

DOI: 10.53078/20778481_2021_3_99

УДК 691.175

Д. И. Якубович, А. В. Васеничева

СНИЖЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТИКА ABS, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

D. I. Yakubovich, A. V. Vasenicheva

REDUCTION OF SURFACE ROUGHNESS OF ABS PLASTIC PRODUCTS OBTAINED BY THE METHOD OF ADDITIVE TECHNOLOGIES

Аннотация

В работе приведены результаты исследований по постобработке изделий из пластика ABS парами ацетона. Установлено оптимальное время выдержки изделий в ацетоновой бане, необходимое для максимального снижения шероховатости без изменения геометрических размеров образцов. Определены изменения основных механических свойств до и после постобработки.

Ключевые слова:

аддитивные технологии, ABS-пластик, снижение шероховатости, определение твердости, постобработка, ударная вязкость, испытания на растяжение.

Для цитирования:

Якубович, Д. И. Снижение шероховатости поверхности изделий из пластика ABS, полученных методом аддитивных технологий / Д. И. Якубович, А. В. Васеничева // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2021. – № 3(72). – С. 99–107.

Abstract

The paper presents the results of research on the post-processing of ABS plastic products with acetone vapors. The optimal time for holding products in an acetone bath has been established, which is necessary for the maximum reduction of roughness without changing geometric dimensions of the samples. Changes in the main mechanical properties before and after post-processing have been determined.

Keywords:

additive technologies, ABS-plastic, roughness reduction, hardness determination, post-processing, impact strength, tensile testing.

For citation:

Yakubovich, D. I. Reduction of surface roughness of ABS plastic products obtained by the method of additive technologies / D. I. Yakubovich, A. V. Vasenicheva // The Belarusian-Russian university herald. – 2021. – № 3(72). – P. 99–107.

Введение

В современном мире 3D-печать переросла из узконаправленной и дорогой услуги в незаменимого помощника для профессионалов различных сфер деятельности. Доступность 3D-печати позволяет проводить смелые экспери-

менты в архитектуре, строительстве, мелкосерийном производстве, медицине, образовании, ювелирном деле, полиграфии, изготовлении рекламной и сувенирной продукции [1].

Одним из самых недорогих и распространенных методов 3D-печати является метод Fused Filament Fabrica-

tion (FFF). Он довольно прост в применении, стоимость оборудования и материалов невысока по соотношению с такими методами, как селективное лазерное спекание (SLS), технология много струйного моделирования (MJM) и др.

Печать методом послойного наложения (FFF) представляет собой процесс аддитивного производства, который реализовывается благодаря экструзии материалов. Объект строится путем нанесения расплавленного материала по заранее установленному алгоритму, слой за слоем. Используемые материалы представляют собой термопластичные полимеры и имеют форму нити [2].

При печати методом FFF применяются различные виды материалов, имеющие определенные свойства, такие как высокие механические свойства (ABS-пластик), высокие механические, химические и электротехнические эксплуатационные характеристики, сохраняющиеся при рабочих температурах до +310 °С (полиэфирэфиркетон (PEEK)), высокая жесткость, устойчивость к разбавленным кислотам, минеральным смазочным маслам (акрилонитрилстиролакрилатовый пластик (ASA-пластик)), высокая прочность (PETG), высокая прочность и эластичность (полистирол (HIPS)), высокая эластичность (полиамид 12 (PA 12)) [3–6].

ABS-пластик по праву занимает одно из лидирующих мест в рейтинге самых популярных материалов для 3D-печати. Он хорош как по своим физическим свойствам, так и по стоимости, поэтому привлекает и любителей, и профессионалов. Является ударопрочной технической термопластической смолой на основе трех веществ: акрилонитрила, бутадиена и стирола [7].

Пластик ABS является одним из самых распространенных пластиков, сочетающих в себе хорошие прочностные характеристики и достаточно невысокую стоимость, поэтому именно он был выбран для исследований. Этот пластик легко поддается различным ви-

дам постобработки, в особенности парами ацетона, что позволяет обрабатывать поверхность изделий сложной геометрической формы без механического воздействия.

Оборудование и материалы

Для проведения научных исследований были изготовлены образцы из пластика ABS фирмы Alfa-Filament с качеством поверхности 100 % и внутренним заполнением 100 % на 3D-принтере VShaper PRO.

