

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ СТРУКТУРЫ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА
ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ,
НАПЕЧАТАННЫХ НА 3D-ПРИНТЕРЕ**

М.Л. ХЕЙФЕЦ, А.Г. АНИСОВИЧ, Н.Л. ГРЕЦКИЙ, А.Д. ТИМОФЕЕВ

Институт прикладной физики НАН Беларуси,

г. Минск, Республика Беларусь

В. ГУПТА, ДЖ. СИНГХ, Д. МУДГАЛ

Тхапарский инженерно-технологический институт,

г. Патна, Индия

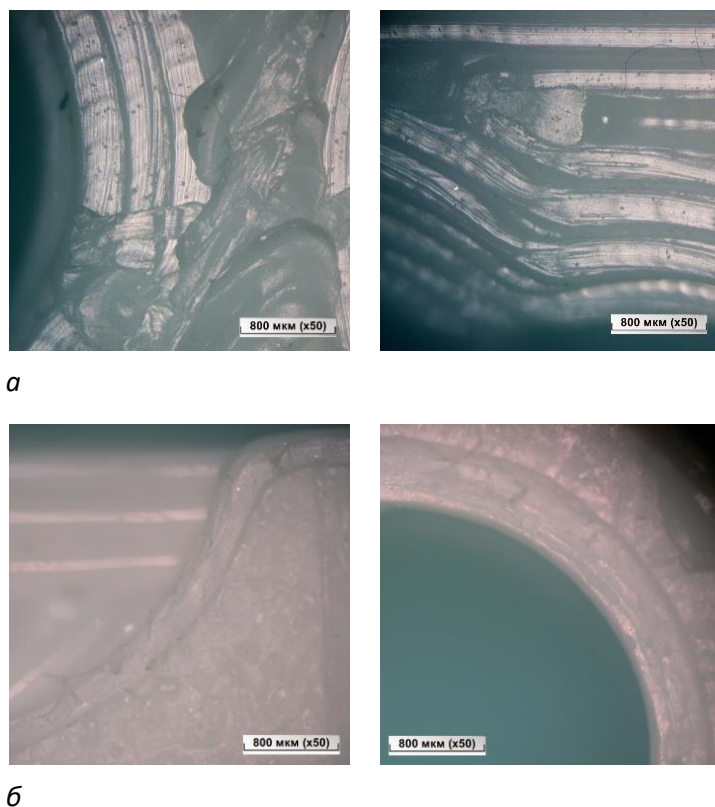
Проведено исследование морфологии структуры на примере костной пластины, напечатанной на 3D-принтере из биосовместимого материала. Рассмотрены средства неразрушающего контроля для пластмасс, полимерных материалов и композитов на их основе. Показано применение темнопольного освещения для визуально-измерительного контроля с применением металлографического микроскопа.

Исследование морфологии структуры проводилось на образце костной пластины напечатанной на 3D-принтере из биосовместимого материала с использованием металлографического микроскопа МИ-1 при увеличении 50 крат по методу светлого поля. Увеличение выбрано исходя из максимальной контрастности поверхности изделия. Образцы не подвергались специальному препарированию. Общий вид образца представлен на рисунке 1. В отверстиях и незначительно по краям видны остатки окантовки, применяемой для улучшения адгезии при печати. В остальном по своим геометрическим параметрам образцы соответствуют геометрическим характеристикам 3D модели.



Рисунок 1. – Общий вид образца костной пластины

Морфология поверхности сторон 1 и 2 показана на рисунке 2. Полосы представляют собой слои пластика, нанесенные «за 1 проход». Видимые дефекты, несплошности и другие изъяны поверхности не наблюдаются.



