

На правах рукописи

ТИТОВ Сергей Владимирович

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАПОРНОЙ
ЧУГУННОЙ АРМАТУРЫ НАПЛАВКОЙ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕИ
С РЕГУЛИРОВАНИЕМ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ

Специальность 05.03.06 - Технология и машины сварочного
производства

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Курган - 1996

Работа выполнена в Курганском машиностроительном институте
Научный руководитель - доктор технических наук, академик
САГАЛЕВИЧ В.М.

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор
АНТОНОВ А.А.
- кандидат технических наук, доцент
ПЕТРОВ С.Д.

Ведущее предприятие - А.О. "ИКАР" Курганский завод
трубопроводной арматуры.

Защита диссертации состоится "10" декабря 1996 г.
на заседании диссертационного Совета К 053.15.03 в Московском
государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана по
адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5.

Ваш отзыв на автореферат в 3 экз., заверенный печатью,

б-ся в библиотеке МГТУ им.

9 декабря 1996 г.

1551440

В.И. ГИРЯ

по к печати
том I п.д.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Трубопроводная запорная и регулирующая арматура широко применяется в тепловодоснабжении отраслей народного хозяйства. При этом доля чугуна в арматуростроении остается достаточно высокой: 60-70 % веса выпускаемых изделий.

Выход из строя арматуры связан в 70 % случаев с износом уплотнительных поверхностей арматуры. Покрытие этих поверхностей хромоникелевой сталью увеличивает эксплуатационную стойкость чугунной арматуры более чем в 4 раза. Существующие способы получения этих покрытий (механическое крепление, биметаллическое литье, пайка) не отвечают современным требованиям или имеют узкую область применения. Поэтому увеличение работоспособности арматуры за счет наплавки на уплотнительные поверхности коррозионно-износостойких сталей является перспективным направлением.

Актуальность и важность этой работы определяются ответственным характером изделий, широким распространением деталей из чугуна в различных отраслях, а также необходимостью получения уплотнительных коррозионно-износостойких покрытий ресурсосберегающими технологиями.

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с научно-техническими программами Государственного комитета по высшему образованию. Задание I2.I7 "Сварка" (Головной ВУЗ - МГТУ). Гос. номер 01.9.10 012557.

Цель работы. Повышение эксплуатационной надежности и долговечности чугунной арматуры за счет наплавки хромоникелевыми сталями уплотнительных элементов с регулированием напряженно-деформационного состояния.

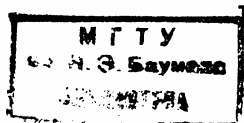
Методы исследования. Для выбора оптимальных параметров и числа экспериментов проводимых исследований применяли метод математического планирования. Полученное соединение чугун - хромоникелевая сталь подвергали стандартным методам определения прочностных характеристик (срез, отрыв). Испытание на коррозионно-износостойкость проводились методами гидроабразивного изнашивания при попеременно-поступательном и вращательном движениях

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1551440

Титов С. В. Повышение работ



контртел в нейтральной и агрессивной средах. Кавитационная стойкость изделия определялась методом дросселирования. Фазовый и структурный анализ сварного соединения производили металлографическим и рентгеноспектральным методом. Напряженно-деформационное состояние соединения определяли экспериментально-расчетными методами. Разработана методика исследования влияния параметров наплавки и термомеханического ударного воздействия на технологическую прочность.

Научная новизна работы связана с раскрытием кинетики формирования поля сварочных напряжений и деформаций в процессе охлаждения металла при однослойной "холодной" наплавке хромоникелевой стали на чугун и изучением топографии трещин, структуры наплавленного металла и переходной зоны. Установлено, что

1. Образование графитовых включений, их направленный рост и слияние в трещиноподобный дефект при остывании шва происходит за счет растягивающих напряжений с ориентацией в объеме металла перпендикулярно силовому воздействию. Это приводит к раскрытию трещины типа "откол" в зоне термического влияния чугуна.

2. Увеличение объема наплавленного металла и ширины шва при наплавке с колебаниями электрода повышает общую термическую усадку нагретого металла, что приводит к перераспределению напряженного состояния детали в сторону увеличения поперечных растягивающих напряжений и вызывает образование продольных трещин.

3. Термомеханическое ударное воздействие (ТМУВ) в процессе наплавки на стадии охлаждения за счет пластической деформации наплавленного металла компенсирует термическую усадку и снижает уровень сварочных напряжений.

4. Предварительное механическое сжатие детали в опасных зонах позволяет создать в чугуне на стадии нагрева дополнительные пластические деформации укорочения, чем компенсирует термическую усадку шва и снижает уровень сварочных напряжений.

