

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Д. Б. ДАВИДЯН, А. Г. ОВАКИМЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ КОНЦОВ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАХЛЕСТОЧНЫХ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИИ  
НА ИХ ПРОЧНОСТЬ

Клеевым нахлесточным соединениям присущи концентрации напряжений. Изменением конструкции нахлестки удается снижать концентрации напряжений и, тем самым, повышать прочность соединений. К известным изменениям конструкций соединений относятся:

1. Выполнение скосов на субстрате со стороны противоположного адгезиву.

2. Выполнение на краях нахлестки клеевой прослойки из более деформативного клея, чем в средней части нахлестки.

3. Профилирование толщины клея по длине нахлестки снятием части субстрата.

4. Утолщение адгезива на концах нахлестки загибом субстрата.

5. Выполнение на концах нахлестки напылов адгезива и др.

В длинных нахлестках скосы повышают прочность соединения вдвое. Другие меры, как показывает экспериментальная проверка, позволяют повысить прочность на 15—20%, хотя следовало ожидать больший рост прочности. Для выяснения причин ограниченного роста прочности нами были проведены исследования соединений внахлестку на прочность при растяжении для различных конструктивных исполнений. Субстратом являлся сплав Д16АТ при ширине образцов 20 мм. Адгезивом служил клей состава: ЭД-5—100 в. ч., ДБФ—10 в. ч., ПЭПА—10 в. ч.,—с отверждением в течение 8 часов при 75°C [1]. При испытаниях скорость нагружающего зажима в измерительной машине была 10 мм/мин при шкале на 1000 кгс [2]. Показатели прочности для отдельных измерений нанесены точками на масштабной силовой оси таблицы 1, 2, 3. Проводилась статистическая обработка результатов эксперимента для позиций, в которых было испытано более 5 образцов. Определяли: среднее арифметическое значение прочности  $\bar{F}$ ; среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ ; вариационный коэффициент  $V$ ; среднюю ошибку среднего арифметического  $m$ ; показатель точности  $p$  [3]. Показатель точности, за редким исключением, не превышал 5% и в таблицах не представлен. Для некоторых позиций эксперименты повторялись. Для них результаты в таблицах представлены отдельными горизонтальными рядами точек. Характер разрушения для каждой конструкции

представлен в таблице только для образца, показавшего среднее арифметическое или близкое к нему значение прочности.

Таблица 1

№	Тип СОЕДИНЕНИЯ	P КГС										ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ	$\bar{P}$ КГС	$\sigma$	V	m	
		0	100	200	300	400	500	600	700	800	900						
1														224	56,5	2,5	13,3
2														300	5,1	1,7	1,8
3														339	50,0	14,8	12,9
4														285	25,6	9,0	8,0
5														349	87,0	24,5	35,5
6														381	90,0	23,6	16,2
7														249	16,3	5,0	6,6
8														325	37,7	11,6	9,2
9														484	86,9	17,9	21,1
10														249	36,0	14,4	8,7
11														191	-	-	-
12														443	110	24,5	30,3
13														205	-	-	-
14														268	42,3	15,8	13,3

Таблица 2

№	Тип СОЕДИНЕНИЯ	P КГС										$\bar{P}$ КГС	$\sigma$	V	m	
		0	100	200	300	400	500	600	700	800						
1													154 137-170	-	-	-
2													398	25	6,25	13,4
3													116 110-127	-	-	-
4													516	27	5,2	13,5

Таблица 3

№	Тип СОЕДИНЕНИЯ	P КГС										ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ	$\bar{P}$ КГС	
		0	100	200	300	400	500	600	700	800	900			
1														209 155-280
2														555 440-666

## Анализ результатов

1. Напльвы адгезива (поз. 2, 3, 4, табл. 1) повышают прочность соединений и уменьшают вариационный коэффициент по сравнению с обычным соединением (поз. 1).

2. Скругление концов субстрата со стороны адгезива в сочетании с вогнутым радиусным напльвом (поз. 5, 6) не существенно увеличивает прочность по сравнению с соединением поз. 2, но резко повышает вариационный коэффициент. Эти же соединения без радиусного напльва адгезива (поз. 10) имеют прочность обычной нахлестки (поз. 1), несмотря на некоторое увеличение деформативности конца соединения.

