

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ  
Уральского отделения Российской академии наук  
(ИМАШ УрО РАН)

УДК 539.415

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИМАШ УрО РАН  
д-р техн. наук



С.В. Смирнов

11 \_\_\_\_\_ 2019 г.

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И  
ПЛАСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛЕЕВ PLEXUS MA420 И ACRID  
FS25  
(по договору № 21/2019 от 28.10.2019)

Руководитель темы,  
к.т.н

Виз 15.11.2019 Д.И. Вичужанин  
(подпись, дата)

Екатеринбург 2019

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Ст. науч. сотр.,  
канд. техн. наук

Визу 15.11.2019  
подпись, дата

Д.И. Вичужанин (все  
разделы)

Нормоконтролер

И.Б. Акилова 15.11.2019  
подпись, дата

И.Б. Акилова

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Ст. науч. сотр.,  
канд. техн. наук

---

подпись, дата

Д.И. Вичужанин (все  
разделы)

Нормоконтролер

---

подпись, дата

И.Б. Акилова

## РЕФЕРАТ

Отчет 29 с., 18 рис., 5 табл., 7 источников.

### PLEXUS MA420, ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ, ACRID FS25, ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ, ПЛАСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Plexus MA420 представляет собой двухкомпонентный метакрилатный клей, разработанный для структурного соединения термопластиковых, металлических и композитных деталей. Рекомендуется для склеивания акриловых пластиков, стеклопластиков, алюминия, стали, полиуретана и т.д. Клей MA420 лучше всего подходит для склеивания сложных/композитных материалов в транспортной промышленности, т.к. практически не требует специальной подготовки поверхности. Структурные адгезивы Plexus используют такие производители как Ford, GM, Rover, Chrysler, Saab и др. для склейки бамперов, спойлеров, приборных панелей и других элементов автомобилей. Адгезивы Plexus используются также в судостроительной промышленности и при производстве железнодорожного транспорта.

В ООО «Акрид» разработан оригинальный клей Acrid FS25, который в дальнейшем, возможно, может быть использован в качестве замены клею иностранного производства Plexus MA420. Для оценки свойств клея исследованы прочностные и пластические характеристики клеев Plexus MA420 и Acrid FS25.

Цель работы: сравнительное исследование прочностных и пластических характеристик стандартного клея Plexus MA420 и оригинального, разработанного ООО «Акрид» клея Acrid FS25 методами испытаний на растяжение и изгиб.

По результатам испытаний образцов клеевых соединений и образцов из клея Acrid FS25 и Plexus MA420 определены их прочностные и пластические характеристики. Результаты испытаний клеевых соединений показали, что

прочностные характеристики в испытаниях на изгиб и на сдвиг для клеевых соединений, полученных с использованием обоих клеев практически одинаковы. Прочностные характеристики клеевых соединений в испытаниях на отрыв образцов, изготовленных с использованием клея Acrid FS25 на 9,15% выше, чем образцов, изготовленных с использованием клея Plexus MA420. Прочностные характеристики в испытаниях на растяжение клея Acrid FS25 в разы выше, чем клея Plexus MA420, однако пластические характеристики клея Acrid FS25 при этом ниже на 55,38 %.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Материал и методика исследования .....	7
2 Результаты исследования .....	15
2.1 Результаты испытаний клеевых соединений на изгиб со сдвигом в соответствии с ГОСТ Р57732-2017 ...	15
2.2 Результаты испытаний клеевых соединений на растяжение при сдвиге в соответствии с ГОСТ 14759-69 .....	17
2.3 Результаты испытаний клеевых соединений на растяжение с отрывом в соответствии с ГОСТ 14760-69 .....	19
2.4 Результаты испытаний клеевых соединений на растяжение при сдвиге в соответствии с ASTM D1002-10 .....	21
2.5 Результаты испытаний на растяжение образцов, изготовленных из клея, в соответствии с ASTM D638-14 .....	23
Заключение .....	28
Список использованных источников .....	29

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время клеи находят широкое применение практически во всех отраслях, таких как легкая промышленность, строительная отрасль, кораблестроение, автомобилестроение и т.д. Отличительной особенностью клеевых соединений является то, что они способны соединить друг с другом разнородные материалы, при этом обеспечив высокопрочное и эластичное крепление.

Широкое применение имеет двухкомпонентный метакрилатный клей Plexus MA420 иностранного производства, разработанный для структурного соединения термопластиковых, металлических и композитных деталей. Он рекомендуется для склеивания акриловых пластиков, стеклопластиков, алюминия, стали, полиуретана и т.д. Клей MA420 широко используется для склеивания сложных/композитных материалов в транспортной промышленности, т.к. практически не требует специальной подготовки поверхности. Структурные адгезивы Plexus используют такие производители как Ford, GM, Rover, Chrysler, Saab и др. для склейки бамперов, спойлеров, приборных панелей и других элементов автомобилей. Адгезивы Plexus используются также в судостроительной промышленности и при производстве железнодорожного транспорта.

В ООО «Акрид» разработан отечественный оригинальный клей Acrid FS25. Для оценки свойств клея в рамках данной работы выполнены исследования прочностных и пластических характеристик клеев Plexus MA420 и Acrid FS25.

**Цель научно-исследовательской работы** – сравнительное исследование прочностных и пластических характеристик стандартного клея Plexus MA420 и оригинального, разработанного ООО «Акрид» клея Acrid FS25 методами испытаний на растяжение и изгиб.

## 1 Материал и методика исследования

В работе исследовали образцы клеевых соединений и образцы изготовленные из клеев Plexus MA420 и Acrid FS25. Было изготовлено по пять партий образцов каждого клея, по шесть образцов в партии.

Испытания всех образцов проведены на сервогидравлической испытательной установке INSTRON 8801 (рисунок 1.1).

Характеристики установки:

- максимальное усилие 100 кН; погрешность датчика измерения усилия не более  $\pm 0,25\%$  от показаний датчика; датчик силы калибруется автоматически;
- ход исполнительного органа 100 мм; точность измерения перемещения не более  $\pm 0,5\%$  от хода исполнительного органа; скорость движения исполнительного органа установки можно менять в диапазоне 1мм/мин – 150 мм/сек;
- максимальная частота записи показаний датчиков во время эксперимента 5 кГц.