Практическая ценность.

1. Получены инженерные расчеты зависимости оптимальных режимов от геометрии однослойной "холодной" наплавки колеблющимся электродом нержавеющей стали аустенитного класса на чугун при

минимальном проплавлении.

2. Предложены технологические приемы регулирования напряженно-деформационного состояния в зоне термического влияния чугуна при однослойной "холодной" наплавке коррозионностойких сталей методами предварительного сжатия опасных зон или термомеханическим ударным воздействием на наплавленный металл на стадии остывания.

3. Разработаны приборы, оборудование и техника проведения термомеханического ударного воздействия в процессе наплавки и методика расчета его параметров.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены на Всесоюзных научно-технических конференциях: "100-летие изобретения сварки по методу Н.Г.Славянова и современные проблемы развития сварочного производства" в Перми (1988 г.), "Физика прочности и пластичности металлов и сплавов" в Куйбышеве (1989 г.), "Состояние и перспективы восстановления и упрочнения деталей машин" в Москве (1994 г.), на объединенном научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МГТУ им.Н.Э.Баумана (1991, 1993 г.).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и общих выводов. Содержит 196 страниц машинописного текста, 52 рисунка, 7 таблиц, 145 наименований литературных источников, 1 приложение.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности выбранной темы диссертационной работы, сформулирована ее цель и предмет защиты.

Глава I. Рассмотрены перспективы применения чугуна в промышленности и в арматуростроении, пути повышения эксплуатационной стойкости чугунной арматуры и проблемы получения соединения коррозионностойкая сталь-чугун. Низкая технологическая прочность соединений чугуна со сталями вызвана образованием закалочных и метастабильных структур, легкоплавких эвтектик в зоне термического влияния чугуна, температурными градиентами и различными коэффициентами линейного расширения.

Работы Грецкого П.Я., Блистратова П.С. и др. решают проблему повышения технологической прочности соединений с чугуном

металлургическими приемами и предлагают новые наплавочные материалы, содержащие дефицитные дорогостоящие металлы: никель, медь, ванадий и др.

Есть работы, которые рекомендуют повышение технологической прочности за счет дополнительного тепловложения, оптимизации режимов наплавки, применением промежуточного слоя . . .

Работы Прохорова Н.Н., Винокурова В.А., Григорьянца А.Г., Куркина С.А., Махненко В.И. и др. авторов заложили основы экспериментального и расчетного исследования термдеформационных циклов в процессе сварки, рассмотрели способы снижения уровня сварочных напряжений. Однако для выбранных способов наплавки на чугун информация по сварочным напряжениям и термдеформационным циклам представлена лишь качественно. Развитие направления, заложенного в работах Сагалевича В.М., Разикова М.И. и др. по снижению уровня сварочных напряжений за счет механического ударного воздействия представляется перспективным для соединения чугуна - хромоникелевая сталь. Проковка горячего наплавленного металла в отличие от прокатки позволяет снизить расход энергии на пластическую деформацию, повысить стойкость инструмента, легко сочетается с различным сварочным оборудованием. Применение механического ударного воздействия на наплавленный металл при высоких температурах в процессе остывания обеспечивает повышение технологической прочности соединения, снижение энергетических и материальных затрат.

На основании вышеизложенного сформулированы задачи настоящей работы:

1. Разработать методику и приборы для проведения экспериментов однослойной "холодной" наплавки хромоникелевой стали на чугун с регулированием напряженно-деформационного состояния соединения.
2. Изучить закономерности образования временных и остаточных деформаций биметаллического чугунного соединения и дать экспериментально-теоретическое обоснование выбора способа наплавки на чугун коррозионно-износостойких сталей.
3. Создать принципиальную технологию однослойной наплавки с использованием термомеханического ударного воздействия. Дать анализ влияния основных параметров режимов наплавки на

технологическую прочность соединения.

4. Изучить механические свойства соединения чугуна - хромоникелевая сталь, служебные и эксплуатационные характеристики арматуры с наплавленными коррозионноизносостойкими уплотнениями.

Глава 2. Посвящена методике проведения исследований. Изучение формирования соединений сталь-чугун проводилась на экспериментальной установке, позволяющей исследовать влияние технологических приемов и термомеханического ударного воздействия на технологическую прочность.

