

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАСТООБРАЗНЫХ КЛЕЕВ ФИРМЫ 3М ДЛЯ СКЛЕИВАНИЯ И РЕМОНТА КОМПОЗИТНЫХ ПАНЕЛЕЙ

### Введение

Как известно, от качества склеивания панельных конструкций агрегатов самолетов из полимерных композиционных материалов (ПКМ), а также их ремонта при доработке в производстве и эксплуатации существенно зависят их несущая способность, надежность и ресурс [1 – 6]. В процессе изготовления, доработок существующих и создания новых композитных конструкций неизбежно возникновение технологических дефектов, обусловленных несовершенством технологического оснащения, сложностью конструкций или нетехнологичностью выбранного материала. Некоторые виды и типы таких дефектов, причины их возникновения достаточно подробно проанализированы и описаны в наших работах [7 – 8]. Кроме этого, часто приходится выполнять ремонтные работы композитных конструкций в «полевых» условиях для обеспечения возможности для перелета самолета на аэродром базирования и выполнения капитального ремонта поврежденных конструкций или их замены.

Для выполнения вышесказанных задач на ГП «Антонов» широко используется эпоксидный двухкомпонентный клей ВК-9, разработанный в 80-х годах. Предел прочности при сдвиге ВК-9 при различных температурах испытаний приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Предел прочности при сдвиге клея ВК-9  
при различных температурах испытаний

$T_{исп}, ^\circ\text{C}$	Предел прочности на сдвиг при склейке пластин из анодированного сплава Д16Т, МПа
20	14,0
80	5,5
125	4,5
200...250	кратковременно

В отличие от ряда пленочных клеев серии ВК, имевших существенно более высокую прочность на сдвиг, ВК-9 достаточно технологичен и отвечает требованиям к прочностным характеристикам, их стабильности и в особенности экономическим показателям. Широкий температурный диапазон отверждения этого клея позволяет его использовать в самых различных случаях и для решения различных задач.

Целью данной работы является поиск более современного аналога клея ВК-9, производимого за рубежом с более высокими прочностными характеристиками при работе конструкций из ПКМ в интервале температур 25 $^\circ\text{C}$  - 200 $^\circ\text{C}$ . Для этого был проведен поиск наиболее доступных

клеев, аналогичных клею ВК-9. В результате поиска был сделан выбор в пользу серии клеев Scotch-Weld фирмы 3М (США).

Для достижения этой цели были исследованы технологические и прочностные свойства клеев. Выполнен сравнительный анализ полученных характеристик с клеем ВК-9, а также сделаны выводы об их применении.

Ниже приведено краткое описание исследуемых клеев.

1. Scotch-Weld DP100FR – двухкомпонентный эпоксидный клей, огнестойкий (самозатухающий). Клей соответствует сертификату UL94V-0 (стандарт безопасности на горючесть пластиковых деталей, стандарт выпущен Underwriters Laboratories USA), горение прекращается в течение 10 секунд на вертикальных образцах. Прошел испытания для применения в интерьере самолетов согласно сертификату 14 CFR 25.853.

Физические свойства клея SW DP100FR приведены в табл. 2, а его характеристики прочности на сдвиг при различных условиях – в табл. 3.

Таблица 2 – Физические свойства клея SW DP100FR

Характеристика	Основа	Отвердитель
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,3	1,23
Соотношение компонентов по весу	100	100
Время достижения транспортной прочности (0,35 МПа)	10...20 мин. при 23°C	
Время достижения максимальной прочности	24 часа	
Твердость по Шору D (ASTM D2240)	87	
Вязкость по Брукфильду	45000...90000	40000...120000

Таблица 3 – Прочностные характеристики клея SW DP100FR на сдвиг

Термостойкость при нагрузках на сдвиг (алюминий, подвергнутый травлению)	
Температура, °C	Прочность на сдвиг, МПа
- 55	8,6
23	15,2
82 (15 минут)	5,5
Устойчивость к внешним воздействиям (алюминий, подвергнутый травлению)	
Условия	Прочность на сдвиг, МПа
30 дней, влажность 50 %, T =23°C	15,2
30 дней в воде при T =23°C	14,9
30 дней в солевом тумане при T =23°C	18,6
Усилие на сдвиг при склейке различных материалов при 23°C, МПа	
Алюминий (протравленный)	15,2
Сталь (протравленная)	7,7
АБС	2,9
ПВХ	1,7
Поликарбонат	1,5
Акрил	1,0
Стеклопластик	4,2

В ходе проведения экспериментальных работ определено, что полимеризованный клей можно разогреть технологическим феном до температуры 80...100 °С, при этом клей вновь становится вязким и появляется возможность доработки в случае обнаружения каких-либо несоответствий, либо в случае, если клей не успели нанести на всю склеиваемую поверхность в 5-и минутный интервал.