Испытательная установка снабжена ЭВМ и контроллером FastTrack. Все операции в процессе эксперимента выполняются программно – аппаратными средствами.



Рисунок 1.1 – Сервогидравлическая испытательная установка INSTRON 8801



В ходе выполнения работы проведены пять видов испытаний:

1) Испытания клеевых соединений на изгиб со сдвигом в соответствии с ГОСТ Р57732-2017 [1].

Метод испытания заключается в том, что образец, склеенный внахлест и свободно лежащий на двух опорах, подвергают трехточечному изгибу до разрушения, при этом определяют прочность клеевого соединения. Скорость нагружения равна 10 мм/мин. Фотография образца, лежащего на опорах перед испытанием приведена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Испытание клеевого соединения на изгиб со сдвигом

Прочность образца  $\tau$ , МПа вычисляли по формуле [1]:

$$\tau = \frac{P_{\max}}{F}, \quad (1.1)$$

где  $P_{\max}$  – максимальная нагрузка, предшествующая разрушению образца, Н;  
 $F = b \cdot l$  – площадь склеивания, мм<sup>2</sup>;  $b$  – ширина образца, мм;  $l$  – длина нахлеста, мм.

После визуального осмотра испытанных образцов определяли характер разрушения в соответствии с [2].

2) Испытания клеевых соединений на растяжение при сдвиге в соответствии с ГОСТ 14759-69 [3].

Метод испытания заключается в определении величины разрушающей силы при растяжении образца, склеенного внахлест, усилиями, стремящимися сдвинуть одну половину образца относительно другой. Скорость движения захвата испытательной установки равна 10 мм/мин. Фотография образца, установленного в захваты испытательной установки перед испытанием, приведена на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Испытание клеевого соединения на растяжение при сдвиге

Прочность клеевых соединений оценивали величиной разрушающего напряжения при сдвиге  $\tau$ , Па и вычисляли по формуле [3]:

$$\tau = \frac{P}{F}, \quad (1.2)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;  $F$  – площадь склеивания, м<sup>2</sup>, вычисляемая с точностью до 0,000001 м<sup>2</sup>. Так как в первом виде испытаний значения прочности образца вычисляли в МПа, то в данном виде испытаний дополнительно вычислены значения прочности в МПа.

После визуального осмотра испытанных образцов определяли характер разрушения, по плоскости склеивания или по клею.

3) Испытания клеевых соединений на растяжение с отрывом в соответствии с ГОСТ 14760-69 [4].

Метод испытания заключается в определении величины разрушающей силы при растяжении образца клеевого соединения встык, усилиями, направленными перпендикулярно плоскости склеивания. Скорость движения захвата испытательной установки равна 10 мм/мин. Фотография образца, установленного в захваты испытательной установки перед испытанием, приведена на рисунке 1.4.

Предел прочности клеевых соединений при отрыве  $\sigma_{отр}$ , Па вычисляли по формуле [4]:

$$\sigma_{отр} = \frac{P}{F}, \quad (1.3)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;  $F$  – площадь склеивания, м<sup>2</sup>, вычисляемая с точностью до 0,05 м<sup>2</sup> по формуле:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (1.4)$$

где  $d$  – наименьший диаметр образца, м.



Рисунок 1.4 – Испытание клеевого соединения на растяжение с отрывом

Так как в первом виде испытаний значения прочности образца вычисляли в МПа, то в данном виде испытаний дополнительно вычислены значения прочности в МПа.

После визуального осмотра испытанных образцов определяли характер разрушения, по плоскости склеивания или по клею.

4) Испытания клеевых соединений на растяжение при сдвиге в соответствии с ASTM D1002-10 [5].

Метод испытания склеенного внахлест образца заключается в определении величины прочности на сдвиг адгезивов используемых для соединения металлов. Скорость движения захвата испытательной установки равна 1,3 мм/мин. Фотография образца, установленного в захваты испытательной установки перед испытанием, приведена на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Испытание клеевого соединения на растяжение при сдвиге

Прочность клеевых соединений при сдвиге  $\tau$ , кгс/см<sup>2</sup> вычисляли по формуле:

$$\tau = \frac{P}{F}, \quad (1.5)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, кгс;  $F$  – площадь склеивания, см<sup>2</sup>, вычисляемая с точностью до 0,06 см<sup>2</sup>. Так как в первом виде испытаний значения прочности образца вычисляли в МПа, то в данном виде испытаний дополнительно вычислены значения прочности в МПа.

После визуального осмотра испытанных образцов определяли характер разрушения, когезионное или адгезионное.

5) Испытания на растяжение образцов, изготовленных из клея в соответствии с ASTM D638-14 [6].

В соответствии с методом, образцы, изготовленные из клея, испытывали на растяжение. Скорость движения захвата испытательной установки равна 5 мм/мин. Для определения удлинения образца в процессе испытания

использовали лазерный видеотензомер. Фотография образца, установленного в захваты испытательной установки перед испытанием, приведена на рисунке 1.6.

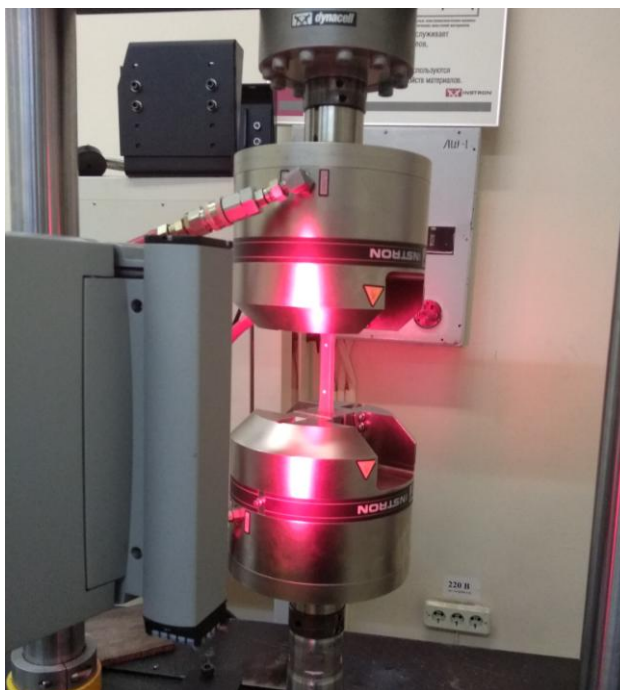


Рисунок 1.6 – Испытание образца из клея на растяжение

Предел текучести условный  $\sigma_{0,2}$ , Па вычисляли по формуле:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \quad (1.6)$$

где  $P_{0,2}$  – усилие, соответствующее пределу текучести условному, Н;  $F_0$  – начальная площадь поперечного сечения образца,  $\text{м}^2$ .

