000 1,0–10,0
Свариваемые материалы	Нержавеющие высокопрочные стали, алюминиевые и титановые сплавы
Скорость сварки (м/час)	0,–4,5 об/мин
Диаметр присадочной проволоки (мм)	1,2–2,0
Источник питания	Tetrix-451 AC/DC, ф. EWM Германия
Особенности	Сварка неплавящимся электродом в среде защитных газов с использованием системы АРНД, а также колебания горелки поперек стыка шва

6 Конструкторское бюро по автоматизации сварочных технологий

«Конструкторское бюро по автоматизации сварочных технологий» (КБ АСТ) создано в декабре 1991 года на базе научно-исследовательского отдела специального конструкторского бюро Псковского завода тяжелого электросварочного оборудования. За 30 лет своей плодотворной деятельности мы накопили огромный опыт в разработке электросварочного оборудования, создали около сотни уникальных машин, которые успешно работают в России и по всему миру – от Дальнего Востока и Китая до Южной Америки. «КБ АСТ» разработало и сейчас серийно выпускает устройства управления для оборудования контактной, точечной, шовной, рельефной и стыковой сварки на переменном и выпрямленном токе, а также низкочастотного, конденсаторного и инверторного исполнений. «КБ АСТ» сегодня – это современное высокотехнологичное наукоёмкое производство. Квалифицированные кадры, современное оборудование, многолетний опыт и высокие стандарты производства позволяют нам создавать продукты, пользующиеся спросом на современном мировом рынке.

Предметом основной деятельности предприятия является:

– комплексная разработка и производство сварочного оборудования, технологических линий, устройств автоматики, оснастки для всех видов

промышленных производств;

- разработка инновационных технологических процессов для сварочного производства;

- комплексная разработка и производство автоматизированных систем управления промышленным оборудованием и технологическими линиями;

- модернизация используемого сварочного и других видов промышленного оборудования;

- разработка и производство программных средств производственного и научного назначения.

6 МАШИНА ДЛЯ ТОЧЕЧНОЙ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

(Псковский завод тяжелого электросварочного оборудования)

МТВР-4801 (рисунок 24) предназначена для сварки постоянным током ответственных соединений практически всех основных металлов и их сплавов (по нормам авиапрома). Экономична в потреблении электроэнергии по сравнению с машинами переменного тока. Технические характеристики приведены в таблице 22.

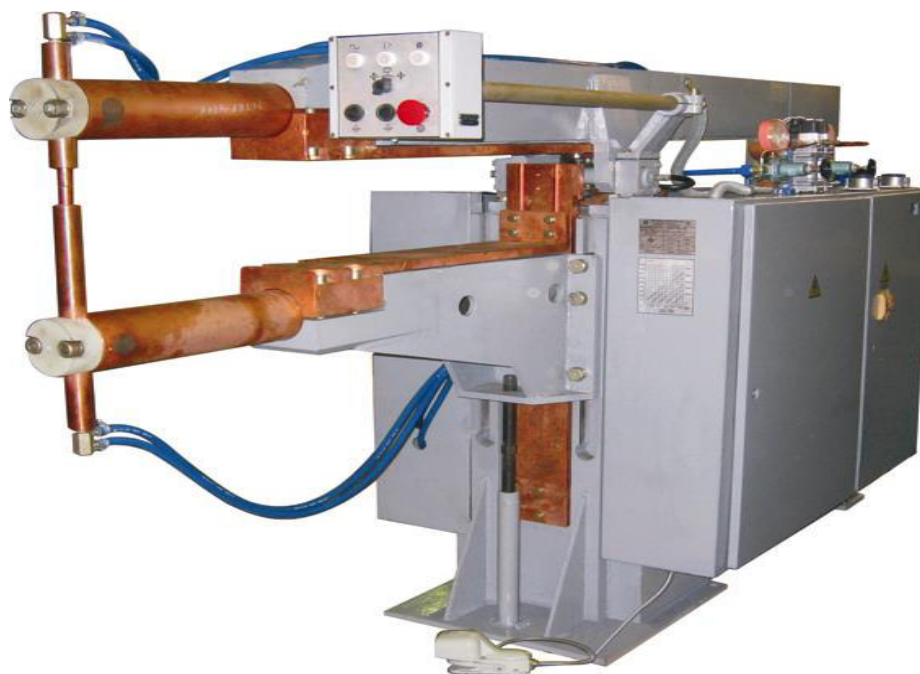


Рисунок 24 – Машина точечной контактной сварки МТВР-4801

Имеет радиальный ход верхнего электрода, что позволяет использовать машину для сварки крупногабаритных конструкций.

Функциональные возможности:

- Повышенная стабилизация сварочного тока при изменениях напряжения сети.
- Дискретное регулирование сложных циклов сварки.
- Работа в автоматическом и одиночном цикле. Режим наладки.
- Ступенчато-плавная (фазовая) регулировка сварочного тока.
- Плавное регулирование рабочего и дополнительного хода верхнего электрода.
 - Радиальный ход электрода.
 - Наличие термозащиты.
 - Наличие глушителей шума на клапанах.
 - Идеальные сварочные характеристики: отсутствие перегревов и пауз тока; большие допуски сварочных параметров, в т. ч. по току; большой диаметр линз без трещин и разбрызгивания и т. д.
 - Импульсная сварка с отдельной регулировкой каждого импульса.
 - Возможность формирования импульсов сварочного тока любой формы.
 - Регулирование вылета верхнего и нижнего электрододержателей.

Таблица 22 – Технические характеристики

Параметры		Значение
Напряжение питания, 50 Гц	В	3 x 380
Наибольшая мощность при коротком замыкании	кВА	410
Мощность при ПВ=50%	кВА	315
Род сварочного тока	-	постоянный
Наибольший вторичный ток	кА	48
Номинальный длительный вторичный ток	кА	14
Усилие сжатия	даН	120...1480
Вылет	мм	800...1200
Раствор	мм	140...390
Ход верхнего электрода:		
• рабочий	мм	18
• полный		200

Продолжение таблицы 22

<p>Свариваемые толщины:</p> <ul style="list-style-type: none"> • нержавеющие стали • алюминиевые сплавы • титановые сплавы • жаропрочные сплавы • медные сплавы (латуни) • низкоуглеродистые стали 	мм	<p>от 0,3 + 0,3 до 2,5 + 2,5 от 0,3 + 0,3 до 2,5 + 2,5 от 0,3 + 0,3 до 2,5 + 2,5 от 0,3 + 0,3 до 2,5 + 2,5 от 0,3 + 0,3 до 2,5 + 2,5 от 0,3 + 0,3 до 3,0 + 3,0</p>
Расход охлаждающей воды	л/ч	2000
<p>Габариты (Д x Ш x В):</p> <ul style="list-style-type: none"> • машины • шкафа управления 	мм	<p>3020 x 950 x 1644 624 x 350x1246</p>
<p>Масса:</p> <p>машины</p> <p>шкафа управления</p>	кг	<p>2700 105</p>

10 НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Важным фактором повышения эффективности производства является рациональное использование материальных ресурсов, в частности материалов для сварки и наплавки [12].

