

отечественного оборудования можно ожидать дальнейшего роста эффективности и надёжности аддитивных технологий.

### Список использованных источников

1. Стариков А. И. Некоторые аспекты повышения качества изделий, получаемых методом аддитивных технологий // *CyberLeninka*. – 2024. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-aspekty-povysheniya-kachestva-izdeliy-poluchaemyh-metodom-additivnyh-tehnologiy?ysclid=mgkcixig3e5429924668> (дата обращения: 10.10.2025).
2. Безукладников И. И. Исследование современных методов процесса наплавки в 3D-принтерах // *CyberLeninka*. – 2024. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-sovremennyh-metodov-protssessa-naplavki-v-3d-printerah?ysclid=mgkcy77iifl45363357> (дата обращения: 10.10.2025).
3. 3D-печать металлами на отечественном оборудовании // *IndPages*. – 2022. – Режим доступа: <https://indpages.ru/tech/sdelano-v-rossii-3d-pechat-metallami-na-otechestvennom-oborudovanii> (дата обращения: 10.10.2025).
4. Неустроев Д. В. Аддитивные технологии и их применение в промышленном и транспортном строительстве // *CyberLeninka*. – 2021. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/additivnye-tehnologii-i-ih-primenenie-v-promyshlennom-i-transportnom-stroitelstve?ysclid=mgkcywxr9n791394140> (дата обращения: 10.10.2025).
5. Металлическая 3D-печать технологией электронно-лучевого плавления (EBM) // *Industry3D*. – 2023. – Режим доступа: <https://industry3d.ru/metallicheskaya-3d-pechat-tehnologiyey-elektronno-luchevogo-plavleniya-ebm-na-moskovskom-cifrovom-zavode/?ysclid=mgkczyr0u9696156946> (дата обращения: 10.10.2025).

УДК 666.223.9

**М.В. Дяденко, И.А. Левицкий, А.Ч. Гордейко**  
Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Республика Беларусь

### ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКОЛ И ИЗДЕЛИЙ ВОЛОКОННОЙ ОПТИКИ

***Аннотация.** Приведены результаты исследований по совершенствованию технологических режимов получения стекол для оптического волокна, включающих световедущую жилу, светоотражающую и защитную оболочки, а также волоконно-оптических элементов на их основе.*

**M.V. Dyadenko, I.A. Levitskii, A.Ch. Gordeyko**

Belarusian State Technological University  
Minsk, Republic of Belarus

## **FEATURES OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR THE PRODUCTION OF GLASSES AND FIBER OPTICS PRODUCTS**

***Abstract.** The results of research on improving the technological modes of glass production for optical fiber, including a light-guiding core, reflective and protective coats, as well as fiber-optic elements based on them, are presented.*

Получение оптического волокна и изделий волоконной оптики базируется на технологических процессах варки стекол, вытягивании одножильного волокна с его перетяжкой в многожильное, изготовлением блоков и волоконно-оптических изделий широкого ассортимента.

Для варки стекол световедущей жилы и светоотражающей оболочки используются сырьевые материалы квалификации „осч“, а также кварцевый обогащенный концентрат. Варку окрашенного стекла для защитной оболочки допускается вести с использованием технического сырья.

Приготовление шихты ведется традиционным порошковым методом при величине зерен сырья не превышающей 1,0 мм и влажности не более 1%. Взвешенные по рецептуре компоненты подлежат тщательному перемешиванию в течение  $25 \pm 2$  мин.

Варка стекол световедущей жилы осуществляется в платиновом сосуде при температуре  $1450 \pm 10$  °С. Засыпке шихты предшествует плавление стеклогранулята в количестве не более 0,5 кг при температуре  $1150 \pm 10$  °С, затем производится засыпка шахты на половину высоты тигля. Оставшаяся часть шихты засыпается после достижения температуры  $1150 \pm 10$  °С. Продолжительность варки составляет 6,0–6,25 ч со скоростью подъема температуры 5 °С/мин.

