# Опыт и инновации АО «ЕЗ ОЦМ» в изготовлении стеклоплавильных аппаратов и фильерных питателей

**Фомин А.А.,** *инженер-технолог, кандидат технических наук, ООО «ЕЗ ОЦМ – Инжиниринг» (дочернее предприятие АО «ЕЗ ОЦМ»), г. Верхняя Пышма*

**Бородин В.Д.,** *главный конструктор стеклоплавильных устройств, руководитель группы технической экспертизы, заслуженный изобретатель Российской Федерации, АО «ЕЗ ОЦМ», г. Верхняя Пышма*

**Сычев С.Е.,** *мастер электросварочного участка, АО «ЕЗ ОЦМ», г. Верхняя Пышма*

В статье приведены основные исторические вехи развития конструкций и технологий изготовления стеклоплавильных аппаратов и фильерных питателей на АО «ЕЗ ОЦМ», описаны основные конкурентные преимущества изготавливаемых ФП и СПА, рассмотрены некоторые направления развития инновационных производственных процессов.

**Ключевые слова**: фильерный питатель, стеклоплавильный аппарат, платина, дисперсно-упрочненный сплав, конечно-элементное моделирование, DEFORM-3D.

Выпуск стеклоплавильных аппаратов (СПА) и фильерных питателей (ФП) на Екатеринбургском заводе по обработке цветных металлов ведется с 1940-х годов. В послевоенные годы было освоено изготовление стеклоплавильных аппаратов для производства стеклонити двух стадийным способом, а также фильерных питателей для производства как стеклонити одностадийным способом, так и супертонкого базальтового волокна. С 1970-х годов начат массовый выпуск фильерных питателей для производства непрерывного базальтового волокна.

В настоящий момент СПА (рис. 1А) изготавливаются по ТУ 1995-417-00195200-2005 из сплавов ПлРд-7, ПлРд-10, ПлРд-10ДУ, ПлРд-20, Пд99,9 различной производительности от 100 до 800 фильер диаметром от 1,10 мм до 2,20 мм в зависимости от ассортимента стеклонити. На АО «ЕЗ ОЦМ» разработано более 20 конструкций стеклоплавильных аппаратов. Из всего перечня СПА наибольший объем выпуска приходится на 400-фильерные аппараты, которые поставляются порядка десяти конструкций.

К особой категории СПА можно отнести аппараты для производства стеклонити полого волокна и нити из ВМ и ВМП стекла. Конструкция СПА для нити полого волокна более сложная, нежели обычные СПА, они выпускаются в двух модификациях производительностью 120 и 180 фильер, а аппараты для нити из ВМ и ВМП стекла изготавливаются из сплава платины с высоким содержанием родия до 35% (масс.) и микролегированием рутением до 0,1% (масс.).

На ЕЗ ОЦМ был освоен выпуск СПА с защитным металлокерамическим покрытием (рис. 1Б) толщиной от 90 до 150 микрон. Такое покрытие позволяет более рационально использовать драгоценные металлы и является одним из реальных путей экономии платиновых металлов. Это происходит благодаря значительному снижению (до 70%) перехода металлов из СПА в футеровку, что в свою очередь приводит к повышению планового срока службы. При эксплуатации СПА с покрытиями за счет менее интенсивного перехода металла в футеровку поверхности стенки аппарата менее разрыхляются, а, следовательно, аппарат способен выдержать больший срок службы в 1,1-1,2 раза по сравнению с СПА без покрытий. Также металлокерамическое покрытие уменьшает количество ремонтов СПА примерно в 1,5 раза. При этом следует отметить, что при производ-

