

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
Институт электросварки им. Е. О. Патона

На правах рукописи

САПРЫКИНА

Галина Юрьевна

**РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДУГОВОЙ СВАРКИ
СТАЛЕЙ ПОД ФЛЮСОМ**

05.03.06 —

технология и оборудование для сварки и родственных
процессов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев 1995



1. 247
АВ 33. 498
Работа выполнена в И
НАН Украины

Научный руководитель:

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00761591 (Т)

Махненко В.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Лешинский Л.К. ;
заведующий отделом, кандидат тех-
нических наук
Галинич В.И.

Ведущее предприятие - Национальный технический универси-
тет "Киевский политехнический инс-
титут".

Защита состоится 20 декабря 1995 г. на заседании
специализированного совета (К 50.02.02) при Институте элект-
росварки им. Е. О. Патона.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической
библиотеке института.

Автореферат разослан 15 ноября 1995 г.

Ученый секретарь специализи-
рованного ученого совета
докт. техн. наук

А. А. Бондарев

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Анализ современного состояния сварочного производства свидетельствует о том, что сварка сталей плавлением занимает ведущую позицию во всех промышленно развитых странах. Один из распространенных способов сварки плавлением - сварка под флюсом. Высокое качество, стабильность свойств сварных соединений, большая производительность и благоприятные санитарно-гигиенические условия труда - важные преимущества, которые утвердил за собой этот метод за многие годы.

Постоянно растущий объем производства сварных конструкций, расширение номенклатуры свариваемых сталей и сварочных материалов, повышение требований к качеству сварных соединений, стремление к увеличению производительности труда ставит перед разработчиками технологических процессов все более сложные задачи, решение которых требует соответствующих эффективных подходов.

Применение для сварных конструкций высокопрочных низколегированных сталей позволяет создавать инженерные сооружения, машины и механизмы с качественно новыми показателями долговечности, несущей способности и производительности. Однако при сварке указанных сталей в целом ряде случаев возникают серьезные проблемы свариваемости, т.е. с проблемы предупреждения образования холодных и горячих трещин и обеспечения заданного уровня механических свойств. Важным моментом разработки технологии является оптимизация режимов и условий сварки в соответствии с критериями свариваемости и минимизации технологических затрат с учетом допустимой техническими условиями вариацией химического состава указанных сталей.

Успешно решить эти задачи можно применив при проектировании технологии сварки сталей под флюсом экспертную систему, которая аккумулирует опыт и современные знания в этой области сварки.

Создание экспертной системы, предназначенной для проектирования технологии дуговой сварки сталей под флюсом позволит не только значительно сократить время на разработку новых технологических процессов и экономить средства за счет

уменьшения объема экспериментальных исследований, но и существенно повысить качество и уровень рекомендаций при проектировании рациональной технологии сварки, передавая знания экспертов широкому кругу потребителей.

Целью диссертационной работы является разработка экспертной системы технологии дуговой сварки сталей под флюсом применительно к низколегированным сталям повышенной и высокой прочности. Система должна обеспечивать оперативную генерацию оптимальных вариантов технологического процесса с учетом вариации исходных параметров.

Для достижения этой цели требовалось решить ряд научно-технических задач:

1. Проанализировать информацию по проектированию технологии дуговой сварки сталей под флюсом и определить содержание экспертной системы, сформулировать основные этапы разработки технологии, на основе которых разработать структурную схему функционирования системы.

2. Создать информационные базы системы, включая структуру и содержание соответствующих разделов, разработку алгоритмов и программного обеспечения для их функционирования. Провести поиск, анализ и систематизацию информации, предназначенной для внесения в базы. Выполнить насыщение этих баз.

3. Выбрать количественные критерии оценки склонности некоторых групп сталей к образованию горячих и холодных трещин и разработать алгоритм поиска рациональных условий сварки с учетом вариации химического состава свариваемых сталей.

4. Исследовать влияние химического состава и условий сварки на обеспеченность расчета свариваемости низколегированных сталей высокой и повышенной прочности из условия отсутствия холодных трещин и получения заданного комплекса механических свойств.

5. Провести апробацию системы для ряда низколегированных сталей повышенной и высокой прочности (типа стали 14Х2ГМР).

6. Разработать программное обеспечение экспертной системы для проектирования технологии сварки сталей под флюсом и реализовать систему на персональном компьютере.

Научная новизна:

Впервые разработан подход для комплексного проектирования технологии дуговой сварки сталей под флюсом, позволяющий на уровне квалифицированного эксперта решать вопросы формирования шва, свариваемости стали, выбора оборудования и минимизации расходов.

Разработаны принцип построения, схема функционирования, алгоритмы, информационные базы, математическое и программное обеспечение экспертной системы, особенностью которой является принципиально новая возможность решать не только традиционные технологические задачи, но и осуществлять экспертный анализ альтернативных вариантов технологии.

Исследовано влияние вариации химического состава свариваемой стали и условий сварки на обеспеченность расчета свариваемости низколегированных высокопрочных сталей.

Показано, что для некоторых низколегированных сталей повышенной и высокой прочности таких как 14Х2ГМР, 14ХГНМД, 14ХГ2СПМД и т.п. при повышении температуры предварительного подогрева до величины, когда вероятность образования холодных трещин очень мала, в околосшовной зоне сварного соединения могут снижаться механические характеристики, в частности, ударная вязкость.

Апробация работы.

Основные результаты исследований отражены в публикациях и доложены на научных конференциях и семинарах: " I-я международная конференция молодых ученых в области сварки и смежных технологий" (ИЭС им.Е.О.Патона, Киев, 1989), Второй Всесоюзный Симпозиум по проблемам информатизации общества и развития науки (Обнинск, 1990), научно-техническая конференция "Применение математических методов и САПР в сварке" (Ленинград, 1991), научно-технический семинар "Моделирование физико-химических процессов, создание банков данных, расчетно-информационных и экспертных систем в области сварки и родственных технологий" (Алушта, 1993), семинар "Компьютерное материаловедение и информатизация создания новых веществ и материалов" (Алушта, 1995), всероссийская научно-техническая конференция с международным участием "Компьютерные технологии в соединении материалов" (Тула, 1995).