Нормирование расхода сварочных и наплавочных материалов представляет собой установление плановой меры их производственного потребления. Основной задачей нормирования является обеспечение расчета технически и экономически обоснованных прогрессивных норм расхода сварочных материалов в целях рационального использования их в производстве.

Норма расхода – это максимально допустимое плановое количество материалов на производство единицы продукции установленного качества в планируемых условиях производства.

10.1 Методика расчета норм расхода материалов при сварке металлов

В нормах расхода материалов на сварку детали изделия учитывают полезный (теоретический) расход материалов, входящих в состав данной продукции, а также отходы и потери, обусловленные технологическими процессами сварки (наплавки). В общем виде норма расхода электродного металла при сварке детали может быть представлена суммой следующих элементов:

$$N = m_э + \Delta m_z, \quad (17)$$

где $m_э$ – масса наплавленного металла;

Δm_z – масса технологических отходов и потерь (на угар, разбрызгивание и концевые отходы сварочной проволоки, электродные огарки, а также на вспомогательные прихватки при сборке изделий).

Источниками первичной входной информации для расчета норм являются:

1 Чертежи свариваемых деталей и узлов, определяющих типы и размеры швов, положение швов в пространстве и их протяженность, а также марки свариваемых материалов;

2 Технические условия на изготовление конструкций;

3 Технологический процесс на сборочно-сварочные работы;

4 Действующие ГОСТы и нормы по сварке.

Норма расхода сварочных материалов на изделие при дуговых способах сварки определяется на основе нормативов расхода сварочных материалов по формуле:

$$N_{ij} = \sum H_{ij} \cdot L_{ji}, \quad (18)$$

где H_{ij} – норматив расхода i сварочного материала при j способе сварки, кг;

L_{ji} – протяженность сварных швов j типа, выполненных i способом сварки, м;

$j = 1, 2-i$ – типы швов сварных соединений по соответствующему ГОСТу.

В разделе нормирования расходов сварочных материалов необходимо кратко указать используемую методику расчета норм расхода с указанием конкретных коэффициентов расхода каждого материала.

Обычно при изготовлении сварной конструкции используется несколько видов сварных швов с различной протяженностью и различного сечения, поэтому необходимо составить таблицу всех сварных швов с указанием ГОСТ на сварку, толщины кромок, буквенно-цифровое обозначение шва, его длина, катет и выполнить полный расчет расхода каждого сварочного материала, не забывая при это расход защитных газов и остающихся стальных подкладок, а также керамических подкладок.

10.2 Методика расчета нормативов расхода сварочных материалов

Норматив расхода сварочных материалов (H) при дуговых способах сварки определяется по формуле

$$H = M \cdot K_p, \quad (19)$$

где M – масса наплавленного металла на 1 метр сваренного шва;

K_p – коэффициент расхода, учитывающий технологические потери и отходы сварочных материалов.

Масса наплавленного металла (M) на 1 метр шва определяется:

$$M = F \cdot \gamma \cdot L \cdot 10^{-3}, \quad (20)$$

где F – площадь поперечного сечения наплавленного металла шва данного сварного соединения, рассчитываемая по номинальным размерам конструктивных элементов подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения по соответствующему ГОСТу, см^2 ;

γ – плотность металла, принятая для углеродистых и низколегированных сталей равна $7,85 \text{ г/см}^3$;

L – длина единицы шва, равная 100 см. Выражение (20) можно упростить, принимая $L = 1 \text{ м}$.

$$M = F \cdot \gamma \cdot 10^{-3} \text{ (кг)}, \quad (21)$$

где F – площадь поперечного сечения наплавленного металла, мм^2 (формулы для расчета F смотри в учебном пособии, Приложение 1) [1].

γ – плотность металла, г/см^3 .

Основные типы сварных соединений (буквенно-цифровые обозначения) и формулы для определения при дуговых способах сварки приведены в приложении к методическим указаниям «База данных».

При выполнении прерывистых швов дуговыми способами сварки нормативы расхода сварочных материалов корректируются с учетом длины шва и шага прерывистого шва.

При выполнении швов сваркой в защитных газах и ручной дуговой сваркой в различных пространственных положениях, норматив расхода материалов корректируется поправочным коэффициентом. При сварке в вертикальном и горизонтальном положениях этот коэффициент равен 1,1 в потолочном – 1,2.

10.3 Сварка под флюсом

При этом виде сварки нормируется электродная проволока и флюс.

Норматив расхода электродной проволоки рассчитывается по формулам (17 ...18).

Коэффициент расхода при автоматической сварке под флюсом $K_p=1,03$, при сварке полуавтоматом $K_p=1,05-1,06$.

Норматив расхода флюса в килограммах рассчитывается по формуле (19).

Массу наплавленного металла на 1 метр шва можно определить по

программе ArcWeldingPro для варианта шва, который интересует проектировщика (см. рисунок 25).

The screenshot shows the ArcWeldingPro software interface. On the left, there are input fields for 'Тип шва' (Stыковой), 'Толщина' (25), 'КПД источника питания' (0,7), and 'КПД сварочной дуги' (0,7). Below these are 'Режимы' (По таблице, Задать) and 'Сила тока' and 'Напряжение' fields. A 'Способы сварки' section lists various standards (ГОСТ 5264-80, ГОСТ 14771-76, ГОСТ 8713-79) and welding methods (РДС, ИП, АФк, etc.). A table titled 'Найдено вариантов соединения' (72) lists parameters like '№', 'Тип шва', 'Способ сварки', 'F, мм^2', 'T, сек.', 'E, кВт^ч', and 'Стоим. 1м шва'. A dialog box 'Оценка себестоимости сварного исполнения' is open, showing a list of cost components. A red arrow points to the value '1331,919' for 'Масса наплавленного металла на 1 м шва, г'.

№	Тип шва	Способ сварки	F, мм ²	T, сек.	E, кВт ^ч	Стоим. 1м шва
41	C21	РДС	383,093	4137,404	22,516	0
42	C23	ИП	495,305	2593,597	19,408	0
43	C23	УП	495,305	1244,927	11,998	0
44	C23	АФк	317,817	492,96	13,498	0
45	C23	РДС	454,055	4903,794	26,687	0
46	C24	РДС	100,922	1089,958	5,932	0
47	C24	ИП	133,922	701,264	5,248	0
48	C24	УП	133,922	336,607	3,244	0
49	C25	РДС	199,297	2152,408	11,714	0
50	C25	АФ	173,427	395,424	7,326	301,0736
51	C25	МФ	173,427	415,144	5,178	0
52	C25	АФк	292,709	502,66	13,108	0
53	C25	ИП	191,27	1001,559	7,495	0
54	C25	УП	191,27	480,748	4,633	0

