

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА

На правах рукописи

ВЕЧЕР Александр Васильевич

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ
ПОЛУНЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЕЯ НАПЛАВКОЙ МЕДЬНЫМИ СПЛАВАМИ

Специальность 05.04.05

"Технология и машины сварочного производства"

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 1982

Работа выполнена в Могилевском машиностроительном и
Гомельском политехническом институтах.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Павлюк С.К.

Официальные оппоненты - д.т.н., профессор Сагалевич В.М.,
- к.т.н. Хаванов В.А.

Будущая организация - Каунасский литейный завод "Центролит"

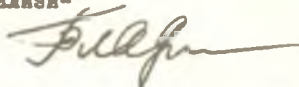
Защита диссертации состоится " " 1982 г.
на заседании специализированного Совета Д 053.15.07 при Мос-
ковском ордена Ленина, ордена Октябрьской революции и ордена
Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени
Н.Э. Баумана по адресу: 107006, Москва, 2-я Бауманская, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ
имени Н.Э. Баумана.

Был отзыв в I экз., заверенный печатью, просим высылать по
указанному адресу.

Автореферат разослан " " 1982 г.

Ученый секретарь специализи-
рованного Совета
д.т.н., профессор



Э.А. Гладков

13.07.1982 г.

заказ. 973 тир. 105

Объем I п.л. Типогр. МВТУ
им. Н.Э. Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ



1005
28

Актуальность проблемы. Одной из главных причин, сдерживающих дальнейшее развитие полунепрерывного литья чугуновых труб, является низкая стойкость кристаллизаторов, приводящая к тому, что затраты на их изготовление и ремонт составляют значительную статью себестоимости производства труб. Стальные детали кристаллизатора, соприкасающиеся с жидким чугуном, быстро выходят из строя вследствие термической усталости и износа. Попытки решить проблему повышения их долговечности за счет изготовления из специальных сталей, меди, инвара положительных результатов не дали вследствие противоречивости требований к свойствам материала на разных участках детали. Поэтому задача повышения срока службы кристаллизаторов наплавкой материалами, наиболее полно соответствующими условиям работы, является актуальной. Различие свойств основного и наплавленного металла приводит к изменению условий работы, в первую очередь теплового и напряженного состояния. Результаты анализа влияния свойств наплавленного металла на изменение условий эксплуатации наплавленных деталей, оценки работоспособности наплавленного металла и зоны сплавления при теплосменах будут полезны при разработке общих теоретических предположений выборе состава наплавленного металла для упрочнения деталей, работающих в контакте с расплавленным и кристаллизующимся металлом (пресс-формы литья под давлением, кокили, изложницы центробежного литья и разливки стали, кристаллизаторы непрерывной разливки и рафинирующих переплавов). Таким образом, проблеме повышения наплавкой стойкости деталей кристаллизаторов полунепрерывного литья чугуновых труб имеет практический и научный интерес.

Цели и задачи исследования. Целью работы являлось повышение наплавкой срока службы кристаллизаторов полунепрерывного литья чугуновых труб. Поставленная цель реализуется решением следующих задач: исследованием влияния свойств наплавленного металла на тепловые условия эксплуатации деталей и выбором на основании этого класса наплавочных материалов; анализом термонпряженного состояния зоны сплавления и всей детали, разработкой по результатам анализ конструкции наплавленных деталей; изучением свойств наплавленного металла и зоны сплавления при рабочих температурах, выбором состава наплавленного металла; разработкой практических рекомендаций и внедрением результатов исследования в производство.

Методы исследования. Основными методами экспериментальных исследований являлись: металлографические, статистические и термические.

Институт образования
 "Томельский государственный
 технический университет
 имени П.О. Сухого" №

№ 2011

оних напряжений; последование микротвердости и прочности зоны сплавления на срез; фрактографическое изучение поверхности среза; измерение твердости наплавленного металла и определение износостойкости при повышенных температурах; исследование термостойкости собственно наплавленного металла и наливки вместе с зоной сплавления; металлографическое изучение строения зоны сплавления. При теоретическом анализе температур и напряжений использовались результаты расчетов на ЭЦМ. Обработка экспериментальных данных осуществлялась с использованием статистических методов и программируемой вычислительной техники.