Установка позволяет менять скорость наплавки от 3 до 15 м/час, скорость колебаний электрода от 0,2 до 4 с⁻¹, с амплитудой до 50 мм. Инструментом для проведения термо-механического ударного воздействия выбран линейный двигатель ПЭМ-0,1. Для работы в зоне действия сварочной дуги произведена модернизация двигателя, обеспечивающая водоохлаждение статора и бойка. Для оценки ударного воздействия создан измерительный электронный блок, работающий в паре с пьезокристаллическим датчиком. Датчик крепится на штоке линейного двигателя.

Исследование термомеханических циклов соединения в зоне термического влияния производили экспериментальным и экспериментально-расчетным методами по методике МВТУ. Наплавку производили на ребро пластины размером 400х150х40 мм со смещением к боковой грани. Измеряли временные сварочные деформации на базе 5 мм с последующим выделением упругих и пластических деформаций. Остаточные деформации измеряли механическим деформометром конструкции МВТУ на базе 20 мм.

Методы математического планирования повысили эффективность экспериментов и минимизировали их число. При исследовании влияния энергии удара и температуры деформирования наплавленного металла на технологическую прочность реализован 2-факторный эксперимент. В качестве первого параметра выбрана энергия ударного воздействия, а второй параметр - температура деформации, зависящая от расстояния между зоной горения дуги и места удара.

Полученное соединение подвергалось стандартным прочностным испытаниям на отрыв и срез. Коррозионноабразивные испытания проводились при перемещении контроля возвратно-поступательно или

вращательно. Для ускоренных испытаний применялся коррозионный раствор $3\% \text{FeCl}_3 + 1,5\% \text{NaCl}$. Натурные изделия испытаны на герметичность, кавитационную стойкость методом дросселирования.

Глава 3. Выбор технологии и обоснование режимов однослойной наплавки стали на чугун основывался на условиях повышения производительности и обеспечения технологической прочности соединения при заданной конструктивной геометрии наплавки. При содержании углерода более $0,2\%$, серы и фосфора $0,02\%$ в наплавленном металле образуются горячие трещины. Переход вредных примесей из чугуна в металл шва определяется площадью поперечного сечения зоны расплавления чугуна, термическим КПД проплавления. Эксперименты показали, что во всех случаях наплавка колеблющимся электродом с целью повышения производительности приводит к увеличению коэффициента расплавления электрода и глубины проплавления. При сохранении геометрии наплавленного валика, изменение полярности тока с обратной на прямую в 2-3 раза уменьшает термический КПД, а увеличение вылета электрода от 30 до 70 мм в 1,2 - 1,3 раза уменьшает глубину проплавления. Наплавка без колебаний электрода при условии подтекания жидкого металла под дугу (наплавка на спуск) позволила обеспечить глубину проплавления менее 1 мм, содержание углерода менее $0,2\%$, отсутствие в наплавленном металле горячих трещин.

Выявлено влияние полярности тока и колебаний электрода на увеличение коэффициента выгорания углерода, который при прямой полярности и амплитуде колебаний электрода 30 мм достигает 0,5.

Для обеспечения технологической прочности наплавки стали на окружность тонкого диска из ВЧ45 (рис.1) предложено осуществлять предварительное сжатие ребра в замке сварного шва наплавки стальными прижимами с усилием не менее $P = 0,2 \cdot B^2$ (кН), где B - ширина наплавленного валика в мм /8/.

При широкоослойной наплавке колеблющимся электродом из-за более высокого значения термической усадки хромоникелевой стали и большего проплавления чугуна устранить трещины в соединении не удается.

Изучение формирования стального слоя колеблющимся электродом позволило выбрать расчетную схему определения основных

параметров наплавки. Из условия необходимости образования общей сварочной ванны выведена формула определения эффективной мощности наплавки q_n . С учетом ограничения перехода вредных примесей из чугуна (углерода менее 0,3%) и глубины проплавления (менее 2 мм) вывели расчетные зависимости скорости наплавки V_n , поперечных колебаний электрода $V_{пп}$, частоты колебаний электрода N от ширины наплавки B . Используя теплофизические характеристики конкретных материалов и коэффициентов, характеризующих способ наплавки, получили простые закономерности:

$$V_n = (2,4 - 16,7B) \cdot 10^{-3} \text{ (м/с)}, \quad V_{пп} = 4,44 \cdot 10^{-2} + B^{1,2} \text{ (м/с)} \\ N = 2,2 \cdot 10^{-2} \cdot B^{-1} \text{ (с}^{-1}\text{)}, \quad q_n = 121250 \cdot B \text{ (Дж/с)}.$$

Экспериментальная проверка расчетных зависимостей произведена для проволоки Св - 08Г2С и Св - 05Х20Н9ФБС.

