



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-3-15-22>
УДК 621.74; 621.792; 621.88

Поступила 15.06.2020
Received 15.06.2020

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МОДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ ДЛЯ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ СКЛЕИВАНИЯ

М. Л. КАЛИНИЧЕНКО, Л. П. ДОЛГИЙ, В. А. КАЛИНИЧЕНКО, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: m.kalinichenko@bntu.by

В статье приведены данные по используемым современным материалам для создания модельных комплектов, способу их монтажа для применения на любых литейно-механических заводах, специализирующихся на ремонте и создании отливок опытными или мелкосерийными партиями. Проведен анализ используемых материалов, клеевых составов, применяемых для их крепления, а также экономических показателей затрат, необходимых для их изготовления. Показаны свойства склеенных соединений, используемых для изготовления как пластиковых компонентов модельных комплектов, так и их комбинаций с металлическими частями.

Ключевые слова. Модельная оснастка, литейное производство, адгезивы, модельный пластик, детали для модельных комплектов, механические испытания на разрыв.

Для цитирования. Калиниченко, М. Л. Анализ современных композиционных материалов, применяемых при изготовлении модельных комплектов для мелкосерийного литейного производства, полученных с помощью технологии склеивания / М. Л. Калиниченко, Л. П. Долгий, В. А. Калиниченко // *Литье и металлургия*. 2020. № 3. С. 15–22. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-3-15-22>.

ANALYSIS OF MODERN COMPOSITE MATERIALS USED IN THE MANUFACTURE OF MODEL KITS FOR SMALL-SCALE FOUNDRY PRODUCTION, OBTAINED USING BONDING TECHNOLOGY

M. L. KALINICHENKO, L. P. DOLGIY, U. A. KALINICHENKO. Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti Ave. E-mail: m.kalinichenko@bntu.by

The article presents modern data on the materials used to create model kits, the method of their installation for use on any foundries, specializing in the repair and creation of castings by experimental or small-scale batches. The analysis of the used materials, adhesive compositions for their fastening, as well as economic indicators of the costs necessary for their production was made. The properties of glued joints used for manufacturing components of model kits from plastics and its combinations with metal parts are shown.

Keywords. Model tools, foundry, adhesives, plastic model, parts of model kits, mechanical tensile test.

For citation. Kalinichenko M. L., Dolgiy L. P., Kalinichenko U. A. Analysis of modern composite materials used in the manufacture of model kits for small-scale foundry production, obtained using bonding technology. *Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 3, pp. 15–22. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-3-15-22>.

Введение

В настоящий момент при производстве мелкосерийных металлических изделий и заготовок все большее внимание уделяется технологиям, связанным с применением 3D-прототипирования в порошковой металлургии и сходными технологиями. При этом по энергетическим затратам традиционное литейное производство дешевле технологий, используемых в порошковой металлургии на 40 % [1], а 3D-прототипирование превышает стоимость литья в несколько раз. Актуальной задачей современного литейного производства является повышение конкурентоспособности, в том числе и за счет повышения точности отливок.

При создании мелкосерийных модельных комплектов для мелкого и среднесерийного производства деталей применяются различные типы разнородных материалов на основе древесины, МДФ, пластических масс, металлов и т.д., которые после обработки монтируются на модельной плите разными способами (штифтование, соединения типа гайка-винт, склейка и т.д.). Материалы, используемые для модельных комплектов, имеют различную плотность, твердость, влагонасыщаемость и склеиваемость и, как следствие, разные характеристики готового изделия по таким показателям, как прочность на сжатие, изгиб, износостойкость и т.д., что определяет общие свойства комплекта в целом. Для их монтажа и ремонта существует широкий диапазон крепежа, при этом штифтовые и винтовые соединения имеют возможность разбалтывания в процессе эксплуатации. Поэтому для повышения надежности предлагаются долговременные и временные клеевые составы, ремонтные пасты, предназначенные для различных условий эксплуатации.

Целью работы является исследование композиционных соединений пластик/пластик и пластик/металл, изготовленных с помощью технологии склеивания, для дальнейшего использования полученных данных в производственном процессе изготовления модельных комплектов для мелкосерийного литейного производства.