Процесс варки следует вести с перемешиванием шихты при температуре  $1200 \pm 10$  °С с частотой вращения мешалки 5, 10, 15 об./мин сначала по часовой стрелке в течение 30 мин для каждого из режимов до полного осветления стекломассы. Далее следует основной режим перемешивания против часовой стрелки при частоте вращения 5, 10, 15, 20 и 30 об./мин. Окончание варки устанавливается по пробе на

нить, в которой не должно быть пузырьков воздуха и частиц не расплавившейся шихты.

Далее стекломасса подвергается грануляции.

Процесс варки стекла для светотражающей оболочки имеет некоторые особенности. Температура варки также составляет  $1450\pm 10^{\circ}\text{C}$  и проводится в платиновом сосуде. Предшествует засыпке шихты при  $1350\pm 10^{\circ}\text{C}$  также плавление гранулята данного стекла массой 0,5 кг, далее при температуре  $1350\pm 10^{\circ}\text{C}$  производится заполнение половины тигля шихтой и за 4–5 засыпок загружается оставшаяся шихта. Каждая из засыпок проводится при температуре  $1400\pm 10^{\circ}\text{C}$ .

Стеклomасса перемешивается в течение 6,25 ч при температуре  $1450\pm 10^{\circ}\text{C}$  по режимам, приведенным для световедущей жилы, вращением мешалки по часовой и против часовой стрелки. Выработка стекломассы и получение стеклогранулята ведется при температуре  $1400\pm 10^{\circ}\text{C}$ .

Процесс получения стекла защитной (окрашенной) оболочки осуществляется при  $1400\pm 10^{\circ}\text{C}$  в шамотном тигле.

Засыпку шихты также следует осуществлять с предварительным плавлением соответствующего стеклогранулята в количестве 0,5 кг при  $1300\pm 10^{\circ}\text{C}$ , после чего производить засыпку шихты аналогично стеклам светотражающей оболочки сначала на половину тигля, а затем последовательно засыпать оставшуюся шихту за 3–4 порции при температуре  $1350\pm 10^{\circ}\text{C}$ .

Перемешивание стекломассы осуществляется при  $1400\pm 10^{\circ}\text{C}$  в течение  $60\pm 1$  мин для каждой из частот вращения по часовой стрелке при 5, 10 и 15 об./мин. Далее стекломасса перемешивается при вращении мешалки против часовой стрелки в течение 5–10 ч при частоте вращения 5, 10, 15, 20 и 30 об./мин.

Стеклогранулят получают при температуре выработки  $1350\pm 10^{\circ}\text{C}$ .

Получение одножильного стекловолокна (ОЖС) обеспечивается в установке для выработки, представляющей собой коаксиально расположенные платиновые сосуды: внутренний предназначен для стеклогранулята световедущей жилы, наружный – разделенный на две полоски – для засыпки стеклогранулята светотражающей и защитной оболочки. Платиновые сосуды установлены в каменной печи с силицидмолибденовыми нагревателями.

Стеклогранулят загружают в печь при  $1250\pm 10^{\circ}\text{C}$ , после чего осуществляется выдержка при указанной температуре до полного расплава стекол, который обеспечивается в течение 2-х ч.

Расплавленное стекло световедущей жилы должно вытекать тонким слоем через лабиринт перегородок, обеспечивающий качественное освещение, при котором удаляются мелкие пузырьки воздуха.

Выпускные патруба выработочной фильеры светоотражающей и защитной оболочки должны быть расположены таким образом, чтобы обеспечить совместное одновременное истечение стекла световедущей жилы диаметром  $0,6 \pm 0,001$  мм из внутреннего сосуда и равномерно покрываться стеклами светоотражающей и защитной оболочки, толщина которых должна составлять  $32 \pm 1$  и  $28 \pm 1$  мкм.