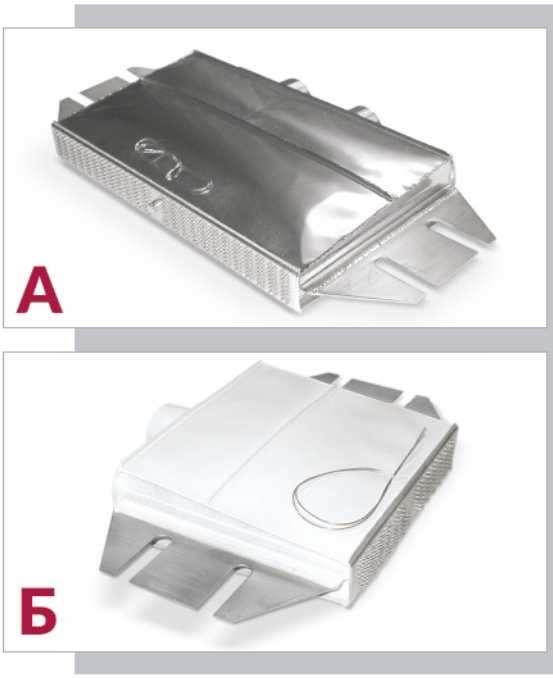



*Рис. 1. Стандартный стеклоплавильный аппарат без покрытия (А) и СПА с металлокерамическим покрытием (Б)*

стве ремонтов аппаратов с покрытиями нет необходимости производить зачистку мест сварки от покрытия. Состав покрытия не оказывает влияния на разрушение деталей СПА, а в местах сварки происходит отшлаковка в сварном шве материала покрытия. Перед ремонтом СПА достаточно только тщательно произвести зачистку от стекла мест разрушения сварки.

Для одностадийного процесса производства нитей стекла марки «Е» и стекла марки «С» завод выпускает ФП различных конструкций по ТУ1995-073-0095200-2004. По этим же техническим условиям изготавливаются ФП также различных конструкций для производства как супертонкого базальтового волокна (БСТВ), так и непрерывной базальтовой нити. ФП для производства стеклонити (рис. 2А) выпускаются с числом фильер от 200 до 4000 штук диаметром от 1,20 мм до 3,20 мм из сплавов ПлРд-7, ПлРд-10, ПлРд-10ДУ, ПлРд-20, ПлРдРу-35-0,1, Пд99,9, а также из комбинации этих сплавов. Для производства БСТВ используются, как правильно, ФП пластинчатого типа (рис. 2Б) с числом фильер от 200 до 600 штук с диаметром внутреннего канала от 1,5 мм до 2,4 мм. АО «ЕЗОЦМ» разработано около десятка конструкций ФП для получения базальтового волокна, часть из которых запатентована [1, 2]. Изготавливаются такие питатели из платинородиевых сплавов с содержанием родия от 7% до 20% (масс.) и из дисперсно-упрочненных материалов Пл 99ДУ, ПлРд-10ДУ.

Конструкции ФП для производства непрерывной базальтовой нити более сложны в сравнении с предыдущими, потому что процесс ее получения более трудоемок в силу специфических свойств базальтового сырья, характеризующихся различными текстурно-структурными особенностями с узким температурным интервалом выработки (начала и конца затвердевания), а также колебаниями химического состава даже в рамках одного месторождения, которое может достигать иногда 10-15% из-за особенностей генезиса данного типа горных нерудных пород. Усложняет процесс и наличие в породе частиц свободного оксида кремния, температура плавления которого свыше 2000°С. Поэтому для формирования «луковицы» на конце фильеры, обеспечивающей стабильный процесс вытяжки непрерывной нити, важно соотношение массы базальтового расплава, находящегося в ФП, к массе нагреваемых элементов питателя с соотношением размеров размещения последних относительно друг друга, а также гидростатический напор расплава.