2. Scotch-Weld DP760 – двухкомпонентный эпоксидный клей (паста), разработанный для работы в условиях повышенных температур. Смешивание системой EPX. Физические свойства клея и его прочность на сдвиг приведены в табл. 4 и 5 соответственно. В табл. 5 приведены результаты, полученные на образцах из протравленного алюминия толщиной 1,6 мм (отверждение при  $T=65\pm 3^\circ\text{C}$  в течение 120 минут при давлении 0,1 МПа).

Таблица 4 – Физические свойства клея SW DP760

Состав	Основа	Отвердитель
	Эпоксидная смола	Модифицированные амины
Цвет	Белый	Белый
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,26	0,82
Соотношение компонентов по объему	100	50
	100	32
Вязкость	Неоседающая паста	
Время жизнеспособности при 23°C	40...60 минут	
Время достижения максимальной прочности	24 часа	
Срок хранения	6 месяцев при условии хранения в оригинальной упаковке при температуре 21...25°C и относительной влажности 50 %; при $T=18^\circ\text{C}$ – 2 года	

Таблица 5 – Прочность клея SW DP760 на сдвиг

Температура испытаний, °С	Прочность, МПа
- 55±3	19,4
23±3	28,2
80±2	24,1
120±3	16,2
150±3	10,4
175±3	7,6
205±3	4,9
230±3	2,9

Показатели устойчивости клея к воздействию внешних факторов приведены в табл. 6.

В таблице приведены результаты, полученные на протравленном алюминии толщиной 1,6 мм после выдержки при 23°C в течение 7 дней. Испытания были проведены после старения в течение 750 часов при T =23°C. Преимуществом данного клея является способ его нанесения – через систему EPX в больших картриджах, что позволяет размешивать клей в необходимом количестве прямо из баллонов, после использования оставшийся клей хранится в компонентах для дальнейшего использования.

Таблица 6 – Устойчивость к воздействию внешних факторов клея SW DP760

Прочность на сдвиг, МПа	
Условия	Результаты тестов
Относительная влажность 50 %, T=23°C	28,8
В воде при T=23°C	29,1
Сухой нагрев до 150 °C	21,4
Топливо JP4	28,9
Моторное масло	27,8
Гидравлическое масло	27,2
50°C при относительной влажности >95%	24,9
5 % соляной аэрозоль при T=35°C	28,1

3. Scotch-Weld 7260/7270 – двухкомпонентный эпоксидный клей холодного отверждения с высокими прочностными характеристиками до 35,0 МПа на разрыв (при склеивании протравленного алюминия). Смешивание системой EPX. Физические свойства клея представлены в табл. 7.

Жизнеспособность клея SW DP 7260 60...90 минут при температуре помещения 20...23°C.

Таблица 7 – Физические свойства клея SW 7260/7270

Состав	Основа	Отвердитель
	Эпоксидная смола	Модифицированные амины
Цвет	черный/желтый	белый/красный
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,35	1,04
Соотношение компонентов по объему	1	1
по весу	1	1,3
Вязкость	Неоседающая паста	
Время жизнеспособности при 23°C	30 минут	
Время достижения транспортной прочности (0,35 МПа)	90 минут	
Время достижения максимальной прочности	24 часа при T=23°C	
Вязкость по Брукфильду	430000	
Твердость по Shore D	85	

4. Scotch-Weld DP 270 – двухкомпонентный эпоксидный адгезив, предназначен для подклеивания, заливки, консулирования электронных компонентов. Выпускается в двух цветах: черный и бесцветный. Не вызывает коррозию меди, устойчив к термическим ударам и обладает высокими изоляционными свойствами при высокой влажности.

Физические характеристики клея приведены в табл. 8, а электрические – в табл. 9.