Проведенные исследования позволили рекомендовать дешевый способ наплавки открытой дугой в среде углекислого газа плавящимся колеблющимся электродом для получения соединения чугуна с хромоникелевыми сталями.

Глава 4. Представлены результаты исследований технологии однослойной наплавки колеблющимся электродом с термомеханическим ударным воздействием.

Наплавка аустенитной сталью, имеющей большой коэффициент линейного расширения, формирует в соединении высокий уровень сварочных деформаций, превышающий критический. С увеличением объема наплавленного металла (широкослойная наплавка) избавиться от трещин за счет изменения режимов наплавки не удастся. На стадии нагрева в чугуне сначала возникают деформации укорочения, переходящие в высокотемпературной зоне термодетормограммы в деформации удлинения. На стадии охлаждения в металле наплавки и околошовной зоне в чугуне формируются деформации удлинения с высоким уровнем пластической составляющей этих деформаций (рис.2). С увеличением ширины наплавленного слоя за счет колеблющегося электрода на стадии охлаждения снижается уровень продольных деформаций и повышается уровень поперечных деформаций, способствующих образованию трещин-отколов в чугуне. Если эти деформации в высокотемпературной зоне (более 1070 К в чугуне) не превышают 1,5%, то удастся избежать образования трещин.

Металлографические исследования зон разрушения в ЗТВ чугуна и анализ термомеханических циклов показал, что рост трещино-подобных графитовых включений следует связывать не с температурой, как отмечали ранее, а с растягивающими напряжениями [4,7]. Изучение этого процесса позволило констатировать, что в соединениях, где снижен уровень сварочных растягивающих напряжений за счет подогрева, температурный фактор незначительно влияет на хаотический рост графитовых включений (эффект всестороннего объемного сжатия), и только при деформациях удлинения в угловых концентраторах, где формируются свободные полости, происходит направленный рост графита перпендикулярно действию сил. Происходит как бы разъедание металлической матрицы плоско растущим графитом, снижающим прочность и приводящим к образованию трещин.

Ударное воздействие на горячий наплавленный металл за счет пластического деформирования компенсирует тепловую усадку и снижает уровень растягивающих напряжений (рис.3). При разработке математической расчетной формулы определения энергии удара учитывалась температурная усадка наплавки в поперечном направлении, а компенсация усадки в продольном направлении обеспечивалась за счет многократного повторения удара (рис.4,5). При выводе упрощенной формулы энергии удара Q не учитывалась история нагружения, фазовые и структурные превращения, изменение физических свойств металла в процессе нагрева и охлаждения

$$Q = 5,94 \cdot \sigma_T \cdot V \cdot L \cdot H \cdot [\alpha_{\text{ч}} \cdot T_{\text{ТЧ}} - (\alpha_{\text{н}} - \alpha_{\text{ч}}) \cdot (T_{\text{ТН}} - T_{\text{ТЧ}})]$$

где: σ_T - предел текучести наплавленного металла при температуре ударного воздействия; $V \cdot L \cdot H$ - объем деформированного участка наплавки; $\alpha_{\text{ч}}, \alpha_{\text{н}}$ - коэффициенты температурного расширения чугуна и наплавки; $T_{\text{ТЧ}}, T_{\text{ТН}}$ - температура текучести чугуна и наплавки.

Выведены корреляционные зависимости между энергией удара, формирующимися деформациями и трещинами в наплавке и чугуне. Экспериментальная величина энергии удара подтвердила правильность расчетных зависимостей и сделанных упрощений (расхождение 10 - 20 %). Отличие можно скорректировать поправочным коэффициентом. Термомеханическое ударное воздействие позволяет успешно бороться с горячими и холодными трещинами.

Глава 5. Посвящена определению эксплуатационных свойств

уплотнительных поверхностей и промышленной апробации технологии наплавки нержавеющей стали на чугун. Срок службы трубопроводной чугунной арматуры в основном определяется износом и коррозией сопрягаемых пар уплотнительных поверхностей. Сравнительные испытания на трение и износ проводились с использованием образцов из чугунов ВЧ45, СЧ20, наплавки сталью Х18Н9Т, бронзой БрАМЦ-9-2, плазменным напылением порошками нихрома, вольфрама и никеля. При этом в качестве упругого элемента применялась резина. В водопроводной воде высокая износостойкость установлена для пар трения хромоникелевая сталь - резина. Износостойкость стали близка к параметрам бронзы. Чугун изнашивался в 2 раза интенсивнее, а износ резины в 5 раз больше. Плазменное напыление в паре с резиной имеет наихудшие триботехнические свойства, износ резины в этом случае в 20 раз больше стали.