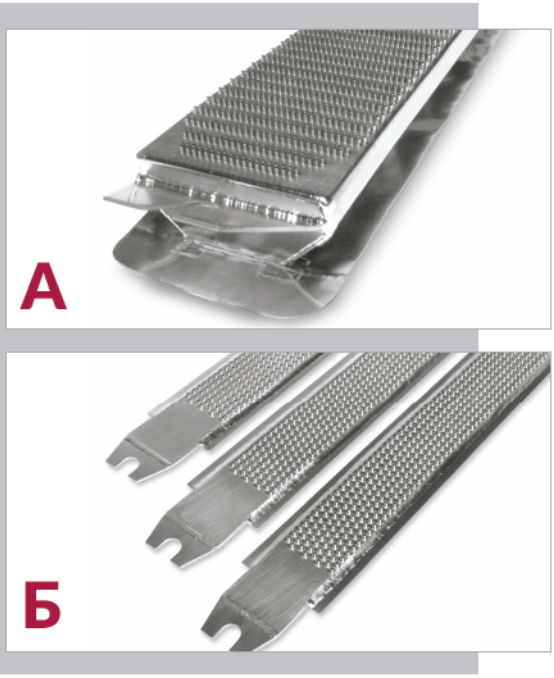



*Рис. 2. Фильерный питатель для производства стеклонити (А) и ФП для получения базальтового волокна (Б)*

В конце 1990-х годов на заводе было разработано и запатентовано несколько уникальных технологий получения дисперсно-упрочненной (ДУ) платины и ее сплавов. Первая технология [3] включает в себя приготовление расплава платины, введение в расплав легирующих компонентов (циркония, иттрия) в расчетном количестве для образования в структуре дисперсно-упрочненного сплава оксидного соединения, затвердевание расплава с получением слитка путем охлаждения в тигле. Затем металл вновь расплавляют, диспергируют путем кристаллизации в инертной атмосфере с получением фольгового полуфабриката. Полученный полуфабрикат подвергают внутреннему окислению путем отжига в окислительной атмосфере, после этого идет прессование и горячая ковка.

Вторая технология [4] долгое время применялась для производства сплава ПлРд-10ДУ. Сущность способа заключается в получении дисперсно-упрочненного сплава на основе платины внутренним окислением, включающим получение сплава легированного оксидообразующим элементом цирконием. Далее изготовление проволоки, окислительный отжиг проволоки, затем прессование проволоки и сразу после него горячая ковка в пластину.

Способ дает возможность создания поверхности межфазного взаимодействия окислительная среда – сплав на основе платины – оксидообразующий элемент до необходимых и достаточных размеров, обеспечивающих скорость окисления при соответствующей температуре отжига, которая позволяет получить дисперсно-упрочненный материал с высокими эксплуатационными свойствами. Это становится возможным за счет формирования во внутриокисленном сплаве структуры равновеликих частиц окиси циркония, равномерно распределенных в платиновой матрице.

*Таблица 1. Физико-механические свойства платины, сплава ПлРд-10 и их дисперсно-упрочненных вариантов*

| Материал | Плотность, г/см³ | T = 20°C (после отжига) | | | T = 1300°C | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | σв, МПа | δ, % | HV | σв, МПа | δ, % | ε, %/час |
| Пл99,9 | 21,45 | 140-200 | 30-40 | 30-45 | 13-25 | 50-53 | 15-20 |
| Пл99ДУ | 21,32 | 300-360 | 9-10 | 95-120 | 29-35 | 16-18 | 4,3-5,9 |
| ПлРд-10 | 20,00 | 300-350 | 22-24 | 125-128 | 32-35 | 38-41 | 6,3-6,5 |
| ПлРд-10ДУ | 19,97 | 380-410 | 16-19 | 132-135 | 48-50 | 22-25 | 3,8-5,0 |

*где σв – предел прочности, δ – относительное удлинение, HV – твердость по Виккерсу, ε – ползучесть при нагрузке 0,5 кгс/мм²*

В настоящее время на АО «ЕЗ ОЦМ» разработана новая технология получения ДУ материалов, которая позволяет уменьшить операционный цикл изготовления, повысить качество получаемого материала и его прочностные механические свойства на 10%. Суть метода заключается в следующем. В вакууме плавится заготовка заданного химического состава, легированная оксидообразующим компонентом, из которой изготавливается проволока. Из проволоки на специальной установке получают нанодисперсный порошок, порошок прессуют в шашки и куют в пластину, пластину раскатывают в заготовки необходимого размера.

Физико-механические свойства платины, сплава ПлРд-10 и их дисперсно-упрочненных вариантов, изготавливаемых на ЕЗ ОЦМ, при комнатной температуре представлены в таблице 1.