Таблица 8 – Физические свойства клея SW DP 270

Состав	Основа	Отвердитель
	Эпоксидная смола	Модифицированные амины
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,15	0,98
Вязкость	22000	18000
Время жизнеспособности при 23°C	60...70 минут	
Время достижения транспортной прочности (0,35 МПа)	90 минут	
Время достижения максимальной прочности	48 часов	
Срок хранения	12 месяцев при условии хранения в оригинальной упаковке при температуре 21...25°C и относительной влажности 50%; при T=18°C – 2 года	

Таблица 9 – Электрические свойства клея SW DP 270

Диэлектрическая постоянная (ASTM D 150)	3,5 при 1 кГц и 23°C
Коэффициент рассеивания (ASTM D 150)	0,0018 при 1 кГц и 23°C
Диэлектрическая прочность (ASTM D 149)	850 В/мил
Объемное сопротивление (ASTM D 257)	$4,1 \cdot 10^{-14}$ Ом см

5. Scotch-Weld Metal Primer 3901 является грунтовкой, применяемой с пленочными связующими «3M™ Scotch-Weld™» и жидкими клеями в тех случаях, когда необходимо получить улучшенную адгезию металла и стекла или улучшенное сопротивление воздействию окружающей среды при применении эпоксидного клея на основе полиуретана.

Грунтовка имеет следующие характеристики:

- обеспечивает полное смачивание пленочным связующим склеиваемых поверхностей;
- упрощает производственное планирование путем защиты очищенных поверхностей до завершения процесса склеивания;
- обеспечивает повышенную защиту от коррозии металлу.

Физические характеристики продукта приведены в табл. 10.

Таблица 10 – Физические свойства Primer 3901

Цвет	Красный
Основа	Синтетическая смола
Растворитель	Метиловый спирт
Вязкость	5±2 cps (по Брукфильду, RVF, No.) 1 шпindel, при 20 об. в мин. при 27°C)
Вес нетто	6,5±0,2 фунтов/галлон
Температура воспламенения	16°C

6.Scotch–Weld DP 100/105/110 – двухкомпонентные эпоксидные адгезивы-герметики, имеют прозрачную структуру. Отверждаются при комнатной температуре. Клеи быстрого отверждения, время жизнеспособности 4...10 мин., после полимеризации остаются эластичными, подходят для склеивания разнотипных прозрачных поверхностей с различным коэффициентом температурного расширения. Высокая стойкость к ударным нагрузкам.

В табл. 11 –12 представлены сведения о физических свойствах и прочностных характеристиках клеев SW DP100/105/110.

Таблица 11 – Физические свойства клеев SW DP100/105/110

	Основа	Отвердитель
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,16/1,11	1,15/1,14
Соотношение компонентов по весу	1	1
Время достижения транспортной прочности (0,35 МПа)	10...20 мин. при 23°C	
Время достижения максимальной прочности	48 часов	
Твердость по Shore D (ASTM D2240)	40	

Таблица 12 – Прочностные характеристики клеев SW DP100/105/110

Прочность на сдвиг, при различных температурах, МПа. Отверждение при 71±3°C в течение 120 мин. и при комнатной температуре	
Температура испытаний, °C	Прочность, МПа
-55	24,1
21	13,8
49	2,8
66	1,7
82	1,0
Образцы изготовлены из протравленного алюминия толщиной 1,6 мм.	

SW DP100/105/110 наносится кистью, валиком или пульверизатором на очищенную, обезжиренную поверхность. После нанесения подслоя требует выдержки в течение 60 мин. при комнатной температуре до высыхания перед нанесением адгезива. Высокотоксичный, работать необходимо со средствами индивидуальной защиты.

Подготовка к проведению экспериментальных исследований.

При проведении экспериментальных работ использовались следующие материалы:

а) Клеи:

- Scotch-Weld DP100FR (SW DP100FR);
- Scotch-Weld DP760 (SW DP760);
- Scotch-Weld 7260 (SW 7260);
- Scotch-Weld 7270 (SW 7270);
- Scotch-Weld 270 (SW 270);
- Scotch-Weld 100/105/110 (не испытывались на сдвиг);

б) металлические пластины (60×20×2 мм);

в) пластины из стеклопластика (Т-10-80 на связующем ЭДТ-69Н);

г) пластины из углепластика (УТ-900-3А на связующем ЭДТ-69Н);

д) пластины из гибридной ткани (Т-42/1-76 на связующем ЭДТ-69Н);

е) клеевой подслои (праймер) Metal Primer 3901 (для образцов из металла).