Временное сопротивление  $\sigma_B$ , Па вычисляли по формуле:

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0}, \quad (1.7)$$

где  $P_{\max}$  – наибольшее усилие, предшествующее разрыву образца, Н.

Прочность при разрыве  $\sigma_r$ , Па вычисляли по формуле:

$$\sigma_r = \frac{P_r}{F_0}, \quad (1.8)$$

где  $P_r$  – усилие в момент разрыва, Н.

Модуль упругости  $E$ , Па вычисляли по формуле:

$$E = \frac{(P_2 - P_1) \cdot l_0}{F_0 \cdot (\Delta l_2 - \Delta l_1)}, \quad (1.9)$$

где  $P_1$  – усилие, соответствующее некоторой точке начала упругого участка на кривой нагружения, Н;  $P_2$  – усилие, соответствующее некоторой точке окончания упругого участка на кривой нагружения, Н;  $\Delta l_1$  – удлинение, соответствующее усилию  $P_1$ , м;  $\Delta l_2$  – удлинение, соответствующее усилию  $P_2$ , м.

Необходимо отметить, что значения  $E$ ,  $\sigma_{0,2}$  и  $\sigma_B$  определяли автоматически при помощи программного обеспечения Bluehill, входящего в комплектацию испытательной установки INSTRON 8801.

Так как в первом виде испытаний значения прочности образца вычисляли в МПа, то в данном виде испытаний дополнительно вычислены значения  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_B$ ,  $\sigma_r$  и  $E$  в МПа.

Относительное удлинение образца при пределе текучести условном  $\delta_{0,2}$ , % вычисляли по формуле:

$$\delta_{0,2} = \frac{\Delta l_{0,2}}{l_0} \cdot 100, \quad (1.10)$$

где  $\Delta l_{0,2}$  – удлинение образца в точке, соответствующей пределу текучести условному, мм;  $l_0$  – начальная расчетная длина образца, мм.

Относительное удлинение образца после разрыва  $\delta$ , % вычисляли по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta l_p}{l_0} \cdot 100, \quad (1.11)$$

где  $\Delta l_p$  – удлинение образца в точке, соответствующей разрыву образца, мм.

По результатам испытаний выполнен статистический анализ данных. В рамках статистического анализа рассчитаны [6, 7]:

– среднее арифметическое (выборочное) значение результатов испытаний:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}, \quad (1.12)$$

где  $X_i$  – значение результата отдельного испытания ( $\tau$ ,  $\sigma_{отр}$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_B$ ,  $\sigma_r$ ,  $E$ ,  $\delta_{0,2}$  или  $\delta$ );  $N = 6$  – количество образцов в партии;

– стандартное отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{(N-1)}}. \quad (1.13)$$

Известно, что 68,26% значений выборки лежат в диапазоне  $\pm S$  от среднего выборочного.

## 2 Результаты исследования

2.1 Результаты испытаний клеевых соединений на изгиб со сдвигом в соответствии с ГОСТ Р57732-2017.

Фотографии испытанных образцов приведены на рисунках 2.1 и 2.2.

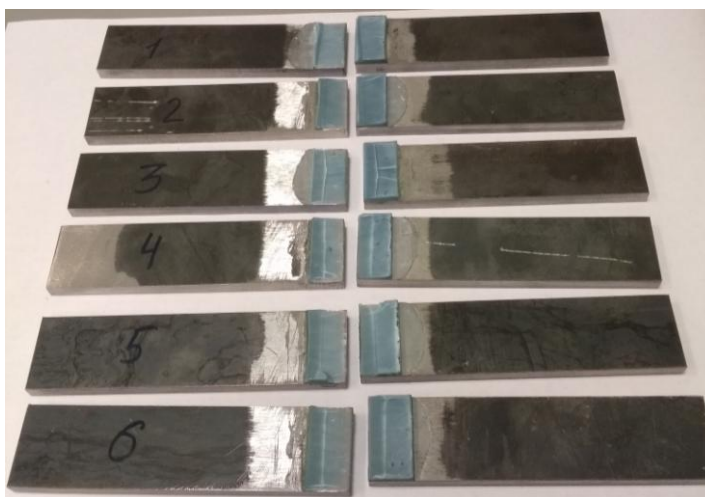


Рисунок 2.1 – Образцы, склеенные при помощи клея Plexus MA420 после испытаний на изгиб со сдвигом в соответствии с ГОСТ Р57732-2017



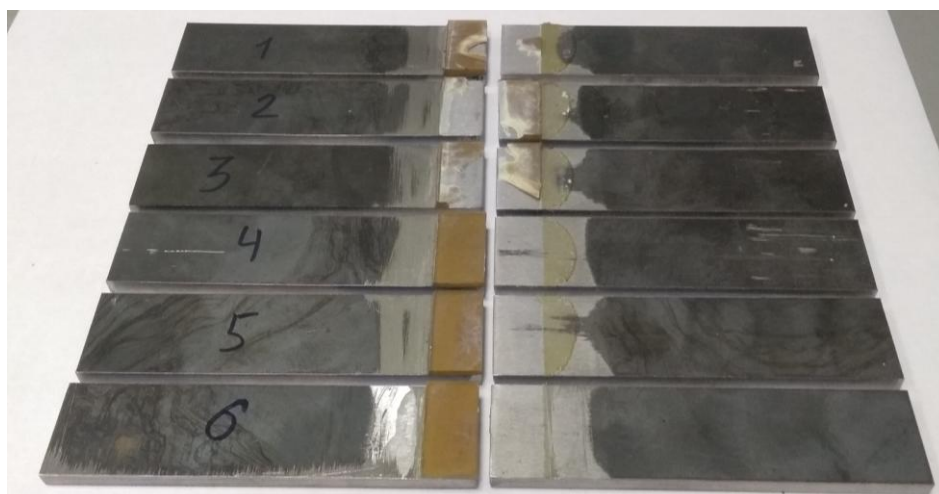


Рисунок 2.2 – Образцы, склеенные при помощи клея Acrid FS25 после испытаний на изгиб со сдвигом в соответствии с ГОСТ Р57732-2017