Промышленное применение дисперсно-упрочненных платины и ее сплавов в стекольной промышленности позволило получить значительную экономию платиновых материалов за счет повышения сроков эксплуатации стеклоплавильных аппаратов и фильерных питателей.

Одновременно с разработкой технологии получения ДУ материалов на заводе была освоена технология штамповки фильерных донышек, что в итоге привело к созданию нового продукта – стеклоплавильного аппарата с цельноштампованным фильерным дном из дисперсно-упрочненного платинородиевого сплава.

Сейчас на АО «ЕЗ ОЦМ» применяются два способа изготовления фильерного дна стеклоплавильных аппаратов и фильерных питателей: закреплением (сваркой) отдельно выполненных фильер в заранее подготовленных отверстиях, либо методом листовой штамповки за несколько формообразующих операций.

Первый способ заключается в изготовлении перфорированной пластины, в каждое отверстие которой вставляются фильеры в виде трубчатых заготовок, и сварке для герметичного соединения пластины со стенками фильер. При этом используются различные способы сварки плавлением – микроплазменная и аргонно-дуговая.

Второй способ с получением фильерных пластин с цельноштампованными фильерами можно условно разделить на две операции:

1) операция формования выступов металла на заготовке методом штамповки;

2) глубокая вытяжка участков с выступами металла в фильеры.

Первый способ является более технологичным и менее трудоемким, однако фильерная пластина со сварными фильерами имеет ряд недостатков по сравнению с пластиной с цельноштампованными фильерами – технологически ограниченная плотность фильерного поля, снижение жаропрочности материала пластин в результате сварки, невозможность использования дисперсно-упрочненных материалов.

Более плотная упаковка фильер на фильерном поле позволяет получать более производительные фильерные питатели, но вместе с тем создает ряд технологических проблем, одна из которых – поддержание симметричного исполнения каждой фильеры с обеспечением необходимой размерной точности [5].

Первая операция технологии штамповки фильерных донышек реализуется путем обжима заготовки плоским бойком на штампе с отверстиями, расположение которых соответствует расположению фильер на фильерном дне. Металл заготовки под действием бойка утоняется над плоской поверхностью штампа и концентрируется в его отверстиях. После каждого хода бойка штамп с заготовкой продвигается относительно бойка в направлении обратном направлению течению металла. Так пошагово идет обработка всей полосы, процесс длится до окончания полосы. Полученные выступы располагаются на нижней поверхности заготовки в виде заданного количества рядов, расположенных последовательно друг за другом. Каждый ряд выступов состоит из двух полурядов, расположенных в шахматном порядке относительно друг друга.

На этом этапе важно обеспечить полное и равномерное заполнение отверстий штампа, чтобы в дальнейшем получить изделие высокого качества. Для решения этого вопроса ЕЗ ОЦМ совместно с УрФУ им. Б.Н.Ельцина провели ряд исследований [6, 7], направленных на исследование процесса штамповки и выявление закономерностей заполнения штампа. Например, для оценки влияния

шага обработки на качество заготовки после первой операции листовой штамповки фильерного дна произведено моделирование данной операции в программном комплексе DEFORM-3D, предназначенного для решения задач в области конечно-элементных расчетов процессов ОМД. Было произведено два моделирования с различным шагом обработки. Моделирование операции с шагом обработки 3 мм представляет собой моделирование стандартной технологии, используемой в данный момент на производстве. Для опытной технологии был использован шаг 12 мм, выбранный исходя из конфигурации моделируемого штампа.

Результаты первого моделирования показаны на рис. 3. Полученный результат соответствует опытным данным: первый полуряд выступов имеет малый объем и наклонную площадку, второй полуряд обладает большим объемом металла и конусовидной формой.

Результаты второго моделирования показаны на рис. 4. Можно заметить существенное изменение картины заполнения штампа: первый полуряд выступов стал иметь более правильную конусовидную форму, его объем увеличился примерно в два раза. Кроме того, наклонная площадка появилась на втором полуряде, однако при такой высоте выступов эта площадка не является дефектом, т.к. заготовка подвергнется дальнейшей механической обработке. Следовательно, такой подход увеличения шага обработки привел к более симметричному и более полному заполнению отверстий штампа.