3. Боковое скругление субстрата в сочетании с конструкцией соединения поз. 6 увеличивает прочность, но вариационный коэффициент остается высоким (поз. 12).

4. Вариационный коэффициент зависит от трех факторов: неоднородности материалов, отклонений в технологии, ошибок в методике испытаний [4]. Обычно исследователями обращается большое внимание на уменьшение разбросов показаний прочности, для чего максимально строго выдерживаются условия для получения и испытания одинаковых бездефектных образцов. К сожалению, полностью избавиться от дефектов трудно, и, поэтому, при подготовке образцов фиксировались видимые дефекты, такие как сколы, пузыри в адгезиве, перекосы субстрата, разнотолщинность адгезива по шву и др. После испытаний, как правило, обнаруживалась независимость прочности от выявленных дефектов и не удавалось снизить разбросы [5].

Угловая разделка на лобовой части субстрата (поз. 7, 8, 9) увеличивает прочность, но при этом, с увеличением угла, линейно растет вариационный коэффициент (рис. 1). Обращает на себя внимание не-

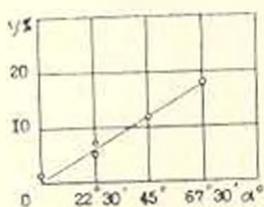


Рис. 1

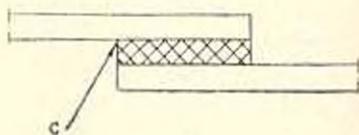


Рис. 2

обычно маленькое значение вариационного коэффициента при отсутствии угловой разделки на конце субстрата (поз. 2). Это указывает на существование еще и других причин, влияющих на разбросы. Одной из этих причин является конструкция соединения, от которой зависит распределение напряжений в клеевой прослойке. При наличии особенности напряжений на крае соединения в соответствующей задаче теории упругости, эти напряжения в действительности очень быстро достигают уровня разрушающих напряжений, и поверхностные дефек-

ты очень сильно будут ограничивать общую прочность соединения при достаточно жестких адгезивах, отсюда и большие разбросы. При малонапряженности края поверхности соединения максимальные напряжения достигаются в толще адгезива, где дефекты менее опасны, а отсюда и меньше разбросаны в прочности [6].

Анализ характера разбросов показывает, что для позиций 3, 4, 8, 10, 14 они выглядят нормально. Для позиций 6, 9, 12 наблюдается определенная закономерность в разбросах, а именно, разбросы вычисляются в пределах начала пластической деформации субстрата в области С (рис. 2) при  $P=200-300$  кгс, величина  $P$  зависит от конструкции соединения, — начало образования шейки на субстрате, что соответствует силе  $P=650$  кгс. Наибольшая прочность  $P=644$  кгс, полученная при всех испытаниях, является почти максимальной возможной, так как почти такая же прочность была получена и при ограничении на раздир обычной пахлестки (поз. 1), когда разрушение определяется пластической деформацией субстрата.

5. Снятие радиусного наплыва с образцов позиции 9 резко снижает прочность (поз. 11). Это объясняется тем, что в наиболее нагруженной области С (рис. 2) неблагоприятна геометрия соединения адгезива с субстратом. Подобная же картина наблюдается и в позициях 1, 10, 13, 14. При этом, несмотря на увеличение деформативности концов (поз. 13) и увеличение жесткости наиболее нагруженной зоны субстрата (поз. 14), существенного роста прочности не наблюдалось. Поэтому и не было значительного роста прочности, когда загибом субстрата увеличивали деформативность концов пахлестки. Как это видно из табл. 2, прочность соединения с загибом субстрата растет только тогда, когда имеется вогнутый наплыв адгезива. При этом, соединения с вогнутым наплывом адгезива характеризуются небольшим вариационным коэффициентом.

6. Характер разрушения образцов соответствует «концевому эффекту», заключающемуся в том, что разрушение начинается в области С (рис. 2) и имеет наиболее характерный вид для позиций 3 и 4 (табл. 1). Для всех позиций наблюдались остатки клея на концах пахлестки в виде треугольника со стороной, наклоненной под углом 45° к плоскости образца. Считается, что в точке С (рис. 2) находятся максимум касательных напряжений, и поскольку разрушение не начиналось в этой точке, то причиной разрушения являлся раздир.