Оценка себестоимости сварного исполнения	
Масса наплавленного металла на 1 м шва, г:	1331,919
Время сварки 1 м шва, с:	395,424
Затраченная электроэнергия, кВт ^ч :	7,326
Коэффициент расхода сварочной проволоки:	1,1
Коэффициент расхода флюса:	1,2
Стоимость 1 кг сварочной проволоки, руб:	60
Стоимость 1 кг флюса, руб:	110
Часовая тарифная ставка, руб:	100
Стоимость 1 кВт ^ч электроэнергии, руб:	3,6
[Рассчитать]	
Стоимость сварочной проволоки, руб:	87,91
Стоимость флюса, руб:	175,81
Стоимость работы, руб:	10,98
Стоимость электроэнергии, руб:	26,3736
Итоговая стоимость 1 м шва, руб:	301,0736

Рисунок 25 – Результат определения массы наплавленного металла на 1 метр шва по программе ArcWeldingPro (в примере: *масса наплавленного металла на 1 метр шва 1331,9 грамм*)

Значения K_p для автоматической сварки на весу $K_p = 1,1$, на флюсо-медной подкладке и медном ползуне $K_p = 1,13$, для сварки на флюсовой подушке $K_p = 1,23$, для сварки под флюсом полуавтоматом $K_p = 1,5$.

10.4 Сварка в углекислом газе и его смесях

Нормированию подлежат сварочная проволока, углекислый газ или смеси газов. Норматив расхода сварочной проволоки определяется по формуле (17).

K_p рассчитывается по формуле:

$$K_p = 100 / (100 - K_n), \quad (22)$$

где K_n – технологические потери электродной проволоки в зависимости от параметров режима сварки.

Норматив расхода защитного газа определяется по формуле:

$$H_z = \sum H_{y.z} \cdot t_o + \sum H_{\text{дон}I}, \quad (23)$$

где H_z – норматив расхода защитного газа, м³ (л);

$H_{y.z}$ – удельный расход защитного газа, м³/с (л/мин) ;

t_o – основное время сварки прохода, с (мин);

$H_{\text{дон}}$ – дополнительный расход защитного газа на выполнение подготовительно-заключительных операций при сварке прохода, м³ (л).

Дополнительный расход защитного газа рассчитывается по формуле:

$$H_{\text{дон}} = t_{n.z} \cdot H_{y.z} \quad (24)$$

где $t_{n.z}$ – время на подготовительно-заключительные операции (продувку горелки до сварки и места сварки по окончании процесса). Величину $t_{n.z}$ можно принять равной 0,2 мин на одно включение дуги.

10.5 Ручная дуговая сварка

При ручной дуговой сварке нормируются покрытые электроды по ГОСТ 9466-75.

Норматив расхода электродов определяется по формуле (18), где K_p учитывает потери стержня электрода на угар, разбрызгивание и огарки длиной до 50 мм, а также массу покрытия. Величина K_p для наиболее применяемых марок электродов длиной 350...450 мм приведена в справочной литературе по электродам. Данные расчета сводятся в таблицу, пример приведен в таблице 23.

Таблица 23 – Результаты расчета норм расхода сварочных материалов (пример)

№ шва	Обозначение шва	Кол-во, шт.	Длина, м	$H_{\text{пр}}$, кг	$H_{\text{ф}}$, кг	$H_{\text{г}}$, л
1	2	3	4	5	6	7
1	T3-AФ-Δ8	1	15,45	10,05	11,06	-

Продолжение таблицы 23

1	2	3	4	5	6	7
2	ТЗ-АФ-Δ6	6	92,67	36,31	39,92	-
3	ТЗ-ИП-Δ6	50	32,3	12,05	-	2410,8
4	Т8-ИП-Δ8	42	8,28	6,61	-	1045
5	ТЗ-ИП-Δ7	20	4,25	1,75	-	278
6	С25-ИП	18	3,42	1,6	-	172
7	ТЗ-ИП-Δ7	1	15,45	7,9	-	1259
8	Н1-ИП-Δ12	2	3	3,4	-	498
9	Т7-ИП-Δ6	4	4,51	3,55	-	563
10	ТЗ-ИП-Δ5	30	4,5	1,28	-	245,3

Масса наплавленного металла на 1 м шва определяется по формуле (19), где M рассчитывается по данным ГОСТ 5264-80.

11 НОРМИРОВАНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Задачей технического нормирования является установление необходимых затрат времени на выполнение заданной работы в определенных организационно-технических условиях. Технические нормы предусматривают полное использование производственных возможностей оборудования на основе применения передовых технологических приемов, рациональную организацию рабочего места, правильную последовательность действий рабочего в соответствии с методами и приемами новаторов производства, уплотненное использование рабочего времени.

Технические нормы – главный критерий при расчетах потребного количества и степени загрузки технологического оборудования, определения числа работающих для выполнения задания; они являются основой правильной организации труда и заработной платы.

Обязательными условиями установления обоснованных технических норм времени являются: расчленение технологического процесса на его составные части-операции, переходы, приемы и движения; анализ продолжительности этих частей процесса с учетом влияния на них различных факторов; проектирование наиболее экономного состава и последовательности элементов процесса с учетом передового опыта.

11.1 Состав технической нормы времени дуговой сварки

Норма штучного времени для всех видов дуговой сварки:

$$T_{шт} = T_{ниш} \cdot L + t_{ви} \quad (25)$$

где $T_{ниш}$ – неполное штучно-калькуляционное время сварки 1 метра шва;

L – длина свариваемого шва по чертежу в метрах;

$t_{ви}$ – вспомогательное время, зависящее от изделия и типа оборудования, включает время на установку, поворот, снятие изделия, закрепление и открепление деталей, перемещение сварщика. Для всех видов дуговой сварки его устанавливают по нормативам [12].

Общемашиностроительные нормативы [12,13] содержат таблицы неполного штучно-калькуляционного времени на 1 м шва, рассчитанного по формуле:

$$T_{шт} = (T_o + t_{всп}) \cdot (1 + (\alpha_{обс} + \alpha_{от} + \alpha_{н.з}) / 100), \quad (26)$$

где T_o – основное время сварка 1 м шва;

$t_{всп}$ – вспомогательное время, зависящее от длины свариваемого шва.

Основным временем в электросварочных работах является время, затрачиваемое непосредственно на образование сварного шва путем расплавления металла электрода. Его определяют по формулам (25-26) в зависимости от вида и способа сварки [2, 10].

Основное время в минутах для ручной дуговой сварки плавящимся электродом на длине шва в 1 метр:

$$T_o = (F_1 \cdot \gamma \cdot 60) / (J_1 \cdot \alpha_n) + (F_n \cdot \gamma \cdot 60) / (J_n \cdot \alpha_n) \cdot n., \quad (27)$$

Технологический процесс после его составления со всеми операциями и переходами необходимо нормировать по времени выполнения всех операций и работ. Это необходимо для расчета себестоимости изготовления конструкции и вычисления и назначения заработной платы рабочих со сдельной оплатой труда.