При испытании в коррозионной среде хромоникелевая сталь изнашивалась меньше бронзы и чугуна и является наилучшим коррозионностойким покрытием и имеет высокие триботехнические свойства в паре с резиной.

Натурные детали задвижек были испытаны на кавитационный износ (дресселирование) при неполном закрытии задвижек. После 1000 часов испытания задвижки базового заводского исполнения выработали ресурс и потеряли герметичность, арматура с наплавленными уплотнительными элементами дополнительно выдержала 3000 часов без потери герметичности. Это означает, что наплавка нержавеющей стали увеличивает срок службы изделия в 4 раза.

Прочностные характеристики соединения близки к основному металлу - чугуну. ($\sigma_{\text{всоединения}}$ - 150-190 МПа).

Промышленную апробацию технология наплавки уплотнительных поверхностей чугунной арматуры прошла на Московском заводе "Водоприбор". Создана специальная полуавтоматическая наплавочная установка. Внедрение новой технологии дало годовой экономический эффект (в ценах 1990 года) 227 тыс.руб. при плане выпуска 30000 шт.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Основной причиной выхода из строя трубопроводной запорной чугунной арматуры является низкая стойкость уплотнительных элементов. Нанесение покрытий из хромоникелевой стали на уплотнительные поверхности позволяет повысить коррозионно-износостойкость и срок службы изделия, но их получение прогрессивной однослойной "холодной" наплавкой является проблематичным. Решение поставленной задачи видится в повышении технологической прочности соединения за счет регулирования напряженно - деформационного состояния.

2. Раскрытие кинетики формирования поля сварочных напряжений и деформаций в процессе охлаждения металла при однослойной "холодной" наплавке хромоникелевой стали на чугун, изучение топографии трещин, структуры наплавленного металла и переходной зоны позволили установить, что

- образование графитовых включений, их направленный рост и слияние в трещиноподобный дефект при остывании шва происходит за счет растягивающих напряжений с ориентацией в объеме металла перпендикулярно силовому воздействию. Это приводит к раскрытию трещин типа "откол" в зоне термического влияния чугуна;

- увеличение объема наплавленного металла и ширины шва при наплавке с колебаниями электрода повышает общую термическую усадку нагретого металла, что приводит к перераспределению напряженного состояния детали в сторону увеличения поперечных растягивающих напряжений и вызывает образование продольных трещин;

- термомеханическое ударное воздействие (ТМУВ) в процессе наплавки по остывающему шву за счет пластической деформации наплавленного металла компенсирует термическую усадку и снижает уровень сварочных напряжений;

- предварительное механическое сжатие детали в опасных зонах позволяет создать в чугуне на стадии нагрева дополнительные пластические деформации укорочения, чем компенсирует термическую

усадку шва и снижает уровень сварочных напряжений.

3. Из условия обеспечения жидкой ванны по всей ширине наплавки колеблющимся электродом и минимизации глубины проплавления чугуна выведены инженерные расчетные зависимости определения оптимальных режимов от геометрии однослойной "холодной" наплавки колеблющимся электродом нержавеющей стали аустенитного класса на конструкционный чугун.

4. Предложена методика определения энергии ударного воздействия за один ход бойка с учетом геометрии наплавки и теплофизических свойств наплавленного и основного металлов, обеспечивающих компенсацию термической усадки.

5. При однослойной наплавке по ребру тонких пластин и дисков из чугуна с целью снижения уровня сварочных напряжений в опасных зонах (в начале и конце валика) предложено предварительное сжатие детали стальными прижимами с усилием пропорциональным квадрату ширины шва, а снятие усилия сжатия производить на стадии остывания при температуре 470 К и ниже.

6. Перспективность запорной арматуры с уплотнительными элементами из хромоникелевой стали доказана сравнительными испытаниями на кавитационный износ и износостойкость в коррозионноабразивной среде. Техничко-эксплуатационные показатели такой арматуры выше в 4-7 раз.

7. Технология наплавки хромоникелевой стали 12Х18Н9Т на уплотнительные поверхности паросиловой арматуры из чугуна БЧ45 внедрена на Московском заводе "Водоприбор" с годовым экономическим эффектом 227 тыс.рублей (в ценах 1990 г.) при плане выпуска 30.000 шт. в год.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Технологическая прочность деталей арматуры из чугуна при наплавке / М.И.Мялин, В.М.Сагалевич, В.Н.Турыгин и др.

