

Глава 18

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

А.П. ЛАСКОВНЕВ

Несмотря на то, что с древних времен известны естественные композиционные материалы (КМ), например, бамбук, реализовать принцип упрочнения конструкционных материалов дисперсными частицами, волокнами, дискретными включениями и другими видами упрочнителей удалось сравнительно недавно. По мере развития металлургии и строительной индустрии появились железобетонные конструкции, в которых роль несущего нагрузку компонента была отведена стальной арматуре, а роль матрицы, передающей нагрузку – бетону. Затем прогресс в химии привел к появлению высокопрочных стеклянных, углеродных, борных, карбидокремниевых, окисных и разнообразных органических волокон и полимерных материалов. На их основе были разработаны и получили широкое применение в технике разнообразные материалы – стеклопластики, угле- и боропластики и гибридные комбинации из них. Развитие порошковой металлургии внесло свой вклад в развитие композиционных материалов. Появился новый класс конструкционных материалов, с помощью которых практически впервые удалось одновременно реализовать комплекс самых противоположных свойств – высокую прочность и жесткость при растяжении и сжатии, высокие предел выносливости, работу разрушения и низкую удельную плотность. Применение в качестве матриц КМ алюминиевых сплавов вполне оправдано, так как для них характерны не только высокие показатели теплопроводности, теплоемкости, теплоустойчивости, но и высокие технологические свойства, в том числе возможность широкого варьирования механических свойств за счёт выбора систем легирования и режимов термических и термомеханических обработок, литейные свойства, обрабатываемость резанием и, наконец, совместимость с дискретными наполнителями (порошками алюминия).

1. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ.

Существующие способы получения алюминиевых порошков можно разделить на две основные группы [1].

Физико-химические способы получения, сопровождающиеся принципиальными изменениями химического и фазового состава исходного материала в процессе получения порошкообразного металла: электролитическое осаждение алюминия из растворов и расплавов, содержащих $AlCl_3$; восстановление (или термическое разложение) алюминиевых соединений в газовой фазе или в растворе; термическое восстановление соединений алюминия в твердой фазе (например, восстановление оксида алюминия углеродом); конденсация металла из паровой фазы.

Физико-механические способы, в процессе осуществления которых не происходит принципиальных изменений химического и фазового (за исключением перехода из жидкого состояния в твердое) составов исходного материала; механическое измельчение (дробление и размол хрупких сплавов); распыление расплавленного металла сжатым газом или жидкостью; разбрызгивание струи расплава центробежными силами.

Необходимо отметить, что различие между физико-химическими и физико-механическими методами получения порошков алюминия и его сплавов является условным и отдельные процессы могут быть с одинаковым основанием отнесены как к тем, так и другим способам. Например, способы испарения-конденсации, электролитического рафинирования в конечном счёте не сопровождаются принципиальными изменениями химического состава, а при механическом измельчении и распылении расплава, напротив, могут происходить принципиальные изменения химического и фазового составов (окисление, механическое легирование и т.п.).

Физико-механические способы являются основными методами при производстве порошков из алюминия и его сплавов.

Наибольшее распространение в промышленности получили способы распыления расплавленного металла сжатым газом.

Следующим по масштабу применения является способ механического измельчения алюминия и его сплавов в шаровых мельницах. Для чистого алюминия этот метод применяется при производстве алюминиевой пудры из порошков или измельчении отходов алюминиевой фольги или стружки.

При получении порошков ряда алюминиевых сплавов, являющихся достаточно хрупкими для разрушения под действием ударной или истирающей нагрузки, в промышленности широко применяют методы измельчения. К таким сплавам относятся алюминиевые сплавы с высоким содержанием магния (Al-Mg), никеля (Al-Ni), кремния (Al-Si).

2. РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКА

Как и в технологии газового распыления в центробежном распылении расплава процессы расплавления и распыления металла разделены в пространстве и времени. Это позволяет в обоих случаях использовать обычные металлургические методы подготовки расплава [2]. Например, можно перед распылением довести расплав до необходимого перегрева для получения высоких скоростей охлаждения частиц при диспергировании и кристаллизации. Для получения порошков из алюминиевых сплавов в промышленных условиях широко используется газовый метод распыления, который заключается, как уже было отмечено, в сильном динамическом воздействии газа на расплав. При диспергировании порции газа захватываются распыленными каплями в результате деформации и захватывания газа в них, что снижает ценность конечной продукции [3].

В Физико-техническом институте НАН Беларуси была разработана установка для получения порошков из алюминиевых сплавов распылением, которое достигалось воздействием центробежных сил на расплав при попадании его на вращающийся диск. В отличие от газового, этот метод имеет ряд преимуществ. По производительности он сравним с газовым, что важно для создания установок распыления применительно к промышленным условиям производства. Центробежный способ распыления происходит при малом динамическом воздействии газа на расплав. Дополнительные порции газа не захватываются частицами расплава, так как сила динамического давления на капли меньше лапласовского давления в них ($P_{\text{дин}} < P_{\text{л}}$). Поры в таком порошке образуются в результате выделения пузырьков газа, растворенного на стадии выдержки расплава перед распылением, в каплях при кристаллизации. Для газового способа характерно соотношение давлений $P_{\text{дин}} > P_{\text{л}}$, так как при прохождении процесса газ-диспергатор должен иметь более высокое давление, чем давление струи расплава. Уменьшив время контакта газа с расплавом в печи перед распылением, можно снизить пористость частиц при центробежном способе распыления [4, 5].

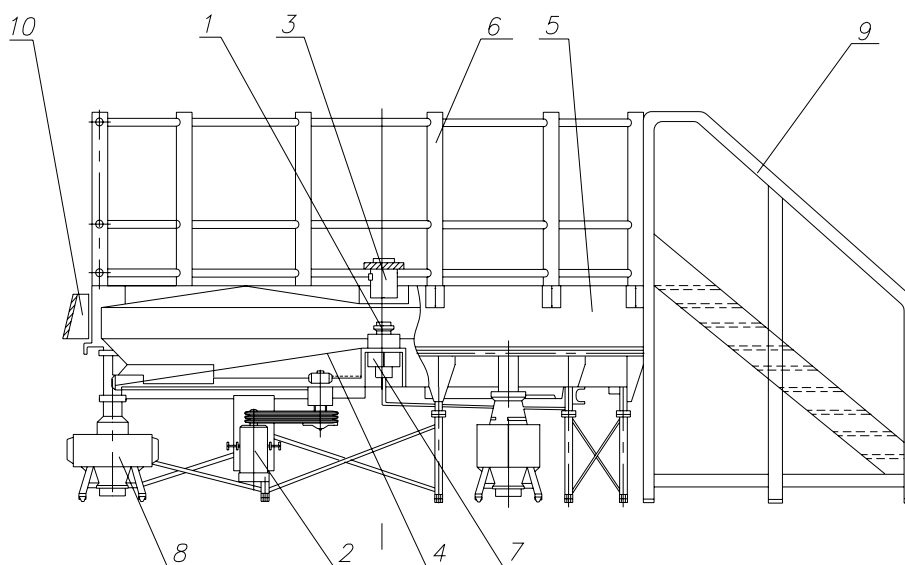


Рис. 1. Установка для центробежного распыления расплава

- 1 – распыляющий диск; 2 – привод вращения днища; 3 – обогреваемый металлоприемник; 4 – днище;
5 – корпус; 6 – ограждение; 7 – привод вращения распыляющего диска; 8 – накопитель порошка;
9 – лестница; 10 – пульт управления

Центробежное распыление можно проводить в вакууме. Установка для получения порошка центробежным способом более компактна, и обслуживающее оборудование занимает меньше площади, чем устройство для газового распыления расплава. Порошок, полученный центробежным распылением, имеет больший закалочный эффект, так как затвердевание частиц происходит на стенке кожуха, имеющего теплоотвод.