Практическая значимость.

Разработанная экспертная система может быть эффективно использована при проектировании принципиальной технологии дуговой сварки под флюсом высокопрочных низколегированных сталей в условиях промышленного производства. Рабочая версия экспертной системы, внедрена и успешно используется в учебном процессе на кафедрах сварочного производства Киевского политехнического института и Воронежского Государственного технического университета при чтении курсов "Технология и оборудование сварки плавлением" и "Системы автоматического проектирования в сварке", что подтверждается соответствующими актами внедрения.

На защиту выносятся:

- методический подход для комплексного проектирования технологии дуговой сварки сталей под флюсом, позволяющий одновременно на высоком уровне квалифицированного эксперта решать вопросы формирования, свариваемости, выбора оборудования и минимизации затрат;

- алгоритмы оценки обеспеченности расчета свариваемости низколегированных высокопрочных сталей с учетом вариации химического состава.

- математическое и программное обеспечение экспертной системы, принцип ее построения, схема функционирования, алгоритмы, информационные базы экспертной системы,

Публикации.

По теме диссертации опубликовано восемь работ.

Структура и объем диссертации.

Работа состоит из введения, трех глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Общий объем работы 141 страница машинописного текста, 36 рисунков, 6 таблиц; список литературы, включающей 117 наименований.

Во введении обоснована актуальность создания экспертной системы для проектирования технологии сварки сталей под флюсом. Показана научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе рассмотрено существующее программное обеспечение, применяемое инженерами-сварщиками при проектировании технологии сварки. Дано определение экспертной системы. Приведены классификация и краткие описания существующих

ших экспертных систем. Предложена базовая структура и содержание экспертной системы.

Во второй главе проанализированы особенности электродуговой сварки под флюсом, изложены требования, предъявляемые к экспертной системе для проектирования технологии сварки сталей под флюсом, описана структура и содержание баз данных и знаний экспертной системы. Детально изложены сложившиеся к настоящему времени представления о различных функциях флюса при сварке сталей, представлены составы сварочных флюсов, содержащихся в информационной базе экспертной системы. Рассмотрены основные задачи, возникающие при разработке технологии сварки сталей под флюсом.

В третьей главе рассмотрены вопросы оценки обеспеченности расчета свариваемости сталей. Выбрана методика оценки свариваемости сталей. Показаны основные этапы работы экспертной системы и результаты тестовых проверок.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Постоянно растущий объем производства сварных конструкций, расширение номенклатуры свариваемых сталей и сварочных материалов, повышение требований к качеству сварных соединений затрудняет построение рациональных технологий сварки.

Успешно решить эти задачи можно, применив при проектировании технологии сварки экспертную систему, которая аккумулирует опыт и современные знания в данной области сварки, делает их доступными широкому кругу пользователей.

К настоящему времени разработано много разновидностей сварки под флюсом: сварка электродной проволокой и лентой, сварки с принудительным и свободным формированием шва и т.д. Некоторые из них имеют ограниченное применение, например - сварка лентой, сварка с принудительным формированием и т.п. Наиболее распространенным методом автоматической и механизированной сварки сталей под флюсом остается сварка одной дугой в нижнем положении. В связи с этим, экспертная система была ориентирована на этот метод сварки, что не исключает

возможности ее расширения и распространение на другие методы сварки под флюсом.

В настоящее время создание экспертных систем для сварки - достаточно признанное направление компьютеризации инженерной деятельности. Вопросами создания подобных систем занимаются многие ведущие научные центры и фирмы, такие как Британский институт сварки, Мюнхенский технический университет, фирма "C-SPEC" (США), фирма "BARCOCK POWER" (Великобритания) и др.

Аналитический обзор литературы по вопросам разработки и применения программного обеспечения и экспертных систем в сварке показал, что до настоящего времени не разработаны подобные системы для проектирования технологии дуговой сварки сталей под флюсом. Но, следует отметить, что с 1989 года в Германии на фирме THYSSEN DRANT AG ведутся интенсивные работы по созданию экспертной системы по сварочным материалам, применяемым для сварки под флюсом.

Для построения рационального технологического процесса, необходимо решить ряд задач:

- по заданным толщине и типу сварного соединения определить оптимальные геометрические параметры сварного шва и разделки кромок;
- определить подходящий способ сварки под флюсом (по ГОСТ 8713-79);
- выбрать сварочные материалы (проволоку, флюс);
- назначить рациональные параметры режима сварки;
- оценить свариваемость стали с учетом требуемых механических свойств для сварного соединения и необходимости экономии материальных затрат;
- выбрать сварочное оборудование;
- рассчитать материальные и трудовые затраты на выполнение сварного шва.

Следовательно, создание экспертной системы для проектирования технологии дуговой сварки сталей под флюсом должно базироваться на комплексном решении задач инженерного и исследовательского характера:

1) проанализировав информацию, касающуюся этого способа сварки, необходимо определить базовое содержание экспертной системы;

- 2) разработать детальную структуру экспертной системы;
- 3) разработать схему функционирования экспертной системы (выделить основные этапы работы системы при проектировании технологии сварки);
- 4) разработать и создать базу данных системы;
- 5) разработать и создать базу знаний экспертной системы;
- 6) разработать подход для выбора рациональных режимов сварки сталей в связи с вариацией исходных данных;
- 7) исследовать влияние химического состава и условий сварки на обеспеченность расчета свариваемости (отсутствие трещин и обеспечение заданных механических свойств);
- 8) создать математическое, информационное и программное обеспечение экспертной системы для проектирования технологии сварки сталей под флюсом и реализовать систему на персональном компьютере.

Разработка экспертной системы базировалась на классических подходах, используемых при построении экспертных систем. Это создание трех традиционных компонентов: базы данных; базы знаний и программного обеспечения. На рисунках 1 и 2 показаны базовое содержание и структурная схема разрабатываемой системы, а рисунок 3 отражает блок-схему рассматриваемой экспертной системы. В начале работы пользователь формирует блок исходных данных - задает марку стали, указывает толщину свариваемых деталей и тип сварного соединения. Затем переходит к выбору формы и геометрических параметров разделки кромок, способов сварки под флюсом и параметров режима. После этого оценивает свариваемость, выбирает сварочное оборудование и определяет технико-экономические показатели процесса.