Постобработка образцов проводилась в парах ацетона. Они помещались в стеклянный эксикатор с керамической вставкой объемом 3 000 см³, на дне которого была расположена хлопчатобумажная ветошь весом 15 г, пропитанная ацетоном марки Farbitex в объеме 50 мл.

Для определения механических свойств образцов до и после постобработки использовались прибор для измерения твердости материалов по Шору D модификации TBP-DM, машина для испытаний на растяжение Kason WDW-1 и маятниковый копер с компьютерным управлением Kason XJ-50Z для определения ударной вязкости. Шероховатость образцов определялась на профилометре Mitutoyo SurfTest SJ-210. Микроанализ поверхности проводился с помощью микроскринера MC ЛабoMet-1.

После извлечения из эксикатора все образцы размещались на столе и находились там при комнатной температуре на атмосфере воздуха не менее 24 ч для отвердевания и проведения дальнейших исследований.

Проведение исследований

В первой части эксперимента исследовались четыре образца размерами 20 × 10 × 5 мм. В ней необходимо было установить критическое время, при котором изменяются поверхность образцов и их геометрические размеры.

После помещения в эксикатор за образцами проводился периодический визуальный контроль. По истечении двух часов образцы не претерпели никаких видимых изменений, выступы нанесенных слоев при печати на поверхности остались прежними. После трех часов выдержки поверхность образцов начала сглаживаться, линии печати стали почти незаметны. После четырехчасовой выдержки образцы начали изменять свою геометрическую форму, под поверхностью появились пузырьки, которые при дальнейшем нахождении образцов в парах ацетона

выходили на поверхность, образуя пустоты. Материал частично стал оплывать на керамическую вставку (рис. 1) [8].

Таким образом, для установления оптимального времени выдержки образцов в парах ацетона было принято решение выдерживать их от 2,5 до 4 ч с извлечением их из эксикатора каждые 30 мин (табл. 1).

Для второй части эксперимента были изготовлены пять образцов размерами $20 \times 20 \times 5$ мм. Образец № 1 был оставлен в качестве эталонного и не подвергался постобработке (рис. 2).

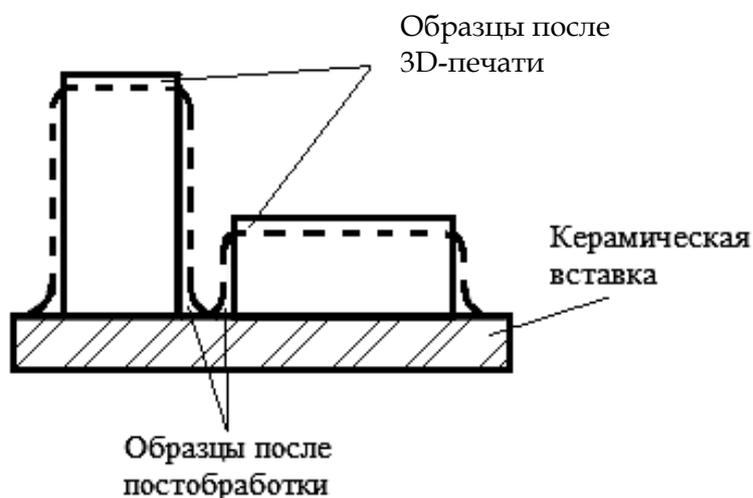


Рис. 1. Изменение геометрической формы и частичный оплыв образцов, находившихся в эксикаторе более 4 ч

Табл. 1. Время выдержки образцов в парах ацетона

Номер образца	Время выдержки, мин
1	–
2	150
3	180
4	210
5	240

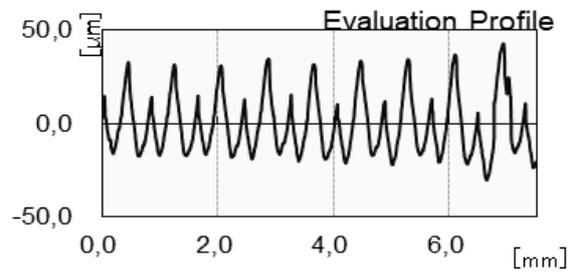
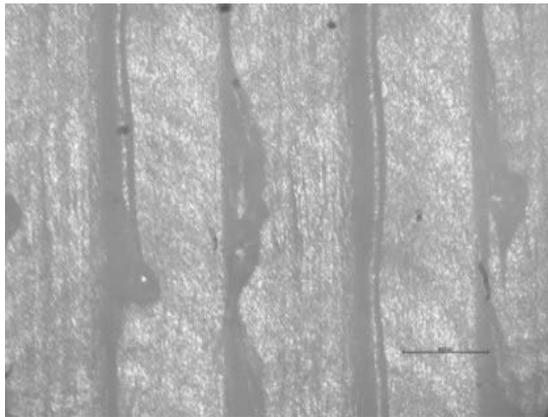