Для проведения испытаний реализованы следующие варианты склейки образцов для всех видов клеев:

а) металл + металл;

б) стеклопластик + стеклопластик;

в) углепластик + углепластик;

г) стеклоорганопластик + стеклоорганопластик.

Для клея SW DP760 было изготовлено три партии образцов (рис. 1), для испытаний на сдвиг при различной температуре среды (23, 80, 175°C). Остальные образцы были изготовлены по одной партии, в каждой партии по три образца соединений из разных материалов.

Клеи смешивались и наносились на подготовленную поверхность при помощи аппликатора системы EPX, затем клеевой слой равномерно распределялся шпателем с прорезями.

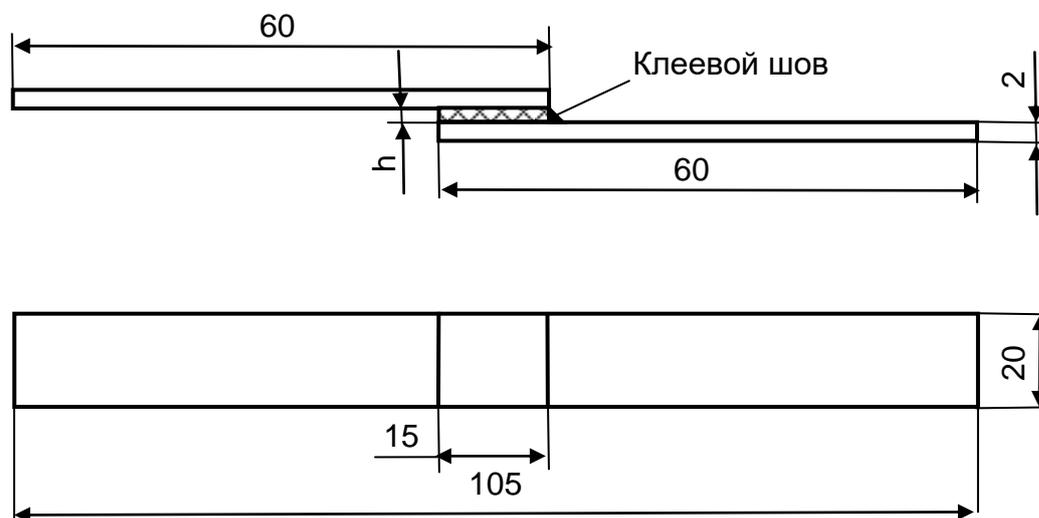


Рисунок 1 – Форма и размеры образцов для испытаний клеевых соединений на сдвиг

Образцы склеивались по индивидуальным режимам для каждого вида клея. Режим склеивания был подобран с учетом предоставленных фирмой 3М рекомендаций и с учетом требований по режимам склеивания для ГП «Антонов» (приблизенным к режиму склеивания для клея ВК-9 – 1 час при температуре  $60\pm 5^{\circ}\text{C}$  и давлении 0,07...0,1 МПа). Клеи Scotch-Weld DP760, 7260/7270, 270 и SW7270 с подслоем Metal Primer 3901 устанавливались на подкладной лист и отверждались в печи под вакуумным мешком.

Образцы клея Scotch-Weld DP100FR после сборки отверждались при комнатной температуре в течение часа, давление создавалось вакуумным мешком (0,055 МПа), а затем образцы выдерживались при комнатной температуре в течение 72 часов.

Образцы из клея Scotch-Weld DP 760 после сборки отверждались в печи при температуре  $80^{\circ}\text{C}$  в течении часа под давлением вакуумного мешка (0,095 МПа), а затем образцы выдерживались при комнатной температуре в течение 72 часов.

Образцы из клея Scotch-Weld 7270 и Scotch-Weld DP 270 после сборки отверждались при температуре  $60\pm 5^{\circ}\text{C}$  в течении часа под давлением вакуумного мешка (0,095 МПа), затем они выдерживались при комнатной температуре в течении 72 часов. Испытания на сдвиг проводились при комнатной температуре  $20...23^{\circ}\text{C}$ .

