

М178245
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

В. И. ГИРШ

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И ИЗЫСКАНИЕ
СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ ТЕРМОПЛАСТОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ
ПРУТКОВОЙ СВАРКОЙ И НАГРЕТЫМ ЭЛЕМЕНТОМ**

(Специальность 05.167 — Машины и технология сварочного
производства)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НИИ МГТУ им. Н. Э. Баумана



1178245

Гирш В. И. Исследование се

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена
Трудового Красного Знамени высшем техническом училище
имени Н. Э. Баумана.

Научный руководитель —
кандидат технических наук, доцент Макаров И. И.

Научный консультант —
доктор технических наук, профессор Куркин С. А.

Официальные оппоненты:
д. т. н., проф. Мельников Н. П.
к. т. н. Зайцев К. И.

Ведущее предприятие — Всесоюзный
научно-исследовательский институт по монтажным
работам (ВНИИМонтаж)

Автореферат разослан —

Защита диссертации состоялась
на заседании Совета факультета «Производства» МВТУ
имени Н. Э. Баумана, 107005, 2-я Бауманская ул.

Ваши отзывы на автореферат
принятые печатью, просим направить

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

Ученый секретарь Совета
к. т. н., доц.

1178245

ВВЕДЕНИЕ

Пластические массы находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Директивами XIII съезда КПСС по пятилетнему плану объем производства пластмасс и синтетических смол в 1975 году будет составлять 3457 тыс. тонн.

В общем объеме производства большую долю составляют термопласты, которые все шире используются как материалы силовых конструкций. Они обладают высокими технологическими свойствами и перерабатываются в изделия способами литья, формовки, прессования, экструзии. Изготовление сложных по конфигурации и больших по габаритам конструкций неизбежно требует создания неразъемных соединений. В практике эти задачи решаются применением сварки и склеивания. Сварка является основным методом получения неразъемных соединений силовых конструкций из термопластов.

В настоящей работе рассматриваются некоторые вопросы прочности соединений и предлагаются мероприятия для повышения их качества.

Работа состоит из введения, четырех глав и выводов.

глава I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ ИЗ ТЕРМОПЛАСТОВ

Термопласты нашли применение при изготовлении технологических и магистральных трубопроводов, различного рода емкостей, технологических аппаратов (фильтров, теплообменников, увлажнительных башен), насосов, вентиляторов и других силовых конструкций. Они работают в сложных условиях чаще всего при двухосном напряженном состоянии, при статических и переменных нагрузках в контакте с агрессивными и поверхностно-активными средами, при повышенных и отрицательных температурах, иногда под воздействием солнечной радиации и микроорганизмов. Изготавливаются главным образом из винилпласта и полиэтилена. Материал поставляется в виде листов, плит, труб и прутков. В конструкциях могут использоваться также детали и заготовки, полученные литьем.

Рассматриваемые изделия имеют большое разнообразие по конфигурации, типам и протяженности швов. Из существующих современных методов при изготовлении силовых конструкций используются в основном прутковая сварка горячими газами и нагретым элементом. Прутковая сварка часто дает низкие показатели по прочности шва и стабильности его свойств при малой производительности. Качество соединения в сильной степени зависит от квалификации сварщика. Сос -

57684114

тав присадочного материала может значительно отличаться от основного, что вызывает появление механической неоднородности шва. Процесс плохо поддается автоматизации. Однако в силу ряда достоинств - возможности выполнения швов сложной конфигурации, простоты и низкой стоимости оборудования, высокой маневренности данный метод широко используется в производстве силовых конструкций особенно при сварке винипласта и сохранит свое значение в будущем при изготовлении крупногабаритных изделий, в единичном и мелкосерийном производстве, в условиях монтажа.

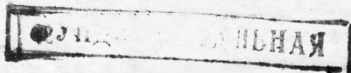
Сварка нагретым элементом обеспечивает более высокие показатели по прочности, стабильности, производительности, легко поддается автоматизации, дает меньшую механическую неоднородность шва. Однако из-за отсутствия оборудования часто осуществляется вручную с использованием примитивных приспособлений. На специализированных установках автоматизация, как правило, ограничивается регулировкой температуры инструмента и времени нагрева. Вспомогательные операции - подвод и отвод инструмента, зажим заготовок, выдержка под давлением, торповка и т.д. осуществляются вручную. Промышленность оборудования для сварки силовых конструкций нагретым элементом серийно не выпускает.

Литературные данные по рекомендуемым режимам сварки разноречивы, что связано, вероятно, с различием в свойствах материалов разных поставок.

