

В. И. РОМЕНСКИЙ, В. В. НЕВЛЮДОВА, Е. Ю. ПЕРСИЯНОВА

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СБОРОЧНО-СВАРОЧНОЙ ОСНАСТКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Предметом исследования в статье являются вопросы, связанные с повышением требований к рабочим параметрам и качеству изделий. В приборостроении, машиностроении, оборонной и других отраслях промышленности выпускаемые изделия в своем составе имеют сварные металлоконструкции, изготовление которых требует применения большого количества сборочно-сварочных приспособлений. Затраты на проектирование и изготовление сборочно-сварочной оснастки по трудоемкости достигают 20–25% от общей суммы трудоемкости изготовления самого изделия. Одним из эффективных способов, которые позволяют уменьшить материальные и трудовые затраты, есть повышение ее долговечности и надежности. Учитывая особые условия эксплуатации данной оснастки (присутствие сварочных брызг), долговечность её работы зависит от методов защиты рабочих поверхностей оснастки. **Целью** есть разработка технологических методов повышения срока службы сборочно-сварочной оснастки на основе исследований надежности и долговечности защитных покрытий, которые защищают рабочие поверхности приспособлений с учетом влияния комплекса технологических факторов. **Задачи:** изучение условий эксплуатации сборочно-сварочной оснастки с целью определения основных факторов, которые определяют надежность и долговечность оснастки, определение отказов в процессе эксплуатации; исследование надежности существующих защитных средств с целью определения направления по разработке оптимального состава покрытия, разработка оптимального состава защитного покрытия, стойкого к воздействию сварочных брызг и износу при механическом трении элементов металлоконструкций относительно поверхностей оснастки. Получены следующие **результаты:** В статье представлены данные исследования авторами существующих средств защиты поверхностей сборочно-сварочных приспособлений, разработан классификатор основных факторов влияющих на надежность и долговечность сборочно-сварочной оснастки и классификатор отказов в процессе эксплуатации оснастки. **Выводы:** Разработана методология по определению стойкости защитных покрытий от воздействия сварочных брызг и механического перемещения элементов сварных конструкций.

Ключевые слова: сборочно-сварочная оснастка; защитные покрытия; сварочные брызги; толщина защитной пленки; расстояние поверхности от зоны сварки; виды сварки; долговечность; стойкость покрытия.

Введение

Решение актуальной задачи технологического обеспечения надежности и долговечности специальных и переналаживаемых сборочно-сварочных приспособлений применяемых для изготовления металлоконструкций приборостроения (блоков, стоек, шкафов) оборонного машиностроения (гусеничных и колесных машин).

Необходимость решения такой задачи обусловлена относительно низкими показателями надежности и долговечности существующих защитных покрытий, предохраняющих рабочие поверхности сборочной и сборочно-сварочной оснастки от воздействия сварочных брызг, которые составляют 1,5 – 2 года при многократном их нанесении. Конструкторско-технологический анализ разработки, изготовления и эксплуатации сборочно-сварочной оснастки позволил определить основные технологические факторы, влияющие на работоспособность оснастки и выявить отказы возникающие в процессе эксплуатации приспособлений. На основании анализа существующих средств защиты поверхностей сборочно-сварочной оснастки, применив специально разработанную установку, получена количественная оценка стойкости покрытий воздействию расплавленных капель металла (модель сварочной брызги), летящих в определенном направлении и бомбардирующих одну и ту же элементарную площадку поверхности до полного прожигания

покрытия и сплавления с основным металлом.

Предложен метод аналитического расчета с экспериментальной проверкой оптимального состава покрытия содержащего в составе наполнителя дисульфид-молибдена и графит, а в качестве пленкообразующего – эпоксидный лак, разбавленные смесью растворителей. Разработана методика определения вероятности попадания сварочных брызг в одно и тоже место поверхности при выполнении сборочных и сборочно-сварочных операций в течение длительного времени (1 год), что позволило определить срок службы разработанного покрытия.

Анализ последних исследований и публикаций

Базой для повышения конкурентоспособности и возрастание экспертного потенциала Украины, должно стать увеличение выпуска технологической, наукоемкой продукции, технологическое обновление производства, в том числе и технологического оборудования для производства изделий радиоэлектронного приборостроения (ИРП) [1–4].

Особым значением для технологического обновления производства, автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий (АКИТ) в будущем будет создание и использование в нем нового технологического оборудования, в том числе и сборочно-сварочной оснастки в которой собирают и сваривают основные базовые детали приборов, механизмов, робототехнических комплексов. Одним из основных элементов в конструкции указанных

изделий есть сварные металлические конструкции (корпуса, стенды, станины, шкафы, блоки, шасси и др.), производство которых требует высокой точности изготовления, а как следствие применения большого количества специальной сборочно-сварочной оснастки (приспособлений, стендов, кантователей, манипуляторов и др.).

Затраты на проектирование и изготовление сборочно-сварочной оснастки по трудоемкости приравниваются 20 – 25% от общей суммы изготовления самого изделия.

При подготовке производства новых изделий, в период освоения промышленной установочной партии, конструкторско-технологическая документация изменяется до 40%, что, в свою очередь требует переработку изготовленной оснастки или новое её изготовление.

Это накладывает дополнительную нагрузку на инструментальное производство предприятия, требует дополнительных материальных и трудовых затрат, и приводит к тому, что фактические объемы оснастки в 1,2 – 1,5 раза выше предусмотренной проектной технологией, что создает несоответствие между возможностями производства и потребностью предприятия.

Решением этой проблемы является применение обратимой оснастки из взаимозаменяемых стандартных элементов, позволяющих использовать их многократно в течение длительного времени [5]. Однако, учитывая особенности эксплуатации

специальной и обратимой сборочно-сварочной оснастки, (воздействия сварочных брызг), эффективность ее применения во многом зависит от надежных, долговечных и удобных в эксплуатации средств защиты рабочих поверхностей.

Существующие средства защиты, разрабатываемые индивидуально каждым предприятием для своих нужд (на основании проб и ошибок), обеспечивают средний срок службы оснастки в течение 1,5 – 4 лет за счет многократного нанесения различных видов покрытий или защитных экранов. Данные методы малоэффективны, так как требуют дополнительного времени на приготовление, нанесение, снятие покрытий; увеличивают материальные и трудовые затраты, снижают культуру производства.

В результате анализа отечественной и зарубежной литературы по вопросу исследования надежности и долговечности защитных средств, предохраняющих рабочие поверхности оснастки и быстроизнашивающихся деталей сварочного оборудования (наконечников, мундштуков и сопел горелок) от воздействия сварочных брызг при сварке и механического износа при перемещении деталей сварной конструкции в оснастке в процессе сборки был разработан классификатор существующих средств защиты (табл. 1), определены основные факторы влияющие на защитное покрытие (табл. 2) и виды отказов защитных пленок (табл. 3).