Научная новизна. Выявлены некоторые закономерности влияния толщины и свойств наплавленного металла на тепловое и напряженное состояние деталей, работающих в контакте с расплавленным металлом. Установлено следующее:

- температура поверхности наплавленной формы в начале контакта с отливкой определяется теплоаккумулирующей способностью наплавленного металла; заметное влияние основного металла начинается с запаздыванием, пропорциональным отношению квадрата толщины наплавленного слоя к его теплопроводности, и при значениях критерия Фурье для наплавленного металла менее 0,4 влиянием свойств основного металла на температуру поверхности формы можно пренебречь, возникающая при этом погрешность не будет превышать 5% теплового напора от отливки к форме;

- наплавка втулок и оправок на глубину более 60% от толщины стенки сплавами с близкими к меди модулем упругости, коэффициентом линейного расширения и теплопроводностью обеспечивает такое поле остаточных напряжений, которое компенсирует в процессе нагрева действие термических рабочих напряжений в контакте между наплавленным сплавом и основным металлом и тем самым предотвращает развитие пластической деформации и накопление повреждений от термической усталости.

Практическая ценность. Подход, основанный на последовательном анализе влияния свойств наплавленного металла на тепловое и напряженное состояние наплавленных деталей и экспериментальном определении усталостных свойств при рабочих температурах, позволил: определить рабочую температуру, по результатам анализа влияния свойств наплавленного металла на температурные условия эксплуатации обосновать применение различных классов наплавочных материалов для наливки деталей кристаллизатора, работающих в различном тепловом состоянии; на основании анализа влияния свойств

наплавленного металла на напряженное состояние определить условия, при которых предотвращается термическая усталость зоны сплавления и отслоение наплавленного металла, разработать конструкцию наплавленных втулок и оправок; выбрать состав наплавленного металла и технологию наплавки.

Реализация результатов работы. Результаты исследований прошли опытно-промышленную проверку и внедрены на Могилевском металлургическом заводе им. в.Ф. Мясникова. Применение наплавленных втулок и оправок кристаллизаторов диаметром 200 мм позволило увеличить стойкость кристаллизаторов в 3 раза, повысить производительность литья и качество отливаемых труб.

Апробация работы и публикации. Основное содержание диссертационной работы докладывалось на Республиканских научно-технических конференциях по сварке (Могилев, 1975 и 1978 гг.), на Республиканском научно-теоретическом семинаре "Развитие оварочного производства в машиностроении" (Гомель, 1979 г.), на П заводской конференции сварщиков заводе "Гомсельмаш" (Гомель, 1975 г.), на П Всесоюзной научно-технической конференции "Прогрессивные методы сварки в тяжелом машиностроении и наплавки в черной металлургии" (Жданов, 1977 г.), на V Всесоюзной конференции "Теплофизика технологических процессов" (Войтоград, 1980 г.), на научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" ИВТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, 1981 г.), на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Могилевского машиностроительного института в 1975-1977 гг. и Гомельского политехнического института в 1978-1982 гг. По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав и общих выводов, содержит 127 страниц машинописного текста, 13 таблиц, 67 рисунков, список литературы из 114 наименований и приложение.

Во введении и показана актуальность работы, приведены наиболее важные научные результаты, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены условия работы, установлены причины выхода из строя и намечены пути повышения стойкости формообразующих деталей кристаллизаторов полунепрерывного литья, других деталей, работающих в контакте с расплавленным металлом. Проанализированы изменения, которые может вносить наплавка в термомеханические и физические процессы, происходящие при

гун недопустимо по соображениям техники безопасности. Кроме того, увеличивается расход наплавочных материалов, в низкая твердость меди приводит к быстрому изменению геометрии наплавленных поверхностей. Поэтому для распространения данного способа упрочнения на втулки и оправки других типоразмеров, работающих в более жестких условиях, необходимо устранить отмеченные недостатки. Дополнительно возникает вопрос о возможности применения для упрочнения поддонов одинаковых наплавочных материалов и одинаковой технологии наплавки.