Сварка какого-либо конкретного изделия требует экспериментального подбора или проверки выбранного режима. В практике эксплуатации изделий из термопластов нередко наблюдаются разрушения в местах соединений, что связано не только с материальными потерями, но часто и с опасностью для обслуживающего персонала. При расчете конструкций из полиэтилена и винипласта наличие в них сварных швов учитывается введением коэффициента прочности, на который понижаются расчетные напряжения. При этом фактически не принимается во внимание особенности геометрии шва, технологии сварки, характер нагрузки и ряд других факторов из-за отсутствия соответствующих данных.

В общей проблеме повышения эксплуатационной надежности сварных силовых конструкций из полимеров особый интерес представляет разработка вопросов свариваемости пластмасс, технологии сварки, изучение механических свойств сварных швов в различных условиях нагружения и совершенствование на этой основе методик их расчета, создание специализированного сварочного оборудования.

Задачами настоящей работы являются:



- исследование прочности сварных соединений винипласта и полиэтилена, выполненных прутковой сваркой горячими газами и нагретым элементом;
- разработка методов повышения прочности сварных соединений;
- разработка автоматизированного оборудования для стыковой сварки труб из термопластов.

Глава П. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОЕДИНЕНИЙ ВИНИПЛАСТА И ПОЛИЭТИЛЕНА, ВЫПОЛНЕННЫХ ПРУТ - КОВОЙ СВАРКОЙ И НАГРЕТЫМ ЭЛЕМЕНТОМ.

Соединения, сваренные горячими газами, могут иметь значительную механическую неоднородность, если применяемый присадочный прут отличается по своему составу от основного материала. Для внешней геометрии соединений прутковой сварки характерно наличие резких концентраторов напряжений в местах перехода от усиления к основному материалу и между прутками. При укладке прутка за счет его вытяжки, которая при нормальном ведении процесса составляет 12-15%, а также из-за неравномерного нагрева можно ожидать появления остаточных напряжений в шве.

Сварные соединения, выполненные нагретым элементом, механически более однородны, а усиление шва вызывает меньшую концентрацию напряжений.

При испытаниях основного и присадочного материалов нами определялись основные показатели их механических свойств (модуль упругости первого рода, предел прочности при растяжении, относительное удлинение, ударная вязкость) и оценивалась анизотропность.

Статические испытания растяжением проводились на серийных универсальных машинах со скоростями перемещения захватов 12 и 13 мм/мин. Послойное испытание образцов с малой площадью рабочего сечения при скорости 25 мм/мин. Эксперименты с листовым винипластом показали, что с повышением скорости нагружения на 1 мм/мин предел прочности возрастает на 4-5 кг/см². Зависимость прочности от скорости нагружения близка к линейной.

Послойные испытания листового винипласта показали, что средние слои имеют более высокую (порядка на 11%) прочность. Анизотропия проявляется и в плоскости листа, что следует отнести за счет календрового эффекта.

Анизотропия свойств проявилась также и на винипластовых трубах во всех направлениях. Послойные испытания показали большую прочность наружных слоев.

Модуль упругости первого рода для винипласта, определенный на образцах из листа и присадочных прутков, для пластифицирован-

ного материала оказался значительно ниже.

Расхождение в модулях упругости основного и присадочного материалов ведет к появлению концентрации напряжений в вершине разделки шва, выполненного с применением пластифицированных прутков.

При испытаниях полиэтилена (труба с $D_s = 300$ мм и лист толщиной 10 мм, изготовленный из блока прессованием в горячем состоянии) анизотропии механических свойств практически не проявлялось.

Экспериментальное исследование чувствительности листового винипласта и полиэтилена низкого давления к поверхностным концентраторам показало, что концентраторы в виде надразов различной геометрии со стороны поверхности листа при статическом одноосном растяжении образцов ограниченного сечения, вырезанных вдоль длинной стороны листа, приводят к повышению предела прочности. При вырезки образцов поперек листа прочность остается на уровне гладких образцов. Наличие концентраторов снижает ударную вязкость листового винипласта. При надразе шириной 0,25 мм и глубиной 0,75 мм это снижение составляло ~ 25%. Полиэтиленовые образцы без концентраторов не разрушаются. При усталостных нагрузках такие концентраторы снижают предел усталости больше, чем в 2 раза. Наварка на поверхность винипласта валиков, имитирующих усиление шва при прутковой сварке, или приварка угловыми швами ребер жесткости снижает прочность как при статических, так и усталостных нагрузках (см. табл.). Для выяснения причин этого явления было испытано три серии плоских образцов: 1. гладкие образцы с "тепловым надразом" (трехкратный поверхностный прогрев с двух сторон струей горячего воздуха); 2. с наваренным прутком симметрично с двух сторон и 3. с валиками из 3-х двойных прутков с каждой стороны (по форме усиления). Результаты испытаний дают основание полагать, что причина повышения чувствительности винипласта к наплавкам связана с особыми свойствами и состоянием поверхностного слоя.