Для реализации рассматриваемой системы, необходимо детально разработать структуры двух основных компонентов экспертной системы - базы знаний и базы данных, структуры которых представлены на рисунке 4.

Структура каждого раздела информационного пространства системы была разработана, исходя из следующих предпосылок:

- быстрый поиск нужного информационного материала при работе системы;
- простота насыщения раздела информацией;

- возможность наращивания раздела (например, для расширения спектра марок сталей, флюсов и проволок, и т.п.)

База данных содержит семь разделов, в которые к настоящему времени занесена информация относительно свариваемых и сварочных материалов, видов соединений, способов сварки под флюсом, параметров режима, оборудования, норм расхода сварочных материалов и времени.

Раздел "СТАЛИ" включает информацию о таких группах сталей: сталь конструкционная, сталь конструкционная углеродистая качественная, сталь конструкционная низколегированная, сталь конструкционная легирования. Общее число марок сталей - 188. Для каждой марки представлены сведения справочного характера о химическом составе, некоторых механических свойствах, основных технологических свойствах и примерном назначении (рис.5).

Раздел "СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ" объединяет два класса сварочных материалов - флюсы и проволоки. Флюс значительно влияет на надежность защиты зоны сварки от доступа воздуха, устойчивость процесса электродуговой сварки, качество формирования швов их химический состав, стойкость против образования пор и отделимость шлаковой корки от поверхности шва. Для каждой марки флюса в разделе приведены химический состав и сварочные свойства флюса, которые определяют качество сварных швов (рис.6). Общее число флюсов содержащихся в разделе к настоящему времени - 26. К настоящему времени в разделе собрана информация о плавленных флюсах, однако это не исключает дальнейшее расширение рассматриваемой информационной базы за счет флюсов других типов.

Правильный выбор проволоки для сварки является одним из главных элементов технологии, так как химический состав проволоки определяет состав металла шва, что обуславливает механические и другие свойства. Данный раздел включает сведения о химическом составе каждой марки проволоки и ее диаметр. В данном разделе содержатся сведения о 78 марках сварочной проволоки в соответствии с ГОСТ 2246-70.

Правильный выбор вида сварного соединения очень важен с точки зрения обеспечения качества (прочности и работоспособности), экономичности производства сварной конструкции. Для реализации решения этой задачи был создан

раздел базы данных "СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ", содержащий сведения о формах разделки и рекомендуемых геометрических размерах в зависимости от толщины свариваемых элементов.

Это наиболее сложный раздел по способам представления информации, так как содержит разнотипные по способу хранения и отображения данные: геометрические параметры соединений, сварных швов и их конструктивные особенности.

При создании концептуальной модели данных руководствовались рекомендациями стандарта (ГОСТ 8713-79), регламентирующего форму и размеры подготовленных кромок для дуговой автоматической и механизированной сварки сталей под флюсом.

Для получения рекомендаций по возможным способам сварки под флюсом для сварки конкретных соединений в системе используется раздел базы данных "СПОСОБЫ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ" (ГОСТ 8713-79).

Раздел "ПАРАМЕТРЫ РЕЖИМА СВАРКИ" предназначен для хранения информации по параметрам режима сварки в зависимости от марки свариваемой стали, толщины свариваемых деталей, типа соединения.

Раздел "СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ" к настоящему времени включает наиболее распространенные в промышленности сварочные аппараты для сварки под флюсом, выпускаемые в странах СНГ.

Раздел "НОРМЫ РАСХОДА СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ" содержит нормы расходов сварочных материалов при сварке стали под флюсом, соответствии с нормативами расхода сварочных материалов.

В базу знаний экспертной системы включены четыре раздела:

- "ТОРМИРОВАНИЕ ШВА",
- "СВАРИВАЕМОСТЬ",
- "ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ",
- "РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНЫХ И ТРУДОВЫХ ЗАТРАТ".

При сварке плавлением обязательным требованием к сварным швам является их рациональная форма, размеры и внешний вид, которые в значительной степени определяют его стойкость против возникновения дефектов, а также экономическую эффективность процесса.

Известно, что форма провара и размеры шва зависят от

параметров режима сварки: величины сварочного тока, напряжения дуги, диаметра электродной проволоки и скорости сварки. Следовательно, основная задача сводится к определению такого сочетания элементов режима, при котором будет обеспечено требуемое формирование соединения при максимальной производительности процесса.

При разработке технологии оптимальный режим устанавливается экспериментальным или расчетным путем. В рассматриваемой системе, параметры режима сварки назначаются на основании информации, собранной в разделе "ПАРАМЕТРЫ РЕЖИМА" базы данных. А раздел "ФОРМИРОВАНИЕ ШВА" базы знаний привлекается в том случае, если для свариваемой стали рекомендации по режимам окажутся недостаточными, либо требуют уточнения.

Известно несколько методик расчета параметров режима сварки в соответствии с геометрическими параметрами сварного соединения. В системе использован алгоритм расчета параметров режима на основе методики В.П.Демянцевича.

При разработке технологии сварки сталей под флюсом основное внимание следует уделять собственно выбору сварочных флюсов, так как химический состав и сварочные свойства флюсов в значительной степени определяют качество сварочных швов. Это обуславливается значительным влиянием флюса на надежность защиты зоны сварки от воздуха, устойчивость процесса электродуговой сварки, качество формирования швов, их химический состав и стойкость против образования пор.

При сварке плавлением обязательным требованием к сварным швам является их оптимальная форма и внешний вид. В значительной степени это зависит от свойств и состава сварочного флюса.

По ГОСТ 26001-34: "Свариваемость это свойство металлов или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия".

Основными показателями свариваемости принято считать:

- сопротивляемость образованию горячих трещин;
- сопротивляемость образованию холодных трещин;
- обеспечение требуемого уровня механических свойств соединения.

Для решения вопросов, связанных с трещинами при сварке

различных сталей, в системе предусмотрены средства оценки склонности к образованию горячих и холодных трещин и соответствующие рекомендации по их предупреждению.