Также проведено изучение других технологических параметров, таких как коэффициент трения между заготовкой и штампом, который задается уровнем подготовки контактных поверхностей и подбором смазки, и формой деформирующего бойка. По результатам исследования были разработаны рекомендации по совершенствованию процесса листовой штамповки фильерного дна, которые после внедрения в производство позволили повысить качество выпускаемой продукции.

Растущие требования к стеклоплавильным аппаратам и фильерным питателям, связанные с увеличением срока службы, производительности, снижению металлоемкости изделия, постоянно ставят перед АО «ЕЗОЦМ» проблемные задачи разработки новых оптимальных конструкций и подбора конструкционного материала, которые успешно решаются специалистами предприятия, благодаря многолетнему опыту и непрерывно внедряемым в производство инновациям.

***Список литературы.***


*1. Патент РФ 2315723, C03B37/09. Фильерный питатель. Заявл. 12.04.06; Опубл. 27.01.08.*

*2. Патент РФ 2373160, C03B37/09. Устройство для получения волокна из расплава горных пород. Заявл. 12.03.08; Опубл. 20.11.09.*

*3. Патент РФ 2077783, C22C1/04, C22F1/14. Способ получения дисперсно-упрочненных сплавов на основе благородных металлов. Заявл. 27.12.94; Опубл. 20.04.97.*

*4. Патент РФ 2017584, B22F3/16, B22F1/0. Способ получения дисперсно-упрочненных сплавов на основе платины. Заявл. 05.05.91; Опубл. 15.08.94.*

*5. Фомин, А.А. Анализ формоизменения листовой заготовки из платинородиевого сплава в производстве стеклоплавильных аппаратов / А.А. Фомин, Ю.Н Логинов // Тезисы докладов XIII Международной научно-технической Уральской школы-семинара молодых ученых-металловедов. – Екатеринбург. – 2012. – С.209-213.*

*6. Фомин, А.А. Исследование первой операции штамповки элементов платиновых стеклоплавильных аппаратов / А.А. Фомин, Ю.Н. Логинов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2014. – N4. – С.37-41.*

*7. Фомин, А.А. Повышение равномерности заполнения многоручьевого штампа после первой операции штамповки дна платинового стеклоплавильного аппарата / А.А. Фомин, Ю.Н. Логинов // Материалы международной научно-практической конференции «Молодежь и наука». – Нижний Тагил. – 2014. – С.78-83.*

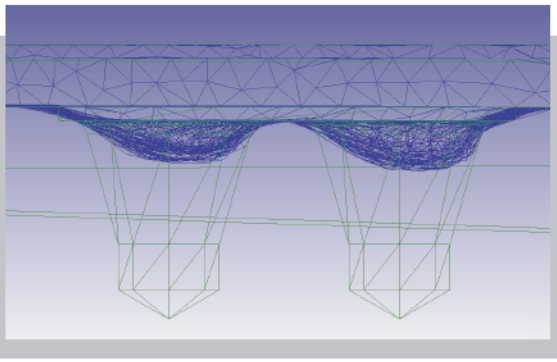



*Рис. 3. Моделирование формоизменения заготовки на первой операции с шагом обработки 3 мм*

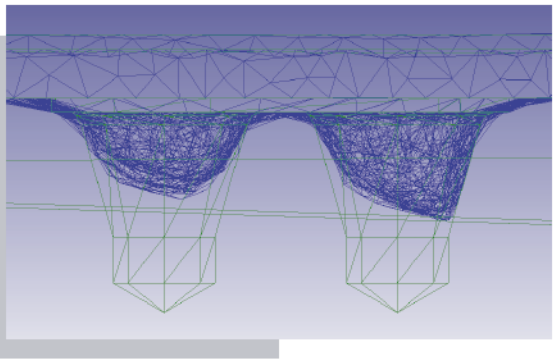


*Рис. 4. Моделирование формоизменения заготовки на первой операции с шагом обработки 12 мм*