По результатам испытаний определены значения прочности образцов  $\tau$  по формуле (1.1), которые приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты испытаний клеевых соединений на изгиб со сдвигом в соответствии с ГОСТ Р57732-2017

№ обр.	b, мм	l, мм	F, мм <sup>2</sup>	P, Н	$\tau$ , МПа	Вид разрушения образца	
Клей Plexus MA420 (образцы без меток)							
1	25,43	12,21	310,5	4303,37	13,859	Тонкослойное, когезионное	
2	25,44	11,92	303,25	3742,2	12,34	Тонкослойное, когезионное	
3	25,35	12,8	324,48	4976,96	15,338	Тонкослойное, когезионное	
4	25,38	11,77	298,72	3848,54	12,883	Тонкослойное, когезионное	
5	25,48	12,83	326,91	4353,71	13,317	Тонкослойное, когезионное	
6	25,16	13,15	330,85	4882,59	14,757	Тонкослойное, когезионное	
					$\bar{\tau}$	13,749	
					S	1,138	
Клей Acrid FS25 (образцы с метками)							
1	25,38	13,57	344,41	3987,15	11,576	Адгезионное	
2	25,34	12,87	326,13	4770,03	14,626	Адгезионное	
3	25,24	12,89	325,34	5008,95	15,395	Адгезионное	
4	25,42	13,27	337,32	4327,54	12,829	Адгезионное	
5	25,44	12,81	325,89	4196,83	12,878	Адгезионное	
6	25,46	12,65	322,07	3983,21	12,367	Адгезионное	
					$\bar{\tau}$	13,279	
					S	1,441	

По результатам испытаний установлено, что среднее значение прочности образцов, изготовленных с использованием клея Plexus MA420 незначительно (на 3,42%, т.е. в пределах разброса значений прочности) превышает среднее значение прочности образцов, изготовленных с использованием клея Acrid FS25. Таким образом, можно заключить, что прочность образцов, полученных с использованием обоих клеев практически одинакова.

2.2 Результаты испытаний клеевых соединений на растяжение при сдвиге в соответствии с ГОСТ 14759-69

Фотографии испытанных образцов приведены на рисунках 2.3 и 2.4.

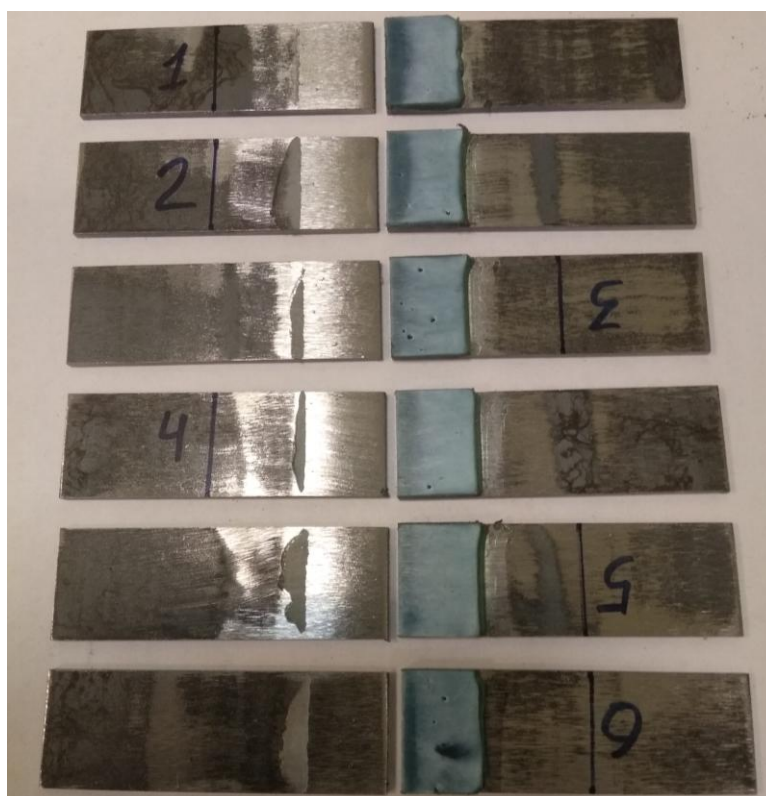


Рисунок 2.3 – Образцы, склеенные при помощи клея Plexus MA420 после испытаний на растяжение при сдвиге в соответствии с ГОСТ 14759-69

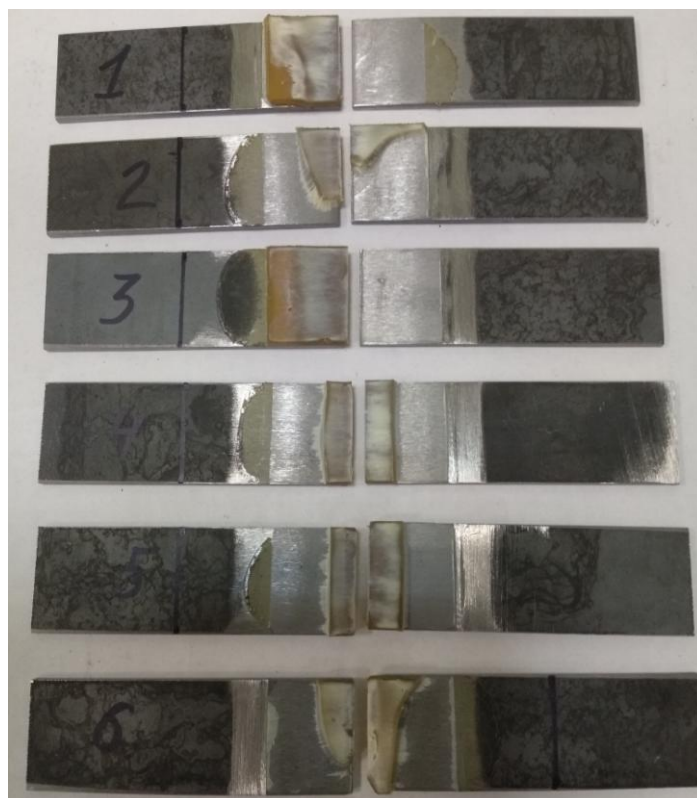


Рисунок 2.4 – Образцы, склеенные при помощи клея Acrid FS25 после испытаний на растяжение при сдвиге в соответствии с ГОСТ 14759-69

