



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-115-122>
УДК 621.74; 621.792; 621.88

Поступила 06.10.2022
Received 06.10.2022

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ СОЗДАНИИ ПЛАСТИКОВЫХ МОДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ

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

В статье приведены данные о модельных пластиках, представленных на рынке Республики Беларусь. Выполнен анализ способов создания точных модельных комплектов как с помощью 3D-печати из нити и гранул, так и получение модельных комплектов из массива модельного пластика с помощью 3D-фрезерования. Проведена оценка свойств и показан характер поведения склеенных и цельных пластиков при сжимающих нагрузках в продольном и поперечном направлении. Дана оценка экономической эффективности различных способов получения модельных комплектов исходя из сравнения стоимости материалов и самого процесса производства.

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

Для цитирования. Калининченко, М. Л. Оценка прочностных свойств клеевых соединений, используемых при создании пластиковых модельных комплектов / М. Л. Калининченко, Б. М. Немененок // Литие и металлургия. 2022. № 4. С. 115–122. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-115-122>.

EVALUATION OF THE STRENGTH PROPERTIES OF ADHESIVE JOINTS USED IN THE CREATION OF PLASTIC MODEL SETS

M. L. KALINICHENKO, B. M. NEMENENOK, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: m.kalinichenko@bntu.by

The article presents information on model plastics presented on the market of the Republic of Belarus. The analysis of methods for creating accurate model sets using both 3D printing from thread and granules, and obtaining model sets from an array of model plastic using 3D milling is carried out. The properties were evaluated and the behavior of glued and solid plastics under compressive loads in the longitudinal and transverse directions was shown. Economic efficiency assessment of various methods of obtaining model sets is given, based on a comparison of the cost of materials and the production process itself.

Keywords. Model tooling, foundry, adhesives, model plastic, parts for model sets, mechanical compression tests, economic efficiency.

For citation. Kalinichenko M. L., Nemenenok B. M. Evaluation of the strength properties of adhesive joints used in the creation of plastic model sets. Foundry production and metallurgy, 2022, no. 4, pp. 115–122. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-115-122>.

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 являются древесина, металл и пластические массы. Металлические модельные комплекты, как правило, используются на предприятиях массового и крупносерийного производства и обладают высокими стоимостными показателями. Таким образом, данный тип комплектов не подходит мелко- 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 мелко- и среднесерийного производства являются модели, изготовленные из древесины или пластика [2–5]. При этом наиболее дешевыми являются деревянные модельные комплекты. Применение деревянных модельных комплектов более 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 данного деревянного модельного комплекта, что обусловлено небольшими складскими помещениями на

предприятиях мелкосерийного и единичного производства. Также необходимо создать специальные условия для складирования, чтобы исключить процесс набухания или рассыхания древесины, что, в конечном итоге, приводит к короблению и изменению геометрических размеров модельного комплекта.

Пластиковые модельные комплекты имеют максимум преимуществ по сравнению с деревянными, 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. Кроме того, модельные комплекты могут длительное время находиться в неотапливаемых помещениях с широким диапазоном температур без риска их геометрических изменений, это облегчает и удешевляет хранение модельной оснастки.

В связи с наложенными санкциями 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 данных 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]. В первую очередь, можно отметить технологии 3D-печати, а именно SLS-технология, 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. Данную 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 накачивается 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 накачивается поверх отвержденного – 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 2 до 96 сопел, наносит модельный и поддерживающий материал на поверхность слоя. После нанесения слоя могут проводиться его фотополимеризация и механическое выравнивание. Данный 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 служит проволока, а источником энергии может быть электронный луч, луч лазера или плазменная дуга. Данный процесс идет с высокой скоростью и позволяет получать объемные изделия, но требует более интенсивной механической обработки, чем изделия из порошка [9].

Основные преимущества FDM-технологии – 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 также были рассмотрены доступные 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 табл. 1, 2. Данные типы материалов хорошо показали себя при создании модельных комплектов для цветного литья.