Проблемами изыскания количественных зависимостей склонности сталей к образованию горячих трещин занимались многие ведущие отечественные и зарубежные ученые: В.Ф.Якушин, Н.Н.Прохоров, Ю.А.Стеренбоген, И.Гривняк, М.Х.Шоршоров и др.

Анализ существующих количественных критериев для оценки склонности различных групп сталей к горячим трещинам обусловил целесообразность использования в системе параметрических уравнений, апробированных различными авторами, которые позволяют оценить склонность отдельных групп сталей к этому виду трещин (табл.1). Это дает возможность пользователю при проектировании технологии сварки под флюсом предусмотреть соответствующие меры для предотвращения образования дефектов типа горячих трещин.

Для низколегированных сталей повышенной и высокой прочности вопрос горячих трещин является второстепенным в проблеме свариваемости, поэтому рекомендаций по предупреждению горячих трещин в системе нет, но предусмотрено наполнить базу знаний системы такими рекомендациями при рассмотрении сталей других классов. Основное внимание уделено вопросу предупреждения образования холодных трещин.

Предложен алгоритм поиска таких условий сварки, при которых заданная вероятность отсутствия холодных трещин будет согласовываться с необходимым уровнем механических свойств, поэтому в систему включен расчет оптимальной температуры предварительного подогрева (T_n), как наиболее распространенного способа предотвращения холодных трещин. Расчет T_n построен на основе методики определения величины параметра трещинообразования, разработанной японскими исследователями Y. Ito и K. Bessyo, и позволяет учитывать вариацию химического состава свариваемых сталей. Так как колебание химического состава свариваемых сталей, можно отнести к категории случайных явлений, то для расчета оптимального интервала T_n были привлечены методы теории вероятности, в частности нормальный закон распределения вероятностей в сочетании с гипотезой малых отклонений. Это позволило ограничить величину допустимой T_n , так как в ряде случаев, особенно при сварке высокопроч-

ных низколегированных сталей, высокая температура предварительного подогрева приводит к усложнению технологического процесса, резкому ухудшению условий труда, а также может обусловить снижение механических свойств сварного соединения, в частности, ударной вязкости. Назначение достаточно высоких T_n приводит к удорожанию сварных конструкций.

Для оценки механических свойств сварного соединения применены регрессионные модели, разработанные О.Г.Касаткиным, устанавливающие зависимости основных показателей механических свойств от химического состава стали и длительности охлаждения в диапазоне температур 850...500°C.

Структура раздела "СВАРИВАЕМОСТЬ" базы знаний показана на рисунке 7.

Работа системы осуществляется в несколько этапов :

- 1) определение геометрических параметров сварного соединения способа сварки (согласно ГОСТ 8713-79);
- 2) выбор сварочных материалов;
- 3) выбор параметров режима;
- 4) оценка свариваемости;
- 5) выбор сварочного оборудования;
- 6) расчет материальных и трудовых затрат на выполнение погонного метра шва.

На рисунках 8, 9 и 10 приведены примеры определения марки стали по химическому составу и выбор сварочных материалов для сварки этой стали и оценка механических свойств (по данным к.т.н.Кузьменко В.Г. и д.т.н. Миходуя Л.И.).

Возможности современной компьютерной техники позволяют оперативно генерировать технологию для целого ряда вариантов, определяемых не только альтернативными решениями по способу сварки, подготовке кромок и т.д., но и учитывать возможную вариацию химического состава свариваемой стали, неточность задания режима сварки, подогрева и т.д. Данные возможности ниже иллюстрируются на примере оценки свариваемости низколегированных высокопрочных сталей, когда отсутствие холодных трещин и определенный уровень механических свойств (ударная вязкость) требуют соответствующих компромиссных решений, для которых важным является учет указанных вариаций состава и технологических

параметров (табл. 2, 3).

Таким образом, структура экспертной системы для дуговой сварки сталей под флюсом позволяет наряду с генерированием технологических параметров сварки находить компромиссные решения по комплексу требований с учетом вариации исходных параметров.

Рабочая версия системы доведена до практического применения. Система внедрена и успешно используется при преподавании курса сварка плавлением на кафедре сварочного производства Киевского политехнического института и курсов "Технология и оборудование сварки плавлением" и "Системы автоматического проектирования в сварке" на кафедре сварочного производства Воронежского Государственного технического университета.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана структура экспертной системы для проектирования технологии дуговой сварки сталей под флюсом, позволяющая наряду с генерацией традиционных технологических параметров решать проблемы свариваемости (в частности, возможность предотвращения возникновения холодных трещин) с учетом вариации исходных данных и обеспечение заданного уровня механических свойств.

2. Проведена систематизация и обобщение информации, предназначенной для работы экспертной системы. Показано, что базы данных и знаний целесообразно формировать из отдельных разделов, в которых содержатся сведения, касающиеся ключевых вопросов сварки сталей под флюсом (например - сварочные материалы, сварные соединения, параметры режима, свариваемость, формирование и т.д.) и представляющих собой законченные информационные блоки.

3. Показано, что раздел базы знаний "СВАРИВАЕМОСТЬ", позволяет не только оценить склонность сталей к образованию холодных и горячих трещин, как наиболее опасных и распространенных проявлений недостаточной свариваемости, а также определить уровень механических (служебных) свойств сварного соединения и согласовать их с требованиями, обусловленными эксплуатацией изделия.

4. В качестве количественных критериев для оценки склонности различных групп сталей к горячим трещинам, в системе применены параметрические уравнения, основанные на данных о химическом составе свариваемой стали и апробированные различными авторами (C_3 , HCS , USC , Cr/Ni_3 , L) и позволяющие оценить склонность отдельных групп сталей к этому виду трещин.

5. В экспертную систему включен алгоритм поиска условий сварки, при которых заданная вероятность отсутствия холодных трещин согласуется с необходимым уровнем механических свойств с учетом вариации химического состава. Это позволяет определять величину оптимальной температуры предварительного подогрева (T_n), которую определяют на основе известной методики расчета величины параметра трещинообразования (P_w), дополненной методами теории вероятностей в сочетании с гипотезой малых отклонений.