При серийном изготовлении продукции по отлаженной технологии на предприятии составляются таблицы норм времени по отдельным операциям на основе расчета машинного времени работы на установленных режимах с учетом конкретных условий труда на рабочем месте и возможного хронометража по отдельным операциям. Для выполнения таких работ на предприятии может быть создан отдел (бюро) труда и заработной платы, который и разрабатывает нормы времени прежде всего на типовые работы.

Студент при разработке технологического процесса должен познакомиться с заводскими нормативами времени на типовые сборочно-сварочные работы и, правильно их используя, нормировать ТП по времени.

На кафедре имеются материалы в виде типовых нормативов сборочно-сварочных работ. Пример таких таблиц представлены на рисунке 26.

База данных Вид Правка Инструменты ?

Статья (RTF) |

Установка и поворот детали, сборочной единицы краном (время, мин)

Таблица	Длина детали, сбор. единицы, мм					
	2000 мм	4000 мм	6000 мм	8000 мм	10000 мм	15000 мм
100 кг	1,6 мин	1,7	1,9	2	2,1	2,2 мин
200 кг	1,8 мин	1,9	2	2,2	2,3	2,4 мин
300 кг	1,9 мин	2	2,1	2,3	2,4	2,5 мин
500 кг	2 мин	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6 мин
800 кг	2,1 мин	2,3	2,5	2,6	2,8	2,9 мин
1000 кг	2,2 мин	2,5	2,7	3	3,2	3,3 мин
3000 кг	3,8 мин	4	4,2	4,5	4,7	4,9 мин
5000 кг	5 мин	5,3	5,6	6	6,2	6,4 мин
10000 кг	5,9 мин	6,2	6,6	7	7,2	7,4 мин
30000 кг	7,6 мин	8	9	10	10,3	10,6 мин
50000 кг	10,5 мин	11	11,5	13,5	13,9	14,3 мин

RTF | Размер: 12,04 Кб (772 байт)

Рисунок 26 – Типовые нормы времени на установку и поворот детали, сборочной единицы краном

Число проходов при многослойной сварке:

$$n_{np} = (F - F_1) / F_n + 1, \quad (27)$$

где F_1, F_n – площади поперечного сечения наплавленного металла шва для первого и последующего проходов, мм²;

J_1, J_n – сила сварочного тока первого и последующих проходов, А;

γ – плотность наплавленного металла, г/см³;

α_n – коэффициент наплавки, г/(А·час);

n – количество последующих проходов.

Площадь поперечного сечения наплавленного металла за один проход рекомендуется принимать для первого прохода 20–25 мм², для последующих проходов – 30–60 мм².

Основное время для автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом и в среде защитных газов на 1 метр шва при многослойной сварке определяется:

$$T_0 = 60/V_{св1} + (60/V_{свn}) \cdot n, \quad (28)$$

где $V_{св1}$ и $V_{свn}$ – скорость сварки для первого и последующих проходов, м/ч;

n – количество последующих проходов.

Вспомогательное время $t_{в}$ и из выражения (18), зависящее от длины свариваемого шва, включает время на зачистку шва от шлака или окисной пленки после выполнения каждого прохода, смену электрода (присадочных прутков, кассеты). осмотр, промер и клеймение шва, переходы сварщика после каждого прохода к началу шва и т.д. Состав и длительность отдельных элементов вспомогательного времени, зависящих от длины свариваемого шва, устанавливаются по нормативам в зависимости от вида дуговой сварки [2].

Время на обслуживание рабочего места $\alpha_{обс}$. время на отдых и личные надобности – $\alpha_{от}$, время на подготовительно-заключительные работы $\alpha_{п.з}$ обычно задаются в процентах от (25)

Нормативы в % приведены в справочнике нормировщика. оперативного времени – $t_{он}, t_{он} = T_o + t_{в.ш}$.

Нормы времени для практического расчета отдельных простых работ (переходов) можно найти в «Информационно-поисковой системе» кафедры ТАСП программы «brw2015». Ниже приведены три таблицы нормативов времени на сборочные и сварочные работы (таблица 24, рисунки 27, 28) . Таких таблиц в «Информационно-поисковой системе» несколько сотен, что достаточно для выполнения курсового проекта и ВКР.


Таблица 24 – Таблица норм времени на сборку на прихватках одного стыка длиной от 500 до 2000 мм при толщине от 4 до 30 мм с постановкой выводных планок, на один стык в минутах

Длина стыка, l	Общая длина листа, L	Толщина листа в мм						
		4–6	8–10	12–14	16–18	20–22	24–26	28–30
Норма времени на 1 стык в мм.								
500	6000	10.4	13.5	17.0	19.7	22.8	23.7	25.9
	9000	11.9	15.1	19.0	21.0	23.8	24.9	27.1
	12000	13.5	16.5	20.0	22.8	25.8	26.9	29.2
1000	6000	15.0	18.0	21.8	24.6	28.4	30.7	33.7
	9000	16.2	19.8	23.6	26,6	29,4	31.0	34.0
	12000	19.7	22.8	24.8	28.3	31.4	32.8	35.8
1500	6000	17.8	21.4	25.4	29.2	31.8	31.8	33.8
	9000	21.2	24.4	27.4	30,2	32.8	32.7	34,9
	12000	22.8	27.6	29.1	32.2	34.8	35.6	37.8
2000	6000	24.4	27.2	30.5	33,6	36.3	35.8	38.0
	9000	25.9	29.2	31.8	34,6	38.3	38.8	41.0
	12000	27.4	30.2	32.8	36.6	39.3	39.6	41.8

Примечание: При стыковке из нескольких листов $K= 0,8$; Разряд работ до 15 атм. – 3; свыше 15 атм. – 4; K расценкам применять $K-1,08$ за условия труда

База данных Вид Правка Инструменты ? Статьи (RTF)

Нормы времени на автоматическую сварку дугоустойчивых продольных швов без скова кромок карт обечай под слоем флюса С29



Длина стыка в мм. до:	Общая длина листа, мм.	Толщина металла в мм. до:			
		6 - 8	10 - 12	14 - 16	18 - 20
500	6000	27,7	28,4	29,4	30,4
	9000	28,3	29,0	30,3	33,8
	12000	28,8	30,2	32,1	34,0
1000	6000	29,0	30,1	32,3	34,5
	9000	30,2	31,3	33,5	35,7
	12000	31,3	32,7	34,5	36,3
1500	6000	30,1	34,5	35,5	36,5
	9000	30,3	36,2	37,2	39,2
	12000	34,9	36,9	38,8	40,7

RTF Размер: 3 988,51 Кб (548,71 Кб) 10001:87:00018707.rtf

Рисунок 27 – Таблица норм времени на сварку под слоем флюса стыкового шва С29 длиной от 500 до 1500 мм при толщине листов от 6 до 20 мм

База данных Вид Правка Инструменты ? Статьи (RTF)

Установка деталей, узлов вручную с выверкой

Применение I При снятии деталей, узлов К=0,1
2 При установке деталей с разлетом К=2,4 Работа выполняется лишь в том случае, когда до 10 мм: 1 чел - свыше 10 мм - 2 чел 4 Работы работ

Содержание работы:

- Взять деталь, узел
- Установить на плоскости с выверкой по размерам, отверстиям, рискам и кромкам, справкой шаблона по размерам установки

Положение установки	Наибольший размер детали, включая диаметр стыков Ø в мм	Вес детали и узлов в кг	Способ установки				
			С выверкой по отверстиям, рискам, кромкам	на специальном			
				КОЛИЧЕСТВО ШПИНДЕЛЕЙ	Время на установку одной детали в мин.		
С горизонтальной	1000	1	0,43	0,2	0,48	0,84	1,0
		3	0,47	0,35	0,54	0,9	1,1
		5	0,52	0,42	0,6	0,96	1,8
		10	0,56	0,44	0,66	1,08	1,9
		20	0,65	0,51	0,72	1,2	2,1
	1500	30	0,74	0,61	0,79	1,54	2,2
		40	1,1	0,83	1,1	1,5	2,6
		50	1,5	0,93	1,21	1,7	2,9
		5	0,57	-	-	-	-
		10	0,62	0,5	0,74	1,2	2,2
	2000	30	0,65	0,6	0,82	1,34	2,1
		50	0,85	0,67	0,96	1,44	2,4
		40	1,2	0,84	1,1	1,6	2,1
		50	1,8	1,1	1,34	1,9	3,1
		1	0,32	0,36	0,59	1,04	1,9
Вертикальная	1000	3	0,57	0,43	0,66	1,1	2,0
		5	0,62	0,46	0,72	1,17	2,2
		10	0,69	0,6	0,8	1,3	2,3
		20	0,8	0,7	0,96	1,4	2,6
		30	0,94	1,2	1,44	2,1	3,4
	1500	5	0,64	0,56	0,78	1,4	2,4
		10	0,73	0,6	0,96	1,3	2,6
		20	0,96	0,8	1,1	1,64	2,3
		30	1,1	1,4	1,6	2,3	3,7

RTF Размер: 5,79 Кб (942,22 Кб) 10001:87:00018707.rtf

Рисунок 28 – Таблица норм времени на установку деталей, узлов вручную с выверкой

11.2 Методические указания по использованию нормативов норм времени на сборочно-сварочные работы

Данный раздел (таблицы) содержат материалы для определения норм времени на автоматическую сварку под слоем флюса, полуавтоматическую сварку, в среде углекислого газа и ручную электродугую сварку.

В качестве основных исходных данных при разработке нормативов были использованы общемашиностроительные нормативы, а также хронометражные наблюдения и фотографии рабочего дня сварщиков.

Нормативы предназначены для применения в условиях единичного и мелкосерийного производства при освоенном технологическом процессе, позволяющем сварщику максимально использовать рабочее время на основной работе. Нормативами предусматривается следующее:

1 Работа выполняется в цеховых условиях при нормальной температуре воздуха, надлежащем освещении и вентиляции:

2 Оборудование: подъемно-транспортные средства, инструменты и приспособления находятся в исправном состоянии.

3 Рабочие обладают квалификацией и производственными навыками, необходимыми для выполнения работы.

4 Сварщик освобождается от работ, не связанных с процессом сварки.

5 Заготовки и изделия поступают на сварку в полном соответствии с чертежами и техническими условиями на их изготовление.

6 Приемка и оформление выполненной работы производится контролером ОТК, как правило на рабочем месте.

7 В зависимости от вида свариваемого шва, условий выполнения работы, положения шва в пространстве применять следующие поправочные коэффициенты (таблица 25).

Таблица 25 – Короткометражный шов

Д, Длина шва в м до:	0,005	0,1	0,25	0,5
К _о , Коэффициент	1,3	1,25	1,2	1,1

Примечание: Сварку в закрытых объемах сечением менее 0,7 м² с двумя или одним днищем К=1,15.

В результате всесторонней разработки технологии изготовления сварной конструкции у технолога собирается полный комплект всех документов по технологии изготовления сварной конструкции, и технолог имеет

возможность оформить весь комплекс работ по изготовлению изделия в условиях своего предприятия на имеющемся оборудовании предприятия с указанием последовательности сборочно-сварочных, транспортных, контрольных, дробеструйных (дробеметных), покрасочных и комплектовочных работ при подготовке изделия к отправке потребителю.

Для всего этого комплекса работ необходимо определить потребное время на выполнение каждой запланированной операции и с учетом программы выпуска определить необходимое количество рабочих мест для изготовления заданной программы выпуска и спроектировать планировку участка (цеха) для ритмичного последовательного перемещения изделия с начальных заготовительных работ (операций) до финишных операций сдачи (приемки) готового изделия отделу технического контроля (ОТК) или непосредственно заказчику.

Для такого планирования работ по изготовлению металлоконструкции во времени необходимо детально рассчитать требуемое время на выполнение каждой операции в условиях действующего или проектируемого производства, пример приведен в таблице 26. Если на предприятии подобные с проектируемым изделием конструкции выпускаются, то на предприятии составлены и типовые технологические процессы, для которых составлены и типовые нормы времени, в которых учтены все особенности организации производства на данном предприятии и составлены методики расчета норм времени с определением поправочных коэффициентов, учитывающих конкретные условия организации производства. Студент должен изучить указанные методики и использовать их при нормировании ТП, а затем необходимо спроектировать планировку участка (цеха) сборочно-сварочных работ.

Таблица 26 – Сводная таблица расчета норм времени (пример)

№ шва	L, м	V _{св} , М/ч	T ₀ , мин	t _{в.ш} , мин	T _{оп} , мин	t _{в.и} , мин	T _{н.ш-к} , мин	T _{шт} , мин
1	35,1	50	1,2	12,29	13,5	10	16,73	597,22
2	129,1	22	2,73	45,19	47,9	10	59,42	7681,12
3	86	56	1,07	30,1	31,2	10	38,65	3333,9
4	7,3	50	1,2	2,56	3,76	10	4,66	44,09
5	8,1	62,5	0,96	2,84	3,8	10	4,71	48,15
6	2,2	50	1,5	0,77	2,27	10	2,82	16,2
7	2,1	62,5	0,96	0,74	1,7	10	2,11	14,43
10	21	33,3	1,8	7,35	9,15	10	11,35	248,35
21	4,8	33,3	1,8	1,68	3,48	10	4,32	30,74

12 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РЕЖИМЕ ДИАЛОГА

Задачи, решаемые автоматизированным проектированием, можно разделить на полностью формализованные или частично формализованные. Для решения задач первого типа необходимо иметь все исходные данные, при этом решение может быть выполнено полностью автоматически по заранее заданным алгоритмам с помощью средств вычислительной техники. Технолог-проектировщик в этом случае готовит исходные данные для ввода в ЭВМ, а в ходе выполнения задачи не может изменить направление процесса проектирования, но лишь оценивает результаты решения. Более сложными для автоматизации, но и более распространенными являются задачи, в которых имеющихся исходных данных явно недостаточно для получения однозначного решения и в этом случае необходимо участие профессионала в области рассматриваемых технологий. Роль технолога в работе автоматизированной системы проектирования не сводится только к подготовке исходных данных и окончательному контролю результатов, он также может в режиме диалога изменять направление процесса переработки информации с целью получения желаемого результата.