Рис. 2. Поверхность образца и шероховатость до постобработки

Четыре образца были помещены в эксикатор. Образец № 2 при визуальном осмотре имел незначительные изменения поверхности. При рассмотрении его под микроскопом было отмечено, что выступы

от печати стали сглаживаться и уменьшаться, но все еще остаются довольно большими. Измерение шероховатости также показало незначительное ее уменьшение до 18...30 мкм (рис. 3, а).

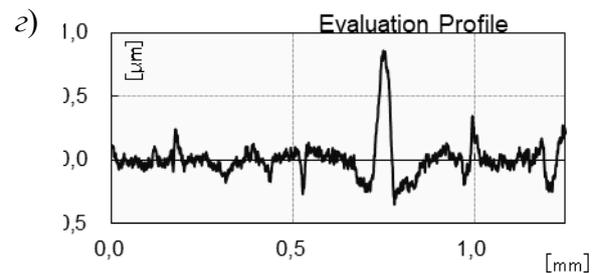
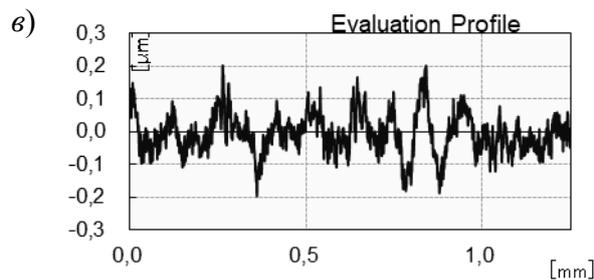
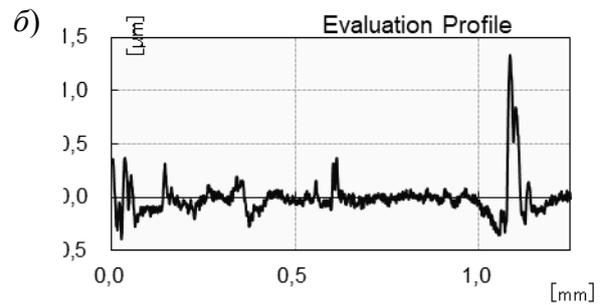
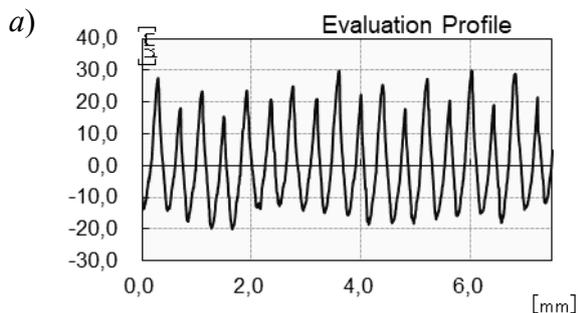


Рис. 3. Изменение шероховатости поверхности образцов от времени выдержки: а – 150 мин выдержки в парах ацетона; б – 180 мин выдержки в парах ацетона; в – 210 мин выдержки в парах ацетона; г – 240 мин выдержки в парах ацетона

Визуальное изучение образца № 3 показало, что поверхность стала гладкой и глянцевой. Осмотр под микроскопом показал, что выступы расплавились

и стекла во впадины, поверхность стала гладкой. Шероховатость уменьшилась до 0,4...1,2 мкм (рис. 3, б).

При визуальном осмотре образ-

ца № 4 не было замечено никаких изменений по сравнению со вторым. При рассмотрении образца под микроскопом выступы и неровности от слоев печати выявить не удалось, а под поверхностью стали образовываться микропузырьки. Шероховатость данного образца снизилась до 0,1...0,2 мкм (рис. 3, в).