Прочность сварных швов исследовалась при статическом растяжении, повторно-статическом растяжении и изгибе и при усталостных нагружениях консольным изгибом. Испытаниям подвергались стыковые и тавровые соединения, выполненные прутковой сваркой и нагретым элементом.

Для повторно-статического изгиба была спроектирована и изготовлена испытательная установка, позволяющая получать любую характеристику цикла нагружения ($-1 \leq \sigma < +1$) при консольном закреплении образца. Настройка на определенный режим испытания производится за счет изменения параметров кривошипно-шатунного механизма, создающего рабочее усилие. Нагружение ведется с постоян-

ной деформацией при частоте 4 цикла/мин. Повторно-статическое растяжение производилось на нагружателе конструкции МЗТУ. Характеристика цикла $\tau = 0$. Частота 17 нагруж/мин. Для усталостных испытаний была использована резонансная машина консольного изгиба БЭЛ-Г, дающая симметричный цикл нагружения ($\tau = -1$). Частота испытаний в наших экспериментах составила 80-90 гц. База для усталостных испытаний была принята $2 \cdot 10^6$, а для повторно-статических $2 \cdot 10^4$ нагружений.

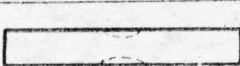
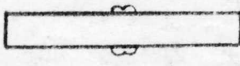
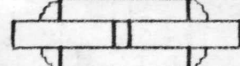
В результате проведенных повторно-статических и усталостных испытаний нами впервые получены значения эффективных коэффициентов концентрации для различных конструктивных решений соединений листового винипласта (см. табл.) и полиэтилена, выполненных прутковой сваркой и нагретым элементом в различных условиях нагружения. При повторно-статическом растяжении стыковых соединений с X-образной разделкой полиэтилена и винипласта, выполненных прутковой сваркой, соединения полиэтилена показали относительно более высокую прочность. Эффективные коэффициенты концентрации на базе $2 \cdot 10^4$ нагружений составили соответственно 1,9 и 2,5. При всех видах испытаний сварка нагретым элементом дала более высокие показатели прочности.

Показано, что влияние угла разделки кромок на прочность стыковых соединений, выполненных прутковой сваркой, связано с изменениями а) площади приварки прутков к основному материалу, б) соотношения нормальной и тангенциальной составляющих напряжений на поверхности разделки и в) с концентрацией напряжений в узкой части шва при использовании прутков из пластифицированного материала. При исследовании прочности сцепления между сваренными поверхностями в условиях чистого сдвига и отрыва установлено, что в последнем случае предел прочности на 30% меньше. Для соединений с лобовыми швами опасным является отрыв по лобовой плоскости. Концентрация напряжений в вершине разделки является причиной резкого снижения разрушающей нагрузки при непроварах. На листовом винипласте при X-образной разделке непровар в 5% от толщины элемента ведет к падению прочности при статическом растяжении до 30%. Смещение кромок оказывает меньшее влияние.

С течением времени даже в отсутствие нагрузок, повышенных температур и агрессивных сред наблюдается падение прочности сварного соединения.

Одной из особенностей соединений прутковой сварки является высокий уровень остаточных напряжений в шве. Остаточные напряже-

ЭФФЕКТИВНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ КОНЦЕНТРАЦИИ ДЛА РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СОЕДИНЕНИЙ ЛИСТОВОГО ВЫПЛАСТА

СПОСОБ СВАРКИ	ПРОГРЕВ ГО- РЯЧИМ ВОЗДУХОМ	ПРЯТКОВАЯ СВАРКА ГОРЯЧИМ ВОЗДУХОМ				НАГРЕВАТЕЛЬ- НЫМ ЭЛЕМЕНТ	ПРЯТКОВАЯ СВАРКА ГОРЯЧИМ ВОЗДУХОМ			
ЭСКИЗ СОЕДИНЕНИЯ ВИД ИСПЫТАНИЙ										
										