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

Материал	Описание	Цвет	Применение	Плотность, г/см ³	Коэффициент 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 ударопрочностью, 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

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

Значение	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 сек
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 месяцев (в оригинальной несскрываеваемой упаковке)		36 месяцев 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 суперклея предназначен для быстрого склеивания изделий из пластмасс, металла, дерева, резины и т.д.

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 углублений 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 изменению геометрических размеров и качества поверхности отливки.

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

Изготовление модельных комплектов из одного листа, как правило, толщиной 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 $15 \times 15 \times 30$ мм, а для склеивания – образцы размером $15 \times 15 \times 15$ мм, чтобы они после склеивания имели аналогичную исходным образцам геометрию. Образцы были соединены доступными промышленными клеями. Отверждение проводили 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 проводили 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. Данные обрабатывали 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 клеевого шва на всех типах исследуемых пластиков. Необходимо отметить, что сплошность клеевого слоя не была нарушена ни в случае поперечного, ни в случае продольного нагружения (рис. 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 клеевого шва при использовании выбранных видов адгезионных составов не наблюдалось.

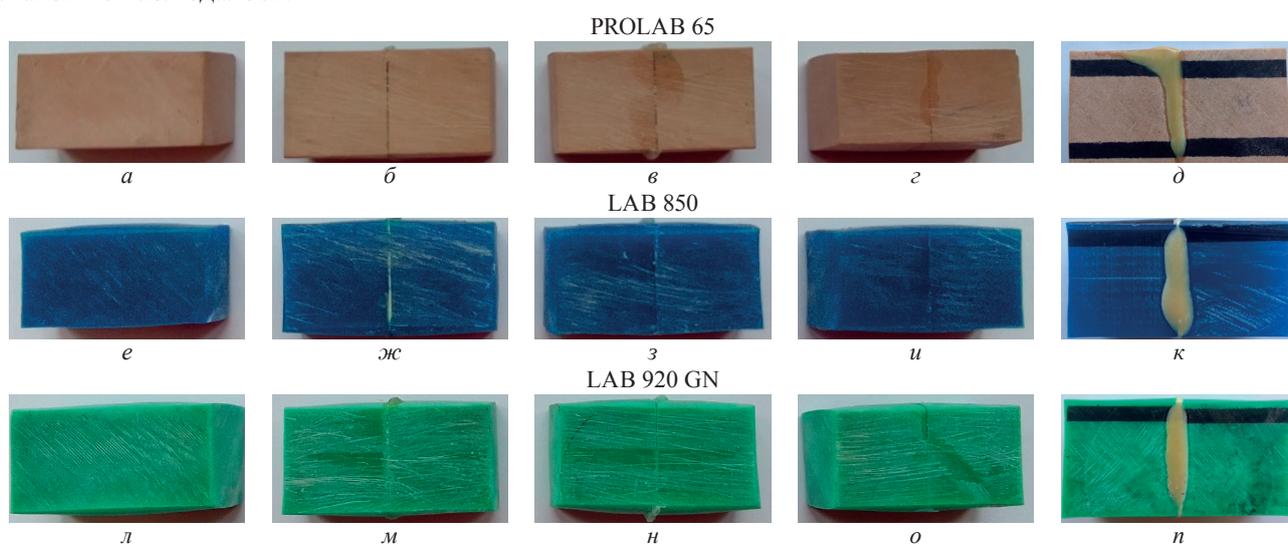


Рис. 1. Деформационные изменения пластиков на примере PROLAB 65; LAB 850; LAB 920 GN при нагружении параллельно клеевому шву:

- 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

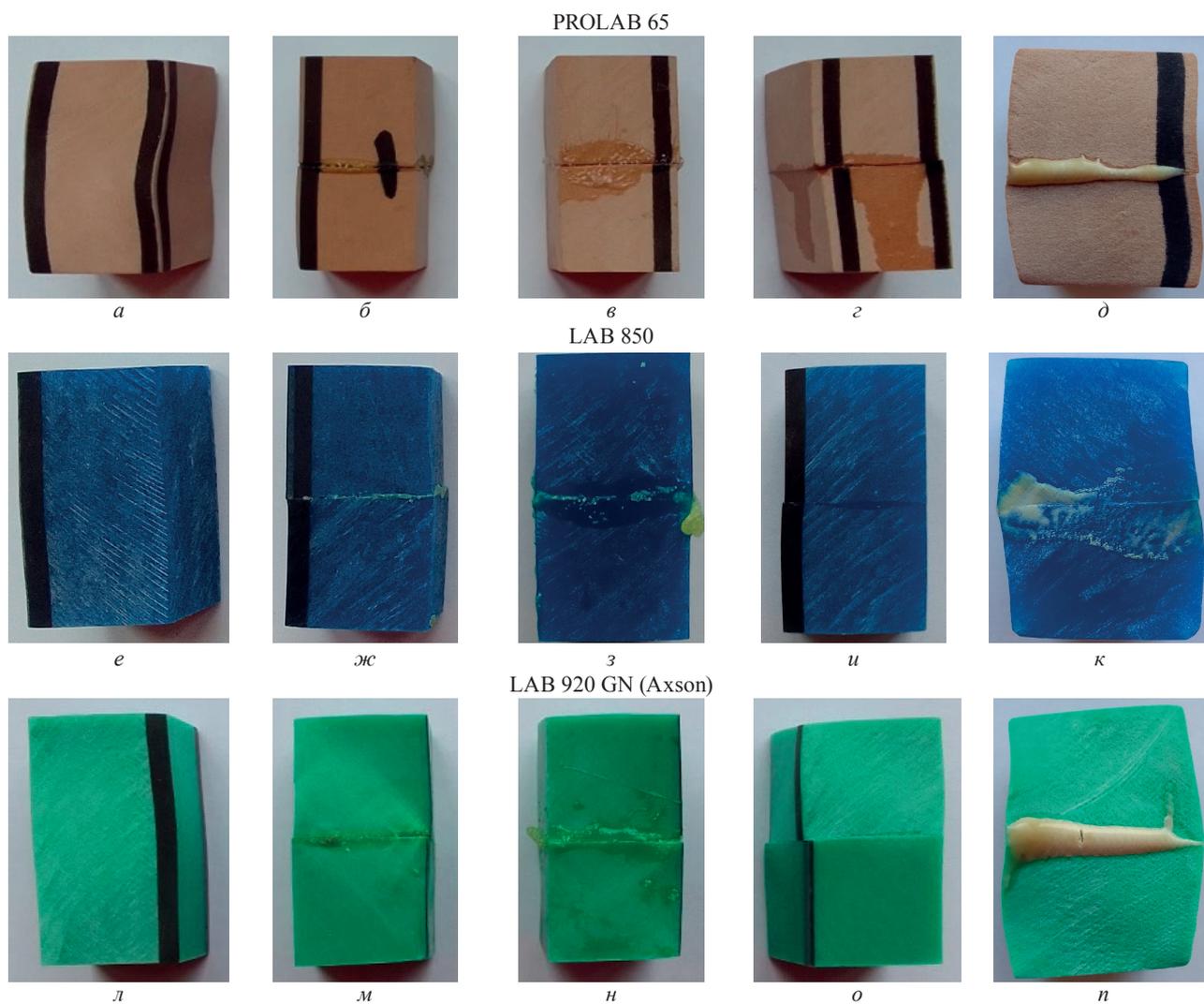


Рис. 2. Деформационные изменения пластиков на примере PROLAB 65; LAB 850; LAB 920 GN (Axson) при нагружении перпендикулярно клеевому шву:

- 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

Испытания прочностных свойств при приложении усилия параллельно клеевому шву (рис. 3) показали, что для пластика PROLAB 65 показатели снизились по сравнению с цельным пластиком и склееными 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.

Испытания прочностных свойств при приложении усилия перпендикулярно клеевому шву (рис. 4) показали, что для пластика PROLAB 65 показатели снизились по сравнению с цельным пластиком и склееными пластиками до 8%; для пластика LAB 850 и для пластика LAB 920 GN – до около 6%. При этом также не отмечено четкой зависимости изменения результатов от типа клея и нагрузки. Необходимо 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 (рис. 3, 4).

