

# СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И СТРУКТУРЫ БАЗОВОГО И ИНЖЕНЕРНОГО ПЛАСТИКОВЫХ ФИЛАМЕНТОВ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

© 2023 г. Т.С. Абрамова<sup>1,\*</sup>, С.А. Бехер<sup>2,\*\*</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет путей сообщения,  
Россия 630049 Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191  
E-mail: \*t.abramova658@gmail.com; \*\*behers@mail.ru

Поступила в редакцию 08.06.2023; после доработки 05.07.2023  
Принята к публикации 14.07.2023

Проведен сравнительный анализ прочностных характеристик двух пластиков, базового и инженерного, которые применяются в 3D-печати. Исследована боковая поверхность разрушенных образцов проволоки под микроскопом Альтами MET 1C для оценки равномерности распределения деформации по длине.

*Ключевые слова:* аддитивные технологии, пластик, проволока, растяжение, механические характеристики, неоднородная деформация, ABS, НИТ-ИНГ, метод послойного наплавления, FDM.

## COMPARATIVE TESTS OF MECHANICAL CHARACTERISTICS AND STRUCTURE OF BASIC AND ENGINEERING PLASTIC FILAMENTS FOR ADDITIVE MANUFACTURING

T.S. Abramova<sup>1,\*</sup>, S.A. Bekher<sup>1,\*\*</sup>

<sup>1</sup>Siberian Transport University, st. Dusi Kovalchuk, 191, Novosibirsk, 630049, Russia  
E-mail: \*t.abramova658@gmail.com; \*\*behers@mail.ru

A comparative analysis of the strength characteristics of two plastics, basic and engineering, which are used in 3D-printing, was carried out. The lateral surface of the destroyed wire samples was studied under the Altami MET 1C microscope to assess the uniformity of the strain distribution along the length.

*Keywords:* additive technologies, plastic, wire, tension, mechanical characteristics, inhomogeneous deformation, ABS, NIT-ING, layer-by-layer deposition method, FDM.

DOI: 10.31857/S013030822310007X, EDN: XCFAFB

### ВВЕДЕНИЕ

Трехмерная печать осуществляется путем выдавливания через экструдер пластиковой проволоки — филамента [1, 2]. Материал филамента принято классифицировать на базовый и инженерный [3]. Напечатанные детали должны выдерживать рабочую нагрузку, так как их разрушение может привести к отказу. На данном этапе развития аддитивных технологий способы входного и приемочного контроля качества материалов и конечных изделий недостаточно развиты. Надежность и безотказность деталей зависит от механических свойств применяемых материалов [4, 5], структуры и дефектности изделия [6].

Цель работы — сравнительные испытания механических характеристики и закономерностей пластической деформации базового ABS-пластика и инженерного НИТ-ИНГ.

### МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Для исследования механических характеристик пластиковой проволоки испытаны: ABS-пластик по ГОСТ 33366.1—2015 и НИТ-ИНГ. Растяжение проволоки до разрушения проводили на установке МИ-40 КУ с постоянной скоростью 5 мм/мин. Проволока крепилась в захваты установки с помощью специальных переходных элементов. Проведено пять испытаний для каждого материала. Рабочая длина образцов составляла 150 мм, начальный диаметр — 1,75 мм.

Результаты испытаний сохранялись в цифровом виде. По полученным данным построены графики (рис. 1), по которым рассчитаны основные механические характеристики. После испытаний боковая цилиндрическая поверхность проволоки исследовалась под микроскопом Альтами MET 1C.

## АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Временное сопротивление и относительное остаточное сужение ABS-пластика являются наиболее стабильными величинами, их случайный разброс не превышает 12 % среднего значения (табл. 1). Относительный разброс упругих характеристик значительно больше и составляет 23 и 17 % соответственно. Максимальная случайная неопределенность наблюдается для относительного остаточного удлинения образца. Это связано с неравномерностью пластических деформаций по длине образца и достаточно случайным процессом формирования шейки.

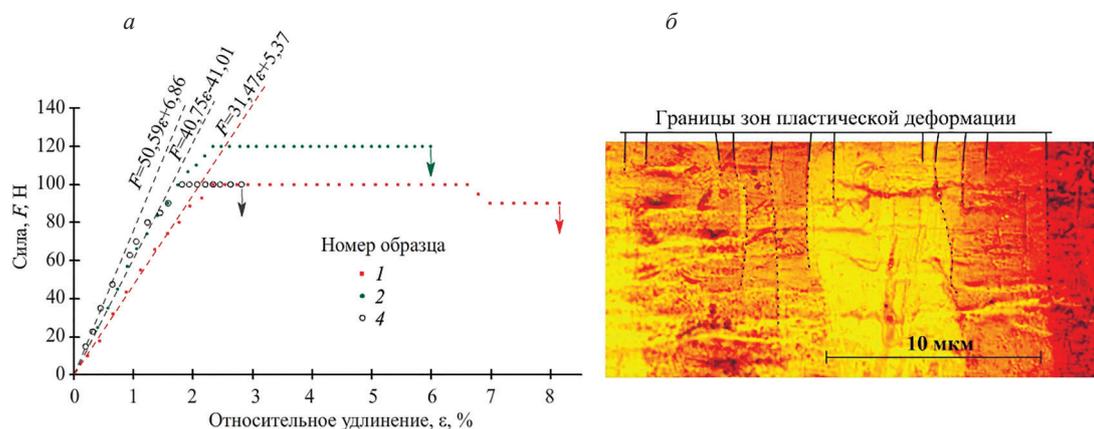


Рис. 1. Результаты испытаний проволоки ABS-пластика: зависимость силы от относительного удлинения (а); боковая поверхность проволоки при увеличении  $\times 500$  (б).