Основная часть

На территории стран ЕАС практически отсутствует проектирование типовых модельных комплектов, а также их производство для нужд литейной промышленности, поэтому представляет интерес изготовление модельных комплектов в условиях собственного проектирования и производства (на настоящий момент менее 10%) [2].

Известно [3–11], что при крупносерийном и массовом производстве отливок методом машинной формовки в основном используются металлические модельные комплекты, которые имеют ряд преимуществ – это долговечность, точность геометрических размеров и незначительная шероховатость поверхности. К недостаткам можно отнести высокую стоимость и трудоемкость их изготовления. Материалами для изготовления металлических моделей служат алюминиевые сплавы, сталь, чугун, бронза, латунь и т.д. Выбор сплава производится исходя из характера производства, метода формообразования, конкретной модели, условий эксплуатации, максимального срока службы и стоимости.

В условиях единичного или мелкосерийного производства модельные комплекты изготавливаются из быстротвердеющих материалов [8]: гипса (небольшие по размеру модели), цемента, графитсодержащих материалов, что позволяет значительно уменьшить трудоемкость процесса изготовления моделей. Преимущества таких модельных комплектов – простота изготовления и невысокая стоимость; недостатки – невысокая прочность (при ударных нагрузках), при затвердевании образуется избыток влаги, химически не связанной с быстротвердеющей основой, при испарении влаги образуются поры, которые ухудшают свойства модели. Данные модельные комплекты часто применяются при художественном литье.

В литейном производстве все больше завоевывают место модельные комплекты и стержни, изготовленные из современных пластополимерных материалов [4–8,12]. В Европе, США, Китае, Японии комплекты из высокостойких эпоксидных и полиуретановых смол уже сегодня составляют около 50% парка модельной оснастки. В настоящее время на рынке предлагается широкая гамма модельных блоков для изготовления модельной оснастки и стержневых ящиков. Предлагаемые блоки имеют широкий диапазон технологических характеристик: плотность – от 0,09 до 1,7 г/см³, твердость по Шору – до 90D и рабочие температуры – до 120 °С. Пластиковые плиты легко обрабатываются (практически так же как древесина), обладают малой адгезией с формовочной смесью, имеют неограниченный срок хранения, обработанная поверхность гидрофобная, инертна к большинству растворителей и кислот, обладает прочностью и стойкостью к истиранию, сравнимой с металлической оснасткой [12].

В результате модельные комплекты, изготовленные из данных пластиков, имеют ряд существенных преимуществ: длительный срок службы (до 100 тыс. съёмов); высокую ремонтпригодность (трещины, сколы и прочее восстанавливается специальными пастами, в состав которых входит тот же пластиковый материал); минимальное усилие съёмов при формовке благодаря уникальным антифрикционным свойствам пластополимеров практически исключает необходимость использования разделительных покрытий как при формовке песчано-глинистых смесей, так и при изготовлении форм и стержней из холднотвердеющих смесей; высокую влагостойкость и стойкость по отношению к агрессивным средам; малую усадку используемых материалов (составляет 0,2–0,3 мм на 1 м); возможность изготавливать копию модели-эталона с микронной точностью [12].

Для повышения конкурентоспособности производимых отливок предъявляются повышенные требования к качеству продукции. Как результат, уделяется все большее внимание внедрению экологически чистых материалов и способов их соединения, которые могут обеспечить конкурентоспособность при производстве качественных отливок как на отечественном, так и на международном рынке. При создании модельных комплектов необходимо уделять основное внимание как возможности его производства из отечественного сырья, так использованию мирового опыта, основанного на моделировании и 3D-прототипировании модельных комплектов. Известно [13–15], что при проектировании и использовании модельной оснастки должна быть обеспечена высокая стойкость к истиранию, а также высокая стойкость к связующему веществу формовочной смеси, отсутствие склонности к деформациям в течение всего времени работы. Следовательно, используемые материалы модельных комплектов должны быть легкими в обработке, легко заменяемыми и ремонтнопригодными, иметь небольшую массу и максимально высокий срок службы.

