

05.03.06
Г 797

С Государственный комитет СССР по народному образованию
Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

Грейз Георгий Маркович

УДК 621.791.762.5:691.87-422

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКИ ТЕРМИЧЕСКИ
УПРОЧНЕННОЙ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ

Специальность 05.03.06 - "Технология
и машины сварочного производства"

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск, 1989

Работа выполнена в Челябинском политехническом институте имени Ленинского комсомола и институте "Челябинский Промстрой-НИИпроект".

Научный руководитель - заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор Бакин О.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Шрон Р.З.;

кандидат технических наук, доцент Ачинович Н.Н.

Ведущее предприятие - ПО "Волготрансжелезобетон" (г. Куйбышев).

Защита диссертации состоится февраля 1989 года на заседании специализированного совета К 053.13.02 Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола по адресу: 454044, г. Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76.

Ваши отзывы на автореферат в 2 экз., заверенных гербовой печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЧПИ им. Ленинского комсомола.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1989 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА
доцент, канд. техн. наук



В.В.Костиков

Актуальность. Одной из основных задач, поставленных XXII съездом партии, является экономия всех видов ресурсов, ускорение перехода к ресурсосберегающим и безотходным технологиям. На XII пятилетку намечено обеспечить экономию проката черных металлов в размере 14–16%.

Крупнейшим потребителем стального проката является строительство. Свыше 10% проката идет на изготовление арматуры железобетона, значительную долю которой составляют стержни из высокопрочных термически упрочненных сталей. Из-за разупрочнения указанных сталей при сварке они классифицируются как несвариваемые, что узаконивает неэффективное использование стержней немарных длин, составляющих 15–20% от общего объема арматуры, и до 5% потерь при точной резке арматуры на заводах ЖБИ.

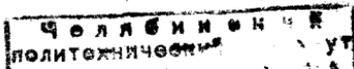
В этой связи разработка технологии безотходной заготовки напрягаемой арматуры на базе контактной стыковой сварки является весьма актуальной задачей.

Настоящая диссертация выполнена в рамках целевой комплексной научно-технической программы ОЦ.031 "Развитие прогрессивных технологий и промышленных методов строительства на основе создания и широкого применения эффективных строительных материалов, изделий и конструкций, машин, оборудования и инструмента, обеспечивающих снижение при их применении в строительстве трудоемкости на 25% и материалоемкости на 10%", а также в рамках программы работ по решению проблемы 072.01 "Создать и внедрить ресурсосберегающие технологии производства сварных конструкций с целью повышения качества, надежности и долговечности машин, механизмов и сооружений" на 1986–1990 годы.

Цель работы состояла в разработке и внедрении технологии контактной стыковой сварки при безотходной заготовке термически упрочненной арматуры железобетона с обеспечением прочности сварного соединения, соответствующей исходному классу арматуры.

Методы исследования. Влияние степени и характера разупрочнения при сварке и локальной термической обработке на прочность соединений исследованы методами теории пластичности и численными методами.

Влияние термического цикла сварки и локальной термической



обработки на протяженность участка разупрочнения исследованы путем численного моделирования температурного поля на ЭВМ по методике, разработанной автором на основе теории тепловых процессов Н.Н. Рыкалина с привлечением эмпирических формул Нипса.

Механические свойства и структуру старых соединений определяли путем испытания и исследования натуральных образцов стандартными методами.

При численном моделировании и экспериментальных исследованиях использовали методы математического планирования эксперимента и статистической обработки результатов.

Научная новизна. 1. Установлены общие закономерности влияния степени механической неоднородности и характера изменения свойств металла мягкой прослойки по ее толщине на напряженное состояние и статическую вязкую прочность сварных соединений в условиях осесимметричной деформации. Получены формулы для расчетной оценки прочности таких соединений для наиболее характерных законов распределения свойств по толщине прослойки - параболического, линейного и их комбинации.

2. Установлена связь между химическим составом и степенью разупрочнения термоупрочненных арматурных сталей при сварке с локальной термообработкой. Разработана методика оценки прочности сварных соединений термически упрочненной арматуры, основанная на использовании полученных в работе расчетных зависимостей для определения степени разупрочнения, толщины мягкой прослойки и коэффициента контактного упрочнения.

3. Предложена методика расчета температурного поля в соединениях стержней, выполненных контактной стыковой сваркой непрерывным оплавлением, требующая ограниченного числа исходных параметров и учитывающая влияние нагрева при осадке под током и температурную зависимость теплофизических коэффициентов.

Практическое значение и внедрение. Разработана и внедрена безотходная технология контактной стыковой сварки термически упрочненной арматуры классов Ат-IV, Ат-V из стали различных марок с использованием стержней любой длины и новое оригинальное оборудование для её реализации, защищенное авторскими свидетельствами № И105287 и № И165541.