Как видно из рисунков, 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

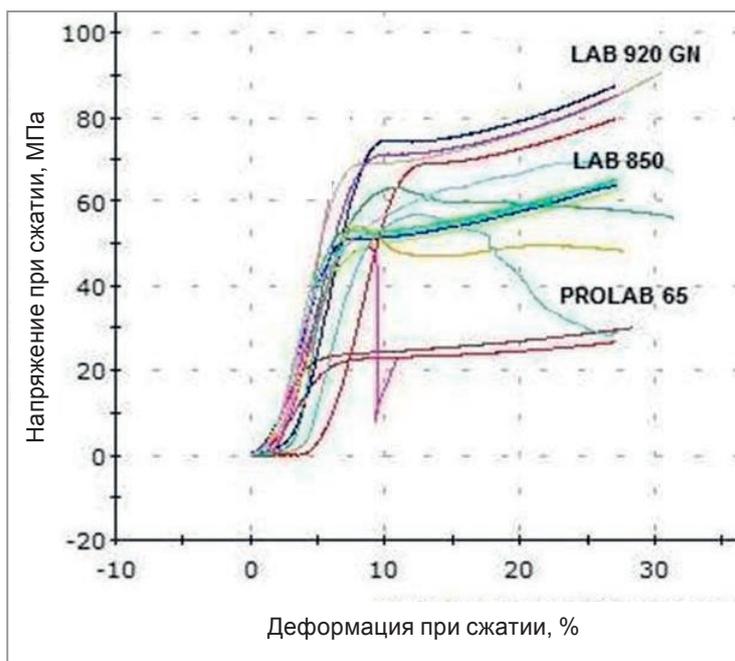


Рис. 3. Зависимость деформационных изменений от напряжения при сжатии (при нагружении параллельно клеевому шву) при использовании любых типов клеевых составов. Таким образом, окончательный выбор пластика не зависит от типа используемого клея, а только от необходимой плотности материала для решения конкретных задач.

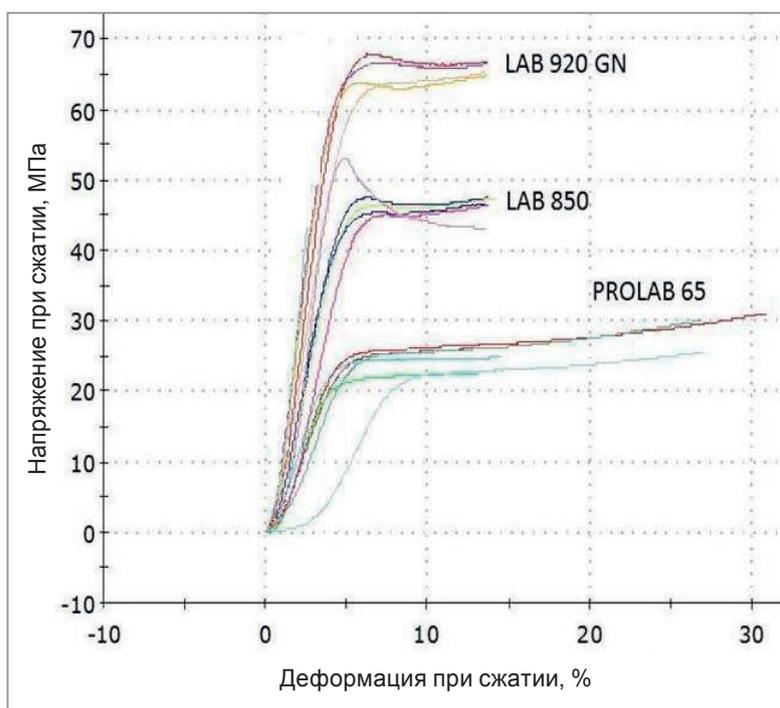


Рис. 4. Зависимость деформационных изменений от напряжения при сжатии (при нагружении перпендикулярно клеевому шву)

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 (табл. 3, 4).

Немаловажное значение имеет 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

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

Модельный пластик	Плотность пластика, г/см ³	Цельный пластик	DP 8805 NS	DP 8005 NS	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, мм, при сжатии (при нагружении перпендикулярно клеевому шву)

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

прочностные характеристики по результатам исследований отличаются 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) – 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 раза и более.