Сложным характером разрушения отличается двусторонняя пахлестка, где основную нагрузку как бы воспринимает одна пара пахлестки. В табл. 3 эта пара нижняя. Характер разрушения этой пары не отличается от обычного разрушения. Верхняя пара имеет совершенно не похожий на наблюдавшийся нами до сих пор характер разрушения. Адгезионное расслоение не создало так называемого «концевого эффекта». Этот тип разрушения не препятствует сдвигу. То, что верхний образец не загибнут, свидетельствует о том, что разрушение начиналось в верхней паре образцов. Разрушение в виде адгезионного расслоения быстро разгружало верхнюю пару, и нагрузка, помимо

большей величины, чем может выдержать одна из пар двусторонней нахлестки, оказывалась ударно приложенной к одной паре (нижней), и пара разрушалась без значительного изгиба нахлесточной части образцов. В то же время при медленном нарастании нагрузки (10 мм/мин) для поз. 12 (табл. 1) при тех же условиях наблюдалась значительная пластическая деформация при изгибе нахлесточной части образцов.

7. Определен конец нахлестки, в котором начиналось разрушение; для этого использовали известный прием обрыва токопроводящей дорожки с соответствующей индикацией на электролампах. В результате были выявлены начальные зоны разрушения, что в табл. 1 соответствует правой стороне нахлестки, кроме позиций 3 и 4, в которых картина разрушения симметрична.

Было выявлено 4 типа разрушения:

а) Субстрат упруг (после разрушения отсутствует остаточная пластическая деформация,  $P_{ост} = 150 - 230$  кгс). Такой тип разрушения характерен для позиций 11, 13 и встречается почти во всех позициях таблицы.

б) Субстрат деформирован. На одном из образцов имеется остаток клея. На противоположном образце остатка клея нет. На концах нахлестки имеются остатки клея в виде треугольника. Характерен для поз. 2, 5, 6 и др.

в) Субстрат деформирован. Центральная часть клея выпадает. Характер для поз. 3.

г) Субстрат деформирован. Образуется полностью замкнутая система — «замок». Характерен для поз. 4.

### Выводы

1. Установлено существенное влияние конструкции нахлестки и формы наплыва адгезива на их прочность и вариационный коэффициент. Прочность двух типов из исследованных нахлесток оказалась вдвое выше прочности обычной нахлестки. Вариационный коэффициент для отдельных видов нахлестки уменьшался от 25% для обычной нахлестки до 1,7% для нахлестки с радиусным наплывом адгезива на концах.

2. Обнаружена линейная зависимость значений вариационного коэффициента от угла разделки лобовой части субстрата в сочетании с вогнутым радиусным наплывом

Գ. Ք. ԳԱՎԻՅԱՆ, Ա. Գ. ՆՈՎԱԿՈՎՅԱՆ

ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՄԱՅՐԱՆԱՍԻ ՍՈՍՆՉԱՅԻՆ ՄԻԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ  
ՎՐԱ ՆՐԱՆՑ ԵՉՐԵՐԻ ԿՈՆՍՏՐՈՒՑԻԱՅԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ  
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

Փորձարարական և տաղանթային շատաառված է մետաղական նայրածածկ սոսնձային միացությունների եզրերի կոնստրուկցիայի և սոսնձանյութի հորդվածքի ձևի էական ազդեցությունը նրանց ամրության ու վարիացիայի դրսևակցի վրա:

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Черняк К. И. Эпоксидные компаунды и их применение. Судпромгиз, Л., 1963.
2. Карошиш Д. А. Синтетические клеи. Изд. «Химия», М., 1968.
3. Ломтчев Н. Л. Техника статистических вычислений. Изд. «Лесная промышленность», М., 1966.
4. Ауристо Н. и др. В сб. «I Всесоюзная конференция по клеям и технологии склеивания», Таллин, М., 1966.
5. Андреевская Г. Д. Высокопрочные ориентированные стеклопластики. Изд. «Наука», М., 1966.
6. Авторское свидетельство СССР № 307869.