// Ресурсосберегающие технологии в сварочном производстве: Тез. докл. областной науч.-техн. конф. - Курган, 1987. - С.5.

2. Титов С.В., Турыгин В.Н., Сагалевич В.М. Направленное формирование остаточных деформаций и напряжений при наплавке. / 100 -летие изобретения сварки по методу Н.Г.Славянова и

современные проблемы развития сварочного производства: Тез. докл. всесоюзной науч.-техн. конф. - Пермь, 1988. - С.36.

3. Турыгин В.Н., Титов С.В., Глухова Л.Ф. Механизм разрушений в зоне сплавления чугуна со сталью при широкослойной наплавке / Физика прочности и пластичности металлов и сплавов: Тез. докл. всесоюзной науч.-техн. конф. - Куйбышев, 1989. - С.391.

4. Турыгин В.Н., Титов С.В., Ефремов И.С. Расчетное определение параметров режима наплавки на чугун колеблющимся электродом //Деп. рук. ВИНТИ.- №3-МШ 93.-II с.

5. Сварочные деформации и технологическая прочность при наплавке стального слоя на серый чугун./ Турыгин В.Н., Титов С.В., Ефремов И.С. и др. //Деп. рук. ВИНТИ.- №3-МШ 93.-II с.

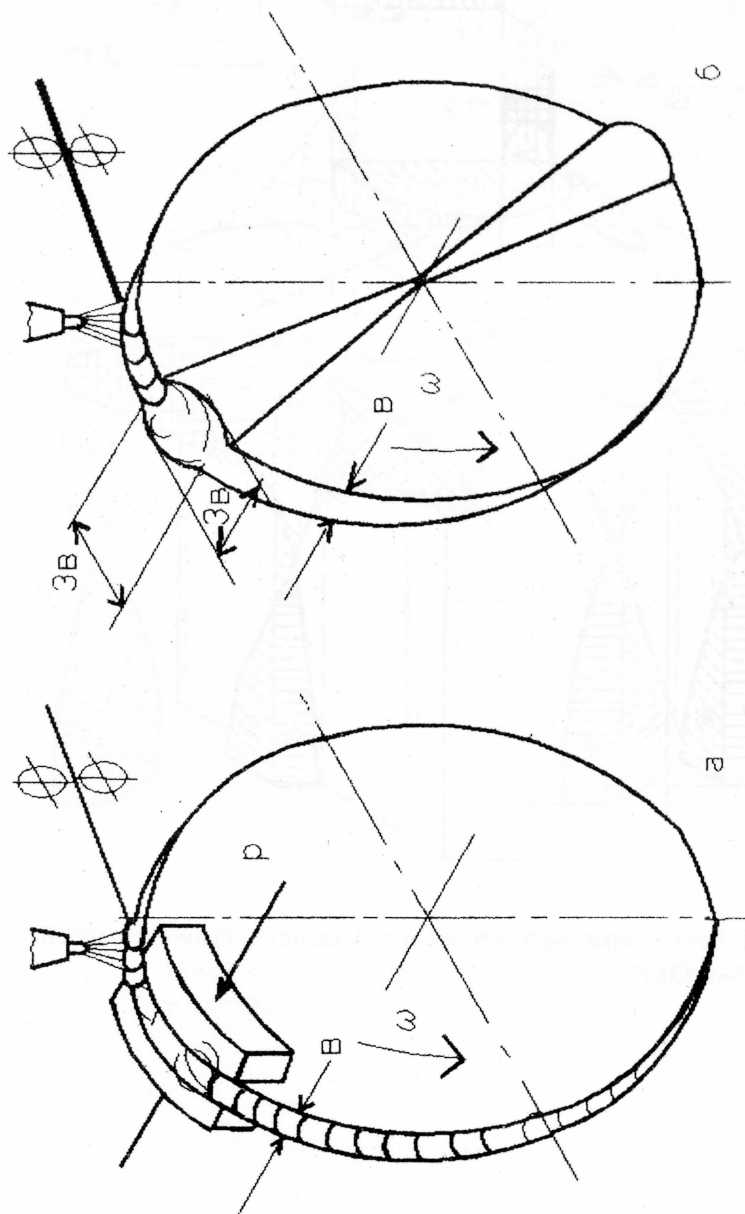
6. Турыгин В.Н., Титов С.В., Иванов В.Я. Восстановление и упрочнение чугунных деталей машин наплавкой с термомеханическим ударным воздействием./ Состояние и перспективы восстановления и упрочнения деталей машин:Тез. докл. всесоюзной науч.-техн. конф. - Москва, 1994. - С.67.