Наплавленные детали имеют химическую, физическую, структурную и механическую неоднородность. Влияние механической неоднородности на прочность при нормальных и повышенных температурах рассмотрено в работах О.А. Бакши, Р.З. Шрона, описание напряженного состояния сварных соединений разнородных сталей имеется в работах В.А. Винокурова, Б.И. Махненко, С.Н. Киселева; закономерности образования разнородных соединений и процессы, происходящие в зоне сплавления при эксплуатации, изучены в работах Г.Л. Петрова, В.Н. Земзина, Н.Ф. Казякова, М.Х. Шоршорова, В.М. Сагалаевича, Б.И. Медовара, Б.А. Мовчана, зарубежных ученых А.Шедлера, Р.Кристофера и многих других. Но в литературе недостаточно освещен вопрос влияния свойств наплавленного металла на термонапряженное состояние деталей, работающих в контакте с расплавленным и кристаллизующимся металлом, ограничены сведения о свойствах наплавленного металла при повышенных температурах и теплосменах.

Для оценки возможного влияния свойств наплавленного металла на тепловые условия эксплуатации наплавленных деталей были проведены расчеты возможных значений критериев Био и Фурье. Согласно расчетам, для всех деталей, работающих в контакте с расплавленным металлом, после наплавки возможно изменение критерия Био в широких пределах, поэтому необходим анализ изменения температурных условий после наплавки; втулки и оправки на этапе нагрева работают при больших значениях критерия Фурье и могут рассматриваться в стационарном тепловом состоянии; для поддонов характерна работа при малых значениях критерия Фурье, и их можно рассматривать как полубесконечные тела; результаты, полученные при анализе втулок, оправок и поддонов, будут полезны для других деталей, контактирующих с расплавленным металлом.

Для определения максимальной температуры поверхности наплавленных поддонов и других массивных форм принята расчетная схема трех соприкасающихся тел: полубесконечная отливка-тепл носитель,

неограниченная пластина-наплавка, полубесконечный основной металл. Решение дифференциальных уравнений теплопроводности при принятых допущениях об идеальном контакте между телами и независимости теплофизических свойств от температуры получено с использованием интегрального преобразования Лапласа. Для λ поверхности наплавки оно имеет вид:

$$T_n(t) = T_2 + \frac{(T_1 - T_2)K_1}{(1+K_1)(1+K_2)} \sum_{n=1}^{\infty} (-K)^{n-1} \left[(1+K_2) \times \right. \\ \left. \times \operatorname{erfc} \frac{\delta(n-1)}{\sqrt{\alpha_2 t}} - (1-K_2) \operatorname{erfc} \frac{\delta n}{\sqrt{\alpha_2 t}} \right], \quad (1.)$$

где T_1, T_2 - температура теплоносителя и детали до соприкосновения;

$$K_1 = \sqrt{\frac{\rho_1 c_1 \lambda_1}{\rho_2 c_2 \lambda_2}}; \quad K_2 = \sqrt{\frac{\rho_2 c_2 \lambda_2}{\rho_3 c_3 \lambda_3}}; \quad K = \frac{(1-K_1)(1-K_2)}{(1+K_1)(1+K_2)};$$

ρ, c, λ, α - плотность, теплоемкость, коэффициенты теплопроводности и температуропроводности; индекс 1 относится к теплоносителю, 2 - наплавленному, 3 - основному металлу; δ - толщина наплавленного слоя.

Анализ зависимости (1.) показывает, что первоначально на поверхности наплавки устанавливается температура $T_{n \text{ нач}}$, зависящая только от теплофизических свойств и начальных температур наплавленного металла и теплоносителя, по истечении времени, равному $0,4 \delta^2 / \alpha_2$, она начинает изменяться и устанавливается температура $T_{n \text{ усн}}$, зависящая только от теплофизических свойств и начальной температуры теплоносителя и основного металла. Результаты расчетов для представляющих практический интерес случаев нагрева жидким чугуном и бронзой массивных деталей из углеродистой стали с наплавками из вустенитной стали, инструментальной стали типа ЗХ2В8Ф и меди представлены на рис. 2. Начальная и установившаяся температуры определяют диапазон возможных значений максимальной температуры эксплуатации наплавленных форм. Его сравнение с температурами газупрочнения различных наплавочных материалов позволяет сделать вывод о том, что массивные формы для литья бронзы можно наплавливать вустенитными жаропрочными сталями, для литья чугуна - вустенитными жаропрочными и инструментальными теплостойкими сталями, наплавка медными сплавами в этих случаях нецелесообразна.