При оценке экономической составляющей немаловажную роль играет 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 1 кг, при 3D-печати из гранул стоимость материала составляет от 10 бел. руб. за 1 кг. Стоимость материалов, применяемых для изготовления модельных комплектов исключительно фрезерованием, составляет от 29 бел. руб. за 1 кг.

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

Выводы

Проведенные исследования позволяют рекомендовать все типы предложенных пластиков для использования на предприятиях машиностроения, так как 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 клевого шва на способность пластиков релаксировать, приложенные к ним напряжения.

Показано, что ценовое различие более дешевых и дорогих пластиков 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) – в пределах 60–70 МПа. Оба пластика подходят для изготовления модельных комплектов для нужд машиностроения и могут быть использованы более дешевые пластики, которые превышают по механическим свойствам древесину в 3 раза и более.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Нелюб, И. А.** Особенности и преимущества применения современных пластополимерных материалов для изготовления модельной 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 / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во Юрайт, 2019. 330 с.
4. **Вальтер, А. М.** Основы литейного производства / А. И. Вальтер, А. А. Протопопов. М.; 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. **Леушин И. О., Решетов В. А., Романов А. Д., Большаков А. А.** Применение RP-технологии для изготовления малогабаритной оснастки в мелкосерийном производстве литья // *Изв. МГТУ МАМИ*. 2013. № 2. С. 229–232.
7. Аддитивные технологии и литейное производство [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.extxe.com/9761/additivnye-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. **Neljub I. A., Kushel' P. A., Rovin S. L.** Osobennosti i preimushhestva primeneniya sovremennykh plastopolimernykh materialov dlja izgotovlenija model'noj osnastki [Features and benefits of using modern plastic polymer materials for the manufacture of pattern equipment]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2010, no. 4, pp. 36–39.
2. **Kalinichenko M. L.** Sovremennye sposoby sozdaniya model'nykh komplektov dlja lit'ja [Modern ways to create model kits for casting]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2018, no. 3, pp. 125–130.
3. **Rogov V. A., Poznjak G. G.** Tehnologija mashinostroeniya. Shtampovoe i litejnoe proizvodstvo [Engineering technology. Die and foundry production]. Moscow, Izdatel'stvo Jurajt Publ., 2019, 330 p.
4. **Val'ter A. M., Protopopov A. A.** *Osnovy litejnogo proizvodstva* [Foundry basics]. Moscow; Vologda, Infa-Inzhenerija Publ., 2019, 332 p.
5. **Kalinichenko M. L., Dolgij L. P., Kalinichenko V. A.** Analiz sovremennykh kompozicionnykh materialov, primenjaemykh pri izgotovlenii model'nykh komplektov dlja melkoserijnogo litejnogo proizvodstva, poluchennykh s pomoshh'ju tehnologii skleivaniya [Analysis of modern composite materials used in the manufacture of model kits for small-scale foundry production, obtained using gluing technology]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 3, pp. 15–22.
6. **Leushin I. O., Reshetov V. A., Romanov A. D., Bol'shakov A. A.** Primenenie RP-tehnologii dlja izgotovlenija malogabaritnoj osnastki v melkoserijnom proizvodstve lit'ja [The use of RP-technology for the manufacture of small tooling in small-scale production of casting]. *Izvestija MGTU MAMI = Proceedings of MSTU MAMI*, 2013, no. 2, pp. 229–232.
7. www.extxe.com/9761/additivnye-tehnologii-i-litejnoe-proizvodstvo.
8. **Zelenko M. A., Nagajcev M. V., Dovbysh M. V.** *Additivnye tehnologii v mashinostroenii* [Additive technologies in mechanical engineering]. Moscow, NAMI Publ., 2015, 220 p.
9. www.extxe.com/3834/sushhnost-i-osobennosti-additivnyh-tehnologij.
10. **Kalinichenko M. L., Dolgij L. P., Kalinichenko V. A.** *Tehnologija skleivaniya: teorija, praktika, materialy* [Bonding technology: theory, practice, materials]. Minsk, BNTU Pub., 2021, 187 p.