Установка (рис. 1) состоит из следующих основных узлов: корпуса 5 с подогреваемым металлоприемником 3 и пульта 10, диска-распылителя 1 с приводом 7 (вращение диска со скоростью до 40000 мин^{-1}), наклонного вращающегося днища 4 с приводом 2 (вращение со скоростью 3 мин^{-1}); для обслуживания установка снабжена ограждением 6 и лестницей 9, для накопления и сбора порошка применяется универсальная тара (кюбели) 8. После включения привода распыляющего диска 1 на его рабочую поверхность через дозировочное отверстие в металлоприемнике 3 под действием собственного веса поступает расплав. Попадая на вращающийся диск, он стремится к его периферии, постепенно превращаясь в тонкую пленку, которая под действием центробежной силы дробится на мелкие частицы в виде чешуек, игл, хлопьев (рис. 2 а, б).

Часть теплоты перегрева и большую часть теплоты кристаллизации металл еще до схода с диска теряет вследствие теплопередачи более холодному, чем он, инструменту. Так продолжается до достижения диском температуры равной температуре расплава.

Чашечная форма диска позволяет расплаву сходиться только с острой кромки, которой заканчивается коническая поверхность диска. Мельчайшими капельками приобретает высокая скорость отрыва, связанная со скоростью кристаллизации капли. Достигая периферии корпуса 5, температура которого поддерживается равной 293 К , частицы, окончательно охладившись, падают на вращающееся днище и поступают в кюбель.



Рис. 2. Характерная форма частиц, полученных центробежным распылением сплава Д16 (-0063+005) $\times 32$ (а) и сплава AL+10% мас. Ni (-0063+005) $\times 22$ (б)

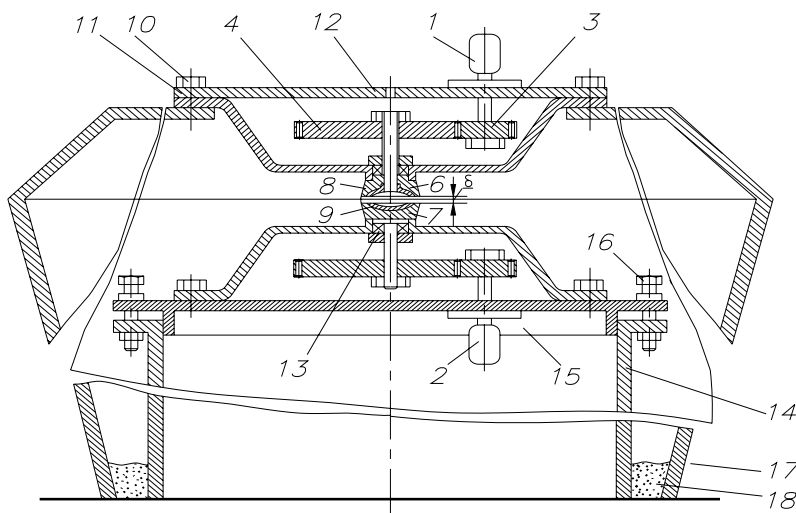


Рис. 3. Схема установки центробежного распыления металла с возможностью регулирования размера фракции порошка

Получение частиц заданного гранулометрического состава - главная задача для разработчиков диспергирующих устройств распылительных металлургических комплексов. Одно из устройств для распыления жидкого металла представлено на рис. 3.

Оно содержит два независимых привода 1, 2, соединенных зубчатой передачей 3 и 4 с распыляющими дисками 6 и 7, снабженными огнеупорными вставками 8 и 9. Зубчатые колеса фиксируются гайками 10. Передающий механизм находится в стакане 11, закрытом крышкой 12, которая имеет отверстие для заливки металла. Распыляющий узел установлен в подшипниках 13, а нижний узел распыления - на цилиндрической опоре 14, в которую входит труба 15 с регулировочными винтами 16, обеспечивающими регулировку необходимого зазора между диском распыления ($\delta = 2h$). Получаемый порошок накапливается в пространстве между опорой 14, боковой стенкой 17 и дном 18.