Инженерную интуицию, опыт, знания и способность человека принимать решения в условиях неопределенности целесообразно сочетать с методами и средствами численного анализа, предоставляемыми информационно-вычислительной системой. Система технолог-ЭВМ представляет собой совокупность технических средств и программного комплекса, обеспечивающих общение (диалог) технолога с ЭВМ для получения проектного решения. Центральное место в такой системе занимает инженер-проектировщик, а инициатива диалога обычно заложена в программе. Диалоговое проектирование технологических процессов (ТП) в машиностроении применяется там, где при принятии проектных решений приходится выполнять значительное количество трудноформализуемых логических действий. При этом преобладают эвристические методы нахождения проектных решений. Так, например, при проектировании технологических процессов сборки и сварки могут быть определяющими дальнейший ход разработки ТП самые разные критерии: от глубины проплавления и склонности к МКК

до ширины валика сварного шва. Среди этих и других критериев много таких, которые трудно задать однозначно математическим языком, но они точно и быстро могут быть определены профессионалом в области сварки, что позволит решить задачу в режиме диалога.

Возможность автоматизированного проектирования ТП сборочно-сварочного производства определяется, в первую очередь, развитием научных основ технологии сварки, а также применением математических методов анализа и синтеза проектных решений. Эта возможность зависит от уровня совершенства технических средств САПР и техники (методологии) программирования решаемых задач. От того, какие технологические закономерности заложены при проектировании, от их практической и научной ценности будет зависеть и степень совершенства разработанного ТП, который в свою очередь определяет качество сварной конструкции и себестоимость ее изготовления.

12.1 Проектирование операций дуговой сварки в защитных газах

Комплексная программа автоматизированного проектирования операций дуговой сварки в среде защитных газов составлена на основе общемашиностроительных укрупненных нормативов времени на дуговую сварку в среде защитных газов. При этом нормативы времени и другие характеристики сварных соединений собраны в БД.

Программа позволяет проектировать операции дуговой сварки для различного класса материалов с применением следующих способов сварки (рисунок 29):

- 1 полуавтоматическая сварка в среде двуокиси углерода углеродистых и низколегированных сталей;
- 2 полуавтоматическая сварка труб в среде двуокиси углерода из углеродистых и низколегированных сталей;
- 3 полуавтоматическая сварка в среде двуокиси углерода легированных и высоколегированных сталей;
- 4 полуавтоматическая аргонодуговая сварка легированных и высоколегированных сталей;
- 5 полуавтоматическая аргонодуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов;

6 ручная аргодуговая сварка неплавящимся электродом с присадкой легированных и высоколегированных сталей;

7 ручная аргодуговая сварка неплавящимся электродом с присадкой алюминия и алюминиевых сплавов.

Все указанные выше операции, выполняемые на предприятиях машиностроения в условиях крупносерийного, среднесерийного, мелкосерийного или единичного типов производств, могут включать самый различный перечень работ (переходов) наряду с основным процессом сварки. Эти работы (переходы) обычно разделяют на вспомогательные работы, связанные со сваркой шва, и вспомогательные работы, связанные с изделием и оборудованием для сварки. Указанные переходы включаются в состав операции сварки, поскольку выполняются на рабочем месте дуговой сварки оператором-сварщиком или одним из членов бригады сборки и сварки.

Автоматизированное проектирование операции с использованием предлагаемого комплекса программ предусматривает создание операции в режиме диалога. При этом система предлагает на выбор проектировщику варианты способов сварки, а для выбранного способа задается тип шва и форма подготовки кромок с указанием их толщины, что достаточно для выбора из БД значения неполного штучного времени на 1 м сварного шва (рисунок 29).



Рисунок 29 – Окно выбора способа сварки при проектировании операции дуговой сварки в защитных газах

Вспомогательные работы, связанные со сваркой, которые предлагаются для включения в состав операции сварки, выдаются последовательно на экран с возможностью их включения в состав операции или отказа. Предусмотрены следующие работы (переходы):

- 1 зачистка сварного шва от окисной пленки после каждого прохода;
- 2 осмотр и промер шва;
- 3 смена присадочных прутков;
- 4 обмазка раствором поверхности металла околошовной зоны;
- 5 зачистка околошовной зоны от брызг расплавленного металла;
- 6 зачистка кромок перед сваркой от налета ржавчины;
- 7 зачистка и обезжиривание присадочных прутков перед сваркой.

Вспомогательные работы, связанные с изделием и сварочным оборудованием, предусмотренные для включения в состав операции сварки, следующие: клеймение или маркировка шва; установка и снятие щитов для защиты от сварочной дуги; крепление изделия на столе, стенде или в приспособлении; перемещение изделия грузоподъемными механизмами; установка, снятие и поворот изделия вручную; поворот изделия в механизированном стенде; перемещение сварщика в процессе многопроходной сварки; намотка сварочной проволоки в кассеты; подготовительно-заключительные работы.

По окончании формирования состава операции для расчета штучного времени уточняются условия работы при сварке: вид сварки и условия ее выполнения; положение шва в пространстве; наличие прихваток при сборке; вид сварки шва и его длина; потребность в строжке корня шва и кромок стыков.

Для нормирования расхода сварочных материалов уточняются в режиме диалога коэффициенты расхода материалов и удельные расходы защитных газов.

В результате такой работы выдаются на экран все необходимые сведения о спроектированной операции, а после проверки и возможного редактирования окончательный протокол выдается на печать.

12.2 Пример проектирования операции дуговой сварки в среде защитных газов

Ниже приведены исходные данные и результаты проектирования операции полуавтоматической дуговой сварки в среде двуокиси углерода полотна из двух листов, соединяемых встык двусторонним швом, из низколегированной стали с выбранным проектировщиком набором вспомогательных работ (рисунок 30).

Автоматизированное проектирование операций сварки в среде защит...

Расчёт неполного штучного времени

Вид соединения:
 Стыковое
 Угловое
 Тавровое
 Наклесточное

Длина шва, м: 10

Тип шва: с7

Толщина металла: 6

Положение шва в пространстве:
 Нижнее
 Вертикальное
 Горизонтальное
 Потолочное
 Наклонное нижнее
 Наклонное потолочное

Диаметр проволоки, мм:
 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 2,0

Количество деталей в партии: 10

Площадь сечения, кв.мм	15
Количество проходов	1
Неполное штучное время на 1 м шва, мин	3,7

Стыковое соединение без скоса кромок двустороннее

! Неполное штучное время / Вспомогательное время / Поправочный коэффициент / Результат / ?