Из рисунков 2.3 и 2.4 установлено, что все образцы разрушились по плоскости склеивания. Необходимо отметить, что на образцах 3 и 6, приведенных на рисунке 2.3 имеются следы пузырей. Это несколько снижает их прочность.

По результатам испытаний определены значения разрушающего напряжения при сдвиге  $\tau$  по формуле (1.2), которые приведены в таблице 2.2. По результатам испытаний установлено, что среднее значение прочности образцов, изготовленных с использованием клея Acrid FS25 незначительно (на 1,96%, т.е. в пределах разброса значений прочности) превышает среднее значение прочности образцов, изготовленных с использованием клея Plexus MA420. Таким образом, можно заключить, что прочность образцов, полученных с использованием обоих клеев практически одинакова.

Таблица 2.2 – Результаты испытаний клеевых соединений на растяжение при сдвиге в соответствии с ГОСТ 14759-69

№ обр.	b, мм	l <sub>ср.</sub> , мм	F, мм <sup>2</sup>	F, м <sup>2</sup>	P, Н	τ, Па	τ, МПа
Клей Plexus MA420 (образцы без меток)							
1	19,79	15,8	312,682	0,000313	5348,93	17089137,38	17,106
2	19,68	16,075	316,356	0,000316	6243,98	19759493,67	19,737
3	19,82	15,17	300,669	0,000301	5751,13	19106644,52	19,127
4	19,72	15,625	308,125	0,000308	6036,72	19599675,32	19,591
5	19,73	15,4	303,842	0,000304	6095,25	20050328,95	20,06
6	19,91	14,195	282,622	0,000283	5515,17	19488339,22	19,514
$\bar{\tau}$						19182269,84	19,189
S						1071591,569	1,065
Клей Acrid FS25 (образцы с метками)							
1	19,86	15,555	308,922	0,000309	5725,3	18528478,96	18,533
2	19,78	15,805	312,623	0,000313	6303,76	20139936,1	20,164
3	19,7	15,76	310,472	0,00031	6036,84	19473548,39	19,444
4	20,02	15,285	306,006	0,000306	6098,35	19929411,76	19,928
5	19,97	15,22	303,943	0,000304	5587,96	18381578,95	18,384
6	19,98	14,89	297,502	0,000298	6231,11	20909731,54	20,944
$\bar{\tau}$						19560447,62	19,566
S						975166,72	0,986

2.3 Результаты испытаний клеевых соединений на растяжение с отрывом в соответствии с ГОСТ 14760-69.

Фотографии испытанных образцов приведены на рисунках 2.5 и 2.6.

Из рисунков 2.5 и 2.6 установлено:

образцы, изготовленные с использованием клея Plexus MA420, разрушились по клею;

– образцы, изготовленные с использованием клея Acrid FS25 разрушились по плоскости склеивания.

Необходимо отметить, что на образцах 3–6, приведенных на рисунке 2.5, а также на образце 4, приведенном на рисунке 2.6 имеются следы пузырей. Это несколько снижает их прочность.



Рисунок 2.5 – Образцы, склеенные при помощи клея Plexus MA420 после испытаний на растяжение с отрывом в соответствии с ГОСТ 14760-69

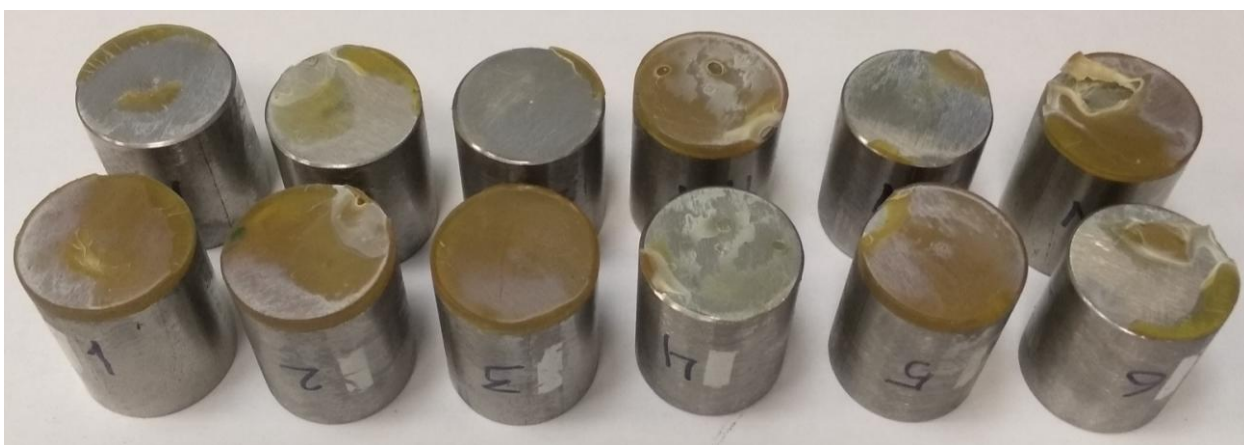


Рисунок 2.6 – Образцы, склеенные при помощи клея Acrid FS25 после испытаний на растяжение с отрывом в соответствии с ГОСТ 14760-69

По результатам испытаний определены значения предела прочности клеевых соединений при отрыве  $\sigma_{отр}$  по формуле (1.3), которые приведены в таблице 2.3.