Наиболее удовлетворяет приведенным выше требованиям применение пластиковых и/или комбинированных моделей, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с классическими моделями. Например, пластики дешевле металлов и более легкие, а металлические вставки более износостойкие, чем деревянные комплекты, следовательно, целесообразно совмещение материалов для повышения ресурсов модельного комплекта. При этом следует отметить, что использование традиционной оснастки (деревянных моделей) вполне себя оправдывает при единичном или мелкосерийном производстве отливок, а также при крупногабаритном литье [16]. Ее главное достоинство – дешевизна и доступность. Стоимость фанерных изделий из дерева в 6–8 раз меньше стоимости модельных плит из других материалов. Однако, как показали промышленные испытания, изготовление пластиковых моделей менее энергоемко [16] (рис. 1).

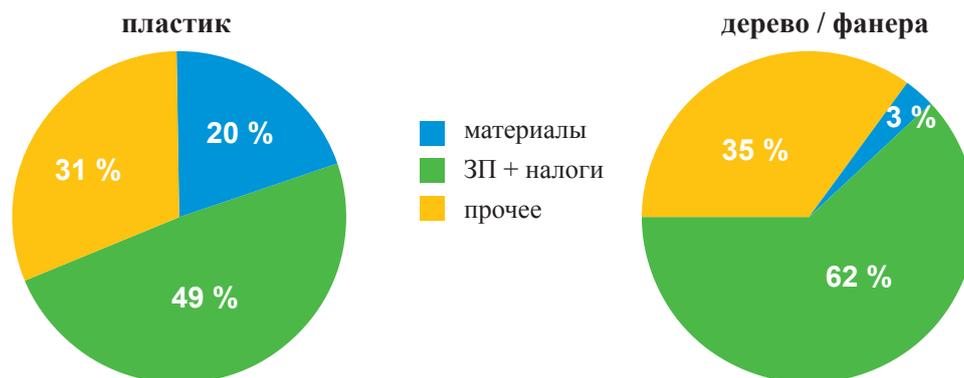


Рис. 1. Структура расходов на изготовление оснастки [16]

Если сравнивать время изготовления модельной оснастки из дерева и пластика, то процессы механообработки на станке с ЧПУ в процессе фрезеровки в обоих случаях идентичны и не сильно отличаются по времени, а финишная, слесарно-сборочная обработка, по [16], в 1,5 раза быстрее, что приводит к удешевлению процесса (рис. 2).

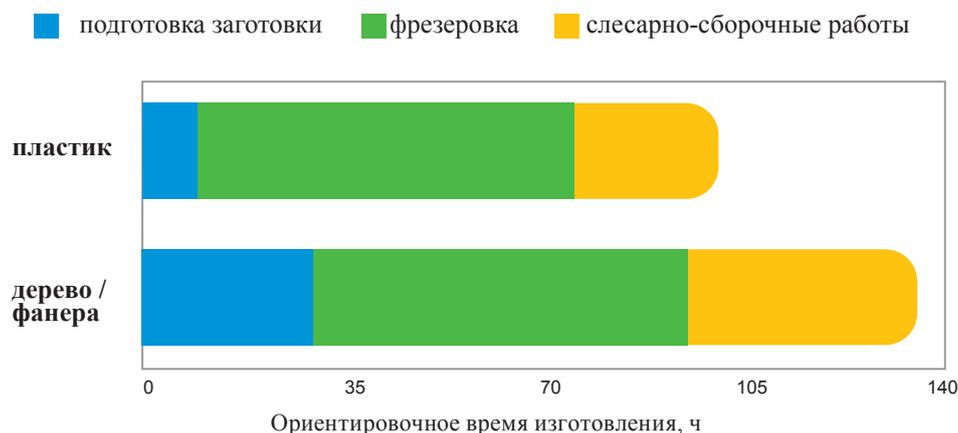


Рис. 2. Время изготовления оснастки [16]

В условиях мелкосерийного производства жизненный цикл модельного комплекта состоит из этапов использования, хранения и профилактики ремонта. При этом общее состояние эксплуатации модельного комплекта состоит из максимального количества формовок, длительности сохранения свойств модельного комплекта, временных и трудовых затрат на ремонт [16]. Для деревянных моделей из-за их влагонасыщения, коробления либо рассыхания (в период хранения) увеличивается время обслуживания, так как модельные комплекты получают значительные повреждения, вплоть до капитального ремонта или списания комплекта. При использовании гипсовых и цементных моделей их хранение вообще не является целесообразным. В отличие от ранее рассмотренных материалов пластиковые комплекты имеют большие гидроотрицательные свойства, что уменьшает период обслуживания в несколько раз. Кроме того, необходимо отметить более высокую износостойкость по трению с формовочной смесью у пластика по сравнению с МДФ и деревом.