Таблица 1. Виды защиты поверхностей сборочно-сварочной оснастки и металлоконструкций от сварочных брызг

Средства защиты	Назначение и способ применения	Срок службы	Удобство эксплуатации
Отечественный опыт			
Экраны, кожухи	Защита металлоконструкций, установка в зоне сварки	До 6 месяцев	Не удобны, поверхность защищают частично
Водные эмульсии, содержащие: концентрат сульфатно-спиртовой барды; мел; мыло; кальцинированная сода; жидкое стекло с добавлениями циркония; алюминиевая пудра-декстрин; мел-тальк-декстрин; порошок графита и алюмофосфат; кремнийорганическая жидкость – алюминиевый порошок и др.	Защита металлоконструкций. Наносится кистью или распылением	Разового применения снимается щеткой	Не удобны, постоянно требуют повторного нанесения и снятия.
Смазки, содержащие: цирконий – путаль – растворитель 646; Циркон – маршалит поливинил – бутираль растворитель 646; окись хрома – теорин – бензин; грунт ВЛ – 02, ВЛ – 023; Силиконовые смазки 06 - 01	Защита металлоконструкций, специальных приспособлений, наносится кистью	Разового применения, снимается щеткой со сварочными брызгами	Не удобны, постоянно требуют повторного нанесения и снятия
Защитные покрытия, содержащие: кремний – органическую жидкость ГКЖ – 94 и декстрин; мыло, техническое масло, вода; канифоль – железный сурик, парафин; графит – жидкий кремний; краска ЯН – 7А; маршалит, алюминиевая пудра, вода	Защита деталей сварочного оборудования: сопел, наконечников, и мундштуков горелок при сварке	Разового применения, выгорает в процессе горения сварочной дуги.	Не удобны, постоянно требуют повторного нанесения и снятия
Защитные покрытия, содержащие: алюминиевую пудру, графит, клей 4НБ, или БФ – 88, огнеупорный лак ФГ – 9, суспензии на основе дисульфида молибдена (ВНИИ- НП – 213, ВНИИ НП – 229, ВНИИ – НП – 230); лак 67	Ручной оснастки наносится из пульверизатора или кистью	От 3-х месяцев до 1 года	Удобны в применении, однако требуют повторного нанесения по мере выгорания покрытия

Конец таблицы 1

<i>Зарубежный опыт (Япония, США, Германия, Голландия, Франция)</i>			
Лакокрасочные материалы с добавками; каменноугольная смола ксилол; органические соединения титана; трихлоретан; алюминиевый порошок; льняное масло; стерильная кислота; графит; смола; растворитель	Защита металлоконструкций наносится кистью или распылением	Разового применения, снимается щеткой или выгорает	Не удобно
Составы, содержащие: керосин, бензин, органическое масло, камфору, скипидар, лигнин – целлюлоза - вода	Защита металлоконструкций наносится кистью или распылением	Разового применения, снимается щеткой	Не удобно
Силикон – шпатель 200Т: грунтовка содержащая стирольглат политеоралкидной смолы, эпоксидный отвердитель, окись железа, пигмент, сульфат, бензин	Защита сопел горелок и металлоконструкций, наносится окунанием, кистью или распылением	Разового применения, снимается щеткой	Не удобно
Покрытие "BloxiDe" на основе алюминиевого порошка; графитовая смазка; смазка содержащая: производные целлюлозы, гликоля жирных концентратов; смачивающего состава, фосфорной кислоты	Защита метало конструкций	Разового применения, удаляется щеткой	Не удобно

Таблица 2. Классификация факторов влияющих на защитные покрытия поверхностей сборочно-сварочной оснастки

Наименование фактора	Вид фактора		Характер действия	Степень влияния
	конструкторский	технологический		
Механическое воздействие:				
- материал из которого изготовлена оснастка	+		Систематический	Существенная
- термическая обработка поверхностей оснастки		+	Систематический	Существенная
- величина заусенцев на торцах элементов сварных конструкций		+	Случайный	Малая
- масса собираемых конструкций	+		Систематический	Существенная
- величина перемещения элементов металлоконструкции (путь) при установке и закреплении в приспособлении		+	Систематический	Существенная
Воздействие сварочных брызг:				
- пространственное расположение поверхности относительно сварочной дуги (вертикальное, горизонтальное, под углом)	+		Систематический	Доминирующая
- расстояние поверхности элементов оснастки от сварочной дуги	+		Систематический	Доминирующая
- способ защиты поверхности (вид покрытия)		+	Систематический	Доминирующая
- вид сварки		+	Систематический	Доминирующая
- марка сварочных электродов или проволоки		+	Систематический	Доминирующая
- режим сварки		+	Случайный	Малый
- время воздействия брызг металла на рабочие поверхности оснастки		+	Систематический	Доминирующая
- материал из которого изготавливается оснастка		+	Систематический	Доминирующая
- толщина наносимой пленки защитного покрытия на поверхность оснастки		+	Систематический	Доминирующая

Таблиця 3. Класифікація отказів в процесі сборочно-сварочних операцій

Вид отказа	Характер проявления	Характер изменения
Прирабочные. Износ защитной пленки поверхности оснастки при механическом трении (сборке приспособления и установке элементов сварной конструкции)	Изменение толщины защитной пленки, потеря точности приспособления, забоины, задиры. Изменение качественного состояния поверхности, неровность поверхностей	Внезапный (постепенный)
Прогар защитной пленки поверхности при воздействии сварочных брызг	Изменение толщины защитной пленки, сплавление сварочных брызг с поверхностью, контакт сварочного электрода (сварочной проволоки) с поверхностью приспособления, потеря точности сборки приспособления, отсутствие собираемости сопрягаемых деталей оснастки	Постепенный
Прогар защитной пленки, направление металла на поверхности оснастки при зажигании сварочной дуги	Неплотное прилегание элементов металлоконструкции к поверхности приспособления или деталей и узлов приспособления между собой, отсутствие токоподвода, увеличение напряжения и силы тока, пробой и сплавление в местах пробоя	Постепенный (внезапный)

По результатам проведенного анализа установлено, что степень воздействия сварочных брызг зависит от следующих технологических факторов: вида сварки, марки электрода или сварочной проволоки, времени выполнения сварочных операций в течение года работы, расстояния зоны сварки от рабочих поверхностей оснастки, характера расположения поверхностей относительно зоны сварки, вида защитного покрытия, толщины защитной пленки покрытия, марки материала, из которого изготовлены элементы оснастки, класса чистоты поверхностей оснастки.

Степень влияния механического износа зависит от длины пути перемещения элементов оснастки относительно друг друга при сборке в течение года эксплуатации, марок материалов трущихся пар, вида покрытия и толщины покрытия, шероховатости и твердости поверхностей оснастки.

Для определения оптимального состава защитного покрытия из множества известных покрытий, применяемых для защиты специальной и обратимой оснастки были отобраны наиболее надежные и удобные в эксплуатации: твердые смазки на основе дисульфида молибдена – MoS_2 (разработанные Всесоюзным научно – исследовательским институтом нефтяных переработок) – ВНИИ – НП210, ВНИИ НП – 213, ВНИИ НП – 229, ВНИИ –НП – 230, фторорганическая смола – ФБР 74Д, поливинилбунтираль – БФ – 2, графит – кремнийорганическая жидкость.

Одной из основных нерешенных проблем при определении стойкости защитных покрытий воздействию сварочных брызг – это направить полет сварочных брызг в одном направлении для бомбардировки одной и той же элементарной площадки поверхности, что не позволяет определить срок службы покрытия поверхности сборочно-сварочной оснастки. Из существующих видов

покрытий не определен оптимальный состав покрытия обеспечивающий оптимальный срок службы оснастки.

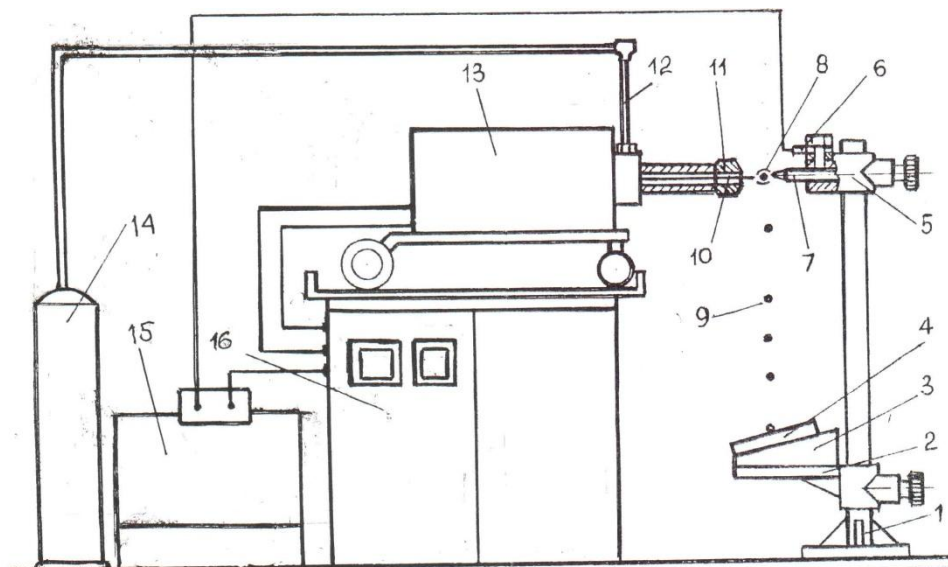
Цель настоящей работы – разработка специальной установки позволяющей получить расплавленные капли металла (модель сварочной брызги) образованные в результате сварочного процесса плавки между плавящимися и неплавящимися (вольфрамовый) электродами, а также разработка оптимального защитного покрытия рассчитанного аналитически и экспериментально подтвержденного, обеспечивающего максимальную стойкость воздействию экспериментальным каплям.

