

УДК

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ПЕЧАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Еремеев Е.А., студент гр. ТЭб-231, I курс

Научный руководитель: Ушаков К.Ю., к.т.н., доцент, с.н.с. НИЛ катализа
и преобразования углеродсодержащих материалов

с получением полезных продуктов

Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф. Горбачева

г. Кемерово

В современном производстве аддитивные технологии, такие как 3D-печать, приобретают все большую популярность благодаря своей гибкости, экономичности и возможности создания сложных геометрических форм. Однако точность и качество изготовления остаются ключевыми аспектами развития данной технологии. Так, формы для прессования, созданные с использованием аддитивных технологий, играют значительную роль в производственных процессах, они представляют собой основу для формирования конечных изделий, их точность и прочность являются критически важными факторами для обеспечения качества и надежности производства. Определение погрешности измерения разрушающей нагрузки и предельной деформации образцов на испытательном прессе становится ключевым шагом в оценке качества созданных форм.

Целью настоящего исследования является определение погрешности измерения разрушающей нагрузки и предельной деформации образцов на испытательном прессе. Полученные данные необходимы для дальнейшей работы и исследовательской деятельности на испытательном прессе, в том числе с целью определения характеристик форм для прессования.

Для испытаний были смоделированы кубики с размерами $25 \times 25 \times 25$ мм в программе «Компас 3D». Затем модель была экспортирована в программу «Simplife 3D», где была нарезана на слои и преобразована в G-code, для дальнейшей печати на принтере Wanhao Duplicator 4S в количестве 5 штук. В качестве печатного материала был использован PLA-пластик. В рамках данного исследования, на испытательном прессе ТП-1-100, были проведены пять экспериментов с образцами, имеющими коэффициент заполнения 10%. При этом на испытательном прессе были выставлены следующие параметры работы: нагрузка 0,1 кН, коэффициент разрушения 50%, скорость перемещения плиты 10 мм/м, верхний предел разрушения 30 кН, верхний предел перемещения 5 мм.

В ходе эксперимента были получены следующие величины: F – разрушающая нагрузка; ε – предельная деформация; время испытания до разрушения образца. Результаты эксперимента занесены в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты статистической обработки данных измерений разрушающей нагрузки и предельной деформации образца

№ п/п	F (кН)	$\bar{F} - F$ (кН)	$(\bar{F} - F)^2$ (кН)	ε (мм)	$\bar{\varepsilon} - \varepsilon$ (мм)	$(\bar{\varepsilon} - \varepsilon)^2$ (мм)	Время (сек.)
1.	6,14	-0,058	0,003364	2,7	-0,46	0,2116	16,31
2.	5,97	0,112	0,012544	1,9	0,34	0,1156	11,25
3.	6,13	-0,048	0,002304	2,2	0,04	0,0016	13,31
4.	5,93	0,152	0,023104	2,3	-0,06	0,0036	13,69
5.	6,24	-0,158	0,024964	2,1	0,14	0,0196	12,63

Для определения погрешности испытания прочности образцов были использованы стандартные методы математической статистики [1].

Для обработки результатов испытания прочности образцов были выполнены следующие этапы:

1. Вычисление средних значений (\bar{F} – средние значения разрушающей нагрузки, $\bar{\varepsilon}$ – средние значения предельной деформации): $\bar{F} = 6,082$; $\bar{\varepsilon} = 2,24$.
2. Вычисление разности от среднего: для каждого измеренного значения разрушающей нагрузки и предельной деформации были вычислены разности от среднего ($\bar{F} - F$ и $\bar{\varepsilon} - \varepsilon$ соответственно).
3. Вычисление квадрата разности от среднего: для каждой разности от среднего ($\bar{F} - F$ и $\bar{\varepsilon} - \varepsilon$) был вычислен квадрат этой разности ($(\bar{F} - F)^2$ и $(\bar{\varepsilon} - \varepsilon)^2$).
4. Вычисление суммы квадрата разности от среднего по всем измеренным значениям. $\sum(\bar{F} - F)^2 = 0,06628$; $\sum(\bar{\varepsilon} - \varepsilon)^2 = 0,352$.

Среднее квадратичное отклонение $S(\bar{F})$ при определении разрушающей нагрузки по данным таблицы 1 составляет:

$$S(\bar{F}) = \sqrt{\frac{\sum(\bar{F} - F)^2}{n \cdot (n - 1)}} = \sqrt{\frac{0,06628}{5 \cdot 4}} \approx 0,057,$$

При определении предельной деформации образца среднее квадратичное отклонение $S(\bar{\varepsilon})$ равно:

$$S(\bar{\varepsilon}) = \sqrt{\frac{\sum(\bar{\varepsilon} - \varepsilon)^2}{n \cdot (n - 1)}} = \sqrt{\frac{0,352}{5 \cdot 4}} \approx 0,132,$$

где n – количество измерений (в данном случае $n = 5$)

По таблице Стьюдента-Фишера находится критерий Стьюдента t для числа степеней свободы ($n - 1$) с доверительной вероятностью $P = 0,95$, который равен $t_{0,95} = 2,78$.

Отсюда абсолютная ошибка в определении разрушающей нагрузки составляет:

$$\Delta F = \pm t_{0,95} \cdot S(\bar{F}) = \pm 2,78 \cdot 0,057 = \pm 0,158\%$$

Таким образом, $F = (6,082 \pm 0,158)\%$. Относительная ошибка при этом составляет:

$$\delta F = \pm \frac{\Delta F}{F} \cdot 100\% = \pm \frac{0,158}{6,082} \cdot 100\% = \pm 2,59\%$$

Абсолютная ошибка в определении предельной деформации составляет:

$$\Delta \varepsilon = \pm t_{0,95} \cdot S(\bar{\varepsilon}) = \pm 2,78 \cdot 0,132 = \pm 0,366\%$$

Следовательно, $\varepsilon = (2,24 \pm 0,366)\%$. Относительная ошибка в этом случае равна:

$$\delta \varepsilon = \pm \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} \cdot 100\% = \pm \frac{0,366}{2,24} \cdot 100\% = \pm 16,33\%$$

Большая абсолютная и относительная ошибка предельной деформации в данных расчетах обуславливается значительным отклонением полученных данных на 0,8 мм, что составляет 42,1% отклонения. Поэтому в дальнейших исследованиях по определению влияния коэффициента заполнения образца на прочность пресс-формы будет учитываться в первую очередь значения разрушающей нагрузки образцов.

Отметим, что полученные результаты будут использованы для оптимизации процессов испытаний, а также для улучшения точности и достоверности получаемых данных в работах на испытательном прессе.

Дополнительно можно подчеркнуть, что уменьшение ошибок измерений и улучшение методов анализа данных позволяют, не только более точно определять характеристики материалов и конструкций, а также форм для прессования, но и повысить эффективность использования испытательного пресса в инженерных и научных целях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № 075-03-2023-045/1 (FZES-2024-0001).

Список литературы:

1. Чарыков А. К. Математическая обработка результатов химического анализа: Учеб. пособие для вузов / А. К. Чарыков. – Л.: Химия, 1984. – 168 с.