Результаты испытаний

Для выяснения надежности монтажа модельного комплекта при помощи склеивания объектом исследования были выбраны следующие клеевые составы: DP 8005 (3M), EPOLAM 2002 (Sika Advanced Resins), EP-2306 (Rampf). Все эти клеи двухкомпонентные. При этом только DP 8005 в отличие от других рассматриваемых адгезивов имеет акриловую основу. Были подготовлены экспериментальные образцы из различных видов модельного пластика с одинаковым типоразмером, которые были склеены вышеуказанными клеевыми составами. При этом исходили из того, что клей EP-2306 предпочтительнее использовать на модельных плитах с повышенной пористостью типа PROLAB 65, а EPOLAM 2002 и DP 8005 заявлены производителем как универсальные клеи. Технические характеристики используемых модельных обрабатываемых плит и соответствующих адгезивов приведены в [17]. Подготовку поверхности проводили по стандартной методике, описанной в [18].

Результаты проведенных механических испытаний на разрыв образцов из различных видов модельного пластика диаметром 17 мм, склеенных рекомендованными клеевыми составами, приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Результаты разрывных испытаний склеенных модельных пластиков

Вид пластика (цвет)	Номер группы образцов	Вид адгезива		
		DP 8005 (3M)	EPOLAM 2002 (Sika Advanced Resins)	EP-2306 (RAKU-OOL)
PRO LAB-65 (красный)	1	Исходный образец плотностью 0,65 г/см ³ (пластик без клеевого соединения) – 23,6 МПа		
	2	21,49		
	3		16,36	
	4			25,47
LAB 850 (синий)	5	Исходный образец плотностью 1,18 г/см ³ (пластик без клеевого соединения) – 48,3 МПа		
	6	22,8		
	7		16,83	43,1
WB-1404 (желтый)	8	Исходный образец плотностью 1,4 г/см ³ (пластик без клеевого соединения) – 54,7 МПа		
	9	36,1		
	10		20,83	54,8
PRO LAB-75 (серый)	11	Исходный образец плотностью 0,78 г/см ³ (пластик без клеевого соединения) – 28,3 МПа		
	12	26,6		
	13		14,54	31,1
Obo-Werke 1000 (белый)	14	Исходный образец плотностью 0,95 г/см ³ (пластик без клеевого соединения) – 34,3 МПа		
	15	29,3		
	16		15,79	32,5

Как видно из таблицы, применение универсального клея DP 8005 не сильно уступает по качеству крепления клеям, рекомендованным для изготовления модельных комплектов. Например, при креплении ряда пластиков с невысокой плотностью универсальные клеи могут превосходить составы, рекомендуемые для модельного производства (в случае PRO LAB-65), иметь приблизительно схожие значения (в случае Obo-Werke 1000) или значительно уступать (в случае LAB 850).

При изготовлении модельной оснастки применяется крепление пластических масс в различных комбинациях, например, пластик/пластик, пластик/металл, пластик/МДФ и их комбинации в любой последовательности (рис. 3).



Рис. 3. Пример исполнения модельной оснастки (МДФ, металлические стержни, сталь Ст45 и пластики: PROLAB 75 и LAB 850)

