

Ф. К. Салех, А. А. Яковлев, И. С. Торубаров

**МЕТОДИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ
ПЛАСТИКОВЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С АРМИРОВАНИЕМ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: lkoeleh@gmail.com, yaa_777@mail.ru, is.torubarov@gmail.com

В статье описан метод быстрого тестирования прочности пластиковых зубчатых колес с использованием 3D-печати и непрерывного армирования волокном для повышения прочности. Была разработана 3D-модель зубчатого колеса, которая прошла испытания на износ и усталость при разных уровнях нагрузки. Испытания показали, что армирование углеволокном значительно увеличивает прочность колес при умеренных нагрузках, хотя при высоких нагрузках возможен скол зубьев. В статье также подчеркивается важность автоматизации тестирования для повышения эффективности и точности.

Ключевые слова: 3D-печать, армирование волокном, пластиковые зубчатые колеса, испытание на прочность, FDM-технология, автоматизация тестирования, износ, усталостная прочность

F. K. Saleh, A. A. Yakovlev, I. S. Torubarov

**METHODOLOGY AND EQUIPMENT FOR TESTING STRENGTH
OF PLASTIC GEARS WITH REINFORCEMENT**

Volgograd State Technical University

This article presents a method for quickly testing the strength of plastic gears, focusing on using 3D printing with continuous fiber reinforcement to improve durability. A 3D model of a gear was designed and tested for wear and fatigue under different loads. The tests showed that reinforcing gears with carbon fiber increases their strength, especially under moderate loads. However, gear teeth may fail under higher loads. The study also emphasizes the need for automated testing to improve efficiency and accuracy.

Keywords: 3D printing, fiber reinforcement, plastic gears, strength testing, FDM technology, testing automation, wear, fatigue strength

В данной статье рассматривается использование пластиковых зубчатых колес в механических системах, которые в настоящее время широко распространены благодаря их легкости, низкой стоимости и малошумности. Однако относительно низкая прочность пластиковых ко-

лес по сравнению с металлическими аналогами ограничивает их использование, особенно при высоких нагрузках, где повреждение зубьев может привести к поломке механизма [1]. Для повышения прочности предлагается метод армирования непрерывным волокном при 3D-пе-

чати пластиковых зубчатых колес, технология их производства, а также методы и оборудование для быстрой оценки их прочности.



Рис. 1. Примеры сломанных зубьев и разрушения пластиковой шестерни

На рисунке 1 показано, что зубья наиболее интенсивно изнашиваются на краях, что свидетельствует о высоком трении и нагрузке. Поверхностные дефекты могут указывать на слабую устойчивость материала к механическим повреждениям или усталости. Изменение формы зубьев указывает на повышенные нагрузки, что может повлиять на эффективность передачи крутящего момента.

Все эти признаки подчеркивают важность прочности материала и равномерного распределения нагрузки для долговечности зубчатых колес.

Даже если зубчатое колесо выдерживает начальные нагрузки, то впоследствии может произойти слом зубьев и это требует улучшения материалов или армирования для предотвращения таких разрушений.

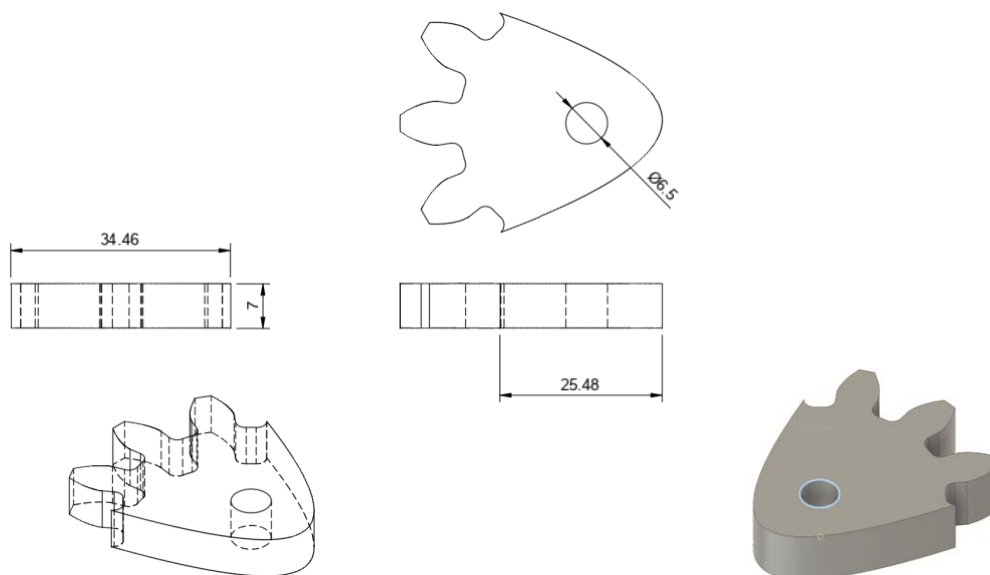


Рис. 2. Сектор зубчатого колеса для испытаний

На рисунке 2 представлен зубчатый сектор с тремя зубьями, включая проекцию на три плоскости и все необходимые размеры для изготовления. Он предоставляет полную информацию для производства и сборки сектора в механизме.