С целью определения стойкости существующих защитных покрытий воздействию сварочных брызг была разработана специальная установка (рис. 1) позволяющая моделировать сварочные брызги в виде капель металла, падающих вертикально вниз и бомбардирующих одну и ту же элементарную площадку поверхности образца до полного прогара пленки покрытия.

Покрытия наносились на металлические образцы размерами 150 x 15 x 10 мм методом распыления по соответствующей технологической документации. Толщина покрытия составляла, в среднем, 20 – 25 мкм.

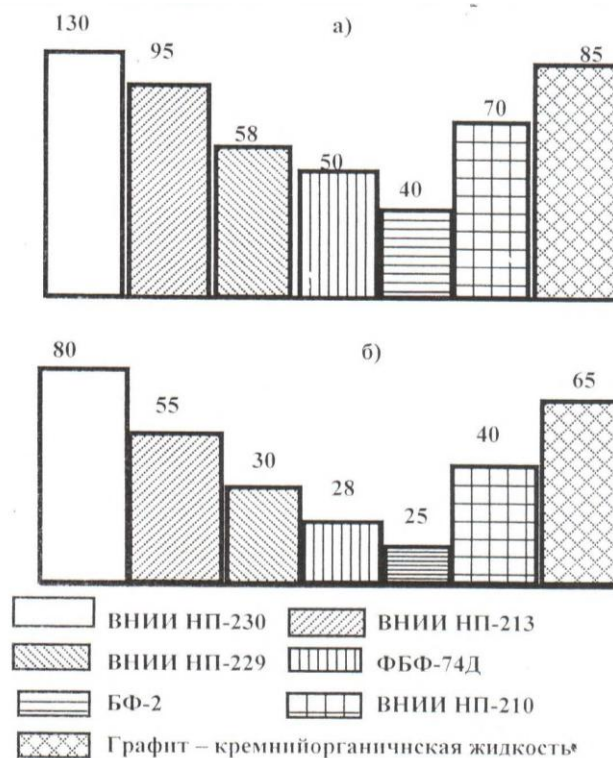
Основным материалом образцов были сталь 20 и чугун ВЧ – 50 – 32, материал из которого, в основном, изготавливают базовые элементы обратимой сборочно-сварочной оснастки.

Образцы с нанесенным покрытием устанавливались на столик экспериментальной установки и подвергались воздействию сварочных капель на двух расстояниях 300мм и 50 мм, соответствующих предпочтительному расположению поверхностей элементов оснастки от сварочной дуги. Результаты экспериментальных исследований приведен на диаграмме (рис. 2).



1 – штатив; 2 – базовый столик; 3 – угловая подставка; 4 – испытуемый образец; 5 – держатель; 6 – токоподвод; 7 – неплавящийся электрод; 8 – сварочная дуга; 9 – капли металла; 10 – плавящийся электрод; 11 – сварочная горелка – электродержатель; 12 – подвод газа; 13 – механизм подачи проволоки; 14 – баллон с Ar; 15 – сварочный преобразователь; 16 – шкаф управления

Рис. 1. Схема установки для определения стойкости защитных покрытий воздействию сварочных брызг



а) – расстояние испытуемого образца от сварочной дуги 300 мм;

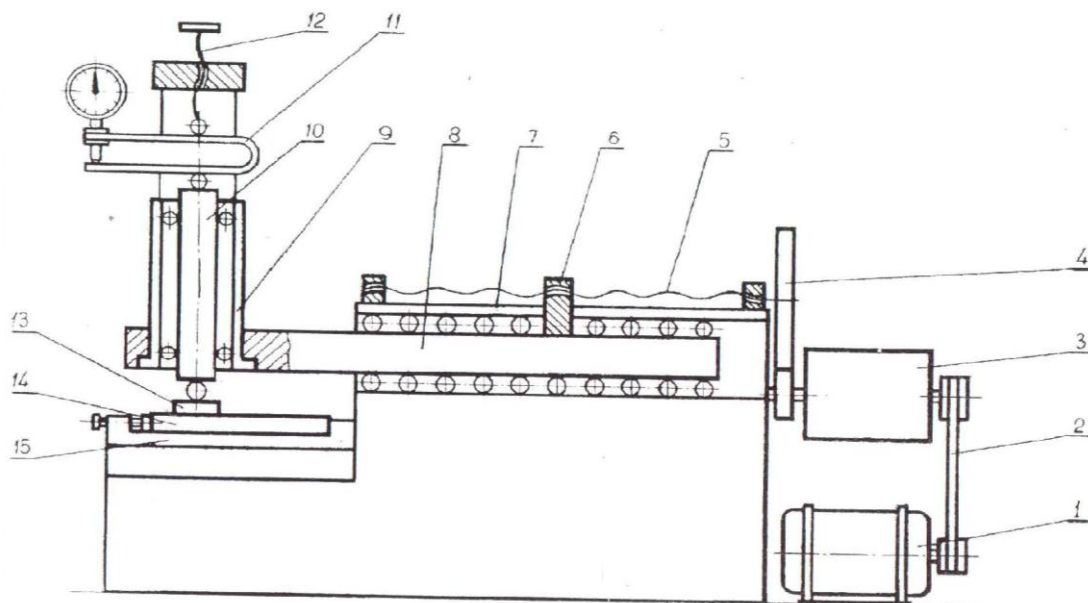
б) – расстояние испытуемого образца от сварочной дуги – 50 мм.

Рис. 2. Диаграмма стойкости защитных покрытий воздействию экспериментальных капель металла

Наиболее стойким оказалось покрытие на основе дисульфида молибдена MoS_2 (ВНИИ – НП – 230).

Марка основного материала, на котором были нанесены покрытия на стойкость пленки существенного влияния не оказывало.

Сравнительные экспериментальные исследования покрытий при механическом перемещении проводились по методу возврата – поступательного скольжения на трёхобразцовой машине трения МИГ – 1 (рис. 3) при удельном давлении 0,5 МПа и скорости перемещения 0,1 м/с (близкими к производственным условиям).



1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – коробка скоростей; 4 – смежные шестерни; 5 – ходовой винт; 6 – гайка; 7 – роликовые направляющие; 8 – ползун; 9 – нагружающая головка; 10 – оправка; 11 – динамометр; 12 – опорный винт; 13 – испытуемый верхний образец; 14 – испытуемый нижний образец; 15 – державка

Рис. 3. Кинематическая схема рабочего узла машины трения МИГ – 1

Лучшие результаты при механическом перемещении показало покрытие ВНИИ – НП – 230. Исследования покрытий на основе MoS_2 (ВНИИ – НП – 210, ВНИИ НП – 213, ВНИИ НП – 229, ВНИИ НП – 230) показали, что стойкость их различная и определяется количественным и качественным составами: наполнителя – MoS_2 и пленкообразующего (кремний – органические смолы, силикат натрия или эпоксидного лака) (рис. 4).

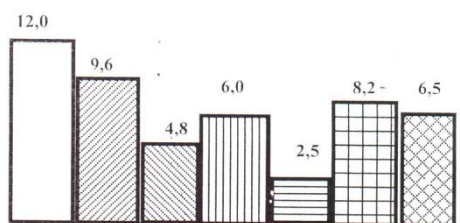


Диаграмма стойкости покрытий (тыс.м.ч) при механическом трении пар трения сталь ст 3 не покрытая по стали 20 покрытой.