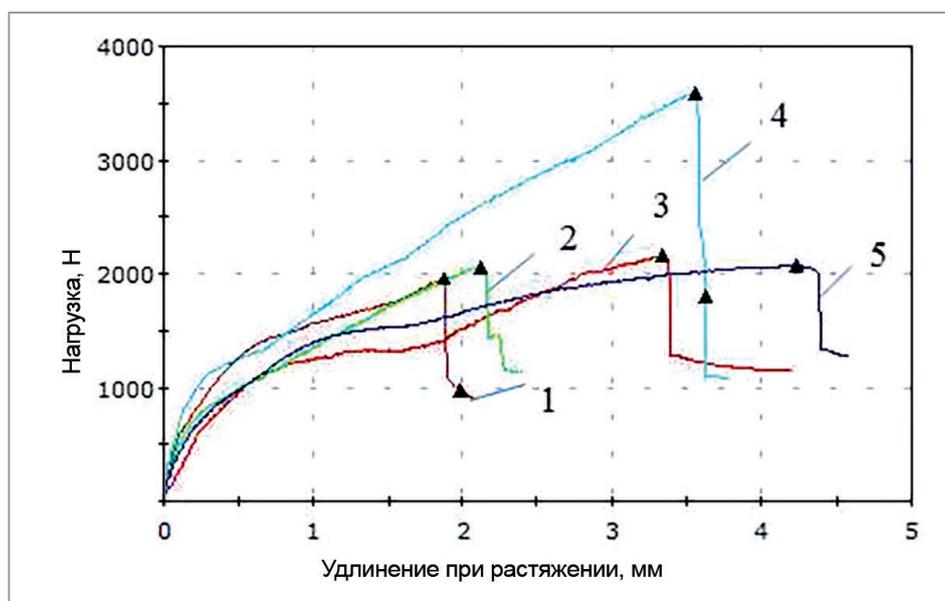


Рис. 4. Испытания на разрыв склеенных комбинированных образцов (модельный пластик – сталь Ст 45):

- 1 – комбинация с модельным пластиком PROLAB-75; 2 – комбинация с модельным пластиком LAB 850;
3 – комбинация с модельным пластиком Обо-Werke 1000; 4 – комбинация с модельным пластиком WB-1404;
5 – комбинация с модельным пластиком PROLAB-65

Для снижения себестоимости проектируемых комплектов необходимо оценить надежность склеенного композиционного соединения. Были проведены механические испытания на разрыв комбинированных образцов из материалов, которые могут применяться в модельных комплектах. Для испытаний были использованы те же виды пластика, что и ранее, однако в отличие от испытаний, приведенных выше, крепление данных сортов пластика с основой из стали Ст45 и нержавеющей стали выполняли при помощи универсального адгезива DP 8005. Отмечено, что практически все образцы на основе пластических масс имеют схожий характер разрушения, отличающийся практически линейным растяжением с последующим моментальным разрушением, сопровождающимся потерей всех пластичных свойств (рис. 4, 5). Полученный результат показывает область максимально допустимого удлинения, при которых склеенный образец не теряет своих свойств. В табл. 2 приведены результаты прочностных испытаний на разрыв образцов композиционных соединений склеенных модельных пластиков с металлическими стержнями при помощи адгезива DP 8005.

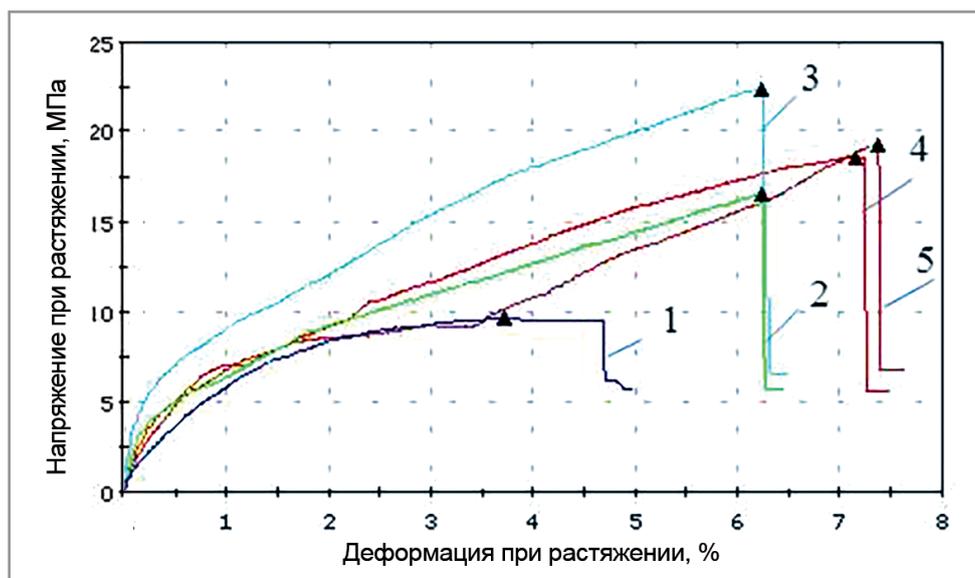


Рис. 5. Испытания на разрыв склеенных комбинированных образцов (модельный пластик – нержавеющая сталь):

- 1 – комбинация с модельным пластиком PROLAB-65; 2 – комбинация с модельным пластиком LAB 850;
3 – комбинация с модельным пластиком WB-1404; 4 – комбинация с модельным пластиком Obo-Werke 1000;
5 – комбинация с модельным пластиком PROLAB-75

По данным рис. 4, 5 выявлена потенциальная возможность пластиковых комплектов работать в широких диапазонах нагрузок (от 9,5 МПа и выше), при этом иметь возможное удлинение при растяжении более 1,5 мм, что не свойственно их деревянным аналогам.