Рисунок 30 – Ввод исходных данных для проектирования операции сборки-сварки полотна со стыковым швом в нижнем положении длиной 10 м, соединение С7 толщиной 6 мм, двусторонний шов с площадью поперечного сечения шва $F = 15 \text{ мм}^2$. Сварочная проволока диаметром 1,2 мм, количество проходов с каждой стороны – 1 проход. Неполное штучное время на сварку 1 м шва $T_{шт} = 3,7$ мин/м шва

Далее программа позволяет спроектировать необходимый набор вспомогательных работ, выбранный перечень которых показан на рисунке 31.

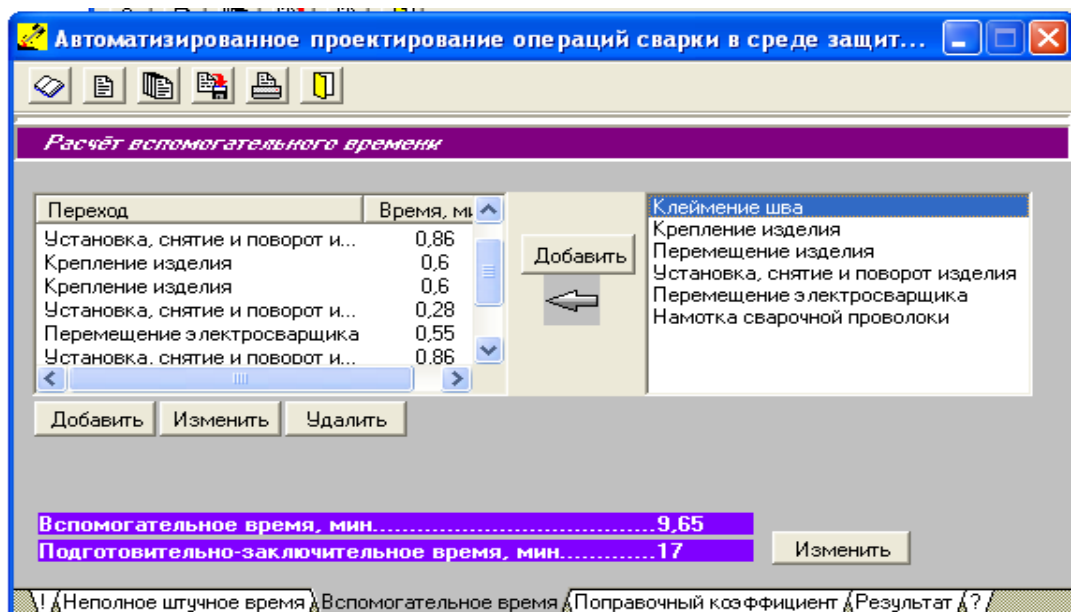


Рисунок 31 – Расчет вспомогательного времени с указанным выбором состава вспомогательных работ, связанных с изделием. Суммарное время

$$T_{\text{вс}} = 9,65 \text{ мин}$$

В операцию включены:

- 1 перемещение изделия (листов) массой 1 т мостовым краном с закреплением листа крюками в четырех точках с установкой листа горизонтально на стенд $T_{\text{перем}} = 5,69$ мин;
- 2 установка изделия в стенд с регулировкой положения $T_{\text{устан}} = 0,86$ мин;
- 3 крепление изделия двумя винтовыми прижимами при длине завертывания по 50мм $T_{\text{креп}} = 0,6 + 0,6 = 1,2$ мин;
- 4 поворот изделия на 180° массой 1000 кг $T_{\text{пов}} = 0,28$ мин;
- 5 перемещение электросварщика на 7 м после поворота изделия для сварки с другой стороны $T_{\text{перем}} = 0,55$ мин;
- 6 снятие изделия со стенда (приспособления) после сварки $T_{\text{снят}} = 0,86$ мин;
- 7 клеймение шва сварщиком после осмотра $T_{\text{клейм}} = 0,21$ мин.

Суммарное вспомогательное время, связанное с изделием, $T_{\text{всп}} = 9,65$ мин.

Далее по программе уточняются условия выполнения сборочно-сварочной работы с определением величины поправочного коэффициента: место выполнения работы – стационарное рабочее место в цехе; вид сварки: с подогревом до 200°C ; вид шва: прямолинейный; движение ограничено дополнительными конструктивными элементами; сварка в закрытых помещениях объемом более 2 м^3 ; условия работы, стесненные «сварка на груди».

Суммарный коэффициент условий работы составил величину $K = 1,5624$ (рисунок 32).

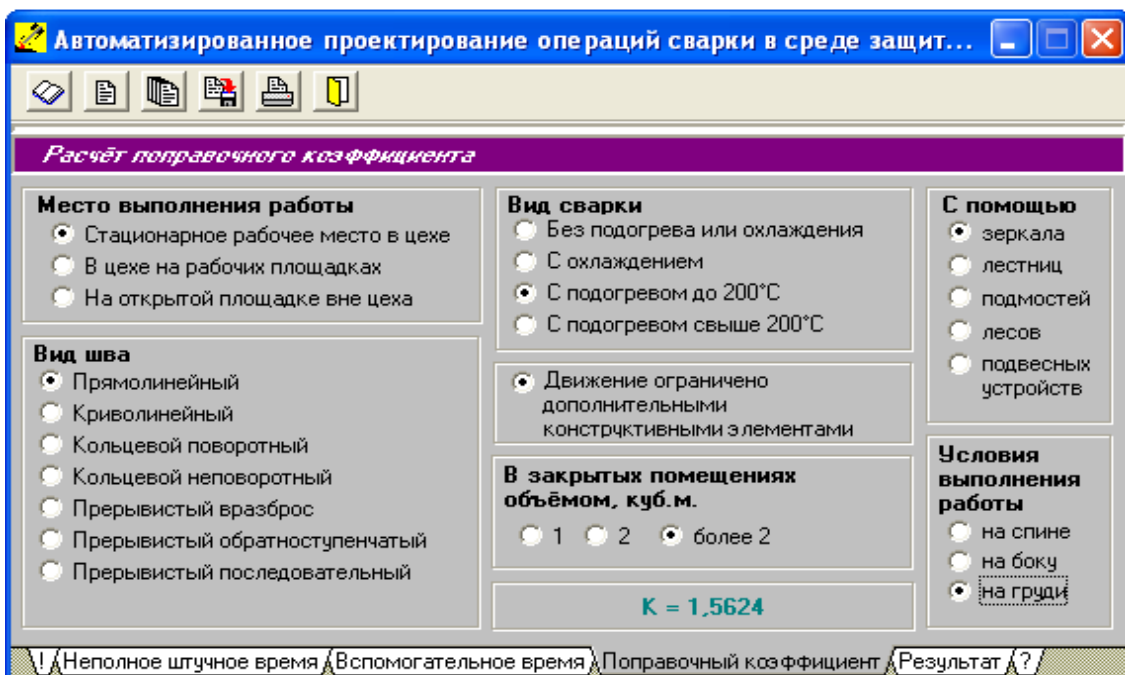


Рисунок 32 – Расчет поправочного коэффициента условий выполнения сварочных работ $K = 1,5624$ (выбранные условия работы отмечены точкой)

Результат расчета нормы штучного времени: $T_{шт} = 72,88$ мин. С учетом подготовительных работ при количестве деталей в партии 1 шт $T_{\Sigma} = 89,88$ мин. Результат расчета представлен на рисунке 33.