Таблица 1

Механические характеристики проволоки из ABS-пластика

	$\sigma_{\text{тц}}$ , МПа	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\epsilon$ , %	$\psi$ , %	$E$ , ГПа
Среднее значение	27,5	44,6	5,2	-5,0	1,8
СКО	6,4	4,7	2,3	0,6	0,3
Относительное СКО, %	23	11	44	12	17

На боковых поверхностях проволоки наблюдается неравномерная пластическая деформация (рис. 1б). Размеры зон с разным уровнем деформации составляют (1—4) мкм с достаточно резким переходом между зонами не более 0,2 мкм. Раскрытия трещин при максимальном увеличении по границам зон не обнаружено.

При испытаниях инженерного пластика НИТ-ING проволока растягивалась до максимального предела перемещения траверсы испытательной машины. В области переходных элементов наблюдалось уменьшение диаметра проволоки, ослабление силы прижатия, из-за чего происходило выскальзывание. На диаграмме растяжения (рис. 2а) это проявлялось в виде резкого, скачкообразного уменьшения нагрузки.

Упругие характеристики пластика НИТ-ING такие, как предел пропорциональности и модуль упругости являются более статистически неопределенными величинами, среднее квадратичное отклонение которых составило 23 и 15 % соответственно. Высокие пластические свойства материала подтверждаются фотографиями боковой поверхности проволоки, на которой отсутствуют признаки неоднородной деформации (рис. 2б).

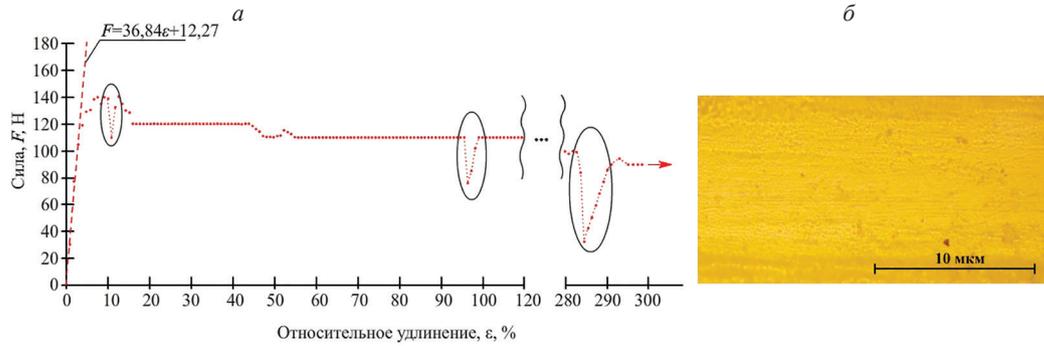


Рис. 2. Результаты испытаний проволоки НИТ-ING: зависимость силы от относительного удлинения (а); боковая поверхность проволоки при увеличении  $\times 1000$  (б).

Таблица 2

**Механические характеристики проволоки НИТ-ING**

	$\sigma_{\text{пл}}, \text{ МПа}$	$\varepsilon, \%$	$\psi, \%$	$E, \text{ ГПа}$
Среднее значение	26	300*	57*	1,3
СКО	5,9	–	–	0,2
Относительное СКО, %	23	–	–	15

\* максимальное полученное в экспериментах значение.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ**

Границы упругого деформирования обоих материалов совпадают, так как разница между значениями предела пропорциональности ( $28 \pm 6$ ) МПа для ABS и ( $26 \pm 6$ ) МПа для НИТ-ING не превышает их среднего квадратического отклонения. Способность обоих материалов сохранять форму в упругой области, жесткость изделия, характеризуемая модулем упругости ( $1,8 \pm 0,3$ ) МПа для ABS и ( $1,3 \pm 0,2$ ) МПа НИТ-ING, отличается не более чем на 30 %.

При увеличении растягивающих напряжений выше предела пропорциональности наблюдается переход в область пластических деформаций. На боковой поверхности ABS-пластика в области шейки образуются зоны неоднородной пластической деформации, в отличие от пластика НИТ-ING, для которого характерна однородная деформация по всей длине.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Тигнибидин А.В., Такаюк С.В. Использование аддитивных технологий при прототипировании. Контроль геометрических характеристик детали из пластика ABS для определения исходных размеров для печати // Динамика систем, механизмов и машин. 2018. Т. 6. № 2. С. 57—65.
2. Титов Г.А. Материалы для аддитивных технологий в строительстве // Инженерные исследования. 2022. № 3 (8). С. 38—49.
3. Жуков А.В., Никифоров А.А., Яковичин А.С. Пластмассы для аддитивных технологий (обзор) // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2021. № 4 (91). С. 57—70.
4. Леонович И.А., Адинцов Д.Д. Исследование свойств ABS-пластика в образцах, полученных по технологии FFF-печати // Вестник Белорусско-Российского университета. 2023. № 1 (78). С. 13—21.
5. Абрамушкина О.И., Узорина М.И., Суриков П.В., Ушакова О.Б. Исследование реологического поведения марок ABS-пластика для производства филаментов для 3D печати методом послойного наплавления // Пластические массы. 2021. № 5—6. С. 29—35.
6. Вишняков Г.Н., Левин Г.Г., Минаев В.Л., Иванов А.Д. Аппаратура для диагностики параметров изделий аддитивных технологий // Фотоника. 2019. Т. 13. № 6. С. 544—547.