СТАТИЧЕСКОЕ РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ СКОРОСТИ ДЕ- ФОРМАЦИИ 15 ^{мм} /мин	1,0	1,07	2,15	1,89	2,85	1,33	5,5	4,4	1,48 2,797	5,48
СИММЕТРИЧНЫЙ КОНСОЛЬНЫЙ ИЗГИБ С ЧАСТО- ТОЙ 50 герц 2=1 БАЗА ИСПЫТАНИЙ 2 10°	1,0	1,5	1,25	1,77	1,63	1,04	1,56	1,56	1,52	
ПОВТОРНО-СТАТИЧЕСКОЕ РАСТЯЖЕНИЕ /ПРИСКО- РОЩЕНИИ ЦИКА С ЧАСТОТОЙ 17 ^{мм} /мин 2=0 БАЗА ИСПЫТ 210				2,5		1,67				6,25
ПОВТОРНО-СТАТИЧЕСКИЙ КОНСОЛЬНЫЙ ИЗГИБ С ЧАСТОТОЙ 4 ^{мм} /мин 2=1 БАЗА ИСПЫТАНИЙ 210				2,08						
ПОВТОРНО-СТАТИЧЕСКИЙ АСИММЕТРИЧНЫЙ ИЗГИБ /ПРИ- СКОРОЩЕНИИ ЦИКА С ЧАСТОТОЙ 4 ^{мм} /мин 2=0 БАЗА ИСПЫТ 210				2,02						

ния определялись нами методом разрезки с использованием деформометра конструкции МВТУ, с учетом специфики материала. База изменений деформации 100 мм. Трудности измерения напряжений на пластмассах этим методом связаны: с низкой поверхностной твердостью материала; с малыми скоростями упругого восстановления; с большими значениями коэффициентов линейного расширения и с низкими значениями температур агрегатных превращений. В связи с этим при измерениях могут возникнуть ошибки от обмятия мерительных лунок, термомеханического воздействия режущего инструмента на исследуемый материал и в результате колебаний температуры окружающей среды.

Ошибка от обмятия лунок оценивалась путем многократной установки деформометра на измеряемый образец с одновременной регистрацией размера базы. Показано, что ошибка от обмятия лунок для винипласта незначительна и лежит в тех же пределах, что и для металла. На полиэтилене в силу повышенной его ползучести, эта ошибка растет интенсивно с ростом количества измерений и длительностью нахождения прибора на образце.

Оценка эффекта воздействия режущего инструмента на разрезаемый материал производилась на специальной пробе, представляющей собой пластину основного материала, разрезаемую на темплеты различной ширины с последующим измерением их продольных деформаций. Предложенная методика позволила выбрать ширину темплета, способ разрезки и оценить при этом величину и знак ошибки. Подобная проба может быть использована и для измерений на металлах. Из способов разрезки нами был выбран способ резки лобзиком, дающий наименьшую погрешность и незначительную ширину реза ($\sim 0,5$ мм).

Отмечено, что размер базы после разрезки не остается постоянным. Наблюдения за его изменениями позволили учесть временной фактор.

С учетом всех перечисленных факторов максимальная ошибка измерения при работе на винипласте составила -14 , а при работе на полиэтилене -23 кг/см² при ширине темплета 9 мм и модулях упругости соответственно $2,5 \cdot 10^4$ и $8 \cdot 10^3$ кг/см².

Измерения остаточных напряжений в стыковых соединениях в предположении их одноосного характера показали, что на пластинах листового винипласта толщиной 10 мм, сваренных горячим воздухом с пластифицированной присадкой при X-образной разделке, напряжения по оси шва составляют $\sigma_{сст} = +95$ кг/см² при измерениях на образцах, выдержанных после сварки при комнатной температуре 4 суток. На аналогичных сварных образцах, но выдержанных в тече -

ние 4-х лет без нагрузки при комнатной температуре, напряжения оказались ниже. По оси шва величина их составила $\sigma_{ост} = +35 \text{ кг/см}^2$. Снижение уровня напряжений следует отнести за счет релаксационных процессов. Максимальные напряжения в шве, вероятно, в обоих случаях больше, т.к. при разрезке нам приходилось вырезать шов вместе с частью основного материала. Специально поставленные эксперименты с наблюдением за процессом ползучести материала сварного соединения показали, что полного устранения остаточных напряжений при комнатных температурах ожидать нельзя.

Измерение остаточных напряжений по толщине винипластового листа путем вырезки из него узких полосок с последующей разрезкой на термилети показала, что в поверхностном слое имеются напряжения сжатия.

Глава III. ИЗЫСКАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Повышение статической и усталостной прочности сварных соединений, выполненных прутковой сваркой горячими газами и нагретым элементом, может быть произведено на всех этапах проектирования, подготовки под сварку, в процессе самой сварки, за счет обработки готового шва или изделия целиком и, наконец, во время эксплуатации.