Рис. 4. Диаграмма стойкости покрытий (тыс. м.) при механическом трении пар сталь 3 не покрытая (верхний образец) по стали 20 покрытой (нижний образец)

Из литературных источников [6, 7, 8] известно, что наибольшую стойкость воздействию сварочных брызг имеют покрытия на основе дисульфида молибдена, содержащего в своем составе одну часть наполнителя MoS_2 и две части пленкообразующего (эпоксидного лака). ЭП – 074, разбавленных смесью растворителей.

Учитывая то, что MoS_2 не электропроводный материал, а графит электропроводный, в нашем случае состав покрытия должен быть электропроводный для обеспечения выполнения сварочных операций в оснастке, было принято решение разработать оптимальный состав, не меняя пленко – образующие компоненты, с различным процентным отношением MoS_2 и графита.

Выбор оптимального состава покрытия проводили при помощи метода одномерной минимизации на основе метода Фибоначчи [9].

Состав "G" – определяли аналитически с экспериментальной проверкой полученных результатов. Варьируемыми факторами в данной задаче являлись количество введенного в покрытие дисульфида молибдена N_{MoS_2} (x_1) и графита N_c (x_2). Экспериментальную зависимость для "G" искали в виде функции $G = \phi(x_1, x_2)$.

Основные ограничения и условия проведения эксперимента приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4. Ограничения эксперимента

№ п/п	Наименование	Показатели
1	Марка основного материала образца	Сталь 20
2	Шероховатость поверхности	2,5 – 1,25 Ra
3	Толщина покрываемой пленки	от 25 до 30 мкм
4	Расстояние поверхности образца от зоны сварки	120 мм
5	Плавящий электрод и его диаметр	проволока Св 0.8Г2С диаметром 1,6 мм
6	Расположение поверхности образца относительно зоны сварки	под углом 15°

Таблица 5. Условия проведения исследования по определению стойкости покрытий воздействию сварочных брызг

Факторы	Содержание %	
	H_{MoS_2}	H_c
Код		
Основной уровень (x_{io})	50	50
Интервал варьирования (Δx_i)	45	45
Верхний уровень (+)	95	95
Нижний уровень (-)	5	5

Функция "G" является непрерывной функцией по совокупности переменных на прямоугольнике

$$\{(x_1, x_2) | 5 \leq x_1 \leq 95, 5 \leq x_2 \leq 95\}.$$

Факторы связаны зависимостью $x_1 + x_2 = 100$ поэтому стойкость состава покрытия воздействию капель металла определялась в зависимости от одного фактора $G = G(x_1, x_2) = G(x_1, 100 - x_1) = \phi(x_1)$

$\phi(x_1)$ - непрерывна на сегменте (5;95).

Экспериментально установлено, что

$$\phi(50) = G(50; 50) > G(5; 95) = \phi(5),$$

$$\phi(50) = G(50; 50) > G(95; 5) = \phi(95).$$

Заменим x_1 на x , получим $G(x)$.

К-ое приближение x_k точки максимума $\bar{x}$ одна из точек y_k , z_k удовлетворяющих условию

$$y_k - a_{k-1} = \epsilon_{k-1} - z_k,$$

где a_{k-1} , ϵ_{k-1} – концы отрезка последовательности.

Наибольшую точность определения точки максимума при заданном числе шагов ($n = 6$) и точности $\epsilon = 5\%$ гарантирует метод Фибоначчи.

Число шагов "n" есть наименьшее число, удовлетворяющее неравенство:

$$F_{n+1} \leq \frac{1}{\epsilon} (\epsilon_o - a_o) \geq F_{n+2},$$

где F – число Фибоначчи:

$$(F_1 = F_2 = 1, F_n = F_{n-1} + F_{n-2}, n \geq 3),$$

ϵ_o – окончание исследуемого отрезка сегмента, (95); a_o – начало исследуемого отрезка сегмента, (5).

Тогда получим:

$$F_{n+1} \leq \frac{1}{5} (95 - 5) \leq F_{n+2} = F_{n+1} \leq 18 \leq F_{n+2},$$

$$F_{n+1} \leq 18 \leq F_{n+2} \text{ или } F_{6+1} < 18 < F_{6+2}.$$

Первый шаг

$$y_1 = a_o + \frac{F_n}{F_{n+2}} (\epsilon_o - a_o),$$

$$z_1 = a_o + \epsilon_o - y_1.$$

Экспериментально определяем $\phi(y_1)$, $y(z_1)$ и получаем:

$$a_1 = \begin{cases} a_o, \phi(y_1) \geq \phi(z_1) \\ y_1, \phi(y_1) < \phi(z_1) \end{cases};$$

$$b_1 = \begin{cases} z_1, \phi(y_1) \geq \phi(z_1) \\ b_o, \phi(y_1) < \phi(z_1) \end{cases};$$

$$x_1 = \begin{cases} y_1, \phi(y_1) \geq \phi(z_1) \\ z_1, \phi(y_1) < \phi(z_1) \end{cases}.$$

k – й шаг ($2 \leq k \leq n$).

Пусть известны a_{k-1} , ϵ_{k-1} , $\phi(y_{k-1})$, $\phi(z_{k-1})$.

Если $\phi(y_{k-1}) \geq \phi(z_{k-1})$ то вычисляем

$$y_k = a_{k-1} + \epsilon_{k-1} - z_{k-1}.$$

Экспериментально определяем $\phi(y_k)$ и полагаем

$$z_k = y_{k-1}, \phi(z_k) = \phi(y_{k-1}).$$

Если $\phi(y_{k-1}) \leq \phi(z_{k-1})$ тогда полагаем $y = z_{k-1}$, $\phi(y_k) = \phi(z_{k-1})$.

Вычисляем $z_k = a_{k-1} + \epsilon_{k-1} - z_{k-1}$ и экспериментально определяем $\phi(z_k)$.

Теперь можно определить:

$$a_k = \begin{cases} a_{k-1}, \varphi(y_k) \geq \varphi(z_k); \\ y_k, \varphi(y_k) < \varphi(z_k); \end{cases}$$

$$b_k = \begin{cases} z_k, \varphi(y_k) \geq \varphi(z_k); \\ b_{k-1}, \varphi(y_k) < \varphi(z_k); \end{cases}$$

$$x_1 = \begin{cases} y_k, \varphi(y_k) \geq \varphi(z_k) \\ z_k, \varphi(y_k) < \varphi(z_k) \end{cases}.$$

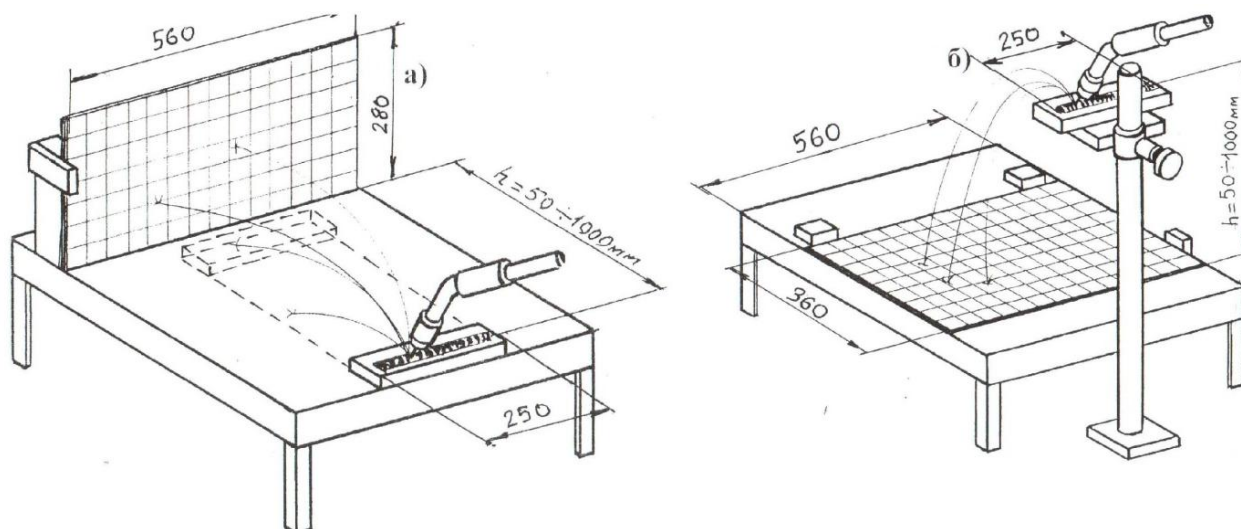
В результате исследований установлено, что наибольшей стойкостью "m" воздействию капель металла (300 ± 4) шт. обладает покрытие, которое содержит в своем составе одну часть наполнителя (75% дисульфида молибдена и 25% графита) и две части эпоксидного лака, разбавленных смесью растворителей до необходимой концентрации [10].