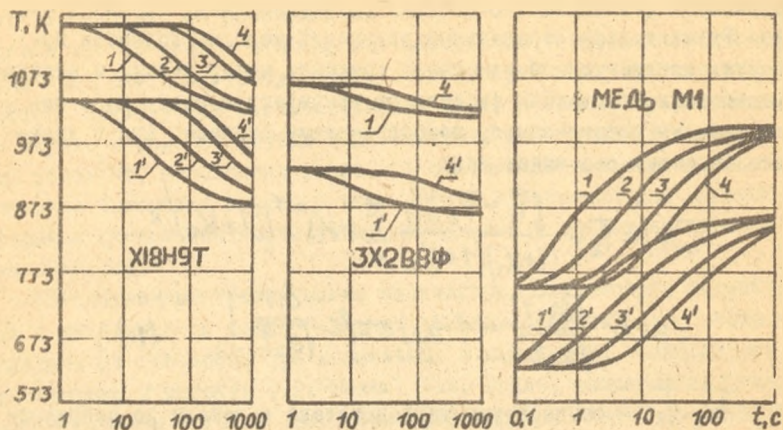


Рис. 2. Температуры поверхности наплавленной различными материалами массивной детали, контактирующей с расплавленным чугуном (цифры с индексами) и бронзой (цифры без индексов): 1, 2, 3, 4 - толщина наплавки 5, 10, 20, 30 мм соответственно

разны, т.к. при эксплуатации они будут разогреваться до недопустимых температур за время, меньшее, чем время контакта с теплоносителем.

Для расчета тепловых полей в глубине массивной наплавленной детали получены выражения, определяющие температуру в основном и наплавленном металле при периодическом изменении температуры поверхности. Термический цикл наплавленной поверхности при этом можно аппроксимировать неравнобокой трапецией с высотой, определенной по зависимости (I.). Из расчетов следует, что степень затухания колебаний температуры в глубине детали возрастает при снижении теплофизических свойств наплавленного металла, поэтому теплоустойкие и жаропрочные стали, имеющие худшие теплофизические свойства, будут защищать зону сплавления и основной металл от колебаний температуры более эффективно, чем медные сплавы.

Благодаря продольным колебаниям кристаллизатора в процессе литья осевой градиент температур в его верхней, наиболее нагруженной половине значителен, поэтому наплавленные втулки и оправки представлены как неограниченные двухслойные цилиндры, контактирующие с одной стороны через слой защитной смазки с чугуном, а с другой - с охлаждающей водой. Расчеты говорят о том, что для всех рассмотренных материалов во время работы при температурах

меньших, чем температура разупрочнения. С ростом теплопроводности наплавленного слоя снижается термическое сопротивление, это приводит к уменьшению температуры поверхности наплавки, градиенте температур по толщине стенки и росту теп. передачи. Наплавка медными сплавами может увеличить теплопередачу в 1,5 раза, что позволит наряду с увеличением стойкости втулок и оправок уменьшить теплообмен в кристаллизаторе, т.е. производительность литья. Наплавка металлами менее теплопроводными, чем основной, приведет к неизбежному снижению производительности и не гарантирует увеличения стойкости, так как рост градиента температур неблагоприятно скажется на термонапряженном состоянии.

Следовательно, для массивных поддонов и тонких водосхладяемых втулок и оправок перспективны наплавочные материалы различных классов. При наплавке втулок и оправок медными сплавами следует ожидать увеличения не только стойкости кристаллизаторов, но и производительности литья, а при наплавке поддонов возможно лишь увеличение стойкости, поэтому дальнейшая работа была сконцентрирована на наплавке втулок и оправок.