На образцы из продукта Scotch-Weld 7270 + Scotch-Weld Metal Primer 3901 предварительно наносился один слой грунта Scotch-Weld Metal Primer 3901, затем прогрунтованные образцы выдерживались в течение часа при комнатной температуре ( $+23^{\circ}\text{C}$ ), после высыхания грунта наносился клей Scotch-Weld 7270. Собранные образцы отверждались при температуре  $60\pm 5^{\circ}\text{C}$  в течение часа под давлением вакуумного мешка ( $p=0,095$  МПа), затем образцы выдерживались при комнатной температуре в течение 72 часов.

Результаты испытаний на сдвиг образцов клеевых соединений.

Испытания проводились на стандартном оборудовании. Результаты испытаний занесены в табл. 13 – 15.

Таблица 13 – Результаты испытаний на сдвиг клеев Scotch-Weld DP 100FR, DP760, 7260, 7270, DP270

Материал образцов	Длина клеевого слоя, мм	Ширина клеевого слоя, мм	Разрушающее усилие, Н	Предел прочности, МПа	Характер разрушения
<b>Scotch-Weld DP 100FR (при комнатной температуре)</b>					
металл	15,3	20,0	514	1,7	по клею
металл	14,7	20,4	738	2,5	по клею
Т-10-80	13,0	19,7	1493	5,8	по клею
Т-10-80	13,3	20,7	2768	10,1	по клею
УТ-900	14,7	20,2	2321	7,8	по клею
УТ-900	13,3	19,7	2126	8,1	по клею
Т-42	14,6	20,6	2427	8,1	по клею

Продолжение табл. 13

Материал образцов	Длина клеевого слоя, мм	Ширина клеевого слоя, мм	Разрушающее усилие, Н	Предел прочности, МПа	Характер разрушения
T-42	16,5	20,7	2334	6,8	по клею
T-42	15,5	21,9	2181	6,4	по клею
<b>Scotch-Weld DP760(при комнатной температуре)</b>					
металл	15,6	19,4	2580	8,5	по клею
металл	16,0	19,0	1998	6,6	по клею
металл	16,5	19,1	2227	7,1	по клею
T-10-80	15,4	20,0	3278	10,6	по матер.
T-10-80	15,0	20,5	3181	10,3	по матер.
T-10-80	14,6	20,2	3441	11,7	по матер.
УТ-900	16,1	20,3	5524	16,9	по клею
УТ-900	15,5	20,2	5085	16,2	по матер.
УТ-900	16,5	20,2	3841	11,5	по клею
T-42	15,0	20,0	3600	12,0	по матер.
T-42	15,8	20,2	4301	13,5	по матер.
T-42	15,2	21,0	4261	13,3	по матер.
<b>Scotch-Weld 7260 (при комнатной температуре)</b>					
металл	15,0	19,3	5815	20,1	по клею
металл	14,5	18,5	5265	19,6	по клею
металл	14,3	19,4	5521	19,9	по клею
T-10-80	14,5	20,0	3603	12,4	по матер.
T-10-80	13,8	20,1	3199	11,3	по матер.
T-10-80	14,7	20,1	3496	11,8	по матер.
УТ-900	14,6	19,0	5495	19,8	по клею
УТ-900	15,5	19,6	5871	19,3	по матер.
УТ-900	14,5	19,4	5126	18,2	по клею
T-42	15,9	21,4	4277	12,6	по матер.
T-42	14,5	21,5	2409	7,7	по клею
T-42	14,3	21,7	3866	12,5	по клею
<b>7270 (при комнатной температуре)</b>					
металл	17,1	19,2	1930	5,88	по клею
металл	16,9	19,7	3230	9,7	по клею
металл	17,1	19,6	2730	8,15	по клею
T-10-80	16,6	20,1	2930	8,77	по клею
T-10-80	15,7	20,2	2540	7,99	по матер.
<b>Scotch-Weld DP270 (при комнатной температуре)</b>					
металл	Сломался до проведения испытаний				
металл	16	19,7	130	0,41	по клею
металл	15,6	19,7	240	0,78	по клею
T-10-80	15,7	20	1760	5,61	по клею
T-10-80	15,8	20,3	1560	4,86	по клею
T-10-80	15,3	20	1740	5,69	по клею
УТ-900	14,2	19,2	1490	5,49	по клею
УТ-900	14,3	18,7	2250	8,41	по клею
УТ-900	14	20,3	1560	5,49	по клею
T-42	15,1	21,5	2730	8,41	по клею
T-42	15,5	20,3	3090	9,82	по клею
T-42	16,1	21,2	3540	10,37	по клею