6. Экспертная система для проектирования технологии дуговой сварки сталей под флюсом позволяет разработать объективный технологический процесс, в котором наряду с генерированием технологических параметров сварки можно находить компромиссные решения по комплексу требований с учетом вариации исходных параметров. Система ориентирована на персональные компьютеры, что позволит повысить ее доступность и широкое применение. За счет соответствующего сервисного обеспечения экспертная система позволяет оперативно получать необходимую информацию, не требуя от пользователя специальных знаний и навыков работы с персональным компьютером.

7. Впервые разработан подход для комплексного проектирования технологии дуговой сварки сталей под флюсом, позволяющий на уровне квалифицированного эксперта решать вопросы формирования, свариваемости, выбора оборудования и минимизации расходов.

8. Разработанная экспертная система может быть эффективно использована при проектировании принципиальной технологии дуговой сварки под флюсом высокопрочных низколегированных сталей в условиях промышленного производства. Рабочая версия экспертной системы внедрена и

успешно используется при преподавании курса сварки плавением на кафедре сварки Киевского политехнического института и курсов "Технология и оборудование сварки плавением" и "Системы автоматизированного проектирования в сварке" на кафедре сварочного производства Воронежского Государственного технического университета.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Сапрыкина Г.Ю. Экспертные системы в сварочной технологии // I-я Международная конференция молодых ученых в области сварки и смежных технологий: Тез. докл. - Киев: ИЭС им.Е.О.Патона, 1989. - С.120-122.

2. Махненко В.И., Сапрыкина Г.Ю. Построение экспертных систем в сварочной технологии // Датчики систем контроля и управления технологическими процессами: Сборник науч.тр. - Киев: ИЭС им.Е.О.Патона, 1991. - С.44-49.

3. Сапрыкина Г.Ю. Перспективы создания экспертной системы "Технология дуговой сварки под флюсом" // Датчики систем контроля и управления технологическими процессами: Сборник науч.тр. - Киев: ИЭС им.Е.О.Патона, 1991. - С.41-43.

4. Экспертные системы в сварке: Аналитический обзор / В.И.Махненко, Ю.А.Скоснягин, Г.Ю.Сапрыкина, И.Г.Лавринец. - Киев: ИЭС им.Е.О.Патона, 1991. - 52 с.

5. Махненко В.И., Сапрыкина Г.Ю. Экспертная система "Технология дуговой сварки сталей под флюсом" // Автоматическая сварка. - 1994. - N 12. - С.30-34.

6. Сапрыкина Г.Ю. Разработка экспертной системы "Проектирование технологии дуговой сварки сталей под флюсом" // Компьютерное материаловедение и информатизация создания новых веществ и материалов: Сб. тезисов докладов. Киев; ИЭС им.Е.О.Патона НАН Украины, 1995. - С.38.

7. А.с. 1579693 (СССР) МКИ В 23 К 37/04. Способ автоматической сварки плоских рамных конструкций и устройство для его осуществления / В.А.Тимченко, С.В.Дубовецкий, Г.Ю.Сапрыкина и др. // В.И. - 1990. - N27.

8. Сапрыкина Г.Ю. Проектирование технологии дуговой сварки сталей под флюсом с применением экспертной системы // Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием "Компьютерные технологии в соединении материалов": Тез. докл. - в печати.

АНОТАЦІЯ

Сапрукіна Г.Ю. Розробка експертної системи "Проектування технології дугового зварювання сталей під флюсом". Рукопис. Дисертація на здобуття вченого ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 "Технологія та устаткування для зварювання та споріднених процесів". Інститут електрозварювання ім.Є.О.Патона НАН України. Київ. 1995 р.

Метою дисертаційної роботи є розробка експертної системи технології дугового зварювання сталей під флюсом. У роботі висвітлено такі проблеми: огляд програмного забезпечення у галузі зварювання, структура та склад експертної системи для проектування технології дугового зварювання сталі під флюсом, деякі питання зварюваності, а також наведено стислий опис функціонування експертної системи. Розроблену експертну систему можна ефективно застосовувати при проектуванні принципової технології дугового зварювання під флюсом низьколегованих сталей підвищеної та високої міцності в умовах промислового виробництва.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: експертна система, база даних, база знань, програмне забезпечення, технологія, дугове зварювання сталей під флюсом, раціональні умови зварювання.

ANNOTATION

Saprykina G.Yu. The development of expert system "The Designing Technology for Submerged-arc Welding of Steels". Typescript. Thesis of dissertation for scientific Degree of Candidate of Technical Sciences on speciality 05.03.06 - "Technology and Equipment for Welding and Allied Processes". E.O.Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine. Kiev. 1995.

The aim of the dissertation work is development of expert system the design technology for submerged-arc welding of steels. The following problems have been considered: review of software for welding, structure and contents of the expert system, some problems relating the weldability, as well as a short description of functioning of expert system. The developed expert system can be efficient used at designing a principal technology for submerged-arc welding of high-strength low-alloyed steels for industry.

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДУГОВОЙ СВАРКИ СТАЛЕЙ ПОД ФЛЮСОМ



а) Структура экспертной системы.

I. БАЗА ДАННЫХ

- Раздел 1. Стали
- Раздел 2. Сварочные материалы.
- Раздел 3. Сварные соединения.
- Раздел 4. Способы сварки под флюсом.
- Раздел 5. Параметры режима сварки.
- Раздел 6. Сварочное оборудование.
- Раздел 7. Нормы расхода материалов и энергии.

II. БАЗА ЗНАНИЙ

- Раздел 1. Формирование сварного шва.
- Раздел 2. Свариваемость.
- Раздел 3. Выбор оборудования.
- Раздел 4. Расчет затрат.

III. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- Раздел 1. Интерфейс
- Раздел 2. Математическое обеспечение.
- Раздел 3. Управление базами.