Срок службы данного состава определяли через отношение стойкости "m" к среднему количеству сварочных брызг "N" приходящих на одну и ту же элементарную площадку поверхности сборочно-

сварочной оснастки за определенное время (один год) выполнения сварочных операций.

Значения N исследовали при помощи метода макетирования [11]. Рабочие поверхности приспособлений заменяли листами трансформаторного железа (экранами) с нанесенной координатной сеткой. Габаритные размеры экранов для ручной электродуговой сварки составляли 480x320 мм для полуавтоматической сварки в среде углекислого газа 480x240 мм.

Экраны устанавливали на специальные стелы (рис. 5) и вдоль экранов, на образцах из стали 3, проплавливали сварные швы длиной 250 мм. Образцы на стенде располагали на расстояниях 60, 120, 240, 360, 480, 600, 720 мм от экранов. Исследовали плотность разбрызгивания металла на вертикальное и горизонтальное расположение экранов. На каждом расстоянии проплавливали по 10 сварочных валиков. Следы от сварочных брызг на экране после каждого наложения сварного шва, переносили на миллиметровую бумагу.



а) – вертикальное расположение поверхности; б) – горизонтальное расположение поверхности

Рис. 5. Схема установки испытываемых поверхностей (экранов) относительно зоны сварки

Десять картин с экранов накладывали на один и тот же лист бумаги. Частоту попадания N определяли из выражений:

При ручной электродуговой сварке

$$N_{p.d.c} = \frac{t_{p.d.c} \cdot N_{экс.p.d.c}}{t_{экс.p.d.c}}.$$

При полуавтоматической сварке в среде углекислого газа

$$N_{CO_2} = \frac{t_{CO_2} \cdot N_{экс.CO_2}}{t_{экс.CO_2}},$$

где $t_{p.d.c}$, t_{CO_2} – основное время, на протяжении которого проходили сварочные операции Тс, или сборочные (прихватка) (Тп) в течение одного года эксплуатации оснастки; $t_{экс.p.d.c}$, $t_{экс.CO_2}$ – время, в

течении которого выполнялась 10 – кратная наплавка экспериментального сварного валика длиной 250 мм и равно 3 и 1,5 часа, соответственно для, ручной и полуавтоматической сварке; $N_{экс.p.d.c}$, $N_{экс.CO_2}$ – среднее количество сварочных брызг, оседающих на элементарную площадку ΔF (10x10 мм) из выражения:

$$N_{экс.p.d.c} = \frac{1}{10} \frac{n_{p.d.c} \cdot 100}{1600} F_{бр.p.d.c}.$$

$$N_{экс.CO_2} = \frac{1}{10} \frac{n_{CO_2} \cdot 100}{1600} F_{бр.CO_2},$$

где $n_{p.d.c}$, n_{CO_2} – максимальное количество сварочных брызг, приходящихся на площадку $F = 40 \times 40$ мм; $F_{бр.p.d.c}$, $F_{бр.CO_2}$ – среднее значение площади сварочных

брызг, покрывающих поверхность приспособления, зависят от их диаметра и расстояния пролета и колеблются: для ручной дуговой сварки от 1,22 до 8,15 мм²; для полуавтоматической в среде CO₂ – от 1,22 до 1,67 мм²;

$\frac{1}{10}, \frac{100}{1600}$ – значения пересчета для 10 – кратной

наплавки и перехода от $F = 40 \times 40$ мм к $\Delta F = 10 \times 10$ м.

Учитывая специфику работы элементов обратной сборочно-сварочной оснастки, не все элементы участвуют в сборке приспособления, а следовательно, их поверхности не постоянно подвергаются воздействию сварочных брызг при сварке и прихватке при сборке. Были выявлены четыре группы элементов оснастки участвующих в технологическом процессе создания приспособлений поверхности которых работают в одинаковых условиях.

1 группа подвергалась воздействию сварочных при сварке в течение $T_c = 307,5$ часа и прихватке $T_n = 101,0$ часа;

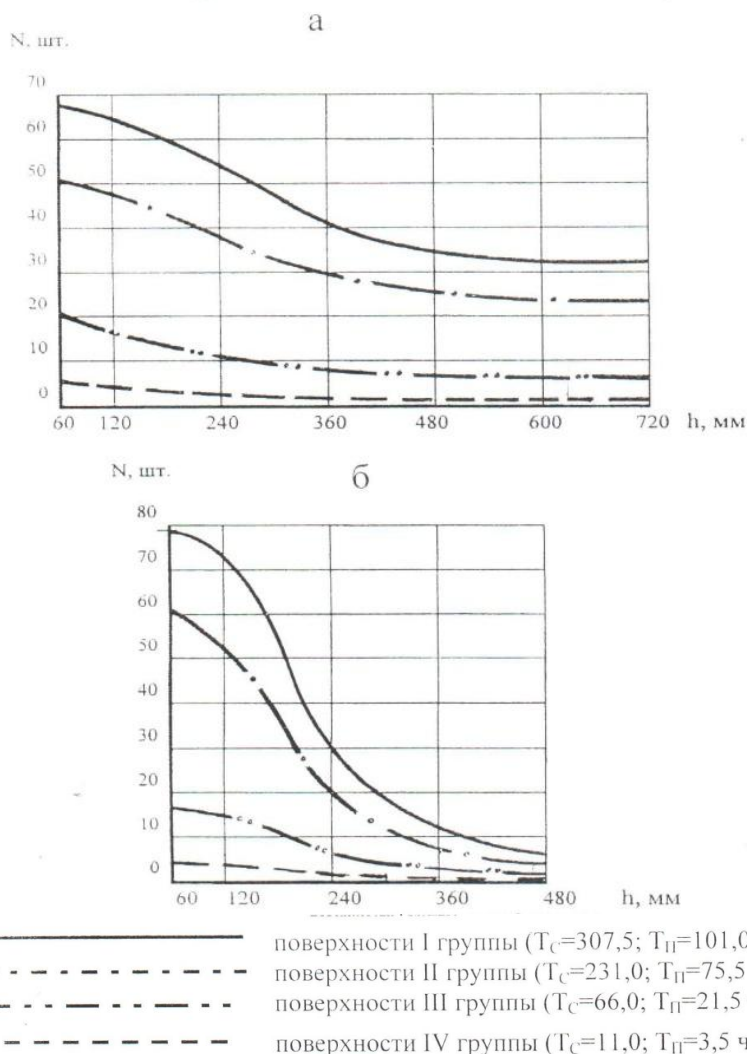
2 группа $T_c = 231,0$ часа; $T_n = 75,5$ часа;

3 группа $T_c = 66,0$ час.; $T_n = 21,5$ часа;

4 группа $T_c = 11,0$ час. $T_n = 3,5$ часа.