Образец № 5 извлекался из образца через 4 ч. На его гладкой поверхности уже визуально можно различить маленькие пузырьки. Под микроскопом стало видно, что количество пузырьков и их размер стали увеличиваться, вследствие чего шероховатость поверхности данного образца возросла до 0,4...0,8 мкм (рис. 3, г).

В результате проведенных исследований было установлено, что оптимальное время выдержки образцов из пластика ABS в ацетоновой бане – от 3 до 3,5 ч. Данное время постобработки позволяет получить гладкую поверхность без изменения геометрических параметров образца, а шероховатость поверхности снизить до 0,2 мкм [9].

Следует отметить, что в литературных источниках нет четкого времени выдержки изделий из пластика ABS в парах ацетона. Рекомендуемое время выдержки варьируется от 30 мин до 6 ч. На наш взгляд, такой большой диапазон времени связан с тем, что авторы исследований используют пластик ABS разных производителей, которые для производства пластика применяют основные компоненты (акрилонитрил, бутадиен, стирол) с различным процентным отношением. Пропорции могут варьироваться в пределах 15 %...35 % акрилонитрила, 5 %...30 % бутадиена и 40 %...60% стирола [10].

Без разработки единого стандарта с четким указанием процентного соотношения компонентов время выдержки в парах ацетона необходимо подбирать экспериментально под отдельный пластик каждого конкретного производителя.

Определение механических свойств

При проведении испытаний на растяжение были изготовлены типовые образцы [11] в количестве 4 шт. (рис. 4). Два образца подвергались обработке парами ацетона в течение 3 ч, а затем были извлечены из эксикатора и оставлены при комнатной температуре на трое суток.

В результате испытаний были получены графики нагрузки-удлинения, которые представляют собой графики зависимости между силой, действующей на образец, и его удлинением.

Из результатов испытаний видно, что максимальная нагрузка, которую выдерживали образцы без обработки парами ацетона, находится в пределах 488...523 Н. Образцы, подвергшиеся обработке, выдержали максимальную нагрузку 236...351 Н. Снижение данного показателя составляет 32 %...52 %. Связано это с тем, что после обработки в ацетоновой бане поверхность изменила свою структуру на глубину до 1 мм. С учетом сечения образцов 6×2 мм площадь материала, изменившего структуру, составляет 68 % (рис. 5).

Таким образом, воздействие паров ацетона значительно изменяет структуру материала и, как следствие, снижает прочностные показатели и увеличивает пластические свойства [12].

На реальных изделиях данный эффект снижения максимальной нагрузки будет значительно ниже, т. к. соотношение площади сечения изделия, подвергшегося воздействию паров ацетона к общей площади сечения образца будет меньше, особенно в крупных изделиях.

Для проведения исследований на ударную вязкость по методу Шарпи [13] было изготовлено четыре образца размерами $80 \times 10 \times 5$ мм. Два образца помещались в эксикатор для постобработки парами ацетона на 3 ч, оставшиеся два после постобработки не подвергались.