а – сторона 1 (верх); б – сторона 2 (низ)

Рисунок 2. – Морфология поверхности

Возрастающая роль полимерных материалов и композитов на их основе в медицине вызывает необходимость контроля их качества – как исходных материалов, так и выходного контроля готовых изделий медицинского назначения, изготовленных в аддитивном производстве, по характеристикам, указанным в стандартах. ГОСТ Р 56787-2015 «Композиты полимерные. Неразрушающий контроль» устанавливает методики и средства неразрушающего контроля: акустическая эмиссия, компьютерная томография, течеискание, радиография, радиоскопия, измерения деформации, термография, ультразвуковой контроль, визуально-измерительный контроль. Наиболее сложен последний метод визуально-измерительного контроля, используемый при входном контроле, так как он не имеет цифровых характеристик и основан на прямом наблюдении, и таким образом, он в значительной степени зависит от личных качеств и квалификации оператора.

Метод применяют для проверки поверхностей на наличие усталостных трещин, ударных повреждений, пустот, пор, включений, а также для оценки чистоты поверхности. Также метод используется для оценки цветовых изменений, вызванных тепловым перегревом, окислением и др.

В настоящее время микроскопы имеют широкое распространение, а современные технологии обеспечили их финансовую доступность. На повестку дня выходит информация о возможностях данного оборудования, в частности, металлографических микроскопов со схемой освещения «на отражение». Важнейшими в этом плане являются методы оптического контрастирования – темнопольное освещение, поляризованный свет, дифференциально-интерференционный контраст.

Рассмотрим темнопольное освещение для визуально-измерительного контроля с применением металлографического микроскопа.

Принцип освещения по методу темного поля подразумевает освещение объекта исследования наклонными лучами света. При этом освещенными являются все наклонные участки объекта; также сохраняется его натуральное окрашивание. Принципы формирования изображения по методам светлого и темного поля показаны на рисунке 3. При освещении объекта по методу светлого поля луч света дважды проходит через объектив (рис. 3 а), в результате освещенными являются все участки образца перпендикулярные к падающему лучу. Неосвещенными являются трещины, границы зерен, несплошности.

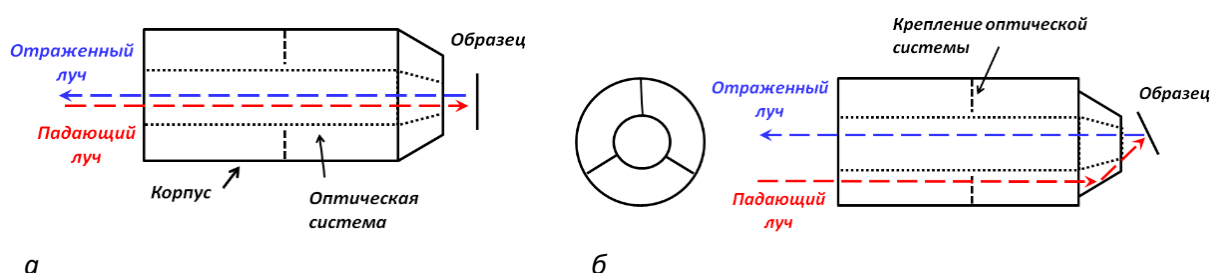
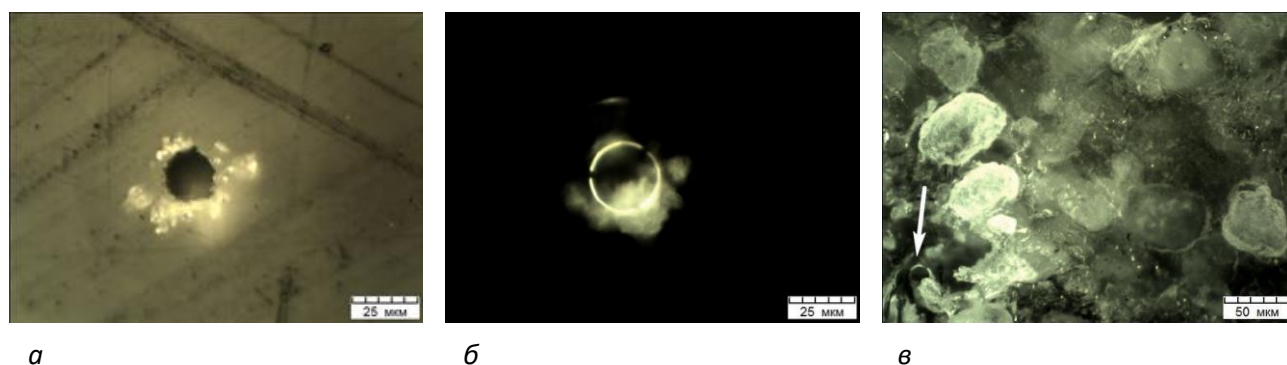