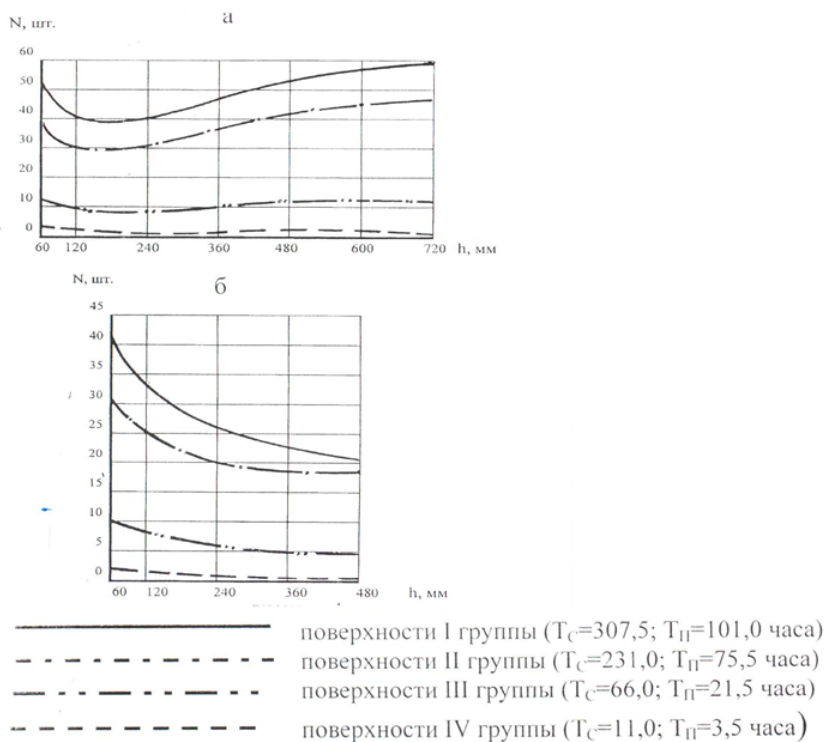
В результате экспериментальных и аналитических исследований были получены графические зависимости сварочных брызг приходящихся на элементарную площадку ΔF в зависимости от расположения поверхности (горизонтальное или вертикальное) относительно сварочной дуги, расстояние от сварочной дуги, вида сварки и применении определенной группы элементов оснастки.

При проведении сварочных операций (T_c) графики количества сварочных брызг оседающих на элементарную площадку ΔF приведены на рис. 6 и 7 а при проведении сборочно-сварочных работ (T_n) на рис. 8 и 9.



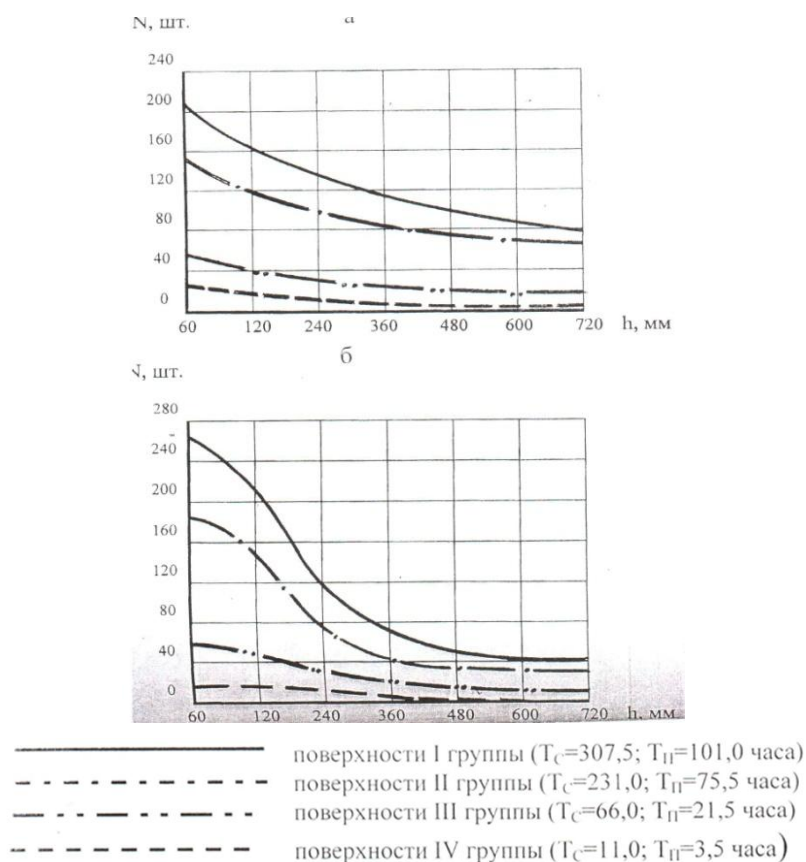
а) – ручная электродуговая сварка электродами УОНИ 13/45; б) – полуавтоматическая сварка в среде CO₂

Рис. 6. Количество сварочных брызг N оседающих на элементарную площадку ΔF расположенную в вертикальном положении при выполнении сварочных операций (T_c), на различных расстояния (h) от зоны сварки



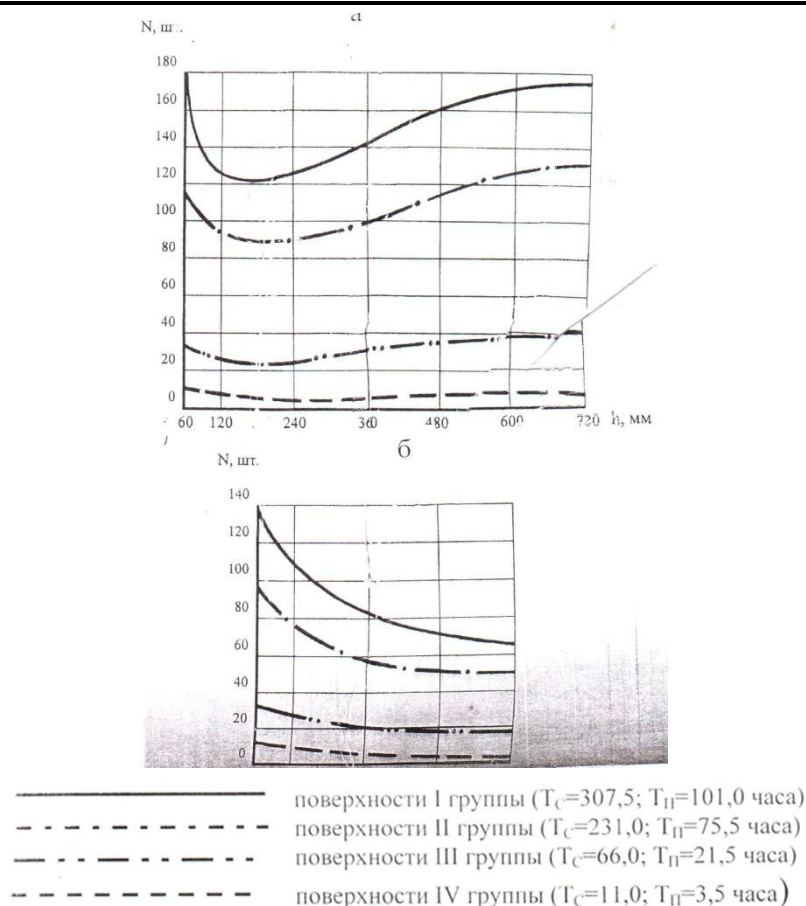
а) – ручная электродуговая сварка; б) – полуавтоматическая сварка в среде CO_2

Рис. 7. Количество сварочных брызг N оседающих на элементарную площадку ΔF расположенную в горизонтальном положении при выполнении сварочных операций (T_c), на различных расстояния h от зоны сварки



а) – ручная электродуговая сварка; б) – полуавтоматическая сварка в среде CO_2

Рис. 8. Количество сварочных брызг N оседающих на элементарную площадку ΔF расположенную в вертикальном положении при выполнении сборочно-сварочных операций (T_n) на различных расстояния h от зоны сварки



Выводы

Рассмотрены вопросы исследования условий эксплуатации сборочно-сварочной оснастки методом математической статистики установлены значимые факторы, определяющие надежность и долговечность рабочих поверхностей: вид покрытия, толщина пленки, марка электродов, марка основного материала оснастки, пространственное расположение поверхностей и их расстояние относительно сварочной дуги.