От сталей медные сплавы отличаются коэффициентами линейного расширения и модулями упругости. Выращения, описывающие в этом случае скачок температурных напряжений на зоне сплавления, получены нами из условий непрерывности и равновесия элементарного объема, расположенного по обе стороны от зоны сплавления, и имеют вид:

$$\Delta \sigma_{xx} = \frac{E_1 - E_2}{1 - \mu^2} (E_{xx} + \mu E_{yy}) - \frac{1}{1 - \mu} (\alpha_1 E_1 - \alpha_2 E_2) \Delta T; \quad (2)$$

$$\Delta \sigma_{yy} = \frac{E_1 - E_2}{1 - \mu^2} (E_{yy} + \mu E_{xx}) - \frac{1}{1 - \mu} (\alpha_1 E_1 - \alpha_2 E_2) \Delta T; \quad (3)$$

$$\Delta \sigma_{xy} = \frac{E_1 - E_2}{1 + \mu} E_{xy}, \quad (4)$$

где E_1, E_2 - модули упругости основного и наплавленного металлов; α_1, α_2 - коэффициенты линейного расширения; ΔT - величина изменения температуры. Первая буква в индексе деформаций и напряжений обозначает нормаль к поверхности, на которой они действуют, вторая - ось. Оси Ox и Oy прямоугольной системы

координат расположены на плоскости, касательной к поверхности сплавления, ось OZ — перпендикулярно к ней. Используя (2.-4.) как граничные условия на зоне сплавления, из известных формул для однослойного цилиндра получены формулы, описывающие термонапряженное состояние двухслойного цилиндра при радиальном градиенте температур, справедливые для средней части наплавленного участка втулок и оправок.

Помимо рабочих напряжений в наплавленных деталях существуют остаточные напряжения, зависящие от технологии наплавки. В данной работе за основу принят простой и надежный способ наплавки жидким присадочным металлом в контролируемой атмосфере, обеспечивающий минимальный переход железа в наплавленный металл, высокую производительность при наплавке больших толщин и не требующий специального оборудования. При охлаждении, начиная с момента, когда пределы текучести основного и наплавленного металла становятся отличными от нуля, в заготовке возникают напряжения. Градиент температур по толщине стенки при этом незначителен, и образующиеся остаточные напряжения постоянны по толщине, что подтверждается экспериментальными измерениями в наплавленных деталях.

Нагрев при эксплуатации вначале приведет к уменьшению напряжений, а затем, после перемены знака, — к возрастанию. Температура T^* перехода напряжений через ноль при равномерном нагреве принята в качестве базовой. Работа втулок и оправок рассматривалась как попеременное нагружение напряжениями от температурного поля $T_j(x) - T^*$ — это рабочие напряжения и от температурного поля $T_0 - T^*$ — это остаточные напряжения. ($T_j(x)$, T_0 — распределенные температуры в наплавленных деталях во время литья и пауз соответственно). Деталь будет работать в упругой области, если интенсивность рабочих напряжений в основном и наплавленном металле не превышает соответствующих пределов текучести. В этом случае охлаждение во время пауз будет приводить лишь к касанию, а не дальнейшему движению по поверхности пластичности, образовавшейся при наплавке.

Результаты расчетов говорят о том, что по степени влияния на напряженное состояние наиболее важны толщина наплавленного металла, его теплопроводность, коэффициент линейного расширения и в несколько меньшей мере модуль упругости; выбором толщины и свойств наплавленного слоя не удастся обеспечить работу втулок и оправок целиком в упругой области и т.д. Следует избегать термической усталости, но обеспечить увеличение термических напряжений

остаточными можно избежать пластической деформации зоны сплавления. Для этого необходимо наплавлять внутреннюю поверхность на глубину свыше 60% от толщины стенки, свойства наплавленного металла должны максимально приближаться к свойствам меди при возможно большем пределе текучести. Широкий диапазон толщин наплавленного металла позволяет изготавливать кристаллизаторы с требуемым теплообменом, что создает дополнительную возможность регулирования структуры отливаемых труб.

Исследование теплового и напряженного состояния наплавленных деталей позволило разработать их конструкцию, определить рабочую температуру, обосновать класс наплавочных материалов, выяснить влияние на термонапряженное состояние свойств наплавленного металла, показало необходимость изучения его термостойкости. Для выбора оптимального состава наплавленного металла дополнительно необходимо знать уровень его механических свойств и износостойкость в рабочем диапазоне температур, строение и свойства зоны сплавления. Эти требования были взяты за основу при разработке комплексов методик экспериментального исследования.