Таблица 2. Прочностные испытания на разрыв склеенных образцов модельных пластиков с металлическими стержнями при помощи адгезива DP 8005 (3М)

Вид пластика (цвет)	Плотность, г/см ³	Нагрузка, МПа	
		соединение пластик-сталь Ст45	соединение пластик-нержавеющая сталь
PRO LAB-65 (красный)	0,65	13,437	9,69
LAB 850 (синий)	1,18	13,401	16,57
WB-1404 (желтый)	1,4	23,328	22,41
PRO LAB-75 (серый)	0,78	12,732	19,29
Obo-Werke 1000 (белый)	0,95	13,99	18,64

Из таблицы, сравнивая свойства DP 8005, видно, что соединение типа пластик/металл имеет более низкую разрывную прочность по сравнению с соединением пластик/пластик. Данный факт может быть объясним тем, что при испытании полученного композиционного соединения в корне меняется механизм разрушения образца [19]. Если в случае цельной пластиковой заготовки сжимающие усилия от зажимов и растягивающиеся усилия от испытательной машины равномерно распределены по телу образца, то в случае пластик/металл сжимающие усилия могут нивелироваться металлической частью композита, а растягивающиеся могут смещаться в область пластика, имеющего меньшие линейные размеры по сравнению с исходной пластиковой заготовкой.

Разброс показателей у пластиков плотностью ниже 1 г/см³ предположительно может быть объясним их различием в химическом составе, пористости и шероховатости поверхности. У пластиков, имеющих плотность более 1 г/см³ (LAB 850 и WB-1404), наблюдается диаметрально противоположная картина: рекомендованные для производства модельных комплектов клеи превышают универсальные более чем в 1,5–3,0 раза. Как результат, для универсального клея предпочтительнее работа с пластиками, имеющими плотность более 1 г/см³.

Максимальная прочность соединенных материалов при использовании универсального клея DP 8005 достигается на пластике WB-1404 плотностью 1,4 г/см³. Для особо мягких пластиков плотностью до 0,65 г/см³ (PRO LAB-65) разрыв наблюдается не по клеевому шву, а по телу образца, как результат, данные не могут быть включены в статистический ряд, так как в большей или меньшей степени отражают

прочностные свойства исходного материала. При использовании малопрочных материалов плотностью 0,78 и 0,95 г/см³ (PRO LAB-75 Obo-Werke 1000 соответственно) происходит стабильное увеличение прочности клеевого шва с увеличением прочностных свойств подложки. Для материалов, обладающих высокой плотностью (LAB 850 и WB-1404), отмечаются наиболее высокие показатели разрывной прочности, достигающие 23,3 МПа. При этом однозначной зависимости прочностных параметров клеевого шва вне зависимости от материала подложки (нержавеющая сталь или сталь Ст 45) не наблюдается, что, возможно, объясняется индивидуальными особенностями сопрягаемых материалов. При этом в малопрочных пластиках перепады прочностных свойств в зависимости от материала подложки могут достигать 37%.