Металл из металлоприемника (не показан) поступает в нижний диск, где под действием центробежных сил растекается в виде пленки по щели между двумя дисками, установленными с заранее заданным зазором. При этом стабилизируются гидродинамические условия распыления. Получившаяся пленка дробится на мельчайшие капли и кристаллизуется в полете, превращаясь в порошок [6].

3. СПЕКАНИЕ ПОРИСТЫХ КОМПОЗИЦИЙ ИЗ БЫСТРООХЛАЖДЕННЫХ ПОРОШКОВ КРУПНЫХ ФРАКЦИЙ

Создание пористых порошковых материалов (ППМ) - одна из задач порошковой металлургии, выделившаяся с развитием производства в обособленную ее часть. Такие материалы начали выпускаться в СССР с начала 30-х годов. В середине семидесятых годов прошлого века началось интенсивное производство таких материалов в связи с быстрым развитием химического машиностроения и созданием новых технологических процессов в ряде отраслей науки и техники. В настоящее время ППМ успешно применяются в космической технике и сельском хозяйстве, машиностроении и медицине, химической и радиоэлектронной промышленности, атомной энергетике и приборостроении [7].

В зависимости от назначения ППМ и выбранного типа порошка различают два метода получения изделий. Это формование (придание заготовкам из порошка формы, размеров, плотности и механической прочности, необходимых для последующего изготовления изделий) и спекание (придание спекаемым телам определенной пористой структуры и соответствующих физико-механических, гидравлических, химических и др. свойств). В завершение названных приемов может проводиться дополнительная обработка ППМ (механическая, химико-термическая и т.д.).

Для получения ППМ используют порошки с различной формой частиц. В последнее время большой интерес вызывают ППМ, полученные методом порошковой металлургии с высокими показателями фильтрования (абсолютной и номинальной тонкостью фильтрования, полноты фильтрования).

В Физико-техническом институте НАН Беларуси разработан и предложен к производству фильтр для центробежной очистки масла дизельного двигателя. При работе пористый элемент должен вращаться со скоростью 5000 мин^{-1} .

Для формования изделия центробежного фильтра выбран простой способ - формование без приложения давления. Согласно [8], для лучшего заполнения форм порошком, устранения "арочного эффекта", а также получения пористых проницаемых материалов с равномерной пористостью форму при засыпке подвергают вибрации. На конечную пористость порошка в форме существенное влияние оказывают ускорение и частота вибраций [9].

ППМ, полученные спеканием свободно насыпанных порошков алюминия, имеют высокую пористость и, следовательно, высокую проницаемость для жидкостей и газов. Основные требования к материалу формы - отсутствие взаимодействия с материалом порошка при спекании, что не всегда технологически выгодно. Для порошков алюминия применяют стальные или графитовые формы. Предотвращению схватывания частиц алюминия и его сплавов к стенкам формы способствует их покрытие смазкой, например, смесью жидкого стекла с окисью цинка. Габариты заготовок, сформованных свободной засыпкой порошка в формы, определяется размерами рабочего пространства печей для спекания.

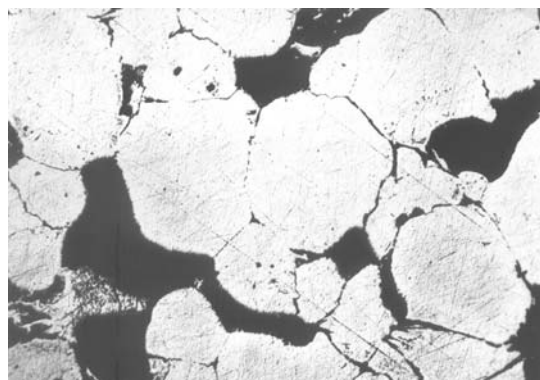
Принято считать, что для систем с взаимодействующими компонентами за счет перекристаллизации через жидкую фазу и диспергирования крупных тугоплавких частиц достигается

уплотнение при малом содержании жидкой фазы. В первую очередь это относится к порошковым смесям [10]. Теория жидкофазного спекания смешанных порошковых тел должна включать в себя две стадии процесса, не имеющие места при спекании невзаимодействующих систем: объемный рост, обусловленный растворением жидкой фазы в твердой, и усадку, связанную с растворением твердой фазы в жидкой. Для получения материалов с высокой пористостью диффузионный рост должен быть максимальным, а усадка минимальной.

