

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

Список использованных источников

1. Старикин А. И. Некоторые аспекты повышения качества изделий, получаемых методом аддитивных технологий // *CyberLeninka*. – 2024. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-aspeky-povysheniya-kachestva-izdeliy-poluchayemyh-metodom-additivnyh-tehnologiy?ysclid=mgkcxig3e5429924668> (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-protsessa-naplavki-v-3d-printerah?ysclid=mgkcy77iif145363357> (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 ± 2 мин.

Варка стекол световедущей жилы осуществляется в платиновом сосуде при температуре 1450 ± 10 °С. Засыпке шихты предшествует плавление стеклогранулята в количестве не более 0,5 кг при температуре 1150 ± 10 °С, затем производится засыпка шахты на половину высоты тигля. Оставшаяся часть шихты засыпается после достижения температуры 1150 ± 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 ± 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 светоотражающей оболочки имеет некоторые особенности. Температура варки также составляет 1450 ± 10 °C и проводится в платиновом сосуде. Предшествует засыпке шихты при 1350 ± 10 °C также плавление гранулята данного стекла массой 0,5 кг, далее при температуре 1350 ± 10 °C производится заполнение половины тигля шихтой и за 4–5 засыпок загружается оставшаяся шихта. Каждая из засыпок проводится при температуре 1400 ± 10 °C.

Стекломасса перемешивается в течение 6,25 ч при температуре 1450 ± 10 °C по режимам, приведенным для световедущей жилы, вращением мешалки по часовой и против часовой стрелки. Выработка стекломассы и получение стеклогранулята ведется при температуре 1400 ± 10 °C.

Процесс получения стекла защитной (окрашенной) оболочки осуществляется при 1400 ± 10 °C в шамотном тигле.

Засыпку шихты также следует осуществлять с предварительным плавлением соответствующего стеклогранулята в количестве 0,5 кг при 1300 ± 10 °C, после чего производить засыпку шихты аналогично стеклам светоотражающей оболочки сначала на половину тигля, а затем последовательно засыпать оставшуюся шихту за 3–4 порции при температуре 1350 ± 10 °C.

Перемешивание стекломассы осуществляется при 1400 ± 10 °C в течение 60 ± 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 ± 10 °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 светоотражающей и защитной оболочки. Платиновые сосуды установлены в каменной печи с силицидмолибденовыми нагревателями.

Стеклогранулят загружают в печь при 1250 ± 10 °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 фильтры светоотражающей и защитной оболочки должны быть расположены таким образом, чтобы обеспечить совместное одновременное истечение стекла световедущей жилы диаметром $0,6\pm0,001$ мм из внутреннего сосуда и равномерно покрываться стеклами светоотражающей и защитной оболочки, толщина которых должна составлять 32 ± 1 и 28 ± 1 мкм.

Расплав стекла световедущей жилы должен вытекать из патрубков, образуя луковицу, из которой с помощью вращающегося ролика вытягивается одножильное жесткое волокно диаметром $0,72\pm0,2$ 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 ± 2 °C, температура на нагревателе должна составлять 550 ± 2 °C;
- далее должна выполняться выдержка в течение 2 ч при температуре 1250 ± 2 °C. Температура на нагревателе должна составлять 550 ± 2 °C;
- снижение температуры от 1250 ± 2 °C до 1150 ± 2 °C должно обеспечиваться в течение 1 ч. Температура на нагревателе поддерживается 550 ± 2 °C;
- производится выдержка в течение 1 ч при температуре 1150 ± 2 °C при температуре на нагревателе – 550 ± 2 °C;
- вытягивание световодов осуществляется непрерывно до полной выработки расплава стекла. Температура стекломассы должна составлять 1150 ± 2 °C, а температура на нагревателе – изменяться в пределах 570 ± 20 °C.

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.

УДК 621.771; 621.777

**С.Н. Лежнев¹, А.Б. Найзабеков¹, Д.В. Куис²,
Е.А. Панин³, А.С. Арбуз⁴, Н.А. Лутченко⁴, П.Л. Цыба³**

¹Рудненский индустриальный университет, Рудный, Казахстан

²Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

³ Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

⁴Назарбаев 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.