Наплавка образцов для исследований производилась жидким присадочным металлом в контролируемой атмосфере. Сплавы для наплавки получали путем электрошлакового переплава комбинированного электрода, состоящего из прутков меди и медной трубки с порошкообразными легирующими веществами. О прочности и, предварительно, о износостойкости наплавленного металла при повышенных температурах судили по твердости, которая измерялась на модернизированном приборе ТК-2. Для обработки результатов измерения твердости была разработана специальная программа для "Минск-32". Износостойкость наплавленного металла определялась по потере веса образцов при сухом трении скольжения о чугунное контртело. О свойствах зоны сплавления судили по прочности на рез и фактографии изломов. Изучение структуры было направлено преимущественно на выявление прослоек в зоне сплавления, так как литературные данные и сравнительные испытания образцов, проведенные нами, свидетельствуют о том, что термостойкость наплавленных деталей с вырезанными прослойками резко снижается.

Термостойкость наплавленного металла определялась по методике Коффина, размеры образцов были выбраны на основании расчета времени его нагрева при приемлемых значениях величины нагревающего тока, а также исходя из условия обеспечения однородного напряженного состояния рабочей части образца. Определение термо-

стойкости зоны сплавления сталь - медный сплав проводилось на специальной установке, обеспечивающей нагрев образцов электрическим током и охлаждение потоком воздуха.

Полученные в экспериментах данные подвергались статистической обработке, заключающейся в анализе и вырековке резко отклоняющихся значений, определении средних значений, точности эксперимента, в случае необходимости - подборе по методу наименьших квадратов аппроксимирующих зависимостей. Все эксперименты проводились по рандомизированным планам.

Предварительный выбор перспективных для наплавки медных сплавов проводился на основании определенных теоретическим анализом требований к свойствам наплавочных материалов и их сопоставления со свойствами конкретных материалов. При этом учитывалось выявленное в результате теоретических исследований требование к соотношению теплопроводности и уровня механических свойств: материалы с повышенной теплопроводностью в процессе работы разогреваются до более высоких температур и должны иметь повышенный уровень механических свойств, в материалы с высокой теплопроводностью могут иметь умеренные прочностные свойства.

Всего для наплавки и последующего исследования было отобрано 15 составов медных сплавов. Условно они были разбиты на 3 группы: первая группа - бронзы с высокой степенью легирования - Бр. АМН Ю-4-4, Бр. КН 0,5-2, Бр. КМц 3-1, медно-никелевый сплав куниаль Б(МНА 6-1,5), сплав "Inchromet - 800"; вторая группа - бронзы, легированные одним элементом - Бр. Мц 5, Бр. Мц 1,2, Бр. Кд 1, и медь; в третью группу входили бронзы Бр. Х 0,7, Бр. Цр 0,4, Бр. Б 2, Бр. НХТ 0,7-0,2-0,1, Бр. НЦр 0,5-0,06, сплав МХЦВ.

Металлографическое исследование зоны сплавления позволило выявить наличие прослоек интерметаллидного характера у наплавки первой и третьей группы, причем у бронзы Бр. АМН Ю-4-4, Бр. Б 2, Бр. КН 0,5-2 и сплава "Inchromet-800" в зоне сплавления обнаружены несплошности типа трещин. Результаты испытаний на срез показали их весьма низкую прочность, у стальных наплавки прочность удовлетворительная. При изучении изломов обнаружено, что у наплавки первой группы разрушение по зоне сплавления носит хрупкий характер, лишь сплав куниаль Б дает крупнозернистый излом со следами пластической деформации. У наплавки второй группы разрушение происходит по медному слою с заметными следами пластической деформации и вязким характером излома. Материалы третьей группы, несмотря на имеющиеся в зоне сплавления прослоечки, дают

мелкозернистый излом со следами пластической деформации, исключе- нно. составляет наплавка Бр. Б 2, полностью отоглавившаяся от ос- новного металла еще в процессе вырезки образцов.