В качестве порошкового наполнителя используются крупные высебки алюминиевого порошка (фракции более 400 мкм). Порошок крупных фракций заполняет разборную форму и без предварительного прессования спекается. Форма для спекания – стальная, обеспечивающая толщину стенки (фильтрующей перегородки) – 3 мм. Фильтр имеет вид усеченного конуса высотой 70 мм, диаметром верхнего основания 88 мм, нижнего – 52 мм [11, 12]. После заполнения формы порошком фракции – 1+04 с укладной плотностью 40 - 60% производится жидкофазное спекание изделия. Затем, после охлаждения до температуры максимальной пластичности осуществляется калибровка путем вращения формы с изделием вокруг вертикальной оси, проходящей через ось симметрии конической поверхности изделия. Температура максимальной пластичности для сплава Al + 5% мас. Cu (770 K) входит в диапазон максимальной пластичности материала. Выполнение описанных условий позволяет получать высокопористое изделие с регулярной структурой (рис. 4 а, б). При спекании крупных частиц процесс протекает с образованием "мостиков", соединяющих их. Иногда оплавленный край частицы не находит продолжения в другом, рядом расположенном фрагменте и, оторвавшись, может образовать каплю (шарик), не связанную с общей массой [11]. Для удаления этих застывших капель, не связанные со спеченным пористым элементом, была разработана установка формирования пористых изделий с использованием центробежных сил, в которой жидкость, имеющая при давлении превышающем эксплуатационное в 1,5–2 раза, меньшую плотность, чем дизельное масло, вымывает застрявшие капли после спекания заготовки фильтра.



а



б

Рис. 4. а – фильтрующий элемент центробежного фильтра системы смазки дизельного двигателя из порошков сплава Al + 5% Cu фракции -1+04 - а;
б – микроструктура пористого материала элемента (x 100)

Полноценность замены сетчатого фильтра на композиционный из крупных фракций порошка могут подтвердить только сравнительные характеристики фильтрования, полученные в результате сравнительных испытаний.

4. ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОПЛОТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОРОШКОВ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ

Рассмотрим на примере получения детали типа фланец с высокой втулкой (рис. 5), изделия с такой конфигурацией широко применяются для соединения трубо- и электропроводов. По существующему технологическому процессу заготовка в виде диска получается вырубкой из полосы сплава АМц [12]. Далее из диска в закрытом штампе за один ход формируется высокая втулка на обе стороны фланца со сложной поверхностью внутри, включающей паз и выступ, для фиксации в сопрягаемой детали.

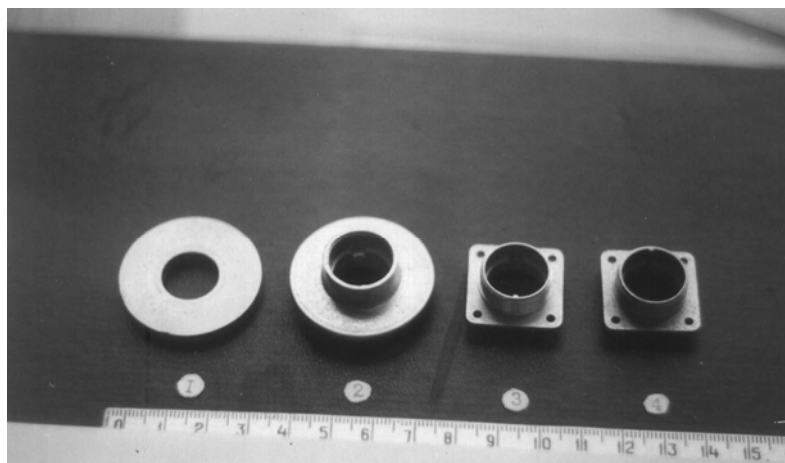


Рис. 5. Последовательность получения корпуса разъемного соединения из порошковой заготовки