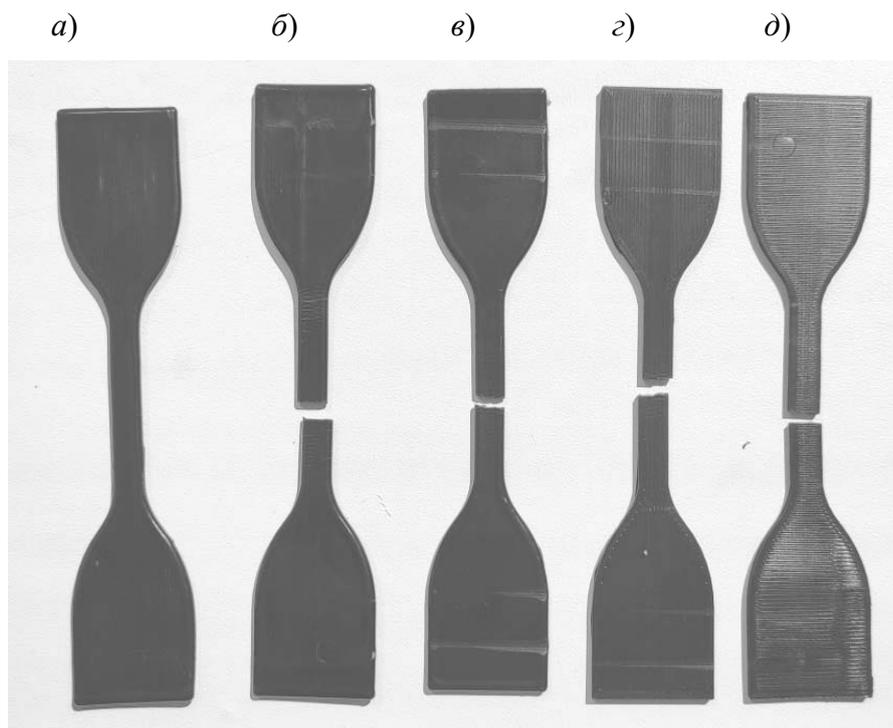


Рис. 4. Образцы для испытания на растяжение: *a* – образец до испытания; *б, в* – образцы, подвергшиеся обработке парами ацетона; *г, д* – образцы, не подвергавшиеся постобработке

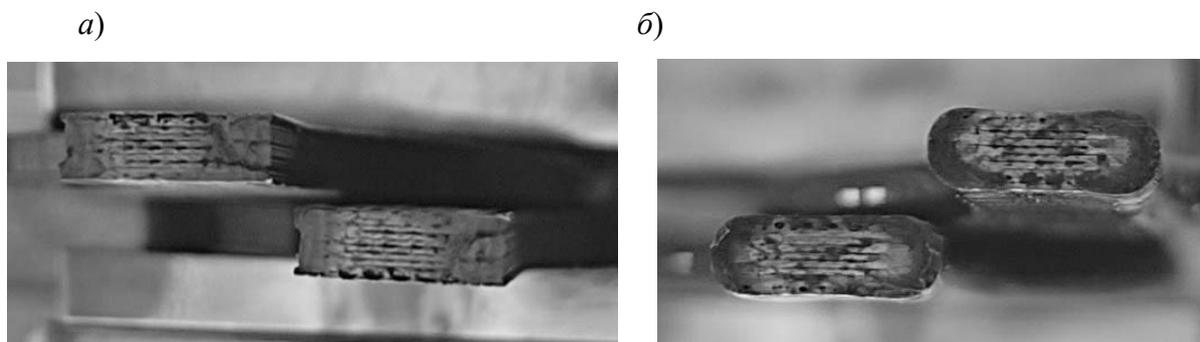


Рис. 5. Структура образцов: *a* – структура образцов до постобработки; *б* – структура образцов после постобработки парами ацетона

Для проведения испытания был использован маятник с номинальной потенциальной энергией в 1 Дж. Скорость маятника во время удара – 2,9 м/с. Удар при испытании производился плашмя, без надреза на образце. Расстояние между опорами составляло 60 мм. Установлено, что образцы, не подвергавшиеся обработке ацетоном,

разрушились полностью. Энергия, затраченная на разрушение, составила 0,297...0,345 Дж, ударная вязкость – 5,9...6,8 кДж/м² (рис. 6).

Для образцов, подвергшихся постобработке, потребовалась энергия на разрушение в 2 раза больше. Ударная вязкость выросла более чем в 2 раза. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