Дисперсионно твердеющие бронзы после наплавки наряду с обра- зованием прослоек теряют способность упрочняться под действием термообработки, что вызвано переходом в наплавленный металл желе- за и образованием с элементами упрочняющей фазы соединений с не- зависящей от температуры растворимостью. По полученным зависимос- тям твердости от температуры определялась твердость исследуемых наплавов при рабочих температурах. Эти сведения, в также резуль- таты изучения строения и свойств зоны сплавления позволили огра- ничить число исследуемых в дальнейшем сплавов до трех: кунивли Б, Бр. Кд I, Бр. НЦр 0,5-0,06. При температурах эксплуатации их твердость превосходит твердость наплавленной меди в 1,5-2 раза, прочность на срез зоны сплавления у них выше на 30-40%, характер излома вязкий или со следами пластической деформации, при наплав- ке они не требуют специальных мер для предотвращения образования непластичных структурных составляющих.

Исследование износостойкости отобранных материалов при высо- ких температурах показало, что более твердые наплавки более изно- состойки, но эта зависимость нелинейна и носит характер лишь об- щей тенденции. При рабочих температурах износостойкость исследуе- мых материалов в 2-3 раза выше износостойкости меди. Резул: эти исследования термостойкости наплавленного металла показывают, что при максимальных температурах цикла свыше 628К наплавки сплавов более прочных, чем медь, более термостойки за счет меньшей величина, возникающей в них накопленной за цикл пластической деформа- ции. При температурах ниже 600К наплавленная медь не уступает этим материалам в термостойкости благодаря большому запасу плес- тичности. При прогнозировании термостойкости деталей, наплавлен- ных различными материалами, учитывалась возможность термической усталости не только наплавленного металла, но и во л сплавления, установленная при термоциклировании наплавленных образцов.

Сравнение рассматриваемых материалов по результатам всего комплекса теоретических и экспериментальных исследований показа- ло, что ни один из сплавов не имеет преимуществ перед другими по всем показателям. Для окончательного выбора состава наплавленного металла была использована обобщенная функция желательности. По результатам расчетов выбраны никельд..ркониевая и как ее зе- менитель кадмиевая бронза.

Производственные испытания неплавленных втулок и оправок показали их высокую эффективность. Стойкость кристаллизаторов возросла более чем в 3 раза, снижение термического сопротивления неплавленных участков интенсифицировало теплообмен в кристаллизаторе, за счет этого производительность литья возросла на 10%. Снижение в результате наплавки температуры поверхностей, контактирующих с расплавленным чугуном, уменьшило опасность его местных схватываний со стенками кристаллизатора, что привело к снижению толщины труб и потерь от брака. Годовой экономический эффект внедрения неплавленных втулок и оправок кристаллизаторов полуперерывного литья чугунных труб диаметром 200 мм на Могилевском металлургическом заводе составил свыше 90 тыс. руб.

Выводы

1. Наплавка на деталь олова металла, отличающегося по физическим свойствам от основного металла, изменяет тепловые условия эксплуатации детали в контакте с теплоносителем. Выбором толщины и свойств неплавленного металла можно регулировать тепловое состояние неплавленного слоя и детали в целом.

2. При контакте с теплоносителем слоя, неплавленного на полубесконечное тело, свойства основного металла заметно сказываются на температуре поверхности наплавки с запаздыванием, пропорциональным отношению квадрата толщины неплавленного слоя к его теплопроводности. При значениях критерия Фурье для неплавленного металла менее 0,4 влиянием свойств основного металла можно пренебречь, возникающая при этом погрешность не будет превышать 5% от теплового напора.

3. У массивных стальных форм, неплавленных медными сплавами, температура поверхности в начале контакта с отливкой ниже, чем у неплавленных, но из-за высокой теплопроводности неплавленного металла она быстро растет и превышает температуру разупрочнения, поэтому массивные формы необходимо наплавлять теплоустойкими и инструментальными и инструментальными жаропрочными сталями, для которых рабочие температуры оказываются ниже температур разупрочнения.

4. Детали кристаллизаторов, работающие в стационарном тепловом состоянии, необходимо наплавлять материалами более теплопроводными, чем основной металл, это позволяет за счет уменьшения термического сопротивления снизить рабочую температуру и интен-

сифицировать теплообмен; для втулок и оправок перспективна наплавка медными сплавами.