С целью выбора наилучшего материала, обеспечивающего выполнение технических требований, предъявляемых к изделию, для изготовления образцов приготавливали навески не только из порошков сплава АМц на установке центробежного распыления, но и из гранул, полученных на установке, разработанной в Физико-техническом институте, схема которой приведена на рис. 6.

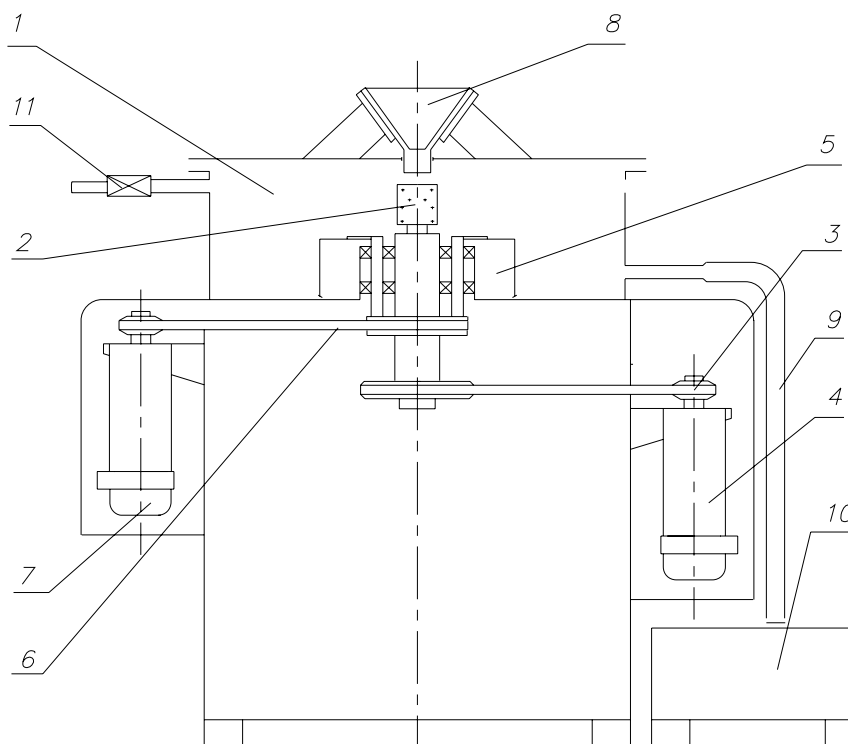


Рис. 6. Схема установки для получения гранул распылением расплава на основе алюминия на воду:
1 – корпус; 2 – перфорированный стакан (инструмент) для распыления расплава; 3 – привод инструмента;
4 – двигатель; 5 – диск для создания “водяной воронки”; 6 – привод диска; 7 – двигатель;
8 – подогреваемый металлоприёмник; 9 – рукав для отвода гранул; 10 – сборник (емкость) для гранул;
11 – кран для регулирования подачи воды.

В установку для получения гранул входят следующие основные узлы: корпус 1, перфорированный стакан для распыления расплава 2, привод стакана 3, включающий электродвигатель

4 и клино-ременную передачу, диск 5, привод диска 6, включающий электродвигатель 7 с клиноремной передачей, металлоприемник 8, рукав 9 для отвода гранул, емкость 10 для сбора гранул, кран 11 для регулирования подачи воды.

Работает установка следующим образом: расплавленный металл через металлоприемник 8 подается во вращающийся перфорированный стакан 2 с отверстиями на боковой поверхности. Под действием центробежных сил металл продавливается через отверстие и происходит его распыление.

