

3. Изменения указанных свойств оказывают значительное влияние на схватывание и трение фрикционных пар, а, следовательно, на характеристики технологических процессов сборки и работоспособность элементов конструкций летательных аппаратов.

### Л и т е р а т у р а

1. З у е в И.В., У г л о в А.А. Энергетические и кинетические характеристики процесса соединения материалов. Изд-во ДАН СССР, 1977, 233с. № 4. 649с.
2. А л е х и н В.П., М а з у р А.И. Исследование закономерностей объемного взаимодействия в процессе образования соединения при ультразвуковой сварке. - Физика и химия обработки материалов, 1974, № 6. 127с.
3. К о с т е ц к и й Б.И., К о л е с н и ч е н к о Н.Ф. Качество поверхности и трение в машинах. Киев: Техника, 1969.

УДК 621.791.763.2

**Д.С.Балковец**, М.Д.Рудман, А.С.Ивашин

### ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ

Исследование термомеханических процессов проводилось авторами при одновременной (групповой) рельефной сварке 6-8 одноточечных соединений на деталях толщиной 1,0 и 1,5 мм из стали 08.

Сварка осуществлялась по сферическим рельефам, которые выштамповывались в центре присоединительных площадок одной из двух соединяемых деталей.

Условия формирования литого ядра точки, возникновения вылесков при сварке и нагруженность сварного соединения в рабочем изделии могут быть охарактеризованы отношением  $v/\delta$ ,  $v/d$  и  $d/\delta$ , где  $v$  - ширина присоединительной площадки детали,  $\delta$  - ее толщина,  $d$  - диаметр литого ядра точки.

Геометрическая характеристика деталей и сварных соединений дана в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

## Геометрическая характеристика деталей и сварных соединений

Толщина детали $\delta$ , мм	Относительная ширина присоединительной площадки		Относительный диаметр сварной точки $d/\delta$
	$b/\delta$	$b/d$	
1,5	5,53	2,06	2,67
1,0	3,50	1,45	2,40

Чем меньше относительная ширина детали, тем затруднительней процесс сварки.

Сварка производилась униполярным импульсом тока на машине МРМШ-600 [1] и на конденсаторной машине [2] при параллельном включении и равномерном скатки сварочных контактов, деформация которых последовала с помощью датчиков перемещения электродов сварочного станка.

Процесс рельефной сварки можно представить состоящим из четырех стадий: 1 - холодное обжатие деталей; 2 - обжатие деталей при прохождении сварочного тока; 3 - расплавление металла сварочного контакта; 4 - кристаллизация расплавленного металла (табл. 2, см. вкладку).

В момент приложения сжимающего усилия детали обжимаются на незначительную величину за счет внедрения вершин рельефа в опорную площадку. Дальнейшее обжатие осуществляется со скоростью порядка 0,1...0,2 мм/с в течение 0,5...1,0 с при длительности предварительного скатки 1,4 ... 1,5 с., а затем прекращается. Форма и размеры контакта рельеф-опорная площадка определяется (при заданном сжимающем усилии) жесткостью рельефа и твердостью поверхности рельефа, опорной площадки и электродов [3, 4].

Величина обжатия свариваемых деталей, выраженная в процентах от исходной высоты рельефа, колеблется в значительных пределах - 10%...50%, что сказывается на последующих стадиях сварки. Меньшее начальное обжатие, как правило, имеет точки с большим объемом литого ядра.

Обжатие под током начинается через 0,01...0,02 с после начала импульса. На второй стадии обжатие имеет наибольшую величину, достигая 40...60% исходной высоты рельефа, и наибольшую скорость

до 7 мс/с. Так как большая часть тепла выделяется на рельефе, то сближение происходит, главным образом, за счет его деформации.

Площадь контакта между рельефом и прилегающей деталью увеличивается, а полость в теле рельефа заполняется металлом. Это приводит к уменьшению сопротивления сварочного контакта и рельефа и к увеличению теплоотода в прилегающую деталь [3]. Форма и размеры зоны интенсивного нагрева металла сварочного контакта, зависящие от скорости сближения, в какой-то мере определяют форму и размеры литого ядра. Диаметр литого ядра, например, близок к диаметру зоны интенсивного разогрева, а при значительной скорости сближения ядро имеет характерную грибовидную форму, сохраняя конфигурацию зоны интенсивного разогрева [4]. По мере прохождения сварочного тока увеличивается количество тепла, выделяющегося в сварочном контакте.

Через некоторое время от начала протекания сварочного тока (примерно 0,14...0,16 с при длительности импульса 0,25...0,28 с) начинается интенсивное расплавление металла сварочного контакта. Сближение электродов прекращается, начинается их раздвигание.

Образование т-чек с относительным диаметром литого ядра  $d/d_0$ , равным 1,8...3,7, сопровождается раздвиганием электродов на величину  $(0,62...2,8)\% \Sigma d$  со скоростью от 0,1...0,2 до 1,0...1,2 м/с. Максимальное раздвигание электродов наблюдается через 0,01...0,05 с после достижения сварочным током (и мощностью) максимального значения. С этого момента начинается сближение электродов.