Таблица 14 – Результаты испытаний на сдвиг клея Scotch-Weld DP760

Материал образцов	Длина клеевого слоя, мм	Ширина клеевого слоя, мм	Разрушающее усилие, Н	Предел прочности, МПа	Характер разрушения
<b>DP760 (при температуре среды +80°C)</b>					
металл	15,3	19,3	2425	8,2	по клею
металл	17,2	19,1	1641	5,0	по клею
металл	15,8	18,9	1886	6,3	по клею
T-10-80	14,3	20,3	2751	9,5	по матер.
T-10-80	16,2	20,2	2761	8,4	по матер.
T-10-80	15,6	20,2	2656	8,4	по матер.
УТ-900	14,4	20,2	4507	15,5	по клею
УТ-900	15,3	20,3	4422	14,2	по клею
УТ-900	14,6	20,3	3317	11,2	по клею
T-42	16,2	21,1	3728	10,9	по матер.
T-42	15,7	21,1	3087	9,3	по матер.
T-42	16,6	21,0	3545	10,2	по клею
<b>Scotch-Weld DP760 (при температуре среды +175°C)</b>					
металл	15,5	19,2	885	3,0	по клею
металл	15,8	19,0	884	2,9	по клею
металл	14,9	18,6	-	-	разрушение при установке
T-10-80	16,0	20,3	728	2,2	по клею
T-10-80	14,0	20,0	663	2,4	по клею
T-10-80	15,0	20,1	588	1,95	по клею
УТ-900	17,0	19,1	849	2,6	по клею
УТ-900	15,1	20,2	707	2,3	по клею
УТ-900	15,6	20,3	905	2,9	по клею
T-42	15,6	20,3	482	1,5	по матер.
T-42	14,7	21,2	414	1,3	по матер.
T-42	16,2	21,5	430	1,2	по матер.

Таблица 15 – Результаты испытаний на сдвиг клея Scotch-Weld 7270 + грунт Scotch-Weld Metal Primer 3901 (при комнатной температуре)

Материал образцов	Длина клеевого слоя, мм	Ширина клеевого слоя, мм	Разрушающее усилие, Н	Предел прочности, МПа	Характер разрушения
металл	16	18,9	3890	13,01	по клею
металл	15,6	17	2520	9,5	по клею
металл	16,8	19,8	3780	11,35	по клею
T-10-80	16,3	20,2	3060	9,3	по матер.
T-10-80	16	20,1	2630	8,17	по матер.
T-10-80	16,2	20,4	2510	7,61	по матер.
УТ-900	14,3	19,7	2520	8,95	по клею
УТ-900	13,1	20,8	594	2,18	по клею
УТ-900	14,2	20,3	834	2,89	по клею
T-42	15,1	21,4	3390	10,48	по матер.
T-42	15,8	21,6	2760	8,1	по матер.
T-42	14,6	20,4	2800	9,42	по матер.

## Выводы

1. По результатам испытаний образцов на клее Scotch-Weld DP100FR определено, что прочность на сдвиг в сравнении с клеем ВК-9 (14 МПа – среднее для металла) значительно меньшая, в среднем 6,4 МПа. Его основным преимуществом, является быстрое время отверждения (до 5 мин.), но из-за недостаточной прочности его применение в силовых агрегатах самолета не является эффективным. Быстрое отверждение делает его пригодным для оперативного устранения или ремонта небольших дефектов композитных конструкций. Адгезионная способность клея практически теряется по истечении 5 мин.

2. Результаты испытаний образцов на клее Scotch-Weld 7260 показали высокую среднюю прочность на сдвиг, в сравнении с клеем ВК-9. Предел прочности на сдвиг как на металле, так и на пластиках достигает 20 МПа, что на 25% превышает характеристики ВК-9. Режим отверждения, жизнеспособность и технология работы с клеем Scotch-Weld 7260 – идентичны клею ВК-9.

В печи клей отверждается при температуре 60°C в течение часа, имеет длительную живучесть, существует возможность его использование от 1,5 до 5 часов. При комнатной температуре за 24 часа приобретает максимальную прочность (при условии нормальных климатических условий работы: температура от 18 до 30°C и относительная влажность до 75%).