Для испытаний на прочность на разрывной машине ТРМ-С 10 А1 разработана оснастка, состоящая из захвата, конуса и проставки. Их чертежи и 3D-модели представлены на рис. 3–5.

На рисунке 3 показана 3D-модель захвата для удержания сектора зубчатого колеса в испытательной машине.

Захват, изготовленный из ABS-пластика, обладает необходимой прочностью и устойчивостью к деформациям при нагрузках. Его

форма в виде буквы «П» с вертикальными стойками и основанием обеспечивает жесткость. Он оснащен отверстиями для крепления сектора, а также дополнительными отверстиями, необходимыми для крепежных элементов. Это обеспечивает точное удержание сектора и исключает смещения во время тестирования.

Для приложения крутящего момента в 600 Нм разработан конус (рис. 4), имитирующий один зубец сектора шестерни на испытательном стенде. Он обеспечивает точное приложение силы для испытания прочности и долговечности шестерни. Это помогает анализировать механические свойства шестерни в реальных условиях нагрузки.

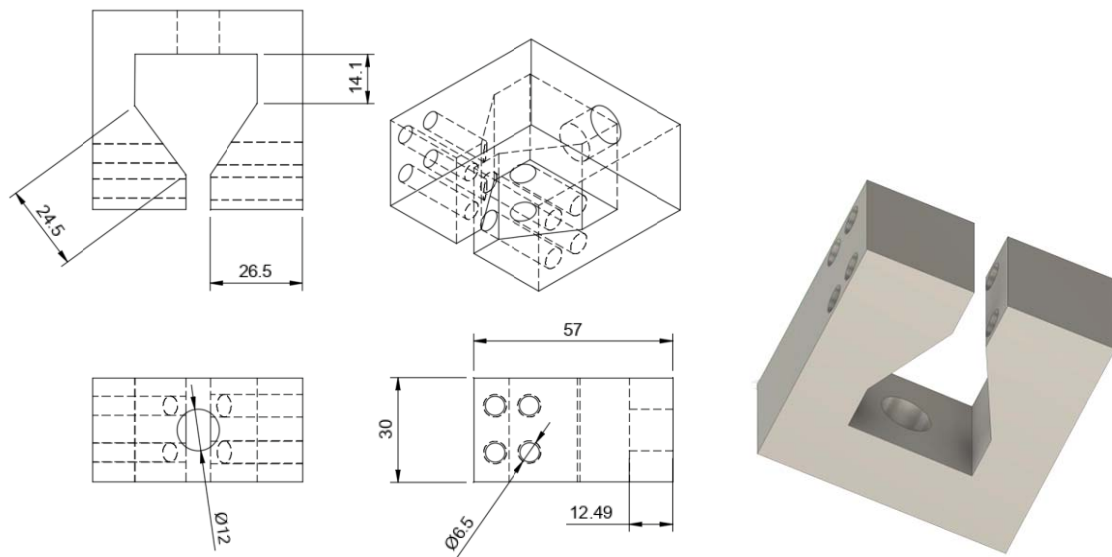


Рис. 3. Захват

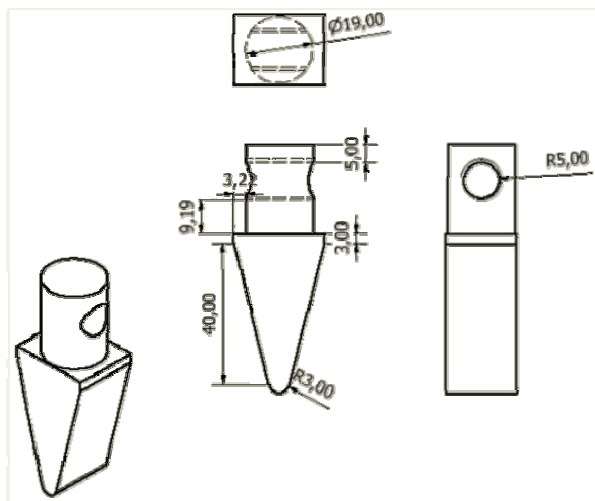


Рис. 4. Конус



Рис. 5. Прокладка

Прокладка (рис. 5) обеспечивает надежную фиксацию сектора шестерни во время испытаний, предотвращая его смещение и улучшая точность результатов.

