

АНАЛИЗ СВОЙСТВ ПЛАСТИКОВЫХ МОДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ

М. Л. КАЛИНИЧЕНКО, Б. М. НЕМЕНЁНОК, д-р техн. наук
Белорусский национальный технический университет

В работе представлена информация и проведен анализ используемых пластических масс для создания модельных комплектов. Выполнены сравнительные механические испытания используемых в Республике Беларусь пластиков, как в исходном виде, так и в качестве склеенных соединений различными типами адгезионных составов. Рассмотрены механизмы сопротивления клевого шва сжимающим нагрузкам. Выявлены закономерности поведения склеенных пластиков при нагрузках, соответствующих машинной формовке. Обоснована экономическая целесообразность изготовления модельных комплектов на основе пластических масс по сравнению с другими методами прототипирования.

Ключевые слова: модельная оснастка, литейное производство, адгезивы, модельный пластик, детали для модельных комплектов, механические испытания на сжатие, экономическая эффективность.

PLASTIC MODEL KITS PROPERTIES ANALYSIS

M. L. KALINICHENKO, B. M. NEMENENOK, Dr. of Engineering Sciences
Belarusian National Technical University

The article presents information and analyzes the plastics used to create model kits. Comparative mechanical tests of plastics used in the Republic of Belarus, both in their original form and as glued joints of various types of adhesive compositions, have been performed. The mechanisms of resistance of the adhesive seam to compressive loads are considered. The patterns of behavior of glued plastics under loads corresponding to machine molding are revealed. The economic feasibility of manufacturing model kits based on plastic masses in comparison with other methods of prototyping is substantiated.

Keywords: model tools, foundry, adhesives, plastic model, parts of model kits, mechanical the tensile test, economical efficiency.

Функционирование литейного участка на производстве невозможно без соответствующей литейной оснастки и, в первую очередь, без производства модельных комплектов. В настоящее время наиболее распространенными материалами для их изготовления является древесина, металл и пластические массы. Металлические модельные комплекты, как правило, используются на предприятиях массового и крупносерийного производства и обладают высокими стоимостными показателями. Таким образом, такой тип комплектов не подходит мелкосерийным и среднесерийным производственным предприятиям по причине специфики их работы, связанной как с частой сменяющейся номенклатурой, так и необходимостью снижения себестоимости выпускаемых изделий [1, 2].

Наиболее подходящими для мелкосерийного и среднесерийного производства являются модели, изготовленные из древесины или пластика [2–5]. При этом более дешевыми являются деревянные модельные комплекты. Применение их наиболее эффективно при изготовлении единичных изделий, после чего модельный комплект может быть просто утилизирован. В том случае, когда на предприятии предполагается повторное изготовление подобных изделий, возникают проблемы с хранением деревянного модельного комплекта, что обусловлено небольшими складскими помещениями на предприятиях мелкосерийного и единичного производства. Также необходимо создать специальные условия для складирования и хранения, чтобы исключить процессы набухания или рассыхания древесины, приводящие к короблению и изменению геометрических размеров модельного комплекта.

Пластиковые модельные комплекты имеют максимум преимуществ по сравнению с деревянными модельными комплектами, например, в процессе их механической обработки. Технологический процесс их производства может быть даже более дешевым, чем деревянных комплектов, так как они не требуют поддержания сушкой установленного процента влажности и, в отличие от древесины, нет необходимости учитывать особенности работы вдоль или поперек волокон. Также модельные комплекты могут длительное время находиться в неотопляемых помещениях с широким диапазоном температур без риска их геометрических изменений, это заметно облегчает и удешевляет хранение модельной оснастки.

В настоящее время остро стоит вопрос импортозамещения ряда изделий в машиностроительной сфере, а именно, запасных частей, которые не подлежат восстановлению или трудно поддаются ремонту.

Учитывая большое количество небольших ремонтно-механических заводов, возможно создание модельных комплектов на основе высокоизносостойких пластиков [2, 5]. С помощью этих материалов и технологии 3D-фрезерования, а также 3D-печати возможно создание моделей, способных получать импортозамещающие заготовки методами литейного производства.