Выводы

В результате выполненной работы был проведен анализ композиционных соединений пластик/пластик и пластик/металл, полученных с помощью технологии склеивания, применяемых для создания модельных комплектов, и выполнены механические испытания на разрыв, показавшие, что универсальные клеи могут заменять широкую гамму рекомендуемых производителями модельных клеев практически для всех видов модельных пластиков, а при применении композиций пластик/металл могут превышать прочностные свойства исходных пластиков. Доказано, что для крепления пластичных масс плотностью менее 1 г/см³ возможно использование универсальных клеев, в то время как их применение для пластичных масс плотностью более 1 г/см³ нецелесообразно, так как уступает клеям, рекомендованным производителем для модельного производства в 1,5–3,0 раза (при испытаниях на разрывную прочность). Как результат, авторами предложено использовать для крепления пластиков плотностью менее 1 г/см³ универсальные клеи с минимальной стоимостью и доступностью, что может принести значительный экономический эффект при отказе от рекомендованных и продаваемых специализированных адгезивов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Затуловский, С. С.** Литые композиционные материалы / С. С. Затуловский, В. Я. Кезик, Р. К. Иванова. Киев: Техника, 1990. 240 с.
2. **Оспенникова, О. Г.** Направления развития изготовления модельных композиций для лопаток и других деталей ГТД / О. Г. Оспенникова, И. Р. Асланян // Литейное производство. 2018. № 3. С. 20–24.
3. **Абрамов, Г. Г.** Справочник молодого литейщика / Г. Г. Абрамов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк., 1983. 207 с.
4. Технология машиностроения. Штамповое и литейное производство: учеб. для СПО / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во Юрайт, 2019. 330 с.
5. **Граблев, А. Н.** Машины и технология литейного производства. Введение в специальность: учеб. пособ. / А. Н. Граблев, А. Н. Болдин. М.: МГИУ, 2010. 228 с.
6. **Никифоров, В. М.** Технология металлов и других конструкционных материалов: учеб. для техникумов / В. М. Никифоров. 10-е изд., стер. СПб.: Политехника, 2015. 382 с.
7. **Вальтер, А. М.** Основы литейного производства: учеб. / А. И. Вальтер, А. А. Протопопов. М.; Вологда: Инфа-Инженерия, 2019. 332 с.
8. Конспект лекций по курсу «Модельное производство». Мариуполь: ПГТУ. 2009. 138 с.
9. **Клебанер, В. Я.** Экономика и организация модельного производства / В. Я. Клебанер. Л.: Машиностроение, 1968. 160 с.
10. **Дмитрович, А. М.** Справочник литейщика / А. М. Дмитриевич. Минск: Выш. шк., 1989. 391 с.
11. Справочник литейщика / С. А. Алексеев [и др.]; под общ. ред. Н. Н. Рубцова. М.: МАШГИЗ, 1962. 524 с.
12. **Нелюб, И. А.** Особенности и преимущества применения современных пластиополимерных материалов для изготовления модельной оснастки / И. А. Нелюб, П. А. Кушель, С. Л. Ровин // Литье и металлургия. 2010. Т. 58. № 4. С. 36–39.
13. **Янович, А.** Полимерные материалы RAMPF Tooling для изготовления литейной оснастки / А. Янович, А. Кравец // Литейное производство. 2013. № 8. С. 9–10.
14. **Янович, А.** Модельный пластик RAKU-TOOL для изготовления литейно-стержневой оснастки / А. Янович, П. Костяев // Литейное производство. 2013. № 11. С. 34–36.
15. **Янович, А.** Объемные блоки производства RAMPF Tooling для изготовления литейной оснастки / А. Янович, П. Костяев // Литейное производство. 2013. № 12. С. 26–28.
16. **Майоров, А.** Пластик – перспективный материал для модельной оснастки / А. Майоров // Литейщик России. 2018. № 9. С. 12–18.
17. **Калиниченко, М. Л.** Современные способы создания модельных комплектов для литья / М. Л. Калиниченко, Л. П. Долгий, С. Л. Ровин, В. А. Кукарко, В. А. Калиниченко // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 3. С. 125–130.
18. **Калиниченко, М. Л.** Новые методы крепления пористых и компактных материалов / М. Л. Калиниченко, В. А. Калиниченко // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. науч. тр. В 3-х кн. Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки. Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2015. С. 72–79.
19. Композиционные материалы: Справ. / Под ред. В. В. Василева, Ю. М. Тарнопольского. М.: Машиностроение, 1990. 570 с.