5. В зоне сплавления медных сплавов со сталью вследствие больших разниц модулей упругости величина качки температурных напряжений зависит не только от разности коэффициентов линейного расширения, но и от деформации зоны сплавления.

6. Выбором толщины и свойств наплавленного металла не удается обеспечить работу втулок и оправок в упругой области, но за счет уменьшения рабочих напряжений остаточными можно избегать термической усталости зоны сплавления. Для этого необходимо наплавлять их внутреннюю поверхность на глубину более 60% от толщины стенки, наплавленный металл должен максимально приближаться к свойствам меди и иметь возможно больший предел текучести.

7. Широкий диапазон возможных толщин наплавки позволяет изготавливать кристаллизаторы с требуемым законом изменения теплообмена по высоте, тем самым создается возможность регулирования структуры отливаемых труб.

8. После наплавки дисперсионно твердеющие бронзы теряют способность упрочняться под действием термообработки вследствие образования элементами упрочняющей фазы и перешедши в наплавленный металл железом соединений с независящей от температуры растворимостью.

9. При термодиклировании выше 623K у более прочных, чем медь, наплавов кобальта, никельциркониевой и кадмиевой бронзы за цикл накаливается меньшая пластическая деформация и их термостойкость выше термостойкости меди, ниже 600K медные наплавки не уступают им в термостойкости за счет большего запаса пластичности. При наличии в зоне сплавления малопластичных прослоек ее термостойкость резко падает.

10. По сочетанию теплопроводности, твердости, износ- и термостойкости, прочности зоны сплавления, модуля упругости и коэффициента линейного расширения наиболее перспективны в материалах являются никельциркониевая и кадмиевая бронзы. Наплавка этих втулок и оправок в 3 раза увеличивает срок службы кристаллизаторов, за счет увеличения его теплообмена повышает производительность и облегчает процесс литья, в свою очередь это позволяет снизить потери от брака и толщину отливаемых труб.

Основное содержание диссертации отражено в следующих опубликованных работах:

1. Свойства соединений медь-сталь, полученных в плазменной печи

ким присадочным металлом /С.К. Павлюк, А.Ф. Кислов, С.В. Галагаев, А.В. Вечер. - Механизация и автоматизация сварочного производства: Тез. докл. респ. н-т. конф. по сварке. Могилев, 1975, с.59-61.

2. Наплавленные втулки кристаллизаторов установок для непрерывной отливки чугуновых труб /С.К. Павлюк, А.Ф. Кислов, И.М. Кузменко, А.В. Вечер. - Литейное производство, 1975, № 9, с.33.

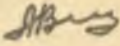
3. Павлюк С.К., Кислов А.Ф., Вечер А.В. Наплавке деталей кристаллизаторов установки для отливки чугуновых труб. - Автоматическая сварка, 1977, № 1, с.50-52.

4. Вечер А.В., Павлюк С.К., Ротач А.П. Температурное состояние массивных наплавленных деталей, работающих в периодическом контакте с расплавленным металлом. - Прогрессивные методы сварки в тяжелом машиностроении и наплавки в черной металлургии: Тез. докл. П Всесоюз. н-т. конф. Жданов, 1977, с.138-140.

5. Павлюк С.К., Вечер А.В. Тепловое состояние слоя, наплавленного на массивную деталь и контактирующего с теплоносителем. - Автоматическая сварка, 1978, № 12, с.27-30.

6. Павлюк С.К., Вечер А.В. Температурные напряжения у зоны сплавления соединения материалов с различными модулями упругости и коэффициентами линейного расширения. - Пути повышения эффективности сварочного производства и улучшения качества сварных конструкций: Тез. докл. респ. н-т. конф. Минск, 1978, с.57.

7. Вечер А.В. Исследование структуры и свойств зоны сплавления соединений медный сплав - малоуглеродистая сталь. - Пути повышения эффективности сварочного производства и улучшения качества сварных конструкций: Тез. докл. респ. н-т. конф. Минск, 1978, с.61-62.

Соискатель  А.В. ВЕЧЕР.