Основная часть. Для изготовления пластмассовой оснастки необходимо специальное оборудование [6]. Основные технологические процессы для достижения этой цели и оборудование представлены ниже. В первую очередь, можно упомянуть технологии 3D-печати, а именно, SLS-технологию, при которой полистирол широко используется в качестве модельного материала для традиционного литья по выжигаемым моделям. В связи с бурным развитием технологий послойного синтеза он приобрел особую популярность в области прототипирования, а также для промышленного изготовления штучной и малосерийной продукции. Такую технологию часто применяют для изготовления отливок сложной формы относительно больших размеров с умеренными требованиями по точности [7, 8]. Модельный материал – полистирольный порошок с размером частиц 50–150 мкм накатывается специальным роликом на рабочую платформу, установленную в герметичной камере с атмосферой азота. Затем платформа опускается на 0,1–0,2 мм, и новая порция порошка накатывается поверх отвержденного, при этом формируется новый слой, который также спекается с предыдущим. Процесс повторяется до полного построения модели. Преимуществом данной технологии является отсутствие поддержек, поскольку во время построения модель и все ее строящиеся слои удерживаются массивом порошка [7, 8].

Стоит также упомянуть и другую технологию получения выжигаемых синтез-моделей – Ink-Jet от компании Voxeljet Technology (Германия). В качестве модельного материала здесь используется порошковый акриловый полимер [9]. Головка устройства, содержащая от двух до 96 сопел, наносит модельный и поддерживающий материал на поверхность слоя. После нанесения слоя могут проводиться его фотополимеризация и механическое выравнивание. Этот

метод позволяет получать прозрачные и многоцветные прототипы с различными механическими свойствами: от мягких, резиноподобных до твердых, похожих на пластик [9].

Также известна FDM-технология, когда исходным сырьем для печати является проволока, а источником энергии может быть электронный луч, луч лазера или плазменная дуга. Этот процесс идет с высокой скоростью и позволяет получать объемные изделия, но требует более интенсивной механической обработки, чем изделия из порошка [9].

Основными преимуществами FDM-технологии является большой выбор материалов и хорошие физико-механические свойства конечных изделий, изготовленных с использованием этой технологии. Они являются одними из самых прочных полимерных изделий, которые изготавливаются в аддитивном производстве [9].

В работе рассмотрены используемые на территории СНГ пластики, являющиеся основой для получения модельных комплектов методами 3D-фрезерования и способы их крепления доступными адгезионными составами. Для исследований были выбраны пластики PROLAB 65 (Axson); LAB 850 (Axson) [10]; LAB 920GN (Axson), соединенные с помощью клеев на акриловой основе DP 8805NS, DP 8005NS, универсальный цианакрилатный супер клей «Секунда 505» и полиуретановый LOCTITE UK 8103B10. Характеристики модельных плит LAB 920 GN (Axson), промышленного адгезива LOCTITE UK 8103B10 и универсального клея «Секунда 505» приведены в таблицах 1, 2. Эти типы материалов хорошо показали себя при создании модельных комплектов для цветного литья.

Были проведены исследования прочностных характеристик и свойств данных материалов на сжатие, а также их соединений, созданных с помощью технологии склеивания. Экспериментальный ряд образцов состоял из модельных пластиков, склеенных вышеупомянутыми клеями.

Учитывая, что литниково-питающая система состоит из разновысотных деталей, которые могут отличаться по высоте в несколько десятков раз, например, питатель и стояк, клеевые швы могут находиться как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Для увеличения срока службы модельного комплекта не должно происходить его растрескивание, охрупчивание. В районе клеевых швов не должно наблюдаться деформаций и связанных с ними углубле-

ний и выступов. Для получения качественной литой заготовки, во-первых, необходима гладкая поверхность модели, во-вторых отсутствие трещин в модельном комплекте, что может привести к отрыву формовочной смеси и к изменению геометрических размеров и качества поверхности отливки.