Анализ состояния вопроса на предприятиях отрасли и литературных источников показал, что существующие защитные покрытия являются покрытиями многоразового нанесения, что вызывает неудобство в эксплуатации и обеспечивает срок службы оснастки с покрытием до 2 лет.

Основным методом повышения надежности и долговечности работающих поверхностей сборочно-сварочных приспособлений является нанесение защитного покрытия, разработанного и представленного в данной статье состава, который содержит одну часть наполнителя ($75 \pm 5\%$ дисульфида

молибдена и $25 \pm 5\%$ графита) и две части эпоксидного лака разбавленного смесью растворителей при 1–2 разовом нанесении, которое обеспечивает срок службы оснастки 6–8 лет. Данные покрытия, обработанные с помощью метода и планирования эксперимента, математической статистики и ЭВМ показали, что стойкость защитных покрытий воздействию сварочных брызг описывается многофакторным линейным полиномом, а стойкость покрытия при механическом трении – кубической параболой.

Список литературы

1. Роменский В. И., Подобедов В. В. Классификация факторов, влияющих на долговечность сборочно-сварочной оснастки, *Сборник "Вестник" ХГПУ*. 1999. Вып. 63, С. 44–47.
2. Подобедов В. В., Роменский В. И. Состояние перспективы и концепция развития сборочно-сварочной оснастки в машиностроении. *Международный научно-технический сборник. Резание и инструмент в технологических системах ХГПУ*. 2000. Вып. 58. С. 34–38.
3. Жолтневич Н. Д., Подобедов В. В., Роменский В. И. Технологическая оснастка для серийного производства сварных конструкций. *Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского ХАИ "Авиационно-космическая техника и технология"*. 2000. Вып. 14. С. 102–104.
4. Подобедов В. В., Буденный М. М. Определение стойкости защитного покрытия, предохраняющего рабочие поверхности сборочно-сварочной оснастки от воздействия сварочных брызг. *Високі технології в машинобудуванні ХГПУ*. 2000. Вип. 1. С. 194–199.
5. Роменский В. И., Яшков И. О. Разработка параметрической модели для создания модуля автоматизированной сборочно-сварочной оснастки при производстве изделий радиоэлектронного приборостроения. *Технология приборостроения*. 2015. № 2. С. 47–53.
6. Роменский В. И. Исследование надежности и долговечности поверхностей сборочно-сварочных приспособлений для сварочного производства. *Вестник машиностроения*. 1976. № 11. С. 69–70.
7. Роменский В. И., Жолткевич Г. Н. Защита поверхностей элементов универсально – сборных приспособлений для сборочно-сварочного производства. *Научно-технический сборник. Вопросы оборонной техники. Серия XVII*. 1978. Вып. 104. С. 67–71.
8. Роменский В. И., Жолткевич Г. Н. Исследование стойкости защитных покрытий воздействию сварочных брызг и механическому трению. *Производственно – технический бюллетень*. 1981, № 11. С. 33–36.
9. Карманов В. Г. Математическое программирование. М.: Наука, 1975. № 1. 272 с.
10. Подобедов В. В., Роменский В. И., Жолткевич Г. Н. Разработка оптимального состава защитного покрытия предохраняющего рабочие поверхности специальной сборочно-сварочной оснастки от воздействия сварочных брызг. *Вестник ХГПУ*. 2000. № 104. С. 32–37.
11. Подобедов В. В., Роменский В. И. Исследование плотности рассеивания сварочных брызг на рабочие поверхности сборочно-сварочной оснастки при выполнении сварочных операций. *Вестник ХГПУ*. 2000. № 110.
12. Кривов, Г. О., Зворикін, К. О. Виробництво зварних конструкцій. Київ : КВІЦ, 2011. 896 с.
13. Карпенко А. С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві. Київ : «Арістей», 2005. 268 с.
14. Dávid Michal, Peter Košťál, Šimon Lecký and Štefan Václav (2018), "Rationalization of Robotic Workstation in Welding Industry", *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*, Vol. 26, Issue 42, P. 159–164. DOI: <https://doi.org/10.2478/rput-2018-0019>
15. Rodriguez et al, (2015), "Procedure for quality inspection of welds based on macro-photogrammetric three-dimensional reconstruction", *Journal of Optics and Laser Technology*, Vol. 73, P. 54–62.
16. Yusof, F., Jamaluddin, M. F. (2014), "Welding Defects and Implications on Welded Assemblies", *Comprehensive Materials Processing*, Vol. 6, P. 125-134. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00605-1>
17. Kah, P. and Martikainen, J. (2012), "CURRENT TRENDS IN WELDING PROCESSES AND MATERIALS: IMPROVE IN EFFECTIVENESS", *Reviews on Advanced Materials Science*, No. 30, P. 189–200.

References

1. Romenskiy, V. I., Podobedov, V. V. (1999), "Classification of factors affecting the durability of assembly and welding equipment" ["Klassifikatsiya faktorov, vliyayushchikh na dolgovechnost' sborochno-svarochnoy osnastki"], *Collection "Vestnik" KHPU*, Issue 63, P. 44–47.
2. Podobedov, V. V., Romenskiy, V. I. (2000), "Prospect state and the concept of development of assembly and welding equipment in mechanical engineering. International scientific and technical collection" ["Sostoyaniye perspektivy i kontseptsiya razvitiya sborochno-svarochnoy osnastki v mashinostroyenii"], *Cutting and tooling in technological systems of KHGPU*, Issue 58, P. 34–38.
3. Zholtnevich, N. D., Podobedov, V. V., Romenskiy, V. I. (2000), "Tooling for serial production of welded structures" ["Tekhnologicheskaya osnastka dlya seriynogo proizvodstva svarnykh konstruktсий"], *Proceedings of the State Aerospace University, NOT, Zhukovsky KhAI "Aerospace Engineering and Technology"*, Issue 14, P. 102–104.
4. Podobedov, V. V., Budenny, M. M. (2000), "Determination of the resistance of the protective coating protecting the working surfaces of assembly and welding equipment from the effects of welding spatter" ["Opredeleniye stoykosti zashchitnogo pokrytiya,