Разработана и утверждена в качестве ВСН Минуралсибстроя СССР технологическая инструкция (ВСН 67-245-83). Основные ре-

зультаты исследований учтены при разработке ГОСТ 14098-85. Технология внедрена на 10 предприятиях, получен экономический эффект 425 тыс.руб.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на ежегодных конференциях ЧПИ им. Ленинского комсомола /1978, 1980, 1982, 1984 гг./, на зональной конференции сварщиков Урала в Перми /1979/, на всесоюзных конференциях по вопросам термического упрочнения проката в Днепропетровске /1981, 1985 гг./, на всесоюзных конференциях по вопросам сварки в строительстве в Волгограде, 1982 г. и Макеевке, 1983 г., на научно-техническом семинаре "Новые виды высокопрочной арматурной стали и технология её применения" в г. Москве, 1985 г. Диссертация заслустана и рекомендована к защите на научном семинаре кафедры "Оборудование и технология сварочного производства" ЧПИ им. Ленинского комсомола.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ и получено 4 авторских свидетельства на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Она изложена на 137 страницах машинописного текста, содержит 58 рисунков и 27 таблиц. Список литературы включает 154 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

I. Состояние вопроса. В настоящее время для производства предварительно напряженных железобетонных конструкций используется термически упрочненная стержневая арматурная сталь классов Ат-ШС, Ат-IVС, Ат-У, Ат-У1 с временным сопротивлением 600, 800, 1000, 1200 МПа соответственно, что дает экономию металла до 40%. Однако указанная арматура обладает существенным недостатком - неудовлетворительной свариваемостью. Исследования А.Я.Бродского, Е.З.Ерманка, Э.П.Мацнева, К.Ф.Стародубова, А.М.Фридмана, Д.Т.Худика показали, что нагрев в процессе сварки приводит к значительному разупрочнению. Использование бессварочных способов соединения с помощью специальных втулок и муфт усложняет и удорожает производство конструкций. В ряде случаев для соединения арматурных стержней используется дуговая сварка с накладками. Специальная конструкция стыка, предложенная В.А.Чудновским, позволяет достичь равнопрочности за счет включения в работу окружающего бетона, но и при этом не решается полностью проблема экономии металла и повышения производительности.

Исследования НИИЖБ показали, что прочность термически упрочненной арматуры, соединенной с помощью контактной стыковой сварки снижается как минимум на класс. Несколько лучшие результаты получены П.Н.Чвертко, В.Т.Чередничком, А.М.Фридманом при использовании сварки импульсным оплавлением, однако, из-за отсутствия специального оборудования их исследования не вышли за пределы лабораторий. В ГДР контактная сварка используется лишь для арматуры, соответствующей классу Ат-Ш.

В ряде работ МИНХ и ГП им. Губкина (Е.М.Кузмяк, В.И.Логвинов, А.Н.Хахимов и др.), а также в работах других авторов (А.Я.Бродский, Б.П.Колесник, С.И.Кучук-Яценко, Г.Н.Сахацкий) указывалось на целесообразность сопутствующего или последующего охлаждения зоны термического влияния. Исследования В.А.Чудновского показали принципиальную возможность соединения термически упрочненной арматуры при помощи контактной стыковой сварки с последующей локальной термообработкой – закалкой со сварочного нагрева и низким отпуском. Работа носила поисковый характер и проводилась на стали одной марки и одного диаметра. Она не была доведена до внедрения в связи с нерешенностью целого ряда вопросов, в т.ч. расширения диапазона марок стали и диаметров арматуры, исследования механических и геометрических характеристик зоны термического влияния (ЗТВ), разработки технологии и оборудования.

Как показано в работах О.А.Бакли, Р.З.Шрона, Н.А.Клыкова, А.Н.Моношкова, М.В.Шахматова и др., механическая неоднородность сварных соединений (в рассматриваемом случае она обусловлена наличием участков разупрочнения) существенно влияет на их работоспособность. Разработаны и расчетные методы оценки влияния механической неоднородности на прочность, однако, они не могут быть непосредственно использованы для случая сварки термически упрочненной арматуры. Так решения, касающиеся переменности свойств металла мягкой прослойки, распространяются только на пластины, в то время как в случае арматуры имеет место осесимметричная задача. Далее, для практического использования расчетных зависимостей необходимо знание протяженности участков разупрочнения. Следовательно, необходимо исследование температурных полей и разработка инженерной методики их расчета. Кроме того необходимо найти способ расчетного определения степени разупрочнения, без

чего невозможно рассчитать заранее прочность проектируемого соединения.

Таким образом, для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Разработать методику расчета температурного поля в соединениях арматурных стержней, выполненных контактной стыковой сваркой, позволяющую определить протяженность участка разупрочнения.