Таблица 1 – Технические характеристики модельных обрабатываемых плит типа LAB 920 GN (Axson)

Материал	Описание	Цвет	Применение	Плотность, г/см ³	Коэфф. теплового расширения СТЕ 10 ⁻⁶ , К ⁻¹	Твердость (по Шору)	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на изгиб, МПа
LAB 920 GN (Axson)	Плиты для механической обработки. Обладают превосходной ударпрочностью, очень хорошей абразивной стойкостью, легкой механообработкой, имеют очень хорошую поверхность после механообработки	Зеленый	Абразивно-устойчивые плиты для механической обработки для производства литейных моделей, стержневых ящиков и любых других инструментов, изготовленных на станках с ЧПУ	1,3	85	85 D	68	75

Выход из строя модельных комплектов, как правило, происходит в результате нарушения их геометрии. Это связано как с неправильными условиями хранения, так и в результате трения с абразивными составляющими, входящими в состав формовочной смеси. Деформации тела моделей возникают в условиях динамических нагрузок при уплотнении формовочной смеси. Чтобы снизить вероятность выхода из строя модельного комплекта по последней при-

чине, используемые пластические массы должны быть устойчивы к прилагаемым нагрузкам, а также обладать свойствами релаксации после снятия напряжений.

Таблица 2 – Характеристика промышленного адгезива LOCTITE UK 8103 B10 и универсального супер клея «Секунда 505»

	LOCTITE UK 8103 B10		Супер клей «Секунда 505»
	Основа А	Отвердитель В	–
Тип	полиуретановый		цианакрилат
Плотность, г/см ³	1,6–1,7		–
Вязкость, МПа с	24 000–30 000	250–350	–
Цвет	бежевый	коричневый	прозрачный
Время набора начальной прочности (23 °С)	60–80 мин		10–20 с
Время набора конечной прочности (23 °С)	2–3 дня		10–20 мин
Соотношение компонентов	По массе 5 : 1		–
	По объему 3,7 : 1		–
Срок хранения	Рекомендуемая температура хранения, 15–30 °С, срок хранения 12 мес. (в оригинальной нескрываемой упаковке)		36 мес. от даты производства
Прочность на сдвиг при разрыве, МПа	> 6		–
Диапазон температур эксплуатации, °С	–40... +80		–
Расход, г/м ² (в зависимости от подложки)	200–400		–
Область применения	Основная область применения – производство сэндвич-панелей, например, при производстве транспортных средств, контейнеров и в строительной отрасли. Используется для склеивания предварительно подготовленных поверхностей металлов, синтетических материалов, дерева и жесткого пенопласта. Может применяться в качестве заливочного компаунда, наполнителя и для формирования покрытия		Универсальный водостойкий суперклей предназначен для быстрого склеивания изделий из пластмасс, металла, дерева, резины и т. д.

Изготовление модельных комплектов из одного листа, имеющего, как правило, толщину 50 мм, весьма проблематично, так как многие детали имеют большие размеры. Как результат, в процессе производства происходит наращивание толщины пластика за счет склеивания листов друг с другом. Для склеивания используются акриловые, полиуретановые, эпоксидные и другие клеи [10]. При этом применяемый клей должен обладать, как хорошими адгезионными свойствами, так и удовлетворять тем же требованиям, что и модельные пластики, поскольку вместе они составляют рабочую композицию.

Представляет интерес изучение способности промышленных пластиков с различной плотностью, склеенных адгезионными составами, противостоять сжимающим нагрузкам, а также исследование поведения склеенного шва при сжимающих нагрузках в зависимости от направления приложенного давления (параллельно или перпендикулярно клеевому шву).

Для оценки качества модельного комплекта, из выбранных пластиков были изготовлены образцы размером 15×15×30 мм, а для склеивания – образцы 15×15×15 мм, чтобы они после склеивания имели аналогичную исходным образцам геометрию. Образцы были соединены доступными промышленными клеями. Отверждение проводилось при нормальных условиях без приложения нагрузки. После полимеризации образцы выдерживали в течение 14 сут и испытывали на сжимающие напряжения в соответствии с ГОСТ 4651-2014 «Пластмассы. Метод испытания на сжатие». Испытания образцов проводились на базе сертифицированного центра структурных исследований и трибомеханических испытаний материалов и изделий машиностроения Объединенного института машиностроения НАН Беларуси (ЦКП – ЦСИМИ ОИМ НАН Беларуси) с помощью разрывной машины Instron 300LX. Результаты обрабатывались с помощью программы Bluehill 2 (Великобритания).

Результаты испытаний. Проведенные испытания показали, что склеенные образцы не уступают цельным аналогам, при этом все типы используемых клеев не подвергались разрушению клевого шва на всех исследуемых пластиках. Необходимо отметить, что сплошность клевого слоя не была нарушена ни в случае поперечного, ни в случае продольного нагружения (рисунки 1, 2).