REFERENCES

1. **Zatulovskij S.S., Kezik V. Ja., Ivanova R.K.** *Litye kompozicionnye materialy* [Cast Composite Materials]. Kiev, Tehnika Publ., 1990, 240 p.
2. **Ospennikova O.G., Aslanjan I.R.** Napravlenija razvitija izgotovlenija model'nyh kompozicij dlja lopatok i drugih detalej GTD [Directions of development of the manufacture of model compositions for blades and other parts of gas turbine engines]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry*, 2018, no. 3, pp. 20–24.
3. **Abramov G.G.** *Spravochnik mladogo litejshhika* [Handbook of a young caster]. Moscow, Vysshaja shkola Publ., 1983, 207 p.
4. **Rogov V.A., Poznjak G.G.** *Tehnologija mashinostroenija. Shtampovoe i litejnoe proizvodstvo* [Engineering Technology. Stamping and foundry]. Moscow, Izdatel'stvo Jurajt Publ., 2019, 330 p.
5. **Grablev A.N., Boldin A.N.** *Mashiny i tehnologija litejnogo proizvodstva* [Foundry machines and technology]. Moscow, MGIU Publ., 2010, 228 p.
6. **Nikiforov V.M.** *Tehnologija metallov i drugih konstrukcionnyh materialov: uchebnik dlja tehnikov* [Technology of metals and other structural materials]. S.-Peterburg, Politehnika Publ., 2015, 382 p.
7. **Val'ter A.M., Protopopov A.A.** *Osnovy litejnogo proizvodstva* [Foundry Basics]. Moscow, Vologda: Infa-Inzhenerija Publ., 2019, 332 p.
8. Konspekt lekcij po kursu «Model'noe proizvodstvo» [Lecture notes on the course «Model Production»]. Mariupol', PGTU Publ., 2009, 138 p.
9. **Klebaner V. Ja.** *Jekonomika i organizacija model'nogo proizvodstva* [Economics and organization of model production]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1968, 160 p.
10. **Dmitrovich A.M.** *Spravochnik litejshhika* [Foundry Handbook]. Minsk, Vyshhejschaja shkola Publ., 1989, 391 p.
11. **Alekseev S.A.** *Spravochnik litejshhika* [Foundry Handbook]. Moscow, MASHGIZ Publ., 1962, 524 p.
12. **Neljub I.A., Kushel' P.A., Rovin S.L.** Osobennosti i preimushhestva primenenija sovremennyh plastopolimernyh materialov dlja izgotovlenija model'noj osnastki [Features and advantages of using modern plastopolymer materials for the manufacture of model equipment]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2010, no.4, vol. 58, pp. 36–39.
13. **Janovich A., Kravec A.** Polimernye materialy RAMPF Tooling dlja izgotovlenija litejnoj osnastki [Polymeric materials RAMPF Tooling for the manufacture of foundry equipment]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry*, 2013, no. 8, pp. 9–10.
14. **Janovich A., Kostjaev P.** Model'nyj plastik RAKU-TOOL dlja izgotovlenija litejno-sterzhnevoj osnastki [Model plastic RAKU-TOOL for the manufacture of foundry-core equipment]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry*, 2013, no. 11, pp. 34–36.
15. **Janovich A., Kostjaev P.** Ob'emnye bloki proizvodstva RAMPF Tooling dlja izgotovlenija litejnoj osnastki [RAMPF Tooling Volumetric Blocks for Casting Tooling]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry*, 2013, no. 12, pp. 26–28.
16. **Majorov A.** Plastik – perspektivnyj material dlja model'noj osnastki [Plastic – a promising material for model equipment]. *Litejshhik Rossii = Foundry of Russia*, 2018, no. 9, pp. 12–18.
17. **Kalinichenko M.L., Dolgij L.P., Rovin S.L., Kukareko V.A., Kalinichenko V.A.** Sovremennye sposoby sozdaniya model'nyh komplektov dlja lit'ja [Modern methods of creating model kits for casting]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2018, no. 3, vol. 91, pp. 125–130.
18. **Kalinichenko M.L., Kalinichenko V.A.** Novye metody krepnenija poristyh i kompaktnyh materialov [New methods for fixing porous and compact materials]. *Sbornik nauchnyh trudov «Tehnologii i oborudovanie mehanicheskoi i fiziko-tehnicheskoi obrabotki»* [Collection of scientific papers «Technologies and equipment for mechanical and physical-technical processing»]. Minsk, FTI NAN Belarusi Publ., 2015, pp. 72–79.
19. **Vasilev V.V., Tarnopol'skij Ju.M.** *Kompozicionnye materialy* [Composite materials]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990, 570 p.