Полученные таким образом гранулы, проходя через слой воды, образованной вращающимся диском 5, охлаждаются и потоком воды, через рукав 9 подается в емкость 10. Уровень воды регулируется краном 11.

Порошок и гранулы получали распылением расплава, нагретым до 1080 К. Для получения заготовок были отобраны гранулы размером $-1+0{,}63$ и порошки двух фракций: $-1+0{,}63$ и $-0{,}315+0{,}2$.

Получение заготовок. Условием внедрения на заводе корпусов из порошков и гранул была целостность технологического цикла, принятого для изготовления этой детали из компактных материалов. Было предложено заменить заготовку, которая вырубалась до этого из проката, на спеченную порошковую, того же сплава.

Заготовки для штамповки корпусов, имеющие вид шайбы (рис. 5) были получены брикетированием. Брикетирование – процесс, приводящий в результате внешнего воздействия к изменению состояния сыпучей составляющей (порошок, гранулы) и превращения ее в прессовку (брикет), обладающей определенной формой и прочностью (~ 11 МПа) [13].

Для получения заготовок типа шайб применяли прессование насыпки порошка или гранул в замкнутом объеме пресс-формы (штампа) за счет перемещения пуансонов, обеспечивающих двустороннее прессование.

Схематически простейшая пресс-форма для получения брикетов показана на рис. 7. Порция порошка определенной массы или объема засыпается в полость между матрицей 2 и оправкой 3, а затем с помощью пресса через верхний и нижний пуансоны 4 и 5 к порошку 1 прикладывается давление, приводящее к уплотнению порошка.

Общая высота пресс-формы при обработке порошков определенного гранулометрического состава регулируется крышками 6 для получения полуфабриката прессованием “до упора”. После достижения заданной величины плотности брикета, он выпрессовывается из полости матрицы прессованием “на проход”.

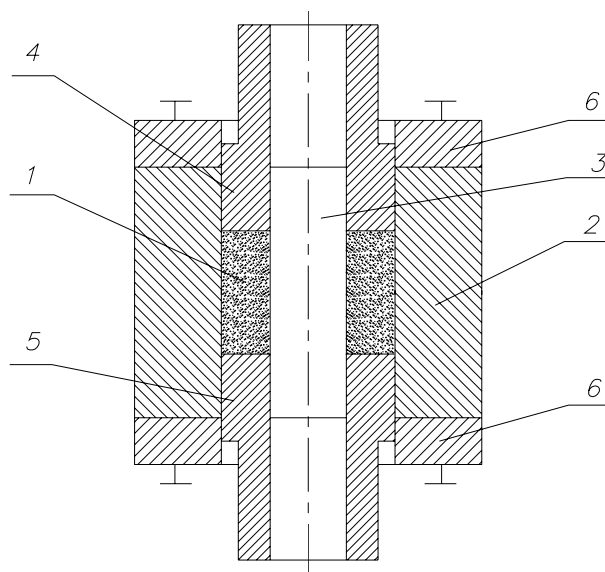


Рис. 7. Схема пресс-формы для двустороннего прессования:
1 – порошок; 2 – матрица; 3 – оправка; 4, 5 – верхний и нижний пуансоны;
6 – крышка для регулировки высоты

Для определения необходимости операции спекания партия заготовок была получена горячим прессованием. Температура горячего прессования – 720 К. При этом плотность получаемых заготовок составляла 98 – 99%. Брикетированные заготовки подвергали штамповке, механической обработке и испытаниям, принятым на предприятии-изготовителе цилиндрических соединителей. Вторая партия заготовок была изготовлена из порошков со спеканием заготовки. Спекание осуществляли в вакууме при разряжении и температуре спекания 910 К в течение 1 ч.

Штамповку спеченных брикетов, также как и компактных заготовок, осуществляли в штампе на механическом прессе. Заготовки перед штамповкой нагревали до температуры 725 К в камерной электропечи. Дальнейшая обработка изделий, включая обрезку поволоков по контуру и пробивку отверстий на прессе, снятие припусков и нарезание резьбы на металлорежущих станках, нанесение анодированного покрытия.