При этом следует отметить, что деформационные изменения в продольных и поперечных направлениях могли сильно колебаться по величине. Однако, несмотря на существенную деформацию образцов модельных пластиков, разрушение клевого шва при использовании выбранных видов адгезионных составов не наблюдалось.

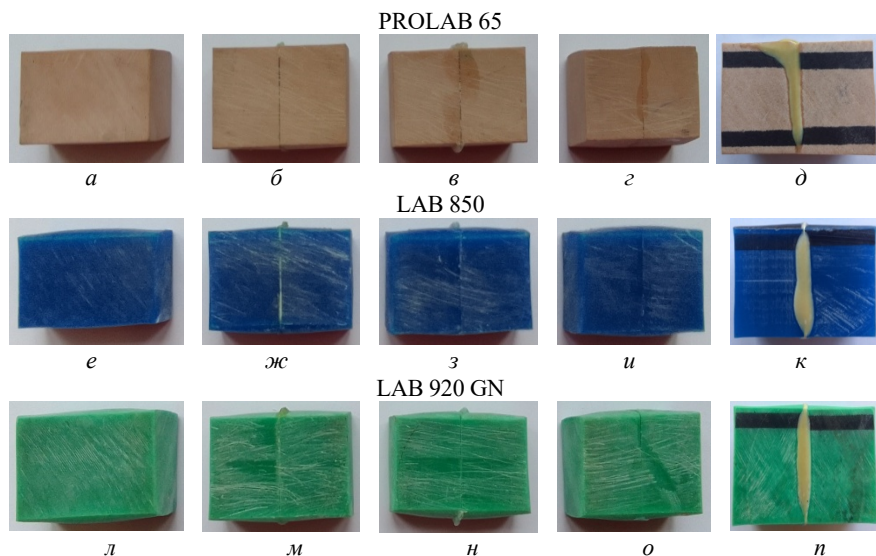
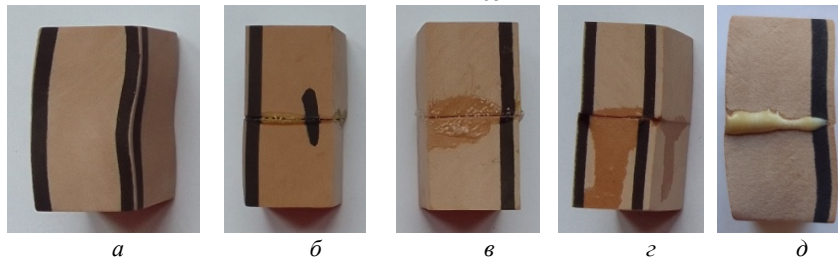


Рисунок 1 – Деформационные изменения пластиков на примере PROLAB 65; LAB 850; LAB 920 GN при нагружении параллельно клеевому шву:

- а, е, л* – деформационные изменения исходных пластиков;
- б, ж, м* – деформационные изменения пластиков, склеенных клеем DP 8805NS;
- в, з, н* – деформационные изменения пластиков, склеенных клеем DP 8005NS;
- г, и, о* – деформационные изменения пластиков, склеенных супер клеем «Секунда 505»;
- д, к, п* – деформационные изменения пластиков, склеенных супер клеем LOCTITE UK 8103B10

PROLAB 65



а

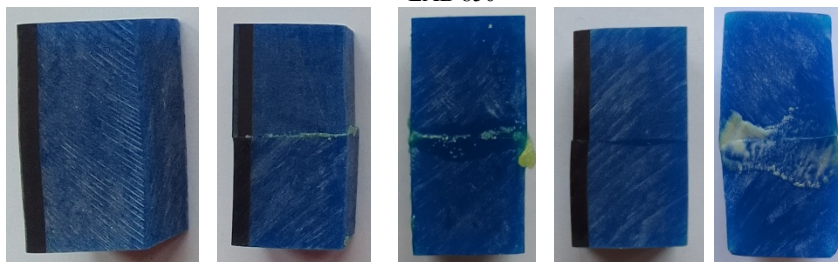
б

в

г

д

LAB 850



е

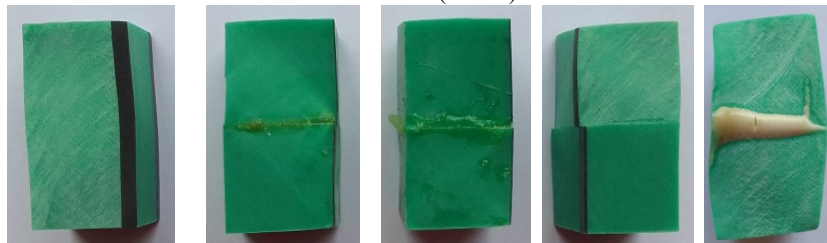
ж

з

и

к

LAB 920 GN (Axson)