Расплав стекла световедущей жилы должен вытекать из патрубков, образуя луковицу, из которой с помощью вращающегося ролика вытягивается одножильное жесткое волокно диаметром  $0,72 \pm 0,2$  мм. Оно далее разрезается на заготовки длиной 1,5–1,6 м, подаваемые в бункер-накопитель.

Размеры сечения световода следует контролировать микрометром каждые 10 мин, а толщину оболочки и качество одножильного световода (ОЖС) – при просмотре волокна в торец с помощью микроскопа.

Должен обеспечиваться следующий температурный режим вытягивания одножильных световодов:

- загрузка стеклогранулята в тигель должна проводиться в течение 4 ч при температуре в печи  $1250 \pm 2$  °С, температура на нагревателе должна составлять  $550 \pm 2$  °С;

- далее должна выполняться выдержка в течение 2 ч при температуре  $1250 \pm 2$  °С. Температура на нагревателе должна составлять  $550 \pm 2$  °С;

- снижение температуры от  $1250 \pm 2$  °С до  $1150 \pm 2$  °С должно обеспечиваться в течение 1 ч. Температура на нагревателе поддерживается  $550 \pm 2$  °С;

- производится выдержка в течение 1 ч при температуре  $1150 \pm 2$  °С при температуре на нагревателе –  $550 \pm 2$  °С;

- вытягивание световодов осуществляется непрерывно до полной выработки расплава стекла. Температура стекломассы должна составлять  $1150 \pm 2$  °С, а температура на нагревателе – изменяться в пределах  $570 \pm 20$  °С.

После окончания процесса выработки платиновый сосуд извлекается из печи и осуществляется его обработка 70 %-ной фтористоводородной кислотой с целью полного удаления остатков стекла.

Следующей операцией изготовления волоконно-оптических пластин является перетяжка пакета одножильных световодов в один

многожильный, которая осуществляется при температуре пластической деформации стекла. Для этого одножильные световоды длиной 1,5–1,6 м, соответствующие геометрическим размерам и тщательно очищенные от загрязнений и жировых пятен, укладываются в шестигранные формы, обеспечивая плотную упаковку световодов.

Многожильные световоды должны тщательно калиброваться, очищаться от загрязнений и жировых пятен в специально отведенных чистых помещениях. После этого многожильные световоды должны укладываться в блоки круглого сечения с помощью виброукладчика.

Далее блоки круглого сечения укладываются в металлические вкладыши, которые в свою очередь помещаются в форму для прессования.

Полученные блоки после операции прессования следует обрабатывать теми же методами, что и оптические детали из стекла: производить резку блока на заготовки, округление заготовок, шлифование и полирование. Блоки после охлаждения должны распиливать алмазным кругом на заготовки требуемой толщины с последующим сошлифовыванием до заданного размера на круглошлифовальном станке.

УДК621.771; 621.777

**С.Н. Лежнев<sup>1</sup>, А.Б. Найзабеков<sup>1</sup>, Д.В. Куис<sup>2</sup>,  
Е.А. Панин<sup>3</sup>, А.С. Арбуз<sup>4</sup>, Н.А. Лутченко<sup>4</sup>, П.Л. Цыба<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Рудненский индустриальный университет, Рудный, Казахстан

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

<sup>4</sup>Назарбаев Университет, Астана, Казахстана

## **ИЗУЧЕНИЕ НОВОГО СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА «РАДИАЛЬНО-СДВИГОВАЯ ПРОКАТКА С ПРОТИВОДАВЛЕНИЕМ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ НАЛОЖЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ»**

***Аннотация.** Данная работа посвящена изучению нового совмещенного процесса «радиально-сдвиговая прокатка с противодавлением и дополнительным наложением ультразвуковых колебаний». Исследования показали, что усовершенствованная схема РСП является наиболее перспективным способом получения высококачественных прутков с ультрамелкозернистой структурой.*