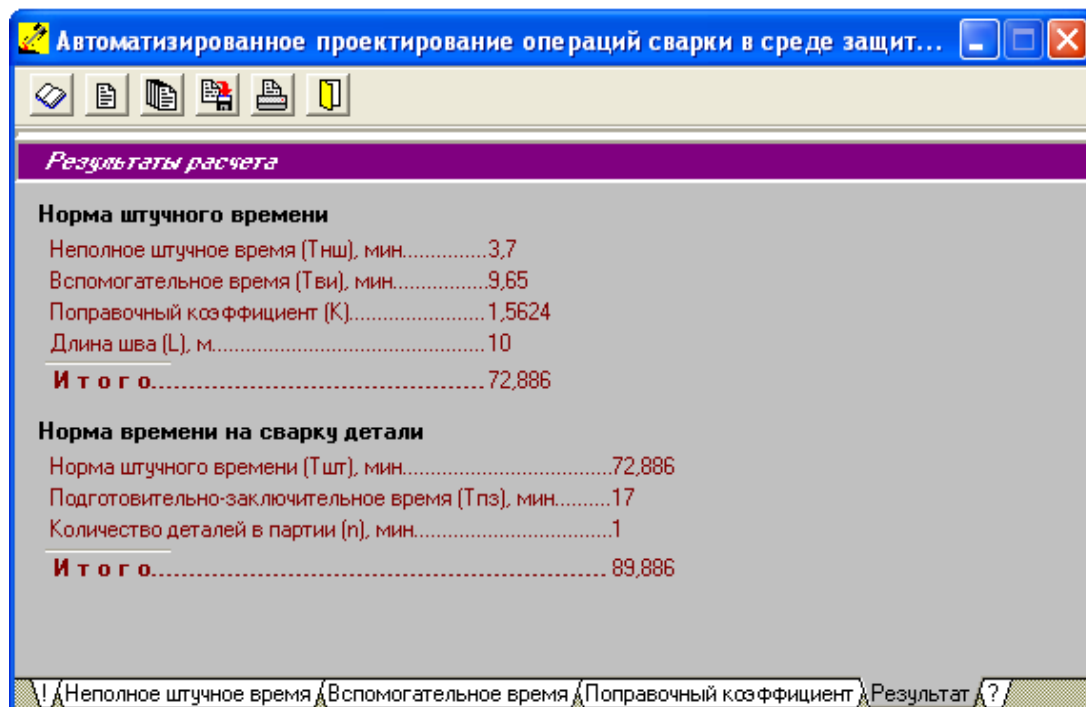


Рисунок 33 – Результат расчета штучного времени на выполнение сборочно-сварочной операции

Выполнив все вышеописанные этапы проектирования технологии дуговой сварки сталей, проектировщик получает все необходимые сведения по условиям обеспечения технологической прочности трех основных, выше указанных, классов сталей при их дуговой сварке на оптимальных режимах с определением норм расхода сварочных материалов и норм времени на сборочно-сварочные работы на выбранном оборудовании.

Результаты расчетов следует поместить в соответствующие ячейки маршрутных или операционных карт создаваемого технологического процесса.

13 ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫХ РАБОТ

Технологические процессы (ТП) сборочно-сварочных работ оформляются на специальных бланках в соответствии с ЕСТПП (единая система технологической подготовки производства) по ГОСТ 3.1118-82.

ТП содержит документы: Титульный лист, Комплектовочные ведомости, Ведомости оснастки, Маршрутные (маршрутно-операционные) карты и Карты эскизов, поясняющие конструкцию узлов (сборочных единиц) и особенности технологии их изготовления. На страницах 98-100 приведены примеры карт техпроцесса.

Библиографический список

- 1 Казаков С. И. Автоматизированное проектирование стержневых систем и технологии изготовления сварных конструкций : учеб. пособие / С. И. Казаков. – Курган, 1996.
- 2 Казаков С. И. Информационно-компьютерные технологии сварочного производства : учеб. пособие / С. И. Казаков. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2013.
- 3 Казаков С. И. Экспертная система по выбору оптимального варианта сварного соединения ArcWeldingPro v1.1. : рекламно-техническое описание / С. И. Казаков, А. Ю. Унжакова. – Курган, 2020.
- 4 Энциклопедия. Сварочное оборудование : база данных. Свид. № RUS 9433 / С. И. Казаков ; Курганский гос. ун-т. – зарег. 10.11.2007.
- 5 Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций : учеб. пособие / под ред. С. А. Куркина, В. М. Ховова. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002.
- 6 Макаров Э. Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей / Э. Л. Макаров. – Москва : Машиностроение, 1981.
- 7 Машиностроение. Стали. Чугуны / под общ. ред. О. А. Банных, Н. Н. Александрова. – Москва : Машиностроение, 2000.
- 8 Николаев Г. А. Сварные конструкции. Технология изготовления. Автоматизация производства и проектирование сварных конструкций / Г. А. Николаев. – Москва : Высшая школа, 1983.
- 9 Оборудование для автоматической сварки в защитных газах : каталог // АО «НИТИ «Прогресс» : научно-исследовательский технолог. институт. – URL: https://www.niti-progress.ru/files/catalog_oborud_svarka_2022.pdf (дата обращения: 06.08. 2025).
- 10 Общемашиностроительные укрупненные нормативы времени на дуговую сварку в среде защитных газов / ЦБНТ. – Москва : Экономика, 1989.
- 11 Проектирование металлических мостов : учеб. пособие / под ред. А. А. Петропавловского. – Москва : Транспорт, 1982.
- 12 Сварка. Резка. Контроль : справ. в 2 т. Т. 1 / под ред. Н. П. Алешина, Г. Чернышова, Э. А. Гладкова [и др.]. – Москва : Машиностроение, 2004.
- 13 Справочник сварщика / под ред. В. В. Степанова. – Москва : Машиностроение, 1987.
- 14 Строительные нормы и правила (СНиП II-23-81). Госстрой России. – Москва : ФГУП ЦПП, 2004.

15 Теория сварочных процессов : учеб. для вузов / под ред. В. М. Неровного. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007.

16 Шахматов М. В. Производство сварных конструкций : учеб. пособие / М. В. Шахматов, Д. М. Шахматов ; ЦПС «Сварка и контроль». – Челябинск, 2009.

Учебное издание

Казаков Сергей Иванович, Бородин Алексей Леонидович

**ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИИ ДУГОВОЙ СВАРКИ С ВЫБОРОМ
ОБОРУДОВАНИЯ И СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ СВАРКИ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Учебное пособие

Редактор В. А. Лисина

Подписано в печать 30.03.26

Печать цифровая

Заказ 17

Формат 60x84 1/16

Усл. печ. л. 6,5

Тираж 100

Бумага 80 г/см²

Уч.-изд. л. 6,5

БИЦ Курганского государственного университета.

640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.

Курганский государственный университет.