2. Выполнить теоретический анализ предельного напряженного состояния сварных соединений с переменными свойствами металла мягкой прослойки с учетом вовлечения в пластическую деформацию основного металла в условиях осесимметричной деформации и получить расчетные формулы для оценки вязкой статической прочности таких соединений, определить условия, обеспечивающие равнопрочность соединений.

3. Исследовать общие закономерности влияния параметров режима сварки и термообработки на механические свойства сварных соединений термически упрочненной арматуры из сталей различных марок.

4. Разработать технологические рекомендации и создать оборудование для реализации разработанной технологии в промышленных условиях.

5. На основе проведенных исследований разработать нормативный документ на контактную стыковую сварку термически упрочненной арматуры.

6. Внедрить результаты работы в условиях промышленного производства

2. Исследование тепловых процессов при контактной стыковой сварке непрерывным оплавлением с последующим ускоренным охлаждением сварного соединения. Исследование посвящено разработке методики расчета протяженности зоны разупрочнения при сварке термически упрочненной арматуры. Для этих целей методика расчета температурного поля на момент окончания сварки должна позволять достаточно просто и точно вычислить распределение температуры по длине участка разупрочнения.

Температурное поле на момент выключения тока в процессе осадки может быть представлено как

$$T(x, t) = T_1(x) + T_2(t) + T_3(x, t), \quad (I)$$

где $T_1(x)$ - температурное поле в момент окончания непрерывного оплавления стержней; $T_2(t) + T_3(x, t)$ - температура нагрева при осадке под током; x - расстояние от оплавляемого торца; t - время нагрева при осадке под током.

Температурное поле на момент окончания непрерывного оплавления определялось по эмпирическим формулам Нилпса:

$$T_1(x) = \frac{\psi_{\infty} - \gamma}{1 - \gamma} T_{пл}, \quad (2)$$

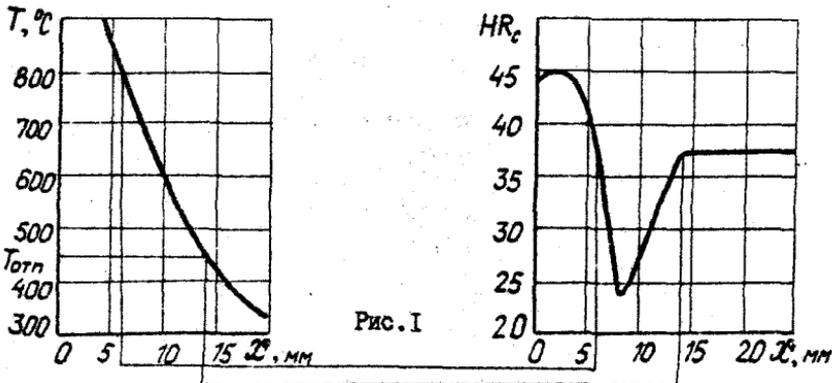
где $T_{пл}$ - температура на оплавляемом торце (1500°C); ψ_{∞} - безразмерный параметр температуры при большой установочной длине; γ - поправочный коэффициент, учитывающий величину установочной длины;

$$\psi_{\infty} = \exp[-0,92 (K/a^2)^{1/3} x], \quad (3)$$

где K - ускорение при оплавлении; a - коэффициент теплопроводности.

Нагрев при осадке под током рассматривался как нагрев при сварке сопротивлением. В соответствии с расчетной схемой, разработанной Н.Н. Рыкалиним, нагрев представлен как нагрев током бесконтактного стержня $T_2(t)$ и нагрев местным дополнительным источником $T_3(x, t)$. Так как нагрев при осадке под током ведется не от начальной, постоянной по длине сварного соединения температуры T_0 , а от температуры $T_1(x)$, был применен численный метод расчета, позволяющий учесть зависимость теплофизических коэффициентов от температуры. При этом сварное соединение разбивается по длине на слои, в пределах которых условно считают одинаковыми температуру T_i и теплофизические характеристики. Для каждого слоя по формуле (2) рассчитывается температура T_i , а затем в зависимости от нее определяются теплофизические коэффициенты и по известным формулам Н.Н. Рыкалина вычисляются значения $T_2(t)$ и $T_3(x, t)$. Основными параметрами в этих формулах, кроме теплофизических коэффициентов, являются время протекания и плотность тока. Окончательно температурное поле на момент выключения тока в процессе осадки вычисляется по формуле (1). Процесс выравнивания температуры на стадии естественного охлаждения также рассчитывался численным методом, предложенным Н.Н. Рыкалиним, взяв в качестве начального распределения температуры распределение $T(x, t)$. Расчеты проводились по программе, составленной для ЕС ЭВМ. Расчетное распределение температуры сопоставлялось с температурами, измеренными хромель-копелевыми и хромель-алюмелевыми

термопарами в различных точках сварного соединения. При анализе механической неоднородности сварного соединения рассматривали два участка: участок закалки и участок разупрочнения. За протяженность участка разупрочнения (толщину мягкой прослойки) принимали протяженность участка стержня, ограниченного температурами: $T_{отп}$ - 800°C (рис. 1), где $T_{отп}$ - температура отпуска.