б) Содержание экспертной системы.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ

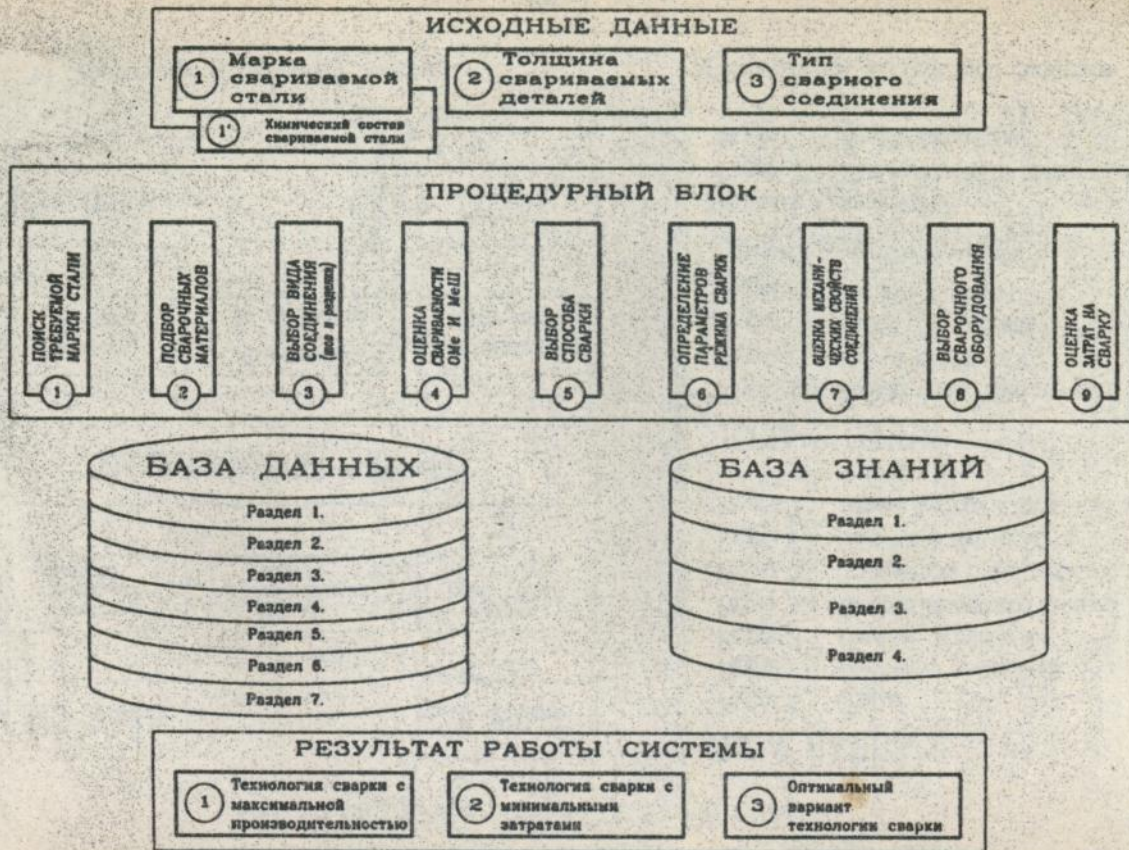


Рис. 2

БЛОК-СХЕМА ЭС "ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДУГОВОЙ СВАРКИ СТАЛЕЙ ПОД ФЛЮСОМ"

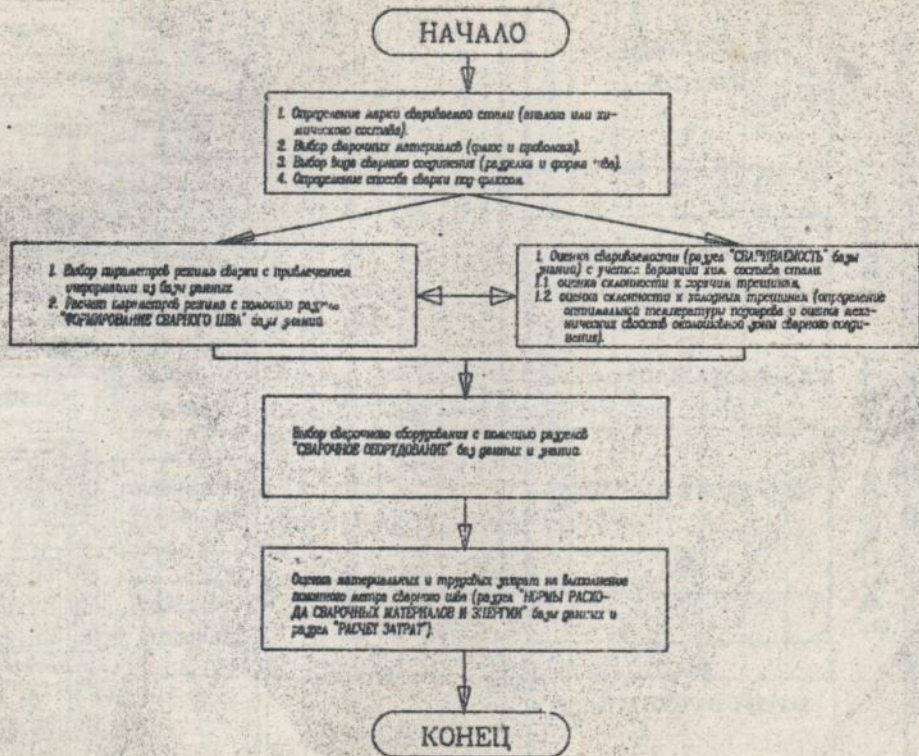


Рис. 3

СТРУКТУРА БАЗЫ ЗНАНИЙ ЭС

Программное обеспечение базы знаний системы

Разделы базы знаний

1

Формирование
шва

2

Свариваемость

3

Выбор
оборудования

4

Расчет
загрat

СТРУКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ ЭС

Программное обеспечение базы данных системы

Разделы базы данных

1. Стали

ST1.DBF
ST2.DBF
ST3.DBF
ST4.DBF
ST5.DBF
ST6.DBF
ST7.DBF

2. Сварочные материалы

FP-NLS.DBF
FP-NUS.DBF
FP-SVL.DBF
NUP.DBF
LP.DBF
VLP.DBF

3. Сварные соединения

1. Стыковое
2. Угловое
3. Галерное
4. Выхлостное соединение
DBF
PCX
TAB

4. Способы сварки под флюсом

Способ сварки
Основное обозначение сварного соединения

5. Параметры режима сварки

1. Макс. I электр. для режима и электродного тока
2. Макс. I электр. при автоматическом режиме
3. Макс. I электр. при автоматическом режиме и 4 электр. электр. электр. электр.