После выключения первичного питающего напряжения начинается спад сварочного тока, сопровождаемый интенсификацией процессов теплоотода и кристаллизации расплавленного металла контакта. Этот процесс проявляется по сближению электродов. Так как раздвигание электродов, сопровождающее процесс расплавления сварочного контакта, начинается при неполноте осаживания рельефа, то собственно проковка начинается после того, как осаживание достигает величины, соответствующей началу плавления. Сближение электродов происходит до полного осаживания рельефа на величину порядка 1...3% суммарной толщины свариваемых деталей или 6...20% исходной высоты рельефа. Дальнейшая проковка не сопровождается заметным сближением электродов, так как площадь контакта свариваемых деталей резко увеличивается и становится равной площади контактной поверхности электродов.

Статистики распределения исходной высоты рельефов  $H_p$  и параметров деформации сварочных контактов  $D_H$ ,  $D_T$ ,  $D_{Hr}$ ,  $D_{Hr}$

для одной из серий опытов представлены в табл. 3, там же даны статистики распределения максимального значения сварочного тока  $I_{\text{макс}}$ .

Т а б л и ц а 3

Деформация сварочного контакта

Параметр	Статистика распределения			
	среднее значение параметра $\bar{X}$	размах ряда распределения $\omega, \%$	основное стандартное отклонение, $\sigma$	мера изменчивости ряда $\sigma / \bar{X}$
$H_p, \text{мм}$	$0,64 \pm 0,012$	30	$0,06 \pm 0,01$	9,4
$D_n, \% H_p$	$7,80 \pm 0,72$	180	$3,58 \pm 0,51$	46,0
$D_r, \% H_p$	$77,30 \pm 1,00$	14	$5,00 \pm 0,71$	6,5
$D_{np}, \% H_p$	$14,60 \pm 0,71$	118	$3,52 \pm 0,50$	24,1
$D_{nk}, \% \Sigma \sigma$	$2,40 \pm 0,08$	58	$0,41 \pm 0,06$	17,0
$I_{\text{макс}}, \text{КА}$	$4,70 \pm 0,04$	19	$0,19 \pm 0,03$	4,1

Примечание:  $\omega = \frac{X_{\text{макс}} - X_{\text{мин}}}{\bar{X}} 100\%$ ;  $\sigma = \frac{s}{\bar{X}} 100\%$ .

В ы в о д

В результате исследования:

1. - изучены стадии деформации рельефов;
2. - выявлены количественные показатели, характеризующие эти стадии;
3. - на основании полученных данных разработано устройство для контроля качества односторонних соединений, выполненных групповой рельефной сваркой [5, 6].

Л и т е р а т у р а

1. Рудман М.Д. Опыт рельефной сварки операторов маркированных изделий. - В кн.: Сварка новых высокопрочных материалов. - Куйбышев: КуАИ, 1967.

2. Рудман М.Д. Методика и результаты экспериментального изучения токораспределения при рельефной сварке сепараторов шаркоподшипников. Куйбышев: Труды КуАИ, вып. 7, 1968.
3. Рудман М.Д. Электрическое сопротивление при рельефной сварке. Известия вузов СССР. - Машиностроение, 1963, № 5.
4. Рудман М.Д. Образование сварного соединения при рельефной сварке сепараторов шаркоподшипников. - Автоматическая сварка, 1960, № 2.
5. Рудман М.Д., Иванин А.С., Курзин В.А. Контроль качества одноточечных соединений, выполненных групповой рельефной сваркой, по скорости теплового расширения металла. - В кн.: Вопросы производства летательных аппаратов. Куйбышев; Труды КуАИ, вып. 64, 1975.
6. Иванин А.С., Курзин В.А., Рудман М.Д. Устройство для определения качества сварного соединения по скорости теплового расширения металла. Авторское свидетельство СССР № 383555. Бюллетень № 24. 1973.

УДК 621.791.75.011

**Ф.И.Игтаев**, А.С.Нашацкий, А.В.Шавкунов,  
А.М.Мирошкеева, М.А.Лавренко -

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА НАПЛИВЕНИЯ НА СВОЙСТВА УПЛОТНЕНИЯ $Al-BN$ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

С целью повышения ресурса работы и технологичности при сборке узлов и агрегатов летательных аппаратов, в которых используются плазменные уплотнительные слои  $Al-BN$ , авторами проведены эксперименты по определению влияния режимов наплавки на свойства защитного покрытия.

Выполненные ранее исследования показали, что режим наплавки может оказывать значительное влияние на свойства уплотнительного слоя  $Al-BN$ . К режиму относятся ток дуги, расход аргона, расход водорода. От параметров струи зависят энтальпия, температура и скорость частиц вблизи  $Al-BN$  при наплавке, они в конечном счете и определяют свойства уплотнительного слоя.