л

м

н

о

п

Рисунок 2 – Деформационные изменения пластиков на примере PROLAB 65; LAB 850; LAB 920 GN (Axson)

при нагружении перпендикулярно клеевому шву:

а, е, л – деформационные изменения исходных пластиков;

б, ж, м – деформационные изменения пластиков, склеенных клеем DP 8805NS;

в, з, н – деформационные изменения пластиков, склеенных клеем DP 8005NS;

г, и, о – деформационные изменения пластиков, склеенных супер клеем «Секунда 505»;

д, к, п – деформационные изменения пластиков, склеенных супер клеем LOCTITE UK 8103B10

Испытание прочностных свойств при приложении усилия параллельно клеевому шву (рисунки 3, 5) показали, что для пластика

PROLAB 65 показатели снизились по сравнению с цельным пластиком и склеенными пластиками до 9 %; для пластика LAB 850 до 8 % и для пластика LAB 920 GN до 7 %. При этом нет четкой зависимости изменения результатов от типа клея и нагрузки.

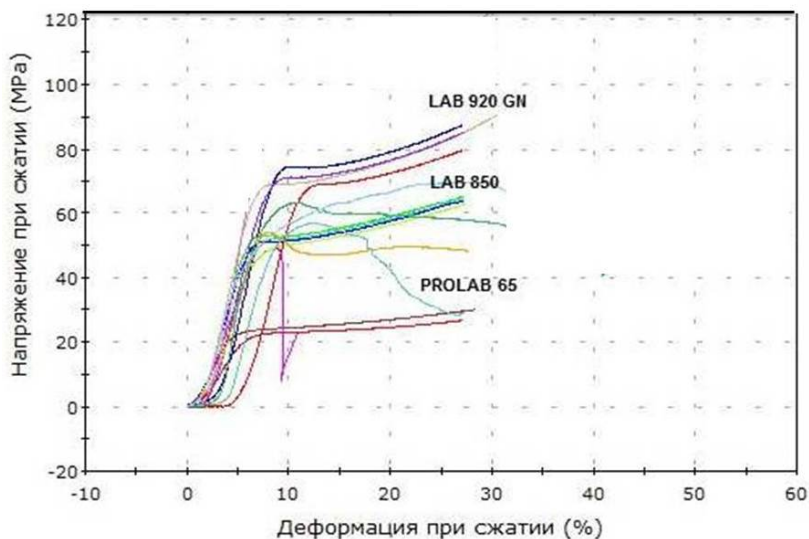


Рисунок 3 – Зависимость деформационных изменений от напряжения при сжатии (при нагружении параллельно клеевому шву)

Испытание прочностных свойств при приложении усилия перпендикулярно клеевому шву (рисунки 4, 5) показали, что для пластика PROLAB 65 показатели снизились по сравнению с цельным пластиком и склеенными пластиками до 8 %; для пластика LAB 850 и для пластика LAB 920 GN до примерно 6 %. При этом также не отмечено четкой зависимости изменения результатов от типа клея и нагрузки. Стоит отметить, что при приложении усилия параллельно клеевому шву потери немного выше, чем при нагружении перпендикулярно клеевому шву.

В результате проведенных исследований была выявлена адаптация склеенных пластиков к любым адгезионным составам, что подтверждается динамикой их разрушения и представлено на рисунках 3–5.