Задавая значения сравнительно небольшого числа параметров (установочная длина, ускорение при оплавлении, плотность и время протекания тока при осадке, теплофизические коэффициенты, время охлаждения до начала локальной термообработки и температура отпуска), можно расчетным путем определить толщину мягкой прослойки. Сравнение фактической протяженности участка разупрочнения реальных сварных соединений, определенной по макрошлифам, с расчетными значениями вычисленными по изложенной методике подтвердили ее достоверность.

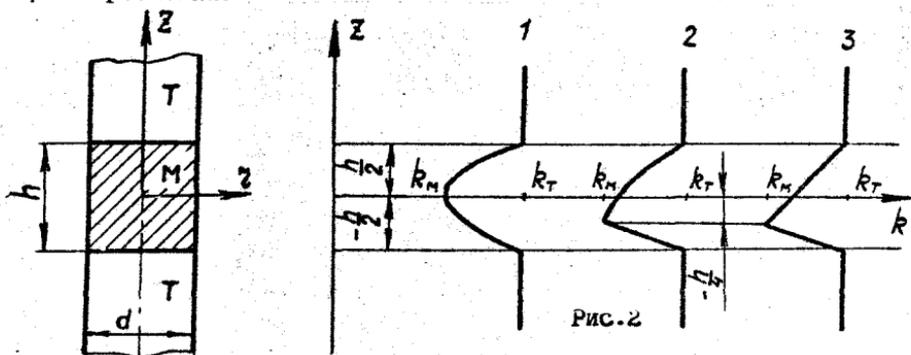
3. Прочность сварных соединений с переменными механическими свойствами металла мягкой прослойки. Как показали исследования, при сварке термически упроченной стали механические свойства металла по толщине прослойки непостоянны и зависят от режима сварки и последующей термической обработки. В случае применения контактной стыковой сварки с последующим ускоренным охлаждением или без него распределение прочности (твердости) металла прослойки по толщине может быть сведено к трем основным зависимостям (рис. 2):

$$k(z) = \frac{4(k_T - k_M)}{z^2} z^2 + k_M \quad \text{при } z - \frac{h}{2} \leq z \leq \frac{h}{2}, \quad (4)$$

$$k(z) = \begin{cases} \frac{-4(k_T - k_M)}{h} z + 2k_M - k_T \text{ при } -\frac{h}{2} \leq z \leq -\frac{h}{4}, \\ \frac{16(k_T - k_M)}{9h^2} (z + \frac{h}{4})^2 + k_M \text{ при } -\frac{h}{4} \leq z \leq \frac{h}{2}, \end{cases} \quad (5)$$

$$k(z) = \begin{cases} \frac{-4(k_T - k_M)}{h} z + 2k_M - k_T \text{ при } -\frac{h}{2} \leq z \leq -\frac{h}{4}, \\ \frac{4(k_T - k_M)}{3h} z + \frac{k_T + 2k_M}{3} \text{ при } -\frac{h}{4} \leq z \leq \frac{h}{2}, \end{cases} \quad (6)$$

где k_T , k_M - предел текучести при чистом сдвиге твердого и мягкого (наименьшее значение) металла соответственно; h - толщина прослойки.



Применительно к рассматриваемым случаям на основе уравнений теории пластичности получены выражения для оценки вязкой прочности мягких прослоек с переменными по толщине механическими свойствами в условиях осесимметричной деформации

$$\sigma^* = \sigma_B^M \cdot K_{\alpha} = \sigma_B^M \left(A + \frac{K_B^M}{3\sqrt{3} \alpha} \right), \quad (7)$$

где K_{α} - коэффициент контактного упрочнения; K_B^M - коэффициент механической неоднородности металла мягкой прослойки, $K_B^M = \sigma_B^K / \sigma_B^M$ (σ_B^K и σ_B^M - временное сопротивление металла мягкой прослойки на контактной поверхности и его минимальное значение); $\alpha = \frac{h}{d}$ - относительная толщина прослойки; A - коэффициент, зависящий от закона изменения механических свойств прослойки и K_B^M . По физическому смыслу коэффициент A определяет величину нормальных напряжений на свободной поверхности прослойки в предельном состоянии. Для рассматриваемых прослоек $\sigma_B^K = \sigma_B^T$ (σ_B^T - временное сопротивление твердого металла). При выводе зависимости

(7) одним из допущений являлось условие идеальной упругости основного металла. В реальных сварных соединениях основной металл может вовлекаться в пластическую деформацию и учет этого обстоятельства при расчете может приводить к существенной погрешности. В работах О.А.Бакти, М.В.Шахматова, С.И.Ярославцева и др. показано, что для случая плоской деформации из-за вовлечения основного металла в пластическую деформацию касательные напряжения на контактных границах не достигают предела текучести при чистом сдвиге и равны

$$\tau^k = \left(\frac{K_B - 1}{K_B} \right) \cdot k_T \quad (8)$$

В работе принято допущение, что формула (8) справедлива и в случае осесимметричной деформации.