Клей Scotch-Weld 7260 является наиболее подходящим аналогом клея ВК-9, он имеет высокие прочностные характеристики, практически не обладает запахом и технологичен в работе. Может быть рекомендован для ремонта и склейки деталей и агрегатов из ПКМ.

3. Клей Scotch-Weld DP760 по результатам испытаний показал среднюю прочность на сдвиг при комнатной температуре 12 МПа, и в некоторых случаях 14 МПа, что соответствует требованиям, предъявляемым к клею ВК-9.

По данным производителей этот клей является высокотемпературным, испытания образцов на сдвиг при температурах 80 °C и 175°C выявили результаты, сравнимые с клеем ВК-9. По полученным данным от компании 3М (табл. 4), результатам испытаний (табл. 14) можно сделать вывод, что прочность на сдвиг как при комнатной так и при повышенных температурах превышает прочностные характеристики клея ВК-9. Данный клей может быть рекомендован для ремонта и склейки деталей и агрегатов из ПКМ, работающих при повышенных температурах. Недостатком данного клея является длительное время достижения его максимальной прочности, так как после термообработки рекомендуется выдержать при комнатной температуре в течение 7 суток.

4. Клей Scotch-Weld DP 270 обладает высокой текучестью, что негативно сказывается на процессе склейки: клей вытекает, не создавая до-

статочного слоя для склейки материалов, что снижает его прочность при сдвиге (см. табл. 13), которая значительно ниже аналогичных показателей на клее ВК-9.

Клей может быть рекомендован для проливки электрических соединений и склейки элементов, требующих высокой электропроводимости и защиты от попадания влаги. Недостатком является малое время жизнеспособности – 30...60 мин. при комнатной температуре и то, что он достигает максимальной прочности после 24 часов.

5. Scotch-Weld 7270 отверждается по режиму, идентичному ВК-9. После проведения испытаний на сдвиг (см. табл. 13) установлено, что его прочность на сдвиг уступает ВК-9.

6. Scotch-Weld Metal Primer 3901 является подслоем для улучшения адгезивных свойств клеев. Применяемый в сочетании с клеем SW 7270 показал результаты минимум на 30% выше на различных материалах (табл. 15) чем без предварительного нанесения подслоя. Рекомендуется для нанесения перед склеиванием деталей агрегатов из ПКМ и металла, для повышения прочностных характеристик склейки.

7. Клеи Scotch-Weld DP 100/105/110 являются герметиками, после полимеризации остаются в эластичном состоянии. Рекомендованная область применения – герметизация и соединение поверхностей с различными коэффициентами линейного термического расширения.

### **Список использованных источников**

1. Кардашов, Д.А. Эпоксидные клеи [Текст] / Д.А. Кардашов. – М.: Химия, 1973. – 191с.

2. Кейгл, Ч. Клеевые соединения: Справочник [Текст] / Ч. Кейгл. – М.: Мир, 1971. – 296 с.

3. Капелюшник, И.И. Технология склеивания деталей в самолетостроении [Текст] / И.И. Капелюшник, И.И. Михалев, Б.Д. Эйдельман. – М.: Машиностроение, 1972. – 224 с.

4. Композиционные материалы: Справочник [Текст] / Под ред. д.т.н., профессора Д.М. Карпиноса. – К.: Наукова думка, 1985. – 592 с.

5. Композиционные материалы: Справочник [Текст] / Под общ. ред. В.В. Васильева и Ю.М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.

6. Михайлин, Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы [Текст] / Ю.А. Михайлин. – СПб.: Науч. основы и технологии, 2008. – 822 с.

7. Андреев, А.В. Эксплуатационная несущая способность конструкций отечественных и зарубежных воздушных судов транспортной категории из полимерных композиционных материалов. Часть 1. Общая постановка задачи. [Текст] / А.В. Андреев, А.С. Бычков, А.В. Кондратьев //

Вестник Одесского национального морского университета. – 2016. – № 1 (47). – С. 60-69.

8. Андреев, А.В. Эксплуатационная несущая способность конструкций отечественных и зарубежных воздушных судов транспортной категории из полимерных композиционных материалов. Часть 2. Анализ видов, характера и частоты эксплуатационных повреждений. [Текст] / А.В. Андреев, А.С. Бычков, А.В. Кондратьев // Вестник Одесского национального морского университета. – 2016. – № 2 (48). – С. 180 – 195.

*Поступила в редакцию 16.01.2017.*

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук,  
Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*