По результатам испытаний установлено, что среднее значение прочности клеевого соединения при отрыве образцов, изготовленных с использованием клея Acrid FS25 на 9,15% превышает среднее значение прочности образцов, изготовленных с использованием клея Plexus MA420.

Таблица 2.3 – Результаты испытаний клеевых соединений на растяжение с отрывом в соответствии с ГОСТ 14760-69

№ обр.	d, мм	F, м2	F, мм2	P, Н	$\sigma_{отр}$ , Па	$\sigma_{отр}$ , МПа
Клей Plexus MA420 (образцы без меток)						
1	24,82	0,00048382	483,82	12209,15	25234901,41	25,234
2	24,98	0,00049007	490,07	12551,02	25610667,86	25,61
3	24,97	0,00048968	489,68	11367,2	23213527,2	23,213
4	25,1	0,00049479	494,79	12333,19	24926110,07	24,925
5	25,14	0,00049637	496,37	12562,98	25309708,48	25,309
6	24,92	0,00048772	487,72	11456,75	23490424,83	23,49
$\bar{\sigma}_{отр}$					24630889,98	24,63
S					1018068,95	1,018
Клей Acrid FS25 (образцы с метками)						
1	25,03	0,00049204	492,04	13516,49	27470307,29	27,47
2	24,93	0,00048811	488,11	12813,22	26250681,2	26,25
3	25,03	0,00049204	492,04	13619,51	27679680,51	27,679
4	25,09	0,0004944	494,4	13145,05	26587884,3	26,587
5	25,09	0,0004944	494,4	13445,81	27196217,64	27,195
6	25,01	0,00049125	491,25	12833,77	26124722,65	26,124
$\bar{\sigma}_{отр}$					26884915,6	26,884
S					654158,67	0,654

2.4 Результаты испытаний клеевых соединений на растяжение при сдвиге в соответствии с ASTM D1002-10.

Фотографии испытанных образцов приведены на рисунках 2.7 и 2.8.

Из рисунков 2.7 и 2.8 установлено что все образцы разрушились по адгезионному типу разрушения.

Необходимо отметить, что на образцах №5, приведенных на рисунках 2.7 и 2.8 имеются следы пузырей. Это несколько снижает их прочность.



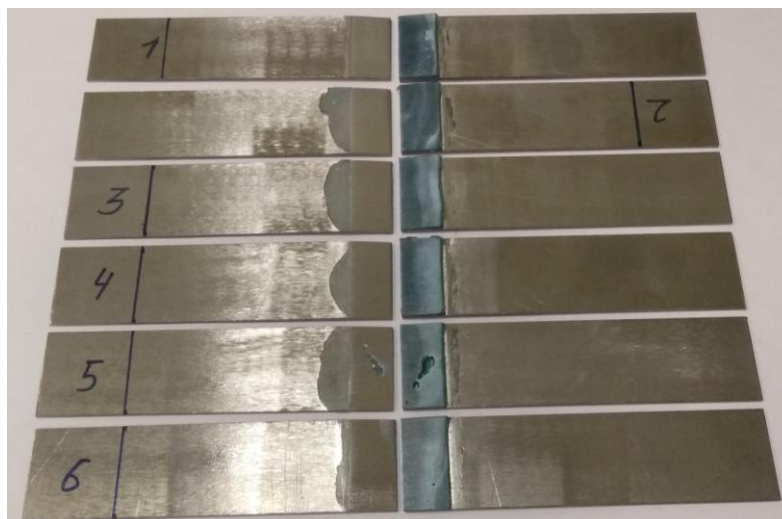


Рисунок 2.7 – Образцы, склеенные при помощи клея Plexus MA420 после испытаний клеевых соединений на растяжение при сдвиге в соответствии с ASTM D1002-10

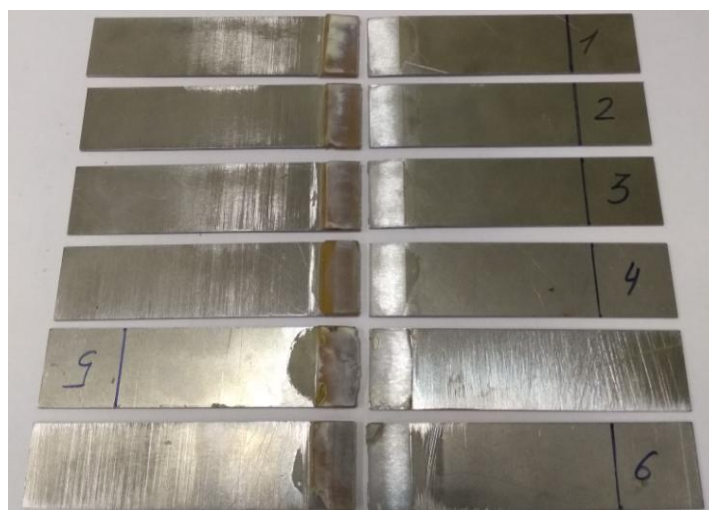


Рисунок 2.8 – Образцы, склеенные при помощи клея Acrid FS25 после испытаний клеевых соединений на растяжение при сдвиге в соответствии с ASTM D1002-10

По результатам испытаний определены значения прочности клеевых соединений при сдвиге  $\tau$  по формуле (1.5), которые приведены в таблице 2.4.

По результатам испытаний установлено, что среднее значение прочности образцов, изготовленных с использованием клея Acrid FS25 незначительно (на 1,82%, т.е. в пределах разброса значений прочности)

превышает среднее значение прочности образцов, изготовленных с использованием клея Plexus MA420. Таким образом, можно заключить, что прочность образцов, полученных с использованием обоих клеев практически одинакова.