Рисунок 3. – Схема прохождения лучей света через объектив в режиме светлого (а) темного (б) поля

В схеме освещения по методу темного поля луч света проходит между оправкой объектива и его оптической системой, отражается от параболического зеркала и попадает в объектив (рис. 3 б). Таким образом, освещенными являются неплоскостные участки образца. Метод позволяет проводить исследование изломов, включений, неполированных поверхностей, имеющих зачастую сложный рельеф.

Особенности конструкции объектива с функцией темного поля являются причиной специфических оптических эффектов, которые могут быть использованы для анализа материалов. На рисунке 4 показано формирование изображения крепления объектива на сферических несплошностях оптически прозрачных и полупрозрачных материалов.

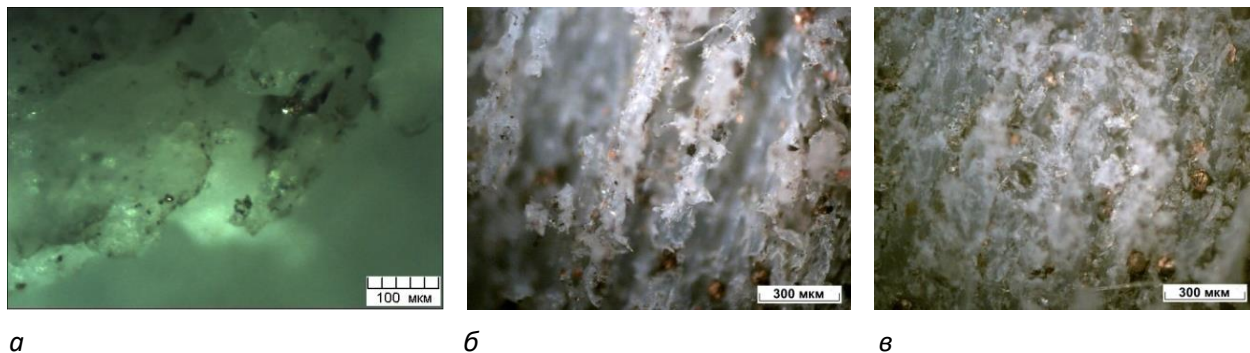


а – светлое поле; б, в – темное поле

Рисунок 4. – Оптические эффекты в структуре полимерных материалов при наличии дефектов под поверхностью материала

При исследовании на металлографическом микроскопе полимерных изделий напечатанных на 3D-принтере имеется возможность контроля на изображении их размеров, сплавления слоев, нахождения различных включений и распределения дефектов.

Изображение в темном поле позволяет контролировать микроскопические загрязнения на поверхности (рис. 5 а), а также фиксировать изменение морфологии поверхности в зависимости от технологического режима (рис. 5 б, в).



**а – загрязнения на поверхности изделия;
б, в – изменение структуры в зависимости от режима резания материалов**

Рисунок 5. – Структуры полимерных материалов

Заключение. Входной контроль расходных материалов для 3D-печати изделий медицинского назначения должен быть сплошным и основываться на визуально-измерительных методах оценки размеров и распределения наполнителей, определения дефектов недопустимых размеров. Микроскопический анализ в сочетании с растровым микроанализом позволяет определить причины производственного брака полимерного изделия. При выявлении недопустимых дефектов целесообразно воспользоваться анализом химического состава материала и изучением изменения его структуры для выявления фактов несоблюдения условий производства расходных материалов.