- predokhranyayushchego rabochiye poverkhnosti sborochno-svarochnoy osnastki ot vozdeystviya svarochnykh bryzg"], *High technology in machine-driven equipment of KSPU*, Vol. 1, P. 194–199.
5. Romenskiy, V. I., Yashkov, I. O. (2015), "Development of a parametric model for creating a module for automated assembly and welding equipment in the manufacture of electronic devices" ["Razrabotka parametricheskoy modeli dlya sozdaniya modulya avtomatizirovannoy sborochno-svarochnoy osnastki pri proizvodstve izdeliy radioelektronnogo priborostroyeniya"], *Instrumentation Technology*, No. 2. P. 47–53.
 6. Romenskiy, V. I. (1976), "Investigation of the reliability and durability of surfaces of assembly-welding devices for welding production" ["Issledovaniye nadezhnosti i dolgovechnosti poverkhnostey sborochno-svarochnykh prispособleniy dlya svarochnogo proizvodstva"], *Bulletin of mechanical engineering*, No. 11, P. 69–70.
 7. Romenskiy, V. I., Zholtkevich, G. N. (1978), "Protection of surfaces of elements of universally prefabricated devices for assembly and welding production" ["Zashchita poverkhnostey elementov universal'no – sbornykh prispособleniy dlya sborochno-svarochnogo proizvodstva"], *Scientific and technical collection. Questions of defense technology. Series XVII*, Issue 104, P. 67–71.
 8. Romenskiy, V. I., Zholtkevich, G. N. (1981), "Investigation of the resistance of protective coatings to the effects of welding spatter and mechanical friction" ["Issledovaniye stoykosti zashchitnykh pokrytiy vozdeystviyu svarochnykh bryzg i mekhanicheskomu treniyu"], *Production - technical bulletin*, No. 11, P. 33–36.
 9. Karmanov, V. G. (1975), *Mathematical programming [Matematicheskoye programmirovaniye]*, Moscow : Nauka, No. 1. 272 p.
 10. Podobedov, V. V., Romenskiy, V. I., Zholtkevich, G. N. (2000), "Development of the optimal composition of the protective coating that protects the working surfaces of special assembly and welding equipment from the effects of welding spatter" ["Razrabotka optimal'nogo sostava zashchitnogo pokrytiya predokhranyayushchego rabochiye poverkhnosti spetsial'noy sborochno-svarochnoy osnastki ot vozdeystviya svarochnykh bryzg"], *Bulletin of KhPGU*, No. 104, P. 32–37.
 11. Podobedov, V. V., Romenskiy, V. I. (2000), "Study of the dispersion density of welding spatter on the working surfaces of assembly-welding equipment during welding operations" ["Issledovaniye plotnosti rasseivaniya svarochnykh bryzg na rabochiye poverkhnosti sborochno-svarochnoy osnastki pri vypolnenii svarochnykh operatsiy"], *Bulletin of KHPTU*, No. 110.
 12. Krivov, G. O., Zvorkin, K. O. (2012), *Manufacture of welded structures [Vyrobnystvo zvarnykh konstruksiy]*, Kyiv : KVIT, 896 p.
 13. Karpenko, A. S. (2005), *Technological Equipment in Welding Production [Tekhnologichna osnastka u zvaryuval'nomu vyrobnystvi]*, Kyiv : Aristy, 268 p.
 14. Dávid Michal, Peter Košťál, Šimon Lecký and Štefan Václav (2018), "Rationalization of Robotic Workstation in Welding Industry", *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*, Vol. 26, Issue 42, P. 159–164. DOI: <https://doi.org/10.2478/rput-2018-0019>
 15. Rodriguez et al, (2015), "Procedure for quality inspection of welds based on macro-photogrammetric three-dimensional reconstruction", *Journal of Optics and Laser Technology*, Vol. 73, P. 54–62.
 16. Yusof, F., Jamaluddin, M. F. (2014), "Welding Defects and Implications on Welded Assemblies", *Comprehensive Materials Processing*, Vol. 6, P. 125–134. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00605-1>
 17. Kah, P. and Martikainen, J. (2012), "CURRENT TRENDS IN WELDING PROCESSES AND MATERIALS: IMPROVE IN EFFECTIVENESS", *Reviews on Advanced Materials Science*, No. 30, P. 189–200.

Поступила (Received) 20.11.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Роменський В'ячеслав Іванович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; email: vladyslav.romenskiy@nure.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9472-8021>.

Роменский Вячеслав Иванович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

Romenskiy Vjacheslav – PhD (Engineering Sciences), Senior Researcher, Kharkiv National University of Radioelectronics, Associate Professor of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

Невлюдова Вікторія Валеріївна – кандидат технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, старший викладач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; email: d_tapr@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1158-5089>.

Невлюдова Виктория Валерьевна – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, старший преподаватель кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

Nevliudova Viktoriia – PhD (Engineering Sciences), Kharkiv National University of Radioelectronics, Senior Lecturer at the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

Персіянова Олена Юрїївна – Державне підприємство "Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", інженер науково-дослідного відділу, Харків, Україна; email: persikqw@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3578-4653>.

Персиянова Елена Юрьевна – Государственное предприятие "Южный государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности", инженер научно-исследовательского отдела, Харьков, Украина.

Persiyanova Elena – State Enterprise "Southern National Design & Research Institute of Aerospace Industries", Research Engineer, Kharkiv, Ukraine.

ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ОСНАСТКИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ВИРОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Предметом дослідження в статті є питання, пов'язані з підвищенням вимог до робочих параметрів і якості виробів. У приладобудуванні, машинобудуванні, оборонної та інших галузях промисловості вироби, які випускаються, в своєму складі мають зварні металоконструкції, виготовлення яких вимагає застосування великої кількості складально-зварювальних пристосувань. Витрати на проектування і виготовлення складально-зварювальної оснастки по трудомісткості досягають 20-25% від загальної суми трудомісткості виготовлення самого виробу. Одним з ефективних способів, які дозволяють зменшити матеріальні та трудові витрати, тобто підвищення її довговічності і надійності. З огляду на особливі умови експлуатації даної оснастки (присутність зварювальних бризок), довговічність її роботи залежить від методів захисту робочих поверхонь оснастки. **Метаю** є розробка технологічних методів підвищення терміну служби складально-зварювальної оснастки на основі досліджень надійності та довговічності захисних покриттів, які захищають робочі поверхні пристосувань з урахуванням впливу комплексу технологічних факторів. **Завдання:** вивчення умов експлуатації складально-зварювальної оснастки з метою визначення основних чинників, які визначають надійність і довговічність оснастки, визначення відмов у процесі експлуатації; дослідження надійності існуючих захисних засобів з метою визначення напрямку по розробці оптимального складу покриття, розробка оптимального складу захисного покриття, стійкого до впливу зварювальних бризок і зносу при механічному терті елементів металоконструкцій щодо поверхонь оснастки. Отримано наступні **результати:** У статті представлені дані дослідження авторами існуючих засобів захисту поверхонь складально-зварювальних пристосувань, розроблено класифікатор основних факторів, що впливають на надійність і довговічність складально-зварювальної оснастки і класифікатор відмов в процесі експлуатації оснастки. **Висновки:** Розроблено методологію щодо визначення стійкості захисних покриттів від впливу зварювальних бризок і механічного переміщення елементів зварних конструкцій.

Ключові слова: складально-зварювальна оснастка; захисні покриття; зварювальні бризки; товщина захисної плівки; відстань поверхні від зони зварювання; види зварювання; довговічність; стійкість покриття.

TECHNOLOGICAL METHODS OF IMPROVING THE RELIABILITY OF STORAGE AND WELDING EQUIPMENT IN THE PRODUCTION OF RADIO-ELECTRONIC DEVICE PRODUCTS

The **subject** of the study in the article is the increasing requirements for working parameters and product quality. In instrument-making, mechanical engineering, defense and other industries manufactured products are composed of welded metal structure. Manufacture of these products requires the use of a large number of assembly and welding devices. The cost of labor intensity on design and manufacture of assembly and welding equipment reach 20–25% of the total labor intensity of manufacturing the product itself. One of the effective ways to reduce material and labor costs is to increase its durability and reliability. Taking into account the special conditions of use of this equipment (the presence of welding splashes), the durability of its operation depends on the methods of protection of the working surfaces of the equipment. The **goal** is to develop technological methods for increasing the life of the assembly and welding equipment based on studies of the reliability and durability of protective coatings that protect the working surfaces of devices, taking into account the impact of a set of technological factors. **Objectives:** to study the operating conditions of the assembly and welding equipment in order to determine the main factors that determine the reliability and durability of the equipment, determine the failures in the process of operation; investigation of the reliability of existing protective equipment in order to determine the direction of development of the optimum coating composition, the development of the optimal composition of the protective coating, resistant to the influence of welding splashes and wear during mechanical friction of the structural elements relative to the surfaces of the equipment. The following **results** were obtained. The article presents the research data of the authors of existing means of protection of surfaces of assembly and welding devices, the classifier of the main factors influencing reliability and durability of assembly and welding equipment and the classifier of failures in the course of equipment operation are developed. **Conclusions:** A methodology for determining the stability of protective coatings against the influence of welding splashes and mechanical movement of elements of welded structure has been developed.

Keywords: assembly and welding equipment; protective coatings; welding splashes; thickness of the protective film; distance of surface from welding zone; types of welding; durability; stability of the coating.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Роменський В. І., Невлюдова В. В., Персіянова О. Ю. Технологічні методи підвищення надійності складально-зварювальної оснастки при виробництві виробів радіоелектронного приладобудування. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 4 (10). С. 120–133. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.120>.

Romenskiy, V., Nevliudova, V., Persyanova, E. (2019), "Technological methods of improving the reliability of storage and welding equipment in the production of radio-electronic device products", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (10), P. 120–133. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.120>.