Таблица 2.4 – Результаты испытаний клеевых соединений на растяжение при сдвиге в соответствии с ASTM D1002-10

№ обр.	b, мм	l, мм	F, мм <sup>2</sup>	F, см <sup>2</sup>	P, кН	τ, кгс/см <sup>2</sup>	τ, МПа	
Клей Plexus MA420 (образцы без меток)								
1	25,5	13,25	337,88	3,36	4,26172	105,15	12,613	
2	25,5	13,0	331,5	3,3	3,94102	97,97	11,888	
3	25,25	13,5	340,88	3,42	4,50342	124,18	13,211	
4	25,5	13,0	331,5	3,3	4,23586	120,77	12,777	
5	25,25	12,75	321,94	3,24	4,17291	120,28	12,961	
6	25,5	13,25	337,88	3,36	4,21894	124,79	12,486	
						$\bar{\tau}$	115,52	12,657
						S	11,195	0,455
Клей Acrid FS25 (образцы с метками)								
1	25,75	12,5	321,88	3,36	3,46469	105,15	10,764	
2	25,25	12,75	321,94	3,3	3,17063	97,97	9,848	
3	25,25	12,75	321,94	3,42	4,16478	124,18	12,936	
4	25,25	12,75	321,94	3,3	3,90841	120,77	12,14	
5	25,5	13,0	331,5	3,24	3,82177	120,28	11,528	
6	25,25	13,25	334,56	3,36	4,1178	124,79	12,29	
						$\bar{\tau}$	117,63	11,58
						S	11,43	1,12

2.5 Результаты испытаний на растяжение образцов, изготовленных из клея, в соответствии с ASTM D638-14.

Фотографии испытанных образцов приведены на рисунках 2.9 и 2.10.

Образцы 5 и 6 на рисунке 2.9 и образцы 4 и 6 на рисунке 2.10 разрушились за пределами меток, ограничивающих начальную расчетную длину образца. Поэтому для них не удалось определить величину  $\delta$ .





Рисунок 2.9 – Образцы, изготовленных из клея Plexus MA420 после испытаний на растяжение в соответствии с ASTM D638-14

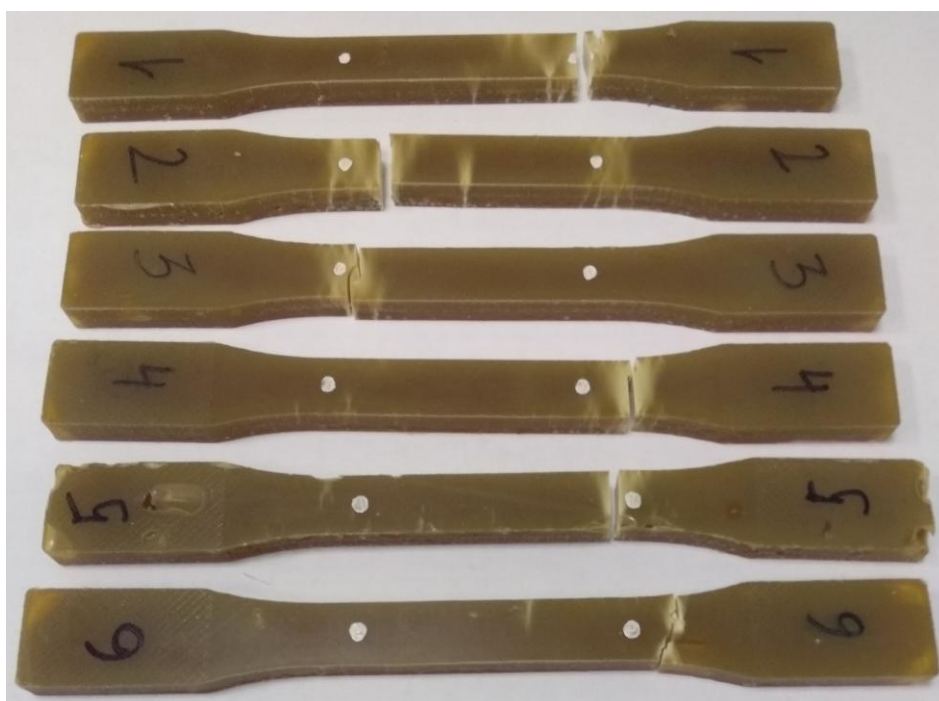


Рисунок 2.10 – Образцы, изготовленных из клея Acrid FS25 после испытаний на растяжение в соответствии с ASTM D638-14

Необходимо отметить, что в местах разрыва образцов 2,3,5 и 6 из клея Acrid FS25 (см рисунок 2.11) и всех образцов из клея Plexus MA420 (см рисунок 2.12) имеются следы пузырей. Это снижает их прочностные и пластические характеристики.

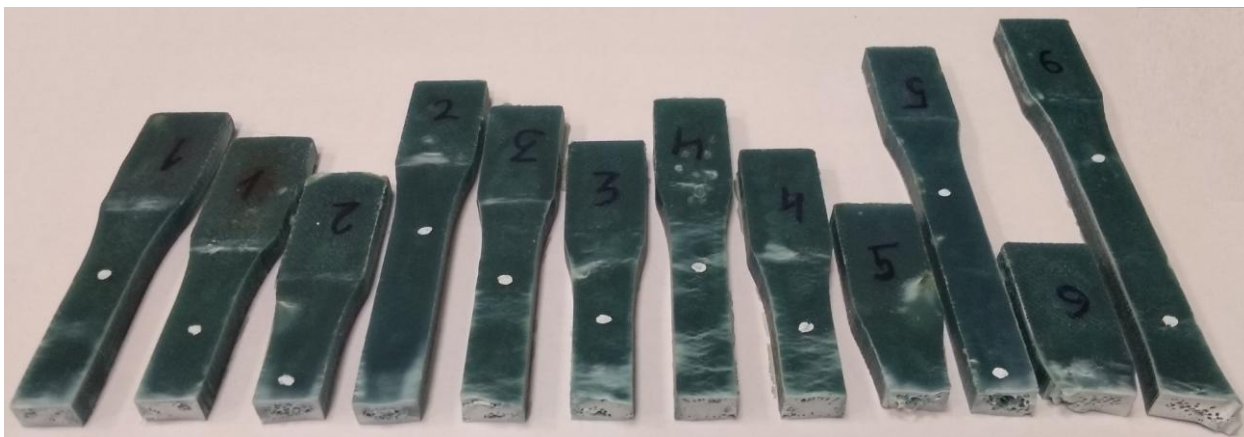


Рисунок 2.11 – Поверхности разрыва образцов, изготовленных из клея Plexus MA420



Рисунок 2.12 – Поверхности разрыва образцов, изготовленных из клея Acrid FS25

По результатам испытаний определены значения  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_B$ ,  $\sigma_r$ ,  $E$ ,  $\delta_{0,2}$  и  $\delta$  по формулам (1.6-1.11), которые приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Результаты испытаний на растяжение образцов, изготовленных из клея, в соответствии с ASTM D1002-10