В окончательном виде формула для определения средних предельных напряжений сварных соединений с переменными свойствами металла мягкой прослойки, учитывающая вовлечение основного металла в пластическую деформацию запишется в виде

$$\sigma^* = \sigma_B^M \cdot K_{\text{э}}' = \sigma_B^M \left(A' + \frac{K_B^M - 1}{3\sqrt{3}} \alpha \right), \quad (9)$$

где $K_{\text{э}}'$ и A' - коэффициенты аналогичные $K_{\text{э}}$ и A (см. формулу (10) для случая учета вовлечения основного металла в пластическую деформацию.

Так как вовлечение основного металла в пластическую деформацию ослабляет эффект контактного упрочнения, то $K_{\text{э}}' \leq K_{\text{э}}$. Из этого условия находим значение $\alpha_{\text{зр}} = \frac{1}{3\sqrt{3}}(A' - A)$, определяющее области действия формул (7) и (9). При $\alpha < \alpha_{\text{зр}}$ для оценки вязкой прочности соединения используется формула (9), а при $\alpha > \alpha_{\text{зр}}$ формула (7). Анализ распределения твердости в ЗТВ натуральных соединений, сваренных контактной стыковой сваркой с последующей термической обработкой, выявил, что оно наилучшим образом аппроксимируется зависимостью (6). Экспериментальная проверка полученных зависимостей показала удовлетворительную сходимость (рис. 3).

4. Исследование влияния режима сварки и последующей термической обработки на свойства сварных соединений термически упрочненной арматуры. Поиск оптимальных значений основных технологических параметров проводился с использованием метода математического планирования эксперимента на основе приведенной выше методики определения толщины мягкой прослойки, которая принималась

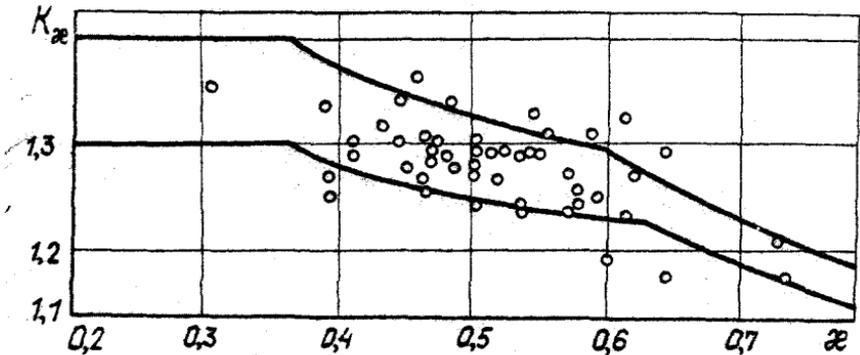


Рис. 3.

как параметр оптимизации. В качестве варьируемых факторов были выбраны установочная длина (l_y), плотность тока при осадке (j), время протекания тока при осадке (t), ускорение при оплавлении (K), время подстуживания (t_n). Для определения качественного и количественного влияния исследуемых факторов проводилось моделирование температурного поля на ЕС ЭВМ. По результатам численного эксперимента получено уравнение, связывающее технологические параметры и толщину мягкой прослойки для арматуры диаметром 14 мм.

$$\begin{aligned} \Delta X = & 0,712 + 0,043 l_y + 0,042 j + 0,091 t - 0,031 K + 0,115 t_n - \\ & - 0,020 l_y^2 + 0,010 l_y \cdot j + 0,018 l_y \cdot t - 0,012 l_y \cdot K - 0,002 l_y \cdot t_n + \\ & + 0,016 j^2 + 0,040 j \cdot t + 0,001 j \cdot K + 0,002 j \cdot t_n + \\ & + 0,030 t^2 + 0,006 t \cdot K + 0,001 t \cdot t_n + 0,007 K^2 + \\ & + 0,010 K \cdot t_n - 0,025 t_n^2. \end{aligned} \quad (10)$$