Учитывая отмеченные в главе второй особенности сварных соединений, нами предлагаются следующие пути повышения их прочности:

- увеличение высоты и ширины усиления;
- механическое удаление усиления вместе со слоем основного материала в случаях, когда усиление недопустимо по конструктивным соображениям;
- термическая обработка сварных соединений.

Проведенные послойные испытания стыковых соединений листового винипласта, выполненные прутковой сваркой с X-образной разделкой, показали, что прочность сцепления прутков с основным материалом в различных участках шва неодинакова. Пониженная прочность в вершине разделки связана с трудностью заварки корня шва. Очень низкая прочность, а иногда и "несплавление" наблюдается на участке вблизи поверхностного слоя листа и связана, по-видимому, с пониженной свариваемостью материала этого слоя, подвергшегося под воздействием среды старению. Второй возможной причиной может быть неравномерная передача контактных давлений от прутка круглого сечения на поверхность разогретого термипласта. В сварных соединениях полиэтилена, выполненных прутковой сваркой, вероятность появления подобных дефектных участков еще больше в связи с его легкой окисляемостью.

В сварных швах с усилением такие дефектные участки перекрыты слоем присадочного материала. При механической обработке усиления заподлицо с поверхностью основного материала ликвидируется концентратор напряжения, но при этом обнажаются дефектные участки у края разделки на уровне поверхности листа, которые при нагружении сварного шва включаются в интенсивную работу. Следствием этого является снижение статической и усталостной прочности. В частности в наших экспериментах со стыковыми соединениями, имеющих X и V-образную разделку, падение прочности при статическом растяжении после механической обработки составило 13-23%. При усталостных испытаниях винипластовых стыковых соединений консольным изгибом на резонансной машине предел усталости для швов с усилением и обработанных составил соответственно 65 и 45 кг/см² на базе $2 \cdot 10^6$ нагружений. Основной материал при этом показал $\sigma_{-1} = 80$ кг/см². Поэтому такая механическая обработка нецелесообразна. При снятии усиления вместе со слоем основного материала устраняется как концентратор напряжения, так и дефектный участок шва. При статических и повторно-статических испытаниях растяжением нами была получена более высокая прочность на образцах с такой обработкой. Толщина снятого слоя составляла порядка 0,5 мм. В связи с этим при необходимости производить механическую обработку усиления (например, на привалочных поверхностях) следует удалять и слой основного материала.

При увеличении ширины усиления за пределы разделки дефектный участок выключается из интенсивной работы, а концентратор напряжения в виде резкого перехода от усиления к поверхности свариваемого элемента перемещается на основной материал. Пониженная прочность спеления прутков с поверхностным слоем материала частично компенсируется за счет увеличения площади приварки. Статические испытания сварных стыковых соединений с наваренными с боковых сторон усиления дополнительными прутками показали целесообразность этого мероприятия, которое не требует больших затрат и легко контролируется.

При увеличении высоты усиления сдерживаются деформации широкой части разделки, что по своему эффекту равносильно повышению модуля упругости присадочного материала. Поэтому увеличение высоты усиления при использовании пластифицированных прутков способствует снижению концентрации напряжений в вершине разделки шва. Наши эксперименты по определению статической и усталостной прочности для стыковых образцов листового винипласта с X-образной разделкой показали более высокую прочность швов с большой высотой усиления. Повышение прочности в этом случае связано также с более

благоприятной ориентацией впадин между прутками, являющимися причиной концентрации напряжений.

При механической обработке сварных стыковых соединений, выполненных нагретым элементом, наблюдалось снижение как статической, так и усталостной прочности.

На некоторых изделиях, изготовляемых методом сварки нагретым элементом, усиление шва (грат) ухудшает их эксплуатационные качества. Примером могут быть трубопроводы особенно небольших диаметров, где внутренний грат создает местное гидравлическое сопротивление и может быть причиной закупоривания трубы. Нами предложен способ регулирования размера внутреннего грата, существо которого состоит в том, что в нагретые до сварочных температур заготовки внутрь вставляют перед осадкой легко растворимые в воде пробки. После охлаждения стыка они могут быть легко удалены промывкой водой. Основными компонентами массы, из которой изготавливаются пробки, является мед и костный клей.