6. Сварочное оборудование

Автоматы
Полуавтоматы

7. Нормы расхода материалов и энергии на сварку

Для автоматической сварки
Для механизированной сварки

Рис. 4

Флюс плавящийся марки ФП-9
ГОСТ 9087-81
Тип - MS

Назначение.

Для механизированной дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей небольших толщин (до 40 мм) при протяженных швах

Состав флюса, %

Кремния (IV) оксид	SiO ₂	38 - 41
Марганца (II) оксид	MnO	38 - 41
Кальция оксид	CaO	< 8
Магния оксид	MgO	< 2.5
Алюминия оксид	Al ₂ O ₃	10 - 13
Кальций фтористый	CaF ₂	2 - 3
(Калий+натрия) оксид	Na ₂ O (K ₂ O)	-
Титана (IV) оксид	TiO ₂	-
Циркония (IV) оксид	ZrO ₂	-
Железа (III) оксид	Fe ₂ O ₃	< 2.0
Сера	S	< 0.1
Фосфор	P	< 0.1
Углерод	C	-

Сварочно-технологические свойства.

Устойчивость дуги хорошая.

Разрывная длина дуги до 13 мм.

Формирование шва хорошее.

Склонность металла к образованию пор и трещин низкая.

Отделимость шлаковой корки вполне удовлетворительная.

Затруднения при сварке корневых швов.

Рис.5. Пример информации по флюсу ФП-9 из раздела базы данных "СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ"

Сталь 09Г2САналог - стали: 09Г2, 09Г2ДТ, 09Г2Т, 10Г2СНазначениеразличные детали и элементы сварных металлоконструкций, работающих при температуре от -70 до $+425^{\circ}\text{C}$ под давлениемСостав стали, %

C	< 0.12
Si	0.5 - 0.8
Mn	1.3 - 1.7
Cr	< 0.30
Ni	< 0.30
Cu	< 0.30
P	< 0.035
S	< 0.040
As	< 0.08
N	< 0.008

Механические свойства

ГОСТ	Состояние поставки	Сечение, мм	σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа
19281-73	Сортовой и фасонный прокат	До 10	< 350	< 490
19282-73	Листы и полосы (Образцы поперечные)	10 - 20	< 325	< 470
		20 - 32	< 305	< 460
		32 - 60	< 285	< 450
		60 - 80	< 275	< 440
		80 - 160	< 265	< 430

Рис. 6. Пример информации по стали марки 09Г2С из раздела базы данных "СТАЛИ"

ПОКАЗАТЕЛИ СКЛОННОСТИ СТАЛЕЙ К ГТ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В БЗ "СВАРИВАЕМОСТЬ" Таблица 4

N	Параметрическое уравнение	Критерий	Область применения
1.	$C_3 = C + 2S + P: 3 + (Si - 0,4): 10 + (Mn - 0,8): 12 + Ni: 12 + Cu: 15 + (Cr - 0,8): 15$	$C_3 > 0,45$ - склонна к ГТ	для низколегированных сталей (C - 0,09..0,14) -
2.	$C_3 = C + 2S + P: 3 + (Si - 0,4): 7 + (Mn - 0,8): 8 + Ni: 8 + Cu: 10 + (Cr - 0,8): 10$		для низколегированных сталей (C - 0,14..0,25)
3.	$C_3 = C + 2,5S + P: 2,5 + (Si - 0,4): 5 + (Mn - 0,8): 6 + Ni: 6 + Cu: 8 + (Cr - 0,8): 8$		для низколегированных сталей (C - 0,25..0,35)
4.	$HCS = \frac{C(S+P+Si: 25+Ni: 100) \cdot 10^3}{3Mn+Cr+Mo+V}$	$HCS < 2$ - устойчива к ГТ $HCS < 4$ - устойчива к ГТ	для сталей с $\sigma_s > 700$ МПа для сталей с $\sigma_s < 700$ МПа
5.	$UCS = 230C + 190S + 75P + 45Nb - 12,3Si - 5,4Mn - 1$	$UCS < 10$ - устойчива к ГТ $UCS \geq 30$ - склонна к ГТ	для сталей микролегированных Nb
6.	$\frac{Cr_{\Sigma}}{Ni_{\Sigma}} = \frac{Cr + 1,37Mo + 1,5Si + 2Nb + 3Ti}{Ni + 0,31Mn + 22C + 14,2N + Cu}$	$\frac{Cr}{Ni} > 1,5$ - устойчива к ГТ (при P+S=0,02..0,035) $\frac{Cr}{Ni} < 1,5$ - склонна к ГТ (при P+S>0,02)	для Cr-Ni аустенитных сталей
7.	$L = 299C + 8Ni + 142Nb - 5,5(\% \text{ della-Fe})^2 - 105$	$L > 0$ склонна к ГТ	для аустенитно-ферритных сталей

СТРУКТУРА РАЗДЕЛА "СВАРИВАЕМОСТЬ"

ОЦЕНКА СКЛОННОСТИ К ГТ

Параметрические уравнения для определения склонности сталей к образованию горячих трещин

- 1) УГЛЕРОДНЫЙ ЭКВИВАЛЕНТ (C_e) — для низкоуглеродистых сталей
- 2) ФАКТОР СКЛОННОСТИ К ГТ (HC_s) — для легированных сталей.
- 3) ФАКТОР СКЛОННОСТИ К ГТ (USC) — для микрелегированных сталей
- 4) ХРОМО-НИКЕЛЕВЫЙ ЭКВИВАЛЕНТ ($CrNi$) — для Cr-Ni аустенитных сталей.
- 5) ФАКТОР СКЛОННОСТИ К ГТ (U_a) — для аустенитно-ферритных сталей.

ОЦЕНКА СКЛОННОСТИ К ХТ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ (хим. состав стали и параметры режима)

Определение вариации исходных данных.