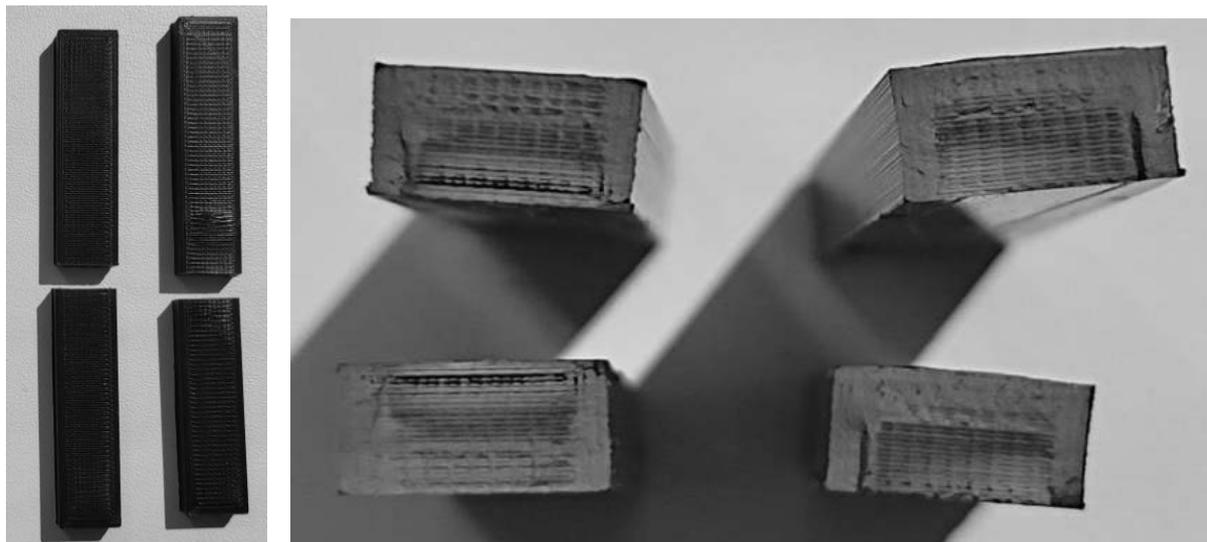


Рис. 6. Образцы после испытания по методу Шарпи и их структура до постобработки

Табл. 2. Результаты испытаний на ударную вязкость по методу Шарпи

Номер испытания	Площадь, мм ²	Энергия, затраченная на разрушение, Дж	Ударная вязкость, кДж/м ²
До постобработки парами ацетона			
1	50	0,345	6,898
2	50	0,297	5,911
После постобработки парами ацетона			
3	50	0,593	11,855
4	50	0,723	14,388

На рис. 7 видно, что воздействие паров ацетона изменило структуру материала на глубину до 1 мм, что составляет 43 % от общей площади сечения

образцов. В данном слое происходит изменение структуры материала, обеспечивающее повышение ударной вязкости более чем в 2 раза.

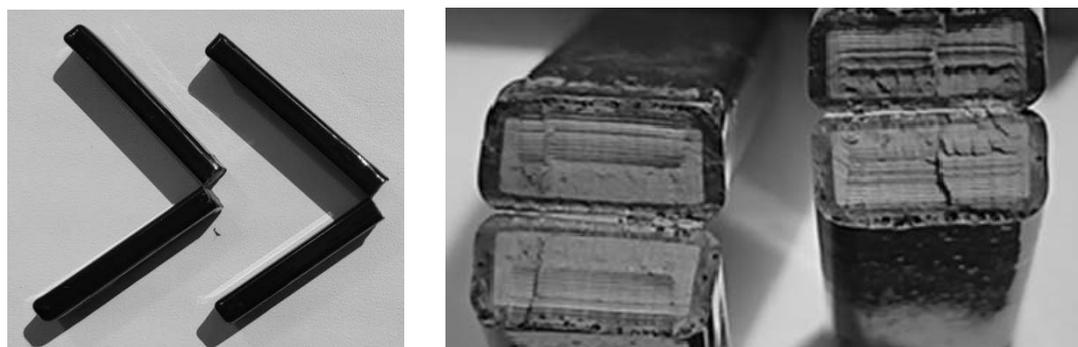


Рис. 7. Образцы после испытания по методу Шарпи и их структура после обработки

Шероховатость поверхности напрямую влияет на твердость поверхности, поэтому дальнейшим шагом было определение твердости образцов по методу Шора, шкала D, ГОСТ 24621–2015. Твердость измерялась на образцах, подготовленных аналогично образцам для измерения шероховатости. Подготавливали 10 образцов, два эталонных и по два для выдержки в ацетоновой бане по 150, 180, 210, 240 мин. На каждом образце твердость измерялась в трех

точках на удалении друг от друга не менее 5 мм до и после выдержки образцов в ацетоновой бане. До постобработки твердость образцов составила 72...76 ед. Затем образцы помещались в пары ацетона и выдерживались в них положенное время.

После извлечения из эксикатора и выдержки 24 ч был произведен повторный замер твердости, который показал снижение показателей на 4 %...8 %. Результаты измерения приведены в табл. 3.

Табл. 3. Твердость образцов

Номер образца	Твердость до обработки	Твердость после обработки				Время выдержки
		1 сут	3 сут	5 сут	14 сут	
01	74	–	–	–	–	–
02	72	–	–	–	–	–
1.1	73	69	70	70	72	150 мин
1.2	76	70	71	71	72	
2.1	74	71	72	72	72	180 мин
2.2	76	70	72	72	72	
3.1	75	70	71	71	72	210 мин
3.2	74	70	71	71	72	
4.1	75	70	72	72	72	240 мин
4.2	76	71	72	72	72	

Далее образцы были оставлены на атмосфере воздуха при комнатной температуре. Повторные измерения твердости проводились через 3, 5, 14 сут. Через 3 сут твердость исследуемых образцов увеличилась на 1–2 ед. Через 5 сут твердость не изменилась. Через 14 сут выявлена стабилизация твердости во всех образцах. Она выровнялась и составила 72 ед. (см. табл. 3).