Механическая прочность сварных соединений может быть повышена также путем термической обработки. В поставленных экспериментах проводилось исследование влияния состава среды, температуры, времени обработки, скорости охлаждения на механические свойства основного материала и сварных соединений. Критериями оценки результатов обработки были приняты предел прочности при растяжении, относительное удлинение и поперечное сужение при разрыве. Опыты ставились с листовым винипластом, материалом полиэтиленовых и винипластовых труб и со сварными соединениями, полученными обоими способами. В качестве сред для обработки использовались вода, трансформаторное масло, растворы КОН и КВз, воздух. Выбор этих сред был произведен с учетом различного характера их взаимодействия с обрабатываемым материалом. Трансформаторное масло оказывает пластифицирующее действие на винипласт. В водных растворах бромистого калия этот же материал в определенных условиях оказывается условно стойким. Вода и воздух рассматриваются как наиболее экономичные среды. Обработка производилась в термостате ТС-4 и сушильном шкафу. Температура нагрева регулировалась контактными термометром. Время обработки варьировалось в пределах до 240 мин. Скорость охлаждения регулировалась помещением нагретого образца в жидкую среду (вода, масло) с определенной температурой.

Проведенные эксперименты показали, что с увеличением времени и температуры обработки при медленном охлаждении вместе с ванной прочность листового винипласта несколько снижается и заметно пада-

ет пластичность. Однако при увеличении скорости охлаждения удаётся значительно (порядка в два раза) повысить показатели пластичности – поперечное сужение и относительное удлинение. Состав сред заметного влияния не оказал. Термическая обработка не устраняет полностью анизотропию механических свойств при нагреве до 100°C . При температурах $140\text{--}150^{\circ}\text{C}$ наблюдается расслоение материала. При обработке наблюдалось изменение линейных размеров обрабатываемого материала – сокращение в плоскости листа и увеличение по толщине. Заметные деформации начинаются только при подходе к температуре стеклования и интенсивно растут при дальнейшем увеличении температуры. Увеличение продолжительности обработки сказывается на усадке до определенного предела. Обработка по режиму нормализации практически полностью снимает остаточные напряжения в листе, что показали измерения.

Термическая обработка полиэтилена низкого давления показала, что нагрев до 100°C в течение 30 мин заметно не сказался на прочности и пластичности материала.

При обработке в воде при 100°C в течение двух часов с последующим медленным охлаждением (режим нормализации) удалось повысить прочность стыковых соединений прутковой сваркой листового винипласта на 15%. Аналогичная обработка стыковых соединений, выполненных нагретым элементом, не дала сколько-нибудь значительного повышения прочности, а в некоторых случаях наблюдалось даже снижение $\sigma_{\text{ср}}$. Обработка в кипящей воде винипластовых труб с $\Delta_y = 25$ мм, материал которых содержит пластификатор, привела к такой же закономерности изменения прочности, как и в случае обработки образцов прутковой сварки. Предположения, что при термической обработке происходит экстрагирование пластификатора экспериментами по определению потерь веса на прутковом материале не подтвердилось. В то же время измерение остаточных напряжений в стыковом соединении листового винипласта, выполненным прутковой сваркой и подвергнутого нормализации, показало, что такая термическая обработка практически полностью снимает эти напряжения. При закалке в воду с температурой 20°C после нагрева в кипящей воде в течение часа стыковых соединений винипласта, сваренных с применением присадочного прутка, отмечалось снижение прочности до 23% по сравнению с нетермообработанными.

Термическая обработка сварных соединений из полиэтилена низкого давления, выполненных нагретым элементом, не дала существенного повышения прочности при широком варьировании режимов обработки.

На основании проведенных экспериментов рекомендуется производить термическую обработку соединений винипласта, выполненных прутковой сваркой в воде при 100°C в течение 2-х часов с последующим медленным охлаждением. Обработка на воздухе может привести к отслоению прутков.

Предложен способ нагрева труб при термической обработке и для других технологических целей (гнутье, правка) с использованием эффекта нагрева электролита (раствора соли), проходящим током. Способ обеспечивает точное регулирование температуры и равномерный нагрев.

Глава IV. РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СВАРКИ НАГРЕТЫМ ЭЛЕМЕНТОМ ТРУБ ИЗ ТЕРМОПЛАСТОВ

Повышение прочности и стабильности качества сварных соединений может быть достигнуто также за счет совершенствования оборудования, способного обеспечить строгое соблюдение режима сварки.

В содружестве с ВНИИМонтажспецстроем нами созданы две установки для изготовления технологических трубопроводов из термопластов для диапазонов диаметров соответственно $D_y = 25 \div 150$ мм и $D_y = 125 \div 300$ мм. Установки проектировались в расчете на эксплуатацию на специализированных участках монтажных организаций. В состав каждой установки входит: сварочный инструмент (нагретый элемент) с блоком питания и терморегулирования, механизм давления, зажимное устройство с поворотным механизмом, программное устройство, механизм торцовки заготовок, вспомогательные механизмы.