Рассмотрение уравнения (10) показывает, что увеличение всех факторов, кроме ускорения при оплавлении, приводит к увеличению протяженности участка разупрочнения. Наибольшее влияние оказывает время подстуживания, а наименьшее - ускорение при оплавлении. Оптимальные значения параметров: $l_y = 30$ мм; $j = 65,52,5$ А/мм²; $t = 0,1$ с; $K = 0,08, 0,15$ мм/с². Время подстуживания должно быть как можно меньше. Его конкретные значения зависят от конструкции приспособления для ускоренного охлаждения сварных стыков. Сопоставление расчета по уравнению (10) с фактической шириной провала твердости в ЗТВ показало удовлетворительную сходимость. Эксперименты, проведенные с использованием метода математического планирования на арматуре из стали марок 20ГС, 20ХГС2 подтвердили правильность характера влияния и величин основных параметров режима сварки и термообработки, определенных расчетным путем на

основе численного эксперимента. Одновременно в этих экспериментах исследовалось влияние некоторых других параметров: величины общей осадки и температуры отпуска после сварки. Установлено, что увеличение общей осадки повышает прочность сварных соединений, но снижает их пластичность (угол загиба). Оптимальная величина общей осадки равна 0,4-0,5 диаметра арматуры. С ростом температуры отпуска после сварки улучшается пластичность сварных соединений. Минимально допустимой является температура 400°C , рекомендуемой - $430-450^{\circ}\text{C}$. Важным параметром термообработки является скорость охлаждения сварных соединений. Рекомендуемый диапазон - $150-230^{\circ}\text{C/с}$.

Помимо технологических параметров существенное влияние на механические свойства сварных соединений оказывает химический состав стали. Сравнительный анализ свариваемости термически упрочненной арматуры классов Ат-V, Ат-VI из стали различных марок проводился путем сварки этой арматуры с последующими механическими испытаниями сварных образцов и изучением твердости и структуры различных участков ЗТВ. Установлено, что по свариваемости эти стали можно расположить в следующий ряд (по убыванию механических характеристик): 20ГС2Ф и 20ХГС2, 20ГС2, 20ГС, 35ГС, 10ГС2. Легирование арматурных сталей хромом и ванадием улучшает их свариваемость настолько, что арматура из стали марок 20ГС2Ф и 20ХГС2 прочностью до класса Ат-V включительно может свариваться по традиционной технологии (без локальной термообработки). Применение разработанной технологии для сварки этих марок позволяет получить соединения, соответствующие классу Ат-VI. Увеличение содержания углерода в сталях марок 20ГС2, 20ГС и 10ГС2 в пределах диапазона, оговоренного для них ГОСТ 10884-81 улучшает их свариваемость за счет повышения стойкости термоупрочненного металла к отпуску.

Если толщина мягкой прослойки, как было показано, определяется в первую очередь режимами сварки и последующей термообработки, то ее минимальная прочность практически не зависит от режима сварки и является функцией химического состава и режима последующей термообработки. Дополнение ранее полученной зависимости "параметры режимов сварки и термообработки - толщина мягкой прослойки" зависимостью "химический состав - σ_s^M " исключает необходимость в экспериментах при прогнозировании прочности сварных соединений (см. формулы (7) и (9)). По результатам статистической обработки экспериментальных данных получена зависимость:

$$\sigma_8^M = 333 + 948 C_3 \text{ (МПа)}, \quad (\text{II})$$

где C_3 - углеродный эквивалент по формуле С.А.островской для четырех химических элементов (C , Si , Mn , Cr).

5. Разработка и внедрение технологии контактной стыковой сварки термически упрочненной арматуры. Проведенный комплекс исследований показал, что оптимальной с точки зрения обеспечения требуемых механических свойств арматуры из термоупрочненной стали является технология контактной стыковой сварки с ускоренным охлаждением сварного соединения.

Основными параметрами режима сварки и термообработки, определяющими механические свойства сварных соединений термически упрочненной арматуры являются: установочная длина, степень мощности сварочного трансформатора, величины общей осадки и осадки под током, время подстуживания, скорость охлаждения и температура вторичного отпуска. Оптимальные параметры режима, обеспечивающие необходимый уровень прочности сварных соединений термически упрочненной арматуры класса Ат-У диаметром 12-18 мм, и другие технологические требования обобщены в инструкции ВСН 67-245-83, утвержденной в качестве нормативного документа Минуралсибстроя СССР. Взяв в качестве исходных данных рекомендованные в инструкции значения параметров режима и браковочные показатели для классов прочности термически упрочненной арматуры, можно, используя полученные расчетные зависимости определить химический состав (углеродный эквивалент) стали, обеспечивающий получение сварных соединений с заданными прочностными свойствами. Граничные значения C_3 для классов Ат-IV, Ат-V, Ат-VI соответственно равны 0,28; 0,48; 0,67. Для того, чтобы оценить свариваемость термически упрочненной арматуры любого химического состава достаточно определить для нее значение C_3 и сравнить его с граничными. По результатам сравнения можно определить класс прочности, которому будет соответствовать сварное соединение, полученное контактной стыковой сваркой с последующей локальной термообработкой.