Установлено, что твердость поверхности образцов, полученных из пластика ABS, уменьшается на 1 %...5 % после выдержки в парах ацетона вследствие изменения структуры поверхности материала. Окончательные свойства материала формируются в течение 14 сут после обработки в ацетоно-

вой бане. Предположительно, это связано с испарением ацетона из верхних слоев образцов или завершением химических реакций между компонентами пластика ABS и компонентами C_3H_6O .

Заключение

1. Оптимальным временем нахождения изделий из пластика ABS в парах ацетона для достижения минимальной шероховатости поверхности является интервал 3...3,5 ч. В этом промежутке времени можно получить наименьшую шероховатость, не теряя геометрических параметров изделия.

2. Твердость изделий из пластика ABS после обработки в ацетоновой бане

снижается на 1 %...5 %. Это происходит по причине структурных изменений поверхностных слоев изделия под действием паров ацетона. Окончательное формирование свойств материала происходит в течение двух недель после полного испарения паров ацетона из изделия и окончания химических реакций между компонентами пластика ABS и

компонентами C₃H₆O.

3. Прочность изделий, изготовленных из пластика ABS, снижается после постобработки парами ацетона на 32 %...52 %, а ударная вязкость увеличивается в 2–2,5 раза по причине изменения структуры поверхностных слоев изделия на глубину до 1 мм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. OrgPrint. Россия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.orgprint.com/wiki/3d-pechat/sfery-primeneniya-3d-pechati>. – Дата доступа: 08.08.2021.
2. 3DTOOL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dtool.ru/stati/fdm-tehnologiya-kak-eto-rabotaet/>. – Дата доступа: 14.10.2020.
3. iQB Technologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blog.iqb.ru/3d-printing-materials/>. – Дата доступа: 26.11.2020.
4. БОРЧЕ Машинери [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://plastinfo.ru/raw/?level0=13&level1=262&action=search>. – Дата доступа: 14.10.2020.
5. Anid Polimers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://anid.ru/poliamid/12>. – Дата доступа: 20.10.2020.
6. BestFilament [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rusabs.ru/blogs/blog/razlichie-mezhdu-abs-i-pla-dlya-3d-pechati>. – Дата доступа: 02.11.2020.
7. Исследование реологического поведения марок АБС-пластика для производства филаментов для 3D-печати методом послойного наплавления / О. И. Абрамушкина [и др.] // Пластические массы. – 2021. – № 5–6. – С. 29–35.
8. Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Беларус.-Рос. ун-т; редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2020. – 201 с.: ил.
9. Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Беларус.-Рос. ун-т; редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2021. – 513 с.: ил.
10. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%91%D0%A1-%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA>. – Дата доступа: 11.08.2021.
11. ГОСТ 4647–2015. Пластмассы. Метод определения ударной вязкости по Шарпи. – Введ. 01.01.2017. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 24 с.
12. Шмелев, А. В. Экспериментальное и расчетное определение механических характеристик образцов АБС-пластика при растяжении, изготовленных методом 3D-печати / А. В. Шмелев, В. И. Ивченко, А. В. Талалуев // Наука и инновации. – 2021. – № 4. – С. 1–15.
13. ГОСТ 11262–80. Пластмассы. Методы испытания на растяжение. – Взамен ГОСТ 11262–76; введ. 01.12.80. – Москва: Гос. комитет СССР по стандартам, 1985. – 11 с.

Статья сдана в редакцию 26 апреля 2021 года

Дмитрий Иванович Якубович, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.
E-mail: d.i.yakubovich@mail.ru.

Анна Владимировна Васеничева, ведущий специалист, Белорусско-Российский университет.
E-mail: tav-89@yandex.by.

Dmitry Ivanovich Yakubovich, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.
E-mail: d.i.yakubovich@mail.ru.

Anna Vladimirovna Vasenicheva, leading specialist, Belarusian-Russian University.
E-mail: tav-89@yandex.by.