Установка позволяет производить сварку прямых стыков и под углом до 90° , осуществлять одновременную торцовку обеих заготовок непосредственно перед нагревом, обеспечивающую строгую переплавленность соединяемых поверхностей. Переналадка на сварку труб разных диаметров осуществляется путем замены вкладышей зажимного механизма. Механизм давления пневматический и гидравлический имеет ступенчатый цикл работы с плавной регулировкой каждой ступени. Программные устройства подают команды на автоматическую обработку всего цикла сварки, начиная с подвода заготовки к инструменту и кончая регламентацией времени охлаждения. Предварительная настройка программы сводится либо к регулированию отдельных блоков электронного реле времени на определенное время срабатывания (на машине для сварки больших диаметров), либо регулированием кулачков и скорости вращения распределительного механического командоаппарата.

Главными факторами, определяющими качество сварного соедине-

ния, является режим нагрева соединяемых заготовок и сварочное давление. Обеспечение нужного уровня давления и автоматический контроль за закономерностью его изменения в процессе нагрева и осадки не представляет собой сколько-нибудь сложной инженерной задачи. Поэтому основное внимание было уделено расчету и конструированию сварочного инструмента (нагретого элемента). Существующие конструкции сварочных инструментов, разработанные отдельными организациями сильно отличаются по эксплуатационным качествам, в том числе по мощности. Нами предложен расчет сварочного инструмента на основе анализа нагрева заготовок. В результате проведенных экспериментов по определению коэффициента теплоотдачи с поверхности заготовок методом стационарного режима и рассмотрения особенностей процесса нагрева с учетом конкретной геометрии изделия и теплофизических свойств материала задача была сведена к расчету нагрева полубесконечной теплоизолированной с боковой поверхности пластины плоским источником тепла постоянной интенсивности. Решение такой задачи в предположении постоянства теплофизических свойств известно (Лыков А.В.). Однако трансцендентная форма делает это решение для инженерных расчетов практически непригодной. Было предложено приближенное решение. В наших рассуждениях мы предполагали, что распределение температуры по длине заготовки описывается параболической кривой порядка "n". Из граничного условия второго рода и условий теплового баланса определено значений "n". Полученное выражение для подсчета интенсивности источника имеет вид:

$$S = \frac{6(T_B - T_0)}{4,13 \sqrt{\tau_k}}$$

где S — интенсивность источника,

T_B — верхняя граница сварочного диапазона температур,

T_0 — температура окружающей среды,

τ_k — время нагрева заготовки,

$b = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \gamma}$, λ , c и γ соответственно коэффициенты теплопроводности, теплоемкости и удельного веса материала труб.

Во время удаления инструмента происходит охлаждение нагретых поверхностей. Важно, чтобы их температура не выходила за нижнюю границу сварочного диапазона (T_H). Допустимое время, в течение которого поверхность охладится от T_B до T_H определяется формулой

$$\tau_{\text{ес}} = \tau_k \left[\left(\frac{T_B - T_0}{T_H - T_0} \right)^2 - 1 \right]$$

где $\tau_{\text{ес}}$ — время, потребное на охлаждение заготовок от T_B до T_H .

Формула получена в предположении отсутствия теплоотдачи в окружающую среду из уравнения теплового баланса. При этом мы предполагали, что ввиду узости диапазона сварочных температур, кривые

распределения температуры в различные моменты времени описываются одним уравнением.

Мощность нагревателя сварочного инструмента определяется по формуле:

$$P = 2 S F_{tr} + \alpha (T_b - T_o) (F_n + F_k)$$

где F_{tr} — площадь сечения трубы,

F_n — площадь нерабочих участков сварочного инструмента, подвергающихся охлаждению за счет теплоотдачи в окружающую среду,

F_k — площадь нагретых участков крепежных элементов инструмента.

Сварочные инструменты, рассчитанные по предложенным формулам, при работе на установках позволили получить стыки хорошего качества.

На установке сварки труб с $D_y = 125-300$ мм инструмент конструкторивно выполнен в виде двух плоских колец (зеркал) круглого или эллиптического очертания шириной порядка 50 мм из листа АМгб толщиной 5 мм, между которыми находятся два симметрично расположенных проволочных нихромовых нагревателя и каркас из нержавеющей стали толщиной 1 мм. для крепления на установке. Нагреватели изолированы от металлических поверхностей тонкими миканитовыми прокладками. Нихромовая проволока намотана на кольцо из миканита, ширина которого меньше ширины зеркала. Зеркала скреплены между собой винтами. Для сварки прямых стыков и соединений под углом разных диаметров предусмотрен комплект съемных инструментов.