Определение склонности к образованию ХТ

Определение оптимальной величины T_H

Расчет длительности охлаждения t_0

Оценка уровня механических свойств ЗВ при различных значениях вязкости в отсутствие холодных трещин

Таблица 8

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СТАЛЕЙ

МАРКА	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	V	Ti	AL	Nb	Cu	S	P	(N)
12ГН2МФАЮ	0.09- 0.16	0.9- 1.3	0.3- 0.5	0.2- 0.5	0.15- 0.25	1.4- 1.75	-	-	0.05- 0.1	-	<0.2	<0.035	<0.035	0.02- 0.03
14ХГНД	0.12- 0.17	1.1- 1.4	0.17 -0.5	0.9- 1.3	0.2- 0.3	1.7- 2.2	0.1- 0.2	-	0.03- 0.1	0.03- 0.08	0.3- 0.6	<0.008	<0.02	0.01- 0.035
12ХГН2МФАЮ	0.09- 0.16	0.9- 1.9	0.3- 0.5	0.5- 0.9	0.3- 0.4	1.4- 1.75	0.05 -0.1	-	0.05- 0.1	-	-	<0.035	<0.035	0.02- 0.03
14ХГОНФД	0.15- 0.18	1.4- 1.9	0.4- 0.7	0.6- 0.8	-	-	0.06 0.16	0.01 0.05	0.03- 0.07	-	0.3- 0.6	<0.02	<0.035	0.01- 0.02

Таблица 3

Механические свойства околошовной зоны сварных соединений

T _п , °C	B	τ _{0,0}	T исп., °C						
			-30			-50			
			KCV, МДж/м ²			б _в , МПа	б ₀₂ , МПа	δ, %	ψ, %
12ГН2МФАЮ									
55.0	0.015	9.10	0.4413	0.3221	0.2350	1012.85	734.93	17.553	53.332
85.0	0.284	10.63	0.4181	0.3013	0.2172	999.48	721.77	17.665	53.109
95.0	0.499	11.33	0.4097	0.2939	0.2109	994.49	716.89	17.707	53.025
130.0	0.965	13.80	0.3832	0.2707	0.1912	977.94	700.73	17.847	52.749
155.0	0.999	16.09	0.3638	0.2539	0.1772	955.09	689.19	17.955	52.524
14ХГНМЛ									
200.0	0.014	21.68	0.3310	0.2374	0.1703	1196.27	832.38	14.769	46.327
225.0	0.311	25.95	0.3183	0.2252	0.1594	1177.46	815.44	15.037	46.620
222.2	0.499	27.38	0.3146	0.2216	0.1561	1171.82	810.26	15.156	46.708
265.0	0.987	35.48	0.2975	0.2053	0.1417	1144.79	786.01	15.595	47.130
290.0	0.999	40.21	0.2894	0.1979	0.1352	1131.62	774.15	15.794	47.336
12ХГН2МФАЮ									
100.0	0.015	11.60	0.3741	0.2727	0.1989	1114.89	780.59	15.303	49.744
135.0	0.298	14.22	0.3510	0.2519	0.1808	1097.02	763.23	15.512	49.596
147.3	0.499	15.33	0.3429	0.2446	0.1745	1090.43	756.83	15.599	49.541
195.0	0.985	20.94	0.3111	0.2166	0.1508	1063.11	730.30	15.908	49.314
215.0	0.999	24.11	0.2977	0.2050	0.1412	1050.73	718.29	16.052	49.212
14ХГЭСАДЛ									
135.0	0.013	14.22	0.4617	0.3110	0.2095	1045.99	704.06	17.428	49.663
155.0	0.147	16.09	0.4422	0.2950	0.1968	1035.69	692.92	17.714	48.257
172.9	0.499	18.05	0.4247	0.2808	0.1856	1026.10	682.54	17.980	47.978
200.0	0.944	21.68	0.3983	0.2596	0.1691	1010.81	665.99	18.404	47.274
230.0	0.999	26.93	0.3691	0.2365	0.1516	992.69	648.29	18.907	46.559

СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ СТАЛИ ПОД ФЛЮСОМ						
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СТАЛИ						
C	Cr	V	Nb	Co	P	B
0.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.190	0.300	0.000	0.000	0.000	0.030	0.000
Mn	Mo	Ti	W	Zr	N	
1.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
1.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Si	Ni	Al	Cu	S	O	
0.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.600	0.300	0.00				

Используемая сталь типа 17Г1С

Сдвиг строки - ↓. Ввод - ←. Выход - Alt+C.

Рис.8. Определение марки стали по химическому составу свариваемого материала

СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ СТАЛИ ПОД ФЛЮСОМ		
СТАЛЬ - 17Г1С	ФЛЮС - АН-60	ТОЛЩИНА ДЕТАЛЕЙ: S=12.0 мм
	ПРОВОЛОКА - Св-08ГА	СТЫКОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ
Ф Л Ю С Ы		П Р О В О Л О К И
ФЦ-6	ОСП-45	Св-08А
АНЦ-1	АН-348-В	Св-08ГА
ФЦ-9	АН-348-А	
АН-65		
АН-60		

Сдвиг строки выбора - ↓↑. Выбор - ←. Выход - Alt+C.

Рис.9. Меню выбора сварочных материалов

СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ СТАЛИ ПОД ФЛЮСОМ					
СВАРИВАЕМАЯ СТАЛЬ - 12ГН2МФАЮ					
T _п	σ	τ, σ	KCV, МДж/м ²	σ _в , МПа	σ ₀₂ , МПа
47.0	0.0230	9.100	0.2350	1012.85	734.83
55.0	0.0570	10.630	0.2172	999.48	721.77
84.0	0.4390	11.330	0.2109	994.49	716.89
120.0	0.9690	13.800	0.1912	977.94	700.73
125.0	0.3990	16.094	0.1772	965.09	688.18

Ввод - ←. Выход - Alt+C.

Рис.10. Оценка механических свойств (свариваемая сталь 12ГН2МФАЮ)

Підп. до друку 01.II.95. Формат 60x84/16. Пап оєс. № 2. Оєс. лоук.
Ум. друк. арк. I,16. Ум. фарбо-відб. I,62. Обл.-вид. арк. I,31.
Тираж 100 прим. Зам. 5-297.

ІЕС Ім. Є.О.Патона. 252650 Київ 5, МСП, вул. Горького, 69.
ПОД ІЕС Ім. Є.О.Патона. 252650 Київ 5, МСП, вул. Горького, 69.

1875

AB 33.498
AB 33.498