7. Турыгин В.Н., Титов С.В., Глухова Л.Ф. Карбидные прослойки и прочность соединения./ Физика прочности и пластичности металлов и сплавов: Тез. докл. всероссийской науч.-техн. конф. - Самара, 1992. - С.262-263.

8. Турыгин В.Н., Кладуков А.Г., Титов С.В. Износостойкость уплотнительных пар металла - резина в регулирующей арматуре //Износостойкость машин Тез. докл. всесоюзной науч.-техн. конф. - Брянск, 1991. - С.141-142.

9. А.с.1542726 СССР, МКИ В23К 9/04. Способ сварки и наплавки/М.И.Мялин, В.Н.Турыгин, С.В.Титов и др. (СССР). - //Открытия, изобретения и товарные знаки.-1990.№6.

10. А.с.1825682 СССР, МКИ В23К 9/04, 28/2. Способ сварки и наплавки/ В.Н.Турыгин, С.В.Титов, В.Я.Иванов. и др.(СССР). - //Открытия, изобретения и товарные знаки.-1990.№25.



13 Рис. 1. Схемы наплавки дисков из чугуна: а - с предварительным перераспределением напряжений в опасных зонах, б - разнотолщинных деталей с учетом конструктивных приливов.

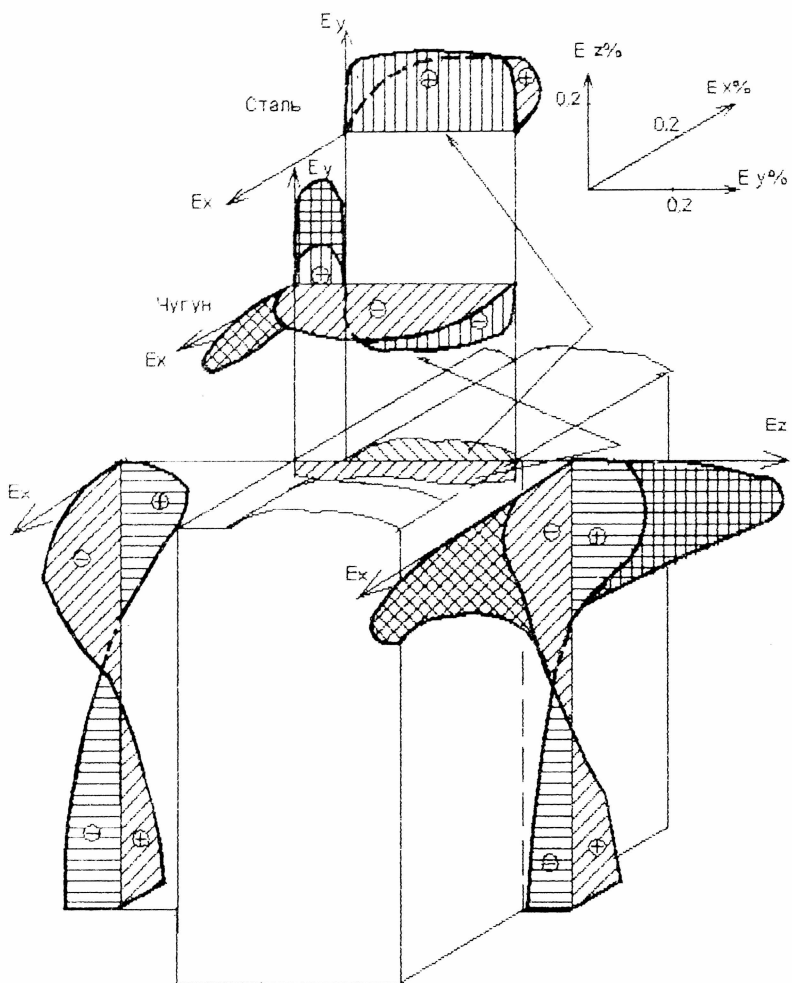


Рис. 2. Остаточные деформации при наплавке хромоникелевой стали.