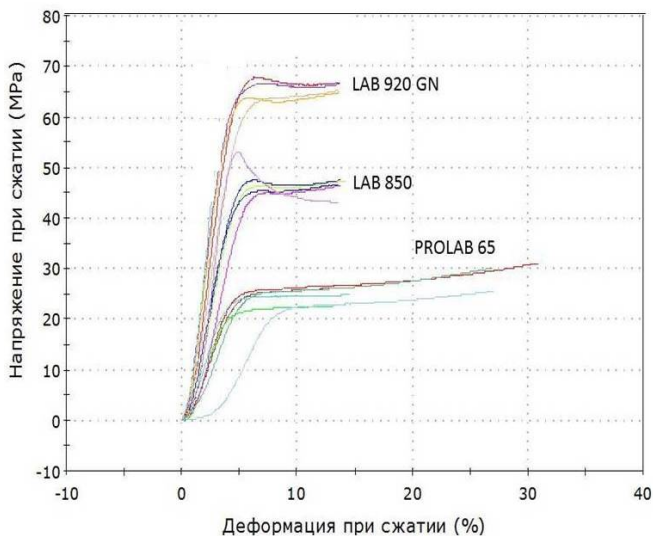


Рисунок 4 – Зависимость деформационных изменений от напряжения при сжатии (при нагружении перпендикулярно клеевому шву)

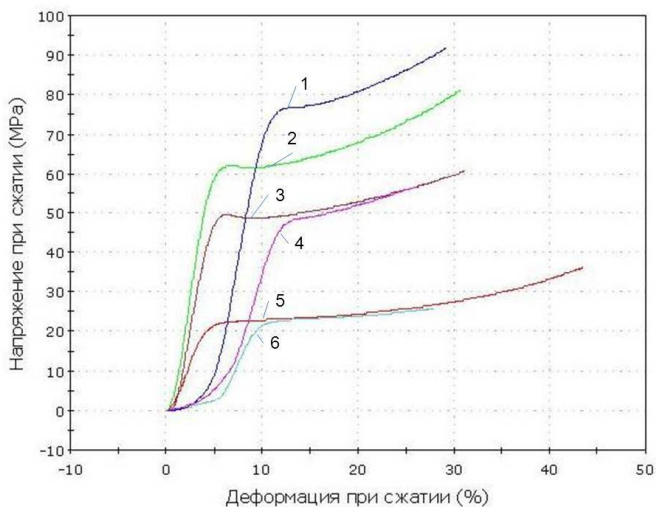


Рисунок 5 – Зависимость деформационных изменений от напряжения при сжатии полиуретанового клея LOCTITE UK 8103B10:
 1, 4, 6 – при нагружении параллельно клеевому шву;
 2, 3, 5 – при нагружении перпендикулярно клеевому шву

Как видно из рисунков 3–5, поведение всех исследуемых типов пластиков характеризуется одинаковой тенденцией. При этом на начальном этапе видно максимальное сопротивление пластических масс сжимающим нагрузкам, далее наблюдается некоторый максимум сопротивления, за которым следует необратимое пластичное течение. В качестве положительного момента необходимо отметить, что склеенные образцы, по тенденции сопротивления сжимающим нагрузкам, имеют аналогичную схему деформирования и пластического течения, что и исходные материалы. При этом данный эффект наблюдается при использовании любых типов клеевых составов. Таким образом, окончательный выбор пластиков не зависит от типа используемого клея, а только от необходимой плотности материала для решения конкретных задач.

Были проведены замеры геометрических изменений образцов, которые показали, что независимо от вида конструкции (цельная или склеенная) и направления приложения нагрузок (перпендикулярно или параллельно клеевому шву) это не повлияло на ее геометрию (таблицы 3, 4).

Таблица 3 – Размерные изменения при сжатии (при нагружении параллельно клеевому шву), мм

	Плотность пластика г/см ³	Цельный пластик	DP 8805NS	DP 8005NS	Супер клей «Секунда 505»	Loctite UK 8103B10
PROLAB 65(Axson)	0,65	13	13	13	13	13
LAB 850 (Axson)	1,18	13	13	13	13	13
LAB 920 GN (Axson)	1,3	13,5	13,5	13	13,5	13,5

Таблица 4 – Размерные изменения при сжатии (при нагружении перпендикулярно клеевому шву), мм

	Плотность пластика г/см ³	Цельный пластик	DP 8805 NS	DP 8005 NS	Супер клей «Секунда 505»	Loctite UK 8103B10
1	2	3	4	5	6	7
PROLAB 65 (Axson)	0,65	26	27,5	27,5	27,5	27,5