Наиболее простой путь реализации разработанной технологии - установка в действующие линии безотходной заготовки стержневой арматуры приспособления для ускоренного охлаждения сварных соединений а.с. № II6554I, работающее в одном автоматическом цикле со стыковой сварочной машиной. Приспособление осуществляет перенос сваренного стержня из электродов машины в охлаждающее устрой-

ство спрейерного типа. Весьма перспективной является разработка и использование специализированных линий для сварки высокопрочной термически упроченной арматуры. Такая линия внедрена в 1985 г. на Шекинском опытно-экспериментальном заводе. Разработка этой линии была выполнена ИТБ "Стройиндустрия" совместно с институтами НИИЭБ и Челябинский ПромстройНИИпроект при непосредственном участии автора /а.с. № II05287/. Кроме традиционных элементов (стеллажи, рольганги, механизмы перемещения и резки, сварочная стыковая машина) линия включает нагнетатель, переключник и испытательный стенд. Результаты испытаний образцов - свидетелей подтверждают достаточную степень надежности технологии и конструкции линии.

Внедрение технологии путем установки в действующие линии приспособлений проводится с 1981 г. Оно осуществлено на 10 заводах ЖБИ различных строительных министерств с общим экономическим эффектом 425 тыс. рублей.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Методика расчета температурных полей, разработанная применительно к контактной стыковой сварке непрерывным оплавлением с учетом влияния нагрева при осадке под током и температурной зависимости теплофизических характеристик металла, позволяет оценить протяженность участка разупрочнения при ограниченном числе исходных параметров (установочная длина, ускорение при оплавлении, плотность и время протекания тока при осадке, теплофизические коэффициенты и время охлаждения до локальной термообработки).

Границы участка разупрочнения с достаточной для практических целей точностью определяются координатами сечений стержня, соответствующих температуре отпуска термоупрочненного металла и температуре 800°C.

2. На основе теоретического анализа выявлено, что предельная несущая способность механически неоднородных сварных соединений определяется не только толщиной мягкой прослойки и коэффициентом механической неоднородности, но и существенно зависит от характера изменения свойств металла мягкой прослойки по её толщине. Задача решена применительно к случаю осесимметричной деформации для наиболее характерных зависимостей распределения свойств по толщине прослойки - параболической, линейной и их комбинации.

0195638

Установлено, что оптимальным с точки зрения прочности соединений является линейный закон распределения свойств по толщине прослойки, характерный для контактной стыковой сварки с последующим ускоренным охлаждением.

3. Уравнения регрессии, полученные на основе моделирования температурных полей на ЭВМ, позволяют определить прочность участка разупрочнения непосредственно по значениям основных параметров режима сварки и последующей термообработки и оценить степень влияния этих параметров на прочность сварного соединения.

4. Уменьшение протяженности участка разупрочнения происходит при уменьшении установочной длины, плотности тока осадки, времени осадки под током и времени подстуживания и увеличении таких параметров, как ускорение при оплавлении и температура отпуска сварного соединения. Наибольшее влияние оказывают параметры термообработки - время подстуживания и температура отпуска.

5. Полученные в работе зависимости для определения степени разупрочнения, толщины мягкой прослойки и коэффициента контактного упрочнения с учетом характера изменения свойств по толщине прослойки и вовлечения основного металла в пластическую деформацию позволяют расчетным путем определить прочность сварных соединений термически упрочненной арматуры различного химического состава.

6. Арматурные стали по механическим характеристикам сварных соединений, выполненных по предложенной технологии располагаются (по убыванию механических характеристик) в следующий ряд: 20ГС2Ф и 20ХГС2, 20ГС2, 20ГС, 35ГС, 10ГС2. Стали марок 20ГС2Ф и 20ХГС2 с прочностью, соответствующей классу Ат-У, могут свариваться по традиционной (без локальной термообработки) технологии. Применение разработанной технологии позволяет получить сварные соединения из сталей марок 20ГС2Ф и 20ХГС2 с более высокой прочностью, превышающей соответствующие браковочные показатели для класса Ат-У1.

7. Разработаны два варианта реализации предложенной технологии: установка в существующие на заводах ЖБИ линии безотходной заготовки стержневой арматуры приспособления для ускоренного охлаждения стыка, работающего в одном автоматическом цикле со стыковой сварочной машиной и применение специализированных линий безотходной заготовки термически упрочненной арматуры, имеющих устройства для контроля качества сварных соединений и обладающих

высокой степенью механизации и автоматизации. Предложенные разработки защищены авторскими свидетельствами.