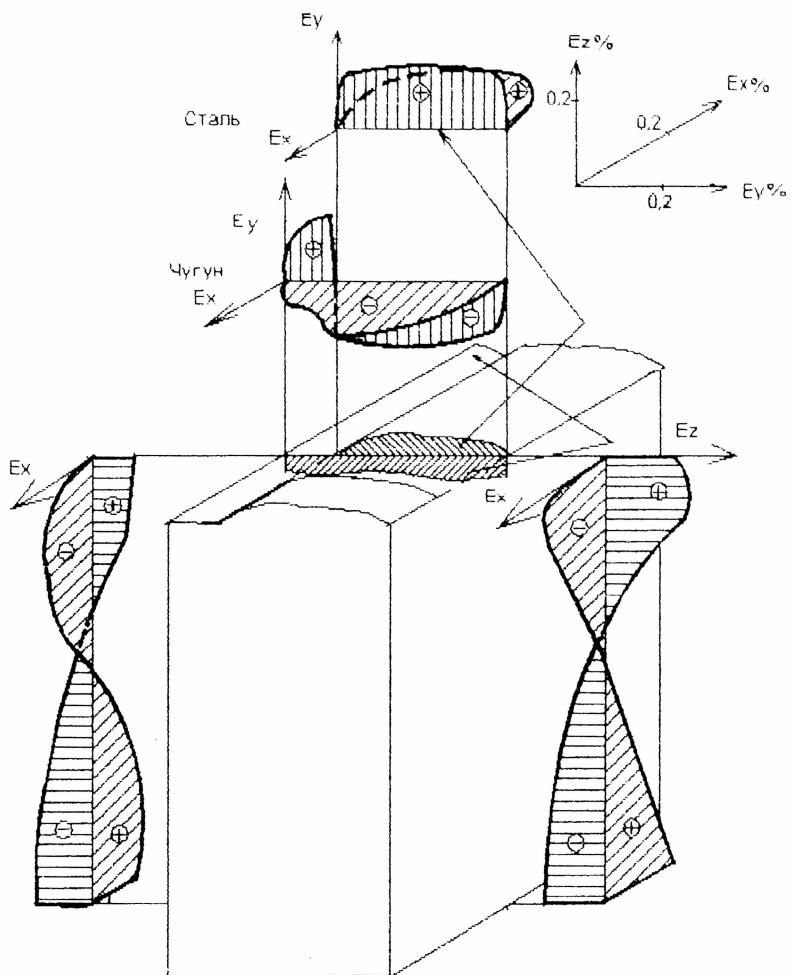


Рис. 3. Остаточные деформации при наплавке хромоникелевой стали с применением термомеханического ударного воздействия.

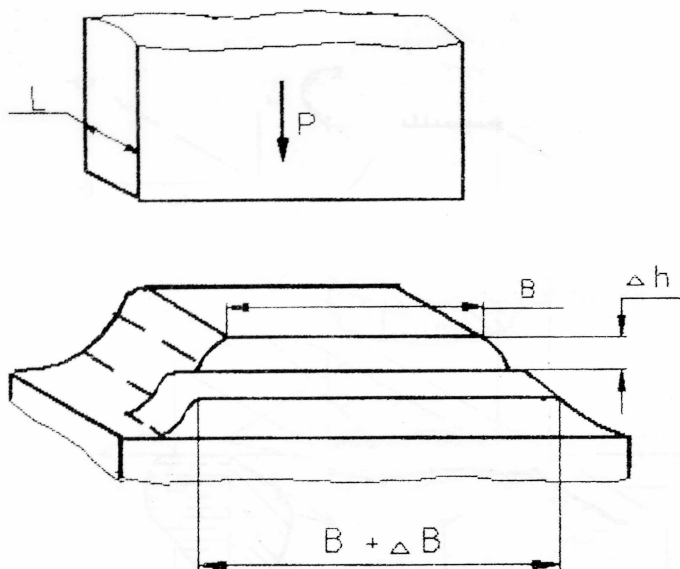


Рис. 4. Схема ударного воздействия при наплавке (ТМУВ).

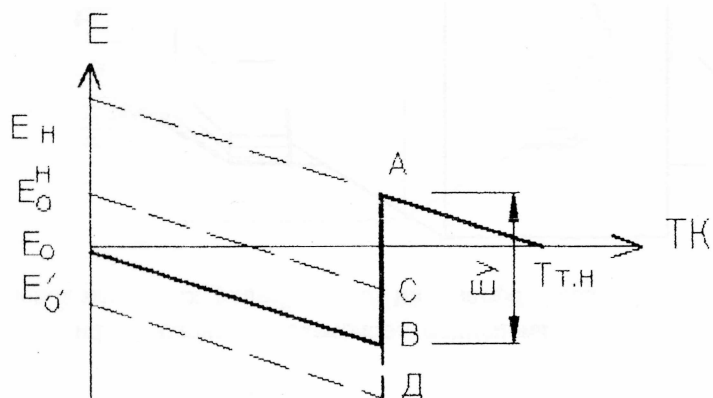


Рис. 5. Управление уровнем остаточных деформаций при пластическом ударном воздействии.