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7
LAB 850 (Axson)	1,18	28,5	28	28	28,5	28
LAB 920 GN (Axson)	1,3	28,5	28	28	27,5	28

Немаловажным значением является цена модельных пластиков. По данным УП «Технолит», г. Минск она составляет от 820 до 950 бел. руб., при разных объемах выпускаемых плит. Так плиты плотностью до $0,8 \text{ г/см}^3$ выпускаются размером $1500 \times 500 \times 50$ мм, выше этой плотности – размером $1000 \times 500 \times 50$ мм. Таким образом, ценовое различие более дешевых и дорогих пластиков составляет 34 %. Однако их прочностные характеристики по результатам исследований отличаются в 2 раза. Так пластик PROLAB 65 (плотностью $0,65 \text{ г/см}^3$) показывает напряжение при сжатии в продольном и поперечном направлении в пределах 20–30 МПа, а пластик LAB 850 (плотностью $1,3 \text{ г/см}^3$) показывает напряжение при сжатии в продольном и поперечном направлении в пределах 60–70 МПа. Оба пластика подходят для нужд мелкосерийного изготовления модельных комплектов, но, как показали исследования, для нужд машиностроения могут быть с уверенностью использованы самые дешевые пластики, которые превышают по своим механическим свойствам древесину в 3 и более раз.

При оценке экономической составляющей немаловажную роль имеет сравнение стоимости 3D-печати и 3D-фрезерования. Стоимость 3D-печати состоит из стоимости материала, работы и финишной механической обработки. При изготовлении пластиковых модельных комплектов их стоимость складывается из стоимости пластика и работ на 3D-фрезеровательном станке. Для обоих случаев 3D-фрезерование имеет одинаковую стоимость и составляет около 50 бел. руб. в час, при этом длительность процесса зависит от сложности изделия. Однако при 3D-фрезеровании процесс будет протекать дольше, так как изделие вытачивается из массива, а не из заранее подготовленной заготовки. Что касается сравнения стоимости основного материала, то для 3D-печати нитью она начинается от 40 бел. руб. за кг, при 3D-печати из гранул стоимость материала составляет от 10 бел. руб. за кг. Стоимость материалов, применяе-

мых для изготовления модельных комплектов исключительно фрезерованием, составляет от 29 бел. руб. за кг.

Как следствие, на настоящем этапе 3D-фрезерование имеет ценовое преимущество, благодаря невысокой стоимости материала и скорости обработки, которая составляет 12 кг/ч, печать нитью – 0,25 кг/ч и печать гранулами ориентировочно – 10 кг/ч.

Выводы. Проведенные исследования позволяют рекомендовать все типы предложенных пластиков для использования на предприятиях машиностроения, так как все они обладают достаточно высокой универсальностью и совместимостью с различными клеевыми составами, что может снизить себестоимость выпускаемых изделий из-за отсутствия необходимости закупки специальных клеевых составов и возможности использования клеев, уже имеющихся на предприятии.

Проведенные эксперименты показали, что выбранные типы адгезионных составов, несмотря на существенную деформацию матрицы склеенных соединений, сохраняют свои свойства и могут быть пригодны для создания модельных комплектов.

Установлено отсутствие влияния состава клея и наличия клеевого шва на способность пластиков релаксировать приложенные к ним напряжения.

Показано, что ценовое различие между более дешевыми и дорогими пластиками составляет около 34 %. Однако их прочностные характеристики по результатам исследований отличаются практически в 2 раза. Так пластик PROLAB 65 (плотностью 0,65 г/см³) показывает напряжение при сжатии в продольном и поперечном направлении в пределах 20–30 МПа, а пластик LAB 850 (плотностью 1,3 г/см³) показывает напряжение при сжатии в продольном и поперечном направлении в пределах 60–70 МПа. Оба пластика подходят для изготовления модельных комплектов для нужд машиностроения и могут быть с уверенностью использованы как более дешевые пластики, которые превышают по механическим свойствам древесину в 3 и более раз.

Список литературы

1. Нелюб, И. А. Особенности и преимущества применения современных пластополимерных материалов для изготовления мо-

дельной оснастки / И. А. Нелюб, П. А. Кушель, С. Л. Ровин // Литье и металлургия. – 2010. – № 4. – С. 36–39.