8. Разработанная технология контактной стыковой сварки с последующей термообработкой внедрена на ряде предприятий трех строительных министерств для безотходной заготовки арматуры класса Ат-У мелкого сорта и легла в основу технологической инструкции, утвержденной Минуралсибстроем СССР в качестве нормативного документа (ВСН 67-245-83). Результаты исследований учтены при разработке ГОСТ 14098-85. Экономический эффект от внедрения результатов работы составил 425 тыс. руб.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Технология сварки термоупрочненной арматуры железобетонных конструкций /Бабли О.А., Чудновский В.А., Грейз Г.М., Чиркова Т.М. / Сварочное производство. - 1977. - № 3. - С. 8-10.
2. Чудновский В.А., Грейз Г.М., Алферова Ф.Н. Параметры режима контактной стыковой сварки термоупрочненной арматуры мелкого сорта //Исследование строительных конструкций: Сб. науч. тр. /Красноярский ПромстройНИИпроект. - Красноярск, 1978. - С. 17-28.
3. Исследование свариваемости термически упрочненной арматуры мелкого сорта из стали марки 20ХГС2 /Чудновский В.А., Зернов А.В., Грейз Г.М., Калмыков Б.В. // Исследование строительных конструкций: Сб. науч. тр. /Красноярский ПромстройНИИпроект. - Красноярск, 1980. - С. 21-30.
4. Безотходная заготовка термически упрочненной арматуры /Чудновский В.А., Шубин М.А., Грейз Г.М., Плеханов В.С. // Промышленное строительство и инженерные сооружения. - 1981. - № 2. - С. 13.
5. Упрощенная методика расчета температурного поля при контактной стыковой сварке непрерывным оплавлением / Грейз Г.М., Чудновский В.А., Измайлова Л.В., Дробнис Л.А. // Совершенствование строительных конструкций и технология их изготовления: Сб. науч. тр. /Красноярский ПромстройНИИпроект. - Красноярск, 1982. - С. 52-59.
6. Контактная стыковая сварка термоупрочненной арматуры железобетона /Чудновский В.А., Грейз Г.М., Бабли О.А., Шахматов М.В. //Сварочное производство. - 1983. - № 1. - С. 26-28.

7. Чудновский В.А., Грейз Г.М. Прочность сварных соединений термически упрочненной арматуры // Пути снижения материалоемкости и трудоемкости сварочных работ в строительстве: Сб. тез. докл. / У Всесоюз. конф. - М.: Стройиздат, 1983. - С. 77-78.

8. Чудновский В.А., Грейз Г.М., Шахматов М.В. Расчет прочности стыковых соединений термически упрочненной арматуры железобетона // Совершенствование технологии изготовления строительных конструкций: Сб. науч. тр. / Красноярский ПромстройНИИпроект. - Красноярск, 1983. - С. 81-88.

9. ВСН-67-245-83. Временная инструкция по контактной стыковой сварке термически упрочненной арматуры классов Ат-IV, Ат-V / Чудновский В.А., Грейз Г.М. - Введ. 26.07.83 до 01.07.88. - 9 с.

10. Чудновский В.А., Грейз Г.М., Калмыков В.В. Свариваемость высокопрочных термоупрочненных арматурных сталей // Термическая и термомеханическая обработка стали: Сб. науч. тр. МЧМ СССР. - М.: Металлургия, 1984. - С. 46-49.

11. Локальная термообработка стыковых соединений / Чудновский В.А., Грейз Г.М., Слепуха В.Т., Андрейченко А.В. // Бетон и железобетон. - 1986. - № 12. - С. 14-15.

12. А.с. 667660. Стык стержней из металла с ограниченной свариваемостью / В.А. Чудновский, Г.М. Грейз. - Оpubл. 1979. Бюл. № 22.

13. А.с. 925592. Способ сварки термоупрочненных сталей / Г.М. Грейз, А.В. Зернов, В.А. Чудновский. - Оpubл. 1982, Бюл. № 17.

14. А.с. 1105287. Линия стыковой сварки стержней / А.В. Андрейченко, А.М. Фридман, В.Т. Слепуха, В.А. Чудновский, Г.М. Грейз, С.А. Мадатян, В.Н. Мотков, А.Ф. Тупиков. - Оpubл. 1984. Бюл. № 28.

15. А.с. 1165541. Линия для изготовления арматурных стержней / А.В. Андрейченко, В.А. Чудновский, В.С. Подлесных, А.Ф. Тупиков, С.А. Мадатян, А.Н. Архангельский, Г.М. Грейз. - Оpubл. 1985, Бюл. № 25.

Подписано к печати 13.01.89. ФБ 12005. Формат 60x90 1/16.

Печ. л. 1. Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 14/28.

УОП ЧМ. 454044. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.