На рисунке 6 показан зубчатый сектор, подготовленный к производству методом *FDM 3D* печати в программе *STESlicer*.

Как показали предварительные испытания, армирование зубчатого колеса непрерывным волокном повышает прочность и износостойкость зубьев, особенно при высоких нагрузках [2], снижает риск поломки и уменьшает деформацию зубьев, улучшая долговечность и устойчивость к механическим повреждениям.

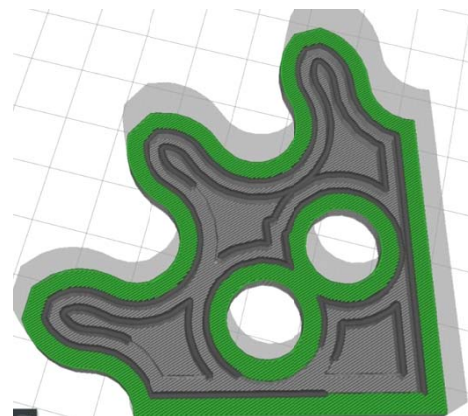
Рис. 6. Зубчатый сектор в программе *STESlicer* с линиями армирования



Рис. 7. Разрывной машине TPM-C 10 A1

Разрывная машина TPM-C 10 A1 показана на рис. 7. С ее помощью прикладываются контролируемые усилия к сектору шестерни, позволяя точно измерять его прочность и сопро-

тивление деформации. Это необходимо для оценки производительности шестерни, ее долговечности и материалов.

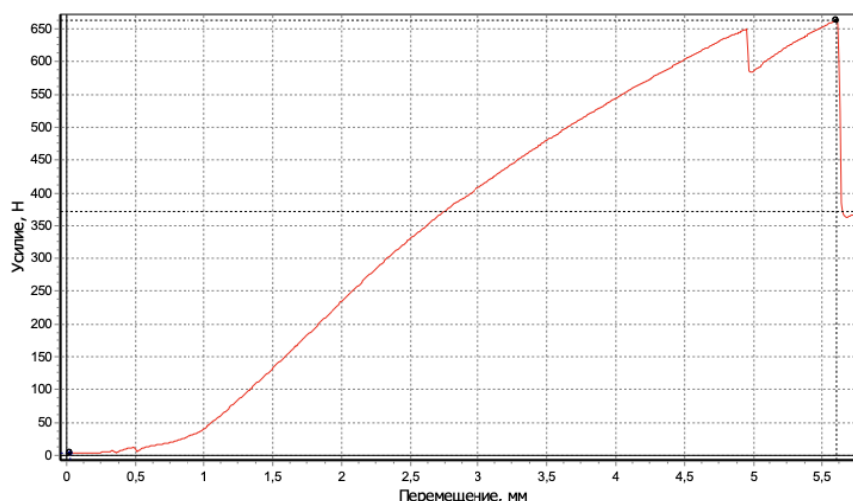


Рис. 8. График результатов испытаний

На рисунке 8 показан график результатов испытаний. График отражает деформацию зубчатого колеса в зависимости от прикладываемого к нему усилия. С его помощью можно оценить реальную прочность пластиковых шестерен с армированием.

Таким образом, предложенный в данной статье метод испытаний пластиковых колес с армированием, полученных путем 3D-печати, позволяет ускорить процесс тестовых испытаний, снизить затраты на их проведение, а также повысить адекватность полученных результатов по сравнению с существующими методами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов, И. И. Использование композитов для повышения прочности зубчатых колес / И. И. Иванов, А. А. Петров // Машиностроения, 2021. http://www.mashin.ru/eshop/journals/vestnik_mashinostroeniya/
2. Медунецкий, В. М. Применение полимерных композиционных материалов в цилиндрических зубчатых колесах / В. М. Медунецкий, В. А. Зенков, М. В. Абрамчук, С. Ю. Перепелкина // Серия конференций ИП: Материаловедение и инженерия, том 1100, 2021. DOI: 10.1088/1757-899X/1100/1/012030.
3. Якуб Луцек. Обзор методов проектирования и аддитивного производства зубчатых колес / Якуб Луцек // BiuletynWAT, том LXX, No 2, 2021. DOI: 10.5604/01.3001.0015.7008.