2. Современные способы создания модельных комплектов для литья / М. Л. Калиниченко [и др.] // Литье и металлургия. – 2018. – № 3. – С. 125–130.

3. Рогов, В. А. Технология машиностроения. Штамповое и литейное производство: учебник для СПО / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 330 с.

4. Вальтер, А. М. Основы литейного производства: учебник / А. И. Вальтер, А. А. Протопопов. – Москва-Вологда: Инфа-Инженерия, 2019. – 332 с.

5. 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.

6. Применение RP-технологии для изготовления малогабаритной оснастки в мелкосерийном производстве литья / И. О. Леушин [и др.] // Известия МГТУ МАМИ. – 2013. – № 2. – С. 229–232.

7. Аддитивные технологии и литейное производство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.extxe.com/9761/additivnyye-tehnologii-i-litejnoe-proizvodstvo. – Дата доступа: 20.10.2021.

8. Зеленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении / М. А. Зеленко, М. В. Нагайцев, М. В. Довбыш. – М.: НАМИ, 2015. – 220 с.

9. Аддитивные технологии. Виды, особенности, характеристики аддитивных технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.extxe.com/3834/sushhnost-i-osobennosti-additivnyh-tehnologij – Дата доступа: 21.10.2021.

10. Калиниченко, М. Л. Технология склеивания: теория, практика, материалы / М. Л. Калиниченко, Л. П. Долгий, В. А. Калиниченко. – Минск: БНТУ, 2021. – 187 с.

References

1. Nelyub, I. A. *Osobennosti i preimushchestva primeneniia sovremennykh plastopolimernykh materialov dlia izgotovleniia model'noi osnastki* [Features and advantages of usage modern plastic-polymer materials for the manufacture of model tooling] / I. A. Nelyub, P. A. Kushel, S. L. Rovin // *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*. – 2010. – No. 4. – P. 36–39.

2. *Sovremennyye sposoby sozdaniia model'nykh komplektov dlia lit'ya* [Modern methods of creating model kits for casting] / M. L. Kalinichenko [et al.] // *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*. – 2018. – No. 3. – P. 125–130.

3. Rogov V. A. *Tekhnologiiia mashinostroeniia* [Technology of mechanical engineering. Stamp and foundry production: textbook for SPO] / V. A. Rogov, G. G. Poznyak. – Moscow: Yurayt Publ., 2019. – 330 p.

4. Walter A. M. *Osnovy liteinogo proizvodstva: uchebnik* [The base of foundry production: textbook] / A. M. Walter, A. A. Protopopov. – Moscow-Vologda: Infa-Engineering Publ., 2019. – 332 p.

5. Kalinichenko M. L. *Analiz sovremennykh kompozitsionnykh materialov, primeniaemykh pri izgotovlenii model'nykh komplektov dlia melkoseriinogo liteinogo proizvodstva, poluchennykh s pomoshch'iu tekhnologii skleivaniia* [Analysis of modern composite materials used in the manufacture of model kits for small-scale foundry production obtained using gluing technology] / M. L. Kalinichenko, L. P. Dolgii, U. A. Kalinichenko // *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy* – 2020. – No. 3. – P. 15–22.

6. *Primenenie RP-tekhnologii dlia izgotovleniia malogabaritnoi osnastki v melkoseriinom proizvodstve lit'ia* [Application of RP-technology for the manufacture of small-sized tooling in small-scale casting production] / I. O. Leushin [et al.]. *Izvestiya MSTU MAMI*. – 2013. – No. 2. – P. 229–232.

7. www.extxe.com/9761/additivnye-tehnologii-i-litejnoe-proizvodstvo.

8. Zelenko M. A. *Additivnye tekhnologii v mashinostroenii* [Additive technologies in mechanical engineering] / M. A. Zelenko, M. V. Nagaytsev, M. V. Dovbysh. – Moscow: NAMI Publ., 2015. – 220 p.

9. www.extxe.com/3834/sushhnost-i-osobennosti-additivnyh-tehnologij.

10. Kalinichenko M. L. *Tekhnologiiia skleivaniia: teoriia, praktika, materialy* [Gluing technology: theory, practice, materials] / M. L. Kalinichenko, L. P. Dolgii, U. A. Kalinichenko. – Minsk, BNTU Publ., 2021. – 187 p.

Поступила 18.10.2022

Received 18.10.2022