№ обр.	$\delta_{0,2}$ , %	$\delta$ , %	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , Па	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_B$ , Па	$\sigma_r$ , МПа	$\sigma_r$ , Па	$E$ , МПа	$E$ , Па
Клей Plexus MA420 (образцы без меток)										
1	1,66	11,28	6,31	6310000	10,386	10386000	3,912	3912000	569,547	569547000
2	1,39	9,74	6,431	6431000	9,76	9760000	3,724	3724000	694,275	694275000
3	1,69	10,85	7,015	7015000	10,56	10560000	5,796	5796000	598,949	598949000
4	1,53	10,1	7,512	7512000	11,307	11307000	6,109	6109000	713,997	713997000
5	1,38		5,9	5900000	8,78	8780000	4,127	4127000	676,594	676594000
6	1,6		6,757	6757000	10,146	10146000	4,72	4720000	622,48	622480000
$\bar{X}$	1,54	10,49	6,654	6654166,67	10,156	10156500	4,731	4731333,33	645,974	645973666,7
$S$	0,13	0,7	0,568	568097,67	0,847	847491,3	1,008	1008251,49	57,449	57449289,85
Клей Acrid FS25 (образцы с метками)										
1	1,5	5,35	19,398	19398000	24,975	24975000	21,027	21027000	1621,001	1621001000
2	1,39	5,81	18,499	18499000	24,579	24579000	20,792	20792000	1643,415	1643415000
3	1,34	3,67	17,659	17659000	24,726	24726000	21,037	21037000	1679,671	1679671000
4	1,52		20,081	20081000	24,958	24958000	21,112	21112000	1574,064	1574064000
5	1,34	3,89	17,468	17468000	23,125	23125000	20,488	20488000	1627,28	1627280000
6	1,38		18,197	18197000	19,717	19717000	13,066	13066000	1613,686	1613686000
$\bar{X}$	1,41	4,68	18,55	18550333,33	23,68	23680000	19,587	19587000	1626,52	1626519500
$S$	0,08	1,06	1,015	1015369,88	2,06	2060389,28	3,203	3202779,79	34,808	34807614,91

По результатам испытаний установлено, что средние значения прочностных характеристик образцов, изготовленных из клея Acrid FS25, значительно превышают средние значения прочностных характеристик образцов, изготовленных с использованием клея Plexus MA420. Так, среднее значение предела текучести условного  $\sigma_{0,2}$  образцов из клея Acrid FS25 на 178,8 % выше, чем образцов из клея Plexus MA420. Среднее значение  $\sigma_B$  образцов из клея Acrid FS25 на 133,2% выше, чем образцов из клея Plexus MA420. Среднее значение  $\sigma_r$  образцов из клея Acrid FS25 на 313,9% выше, чем образцов из клея Plexus MA420. При этом пластические характеристики образцов, изготовленных из клея Acrid FS25 ниже, чем у образцов, изготовленных с использованием клея Plexus MA420. Так, среднее значение относительного удлинения при пределе текучести условном  $\delta_{0,2}$  образцов из клея Acrid FS25 на 8,44 % ниже, чем образцов из клея Plexus MA420. Среднее значение относительного удлинения после разрыва  $\delta$  образцов из клея Acrid FS25 на 55,38 % ниже, чем образцов из клея Plexus MA420.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставленные задачи в рамках НИР согласно техническому заданию выполнены полностью.

По результатам испытаний образцов клеевых соединений и образцов из клея Acrid FS25 и Plexus MA420 определены их прочностные и пластические характеристики.

Результаты испытаний клеевых соединений в соответствии с ГОСТ Р57732-2017, ГОСТ 14759-89 и ASTM 1002-10 показали, что прочностные характеристики в испытаниях на изгиб и на сдвиг для клеевых соединений, полученных с использованием обоих клеев практически одинаковы.

Результаты испытаний клеевых соединений в соответствии с ГОСТ 14760-69 показали, что прочностные характеристики в испытаниях на отрыв образцов, изготовленных с использованием клея Acrid FS25 на 9,15% выше, чем образцов, изготовленных с использованием клея Plexus MA420.

По результатам испытаний в соответствии с ASTM D638-14 образцов из клея установлено, что прочностные характеристики в испытаниях на растяжение клея Acrid FS25 в разы выше, чем клея Plexus MA420, однако пластические характеристики клея Acrid FS25 при этом ниже на 55,38 %.

Следует также принимать во внимание низкое качество образцов из клея Plexus MA420 (в соответствии с ASTM D638-14), которое повлияло на результаты исследований. Значения предела прочности и относительного удлинения после разрыва клея Plexus MA420, полученные по ASTM D638-14, находятся ниже его паспортных характеристик.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р57732-2017. Композиты полимерные. Определение прочности клеевых соединений методом испытания на изгиб со сдвигом. – Введ. 2018-02-01. – М.: Стандартинформ, 2017. – 8с.: ил.
2. ГОСТ Р 56977-2016 Композиты полимерные. Классификация типов разрушения клеевых соединений. – Введ. 2017-01-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 24с.: ил.
3. ГОСТ 14759-69. Метод определения прочности при сдвиге. – Введ. 70-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1998. – 14с.: ил.
4. ГОСТ 14760-69. Метод определения прочности при отрыве. – Введ. 70-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1998. – 7с.: ил.
5. ASTM D1002-10. Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal) . – Введ. 2010-09-01. – West Conshohocken: ASTM International, 2010. – 6с.: ил.
6. ASTM D638-14. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. – Введ. 2014-12-15. – West Conshohocken: ASTM International, 2015. – 17с.: ил.
7. ГОСТ 14359-96 Пластмассы. Методы механических испытаний. Общие требования. – Введ. 70-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1993. – 21с.: ил.