Конструкторивное решение нагретого элемента для установки сварки труб $D_y = 25-150$ мм аналогично, но зеркала сплошные и имеют форму эллипса. Благодаря этому инструмент оказывается универсальным для данного диапазона диаметра. Материал зеркал — медь.

На разработанные конструкции установок получено авторское свидетельство.

Выводы

1. На основании исследования механических свойств основного и присадочного материалов показана возможность возникновения механической неоднородности соединений, выполненных прутковой сваркой горячим газом.

2. Экспериментально исследована чувствительность полиэтилена и листового винипласта к поверхностным концентраторам. Установлен различный характер влияния на прочность концентраторов в виде надразов и наплавленных валиков, имитирующих усиление шва,

при статических и усталостных нагрузках. Показана необходимость учета при проектировании конструкций эффекта снижения прочности от концентраторов в виде валиков и ребер жесткости.

3. На основании проведенных повторно-статических и усталостных испытаний одноосным растяжением и изгибом с различными характеристиками циклов нами впервые получены значения эффективных коэффициентов концентрации для различных конструктивных решений соединений листового винипласта и полиэтилена низкого давления, выполненных прутковой сваркой и нагретым элементом. Сварка нагретым элементом дает более высокие показатели прочности соединений.

4. Показано, что в силу специфики процесса прутковой сварки на плоскости разделки у поверхности листа и в вершине разделки наблюдаются дефектные участки в виде "несплавлений" и зон с пониженной прочностью сцепления прутков с основным материалом.

5. Предложены и экспериментально проверены способы повышения статической и усталостной прочности сварных соединений за счет регулирования размеров усиления и термической обработки. Показана целесообразность увеличения ширины усиления или зачистки швов с некоторым заглублением в основной материал.

6. Разработана методика определения остаточных напряжений в сварных соединениях термопластов с использованием механического тензомера, учитывающая погрешности от резки и снятия базовых поверхностей. Показано, что в соединениях, выполненных прутковой сваркой, уровень остаточных напряжений высок. С течением времени при продолжительном вылеживании без нагрузки наблюдается их частичная релаксация. Термическая обработка в кипящей воде практически полностью снимает поле остаточных напряжений.

7. На основании проведенных экспериментов по термообработке винипласта и полиэтилена низкого давления рекомендован режим обработки сварных соединений, определено влияние времени, температуры, состава среды и скорости охлаждения на механические свойства основного материала. Показана возможность стабилизации размеров заготовок и снижения анизотропии механических свойств материала.

8. В содружестве с ВНИИМонтажспецстроем созданы установки сварки нагретым элементом трубопроводов из термопластов диаметром до 300 мм, обеспечивающие автоматическую обработку всего цикла сварки и поддержание основных параметров с необходимой точностью. На создание конструкции получено авторское свидетельство.

9. Предложена методика расчета необходимой мощности инструмента для сварки труб нагретым элементом. Разработана методика

определения коэффициентов теплоотдачи и сделана экспериментальная оценка потерь тепла от инструмента и нагреваемого изделия из термопласта в окружающую среду.

Материалы диссертации отражены в следующих работах:

1. Гириш В.И., к.т.н. Макаров И.И. Влияние некоторых факторов на прочность сварных соединений винипласта, выполненных прутковой сваркой. В сб.Труды МВТУ № 133 "Остаточные напряжения и прочность сварных соединений - конструкций"; Машиностроение, 1969 г.

2. Гириш В.И. Сварка пластмасс. Издание Министерства строительного, дорожного и коммунального машиностроения, 1967.

3. Гириш В.И. и др. Установка для сварки труб из термопластов, Авторское свидетельство № 274911 от 13 апреля 1970 г.

4. Гириш В.И., Калинин В.А. Сварка полиэтиленовых оболочек шаробаллонов. Производственно-технический бюллетень, № 9, 1967г. Mon

5. Макаров И.И., Гириш В.И. Прочность сварных соединений конструктивных пластмасс. Тезисы доклада на Республиканском семинаре - совещании по сварке, состоявшемся 3-5.X-1967 г. в г.Вильнюсе.

6. Гириш В.И. Термическая обработка сварных швов термопластов. Тезисы доклада на республиканской конференции по сварке в г.Вильнюсе в ноябре 1968 г.

7. Гириш В.И. Механическая обработка усиления швов сварных конструкций. Тезисы доклада на втором Северо-Кавказском совещании по сварке в строительстве, г.Краснодар, 1968 г.