В результате обработки брикетов из гранул (на первом этапе брикеты из гранул получали горячим прессованием без спекания) установлено, что на ряде поволоков из гранул АМц имеются дефекты в виде сколов, а основная масса таких поволоков нагружалась при механической обработке. Брикеты из гранул, прошедшие горячее прессование и отштампованные с получением заготовки под механическую обработку прошли ее удовлетворительно, однако при нанесении покрытия выявились узоры (сетка по границам гранул), рис. 8.

Разрушение большого количества изделий и выявление границ по всему контуру гранул при нанесении покрытия свидетельствует о плохом схватывании между гранулами из-за сложного состава оксидной пленки.

В результате штамповки заготовок прессованных из гранул и порошков, прошедших вакуумное спекание при температуре 908 К, получены образцы плотной структуры, без внутренних дефектов, обнаруживаемых с помощью микроисследований.

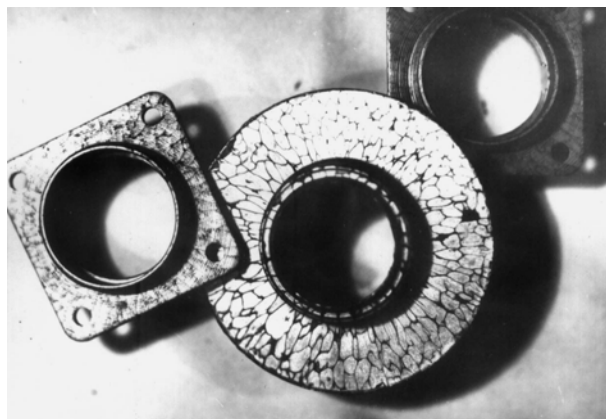


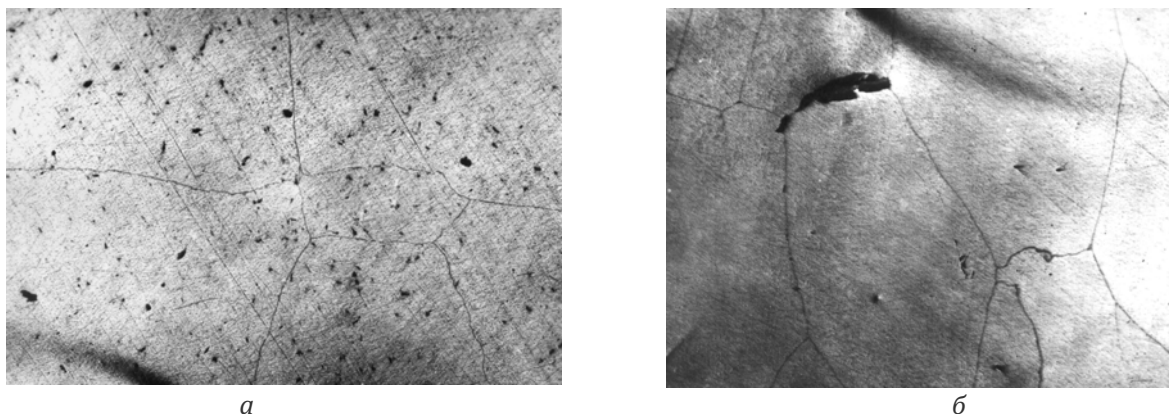
Рис.8. Корпус разъемного соединения, полученного из гранул

Спекание брикетов из гранул не дало гарантированного качества заготовки. На ряде поволоков наблюдались трещины и сколы, обусловленные сохранением пористости.

Штамповка и последующая механическая обработка изделий из заготовок, изготовленных брикетированием порошков и гранул, показала, что лучшим материалом для изготовления высокоплотных деталей является порошок, а спекание порошковых заготовок обеспечивает необходимые свойства изделий при холодном прессовании заготовок под давлением 500 МПа и более.

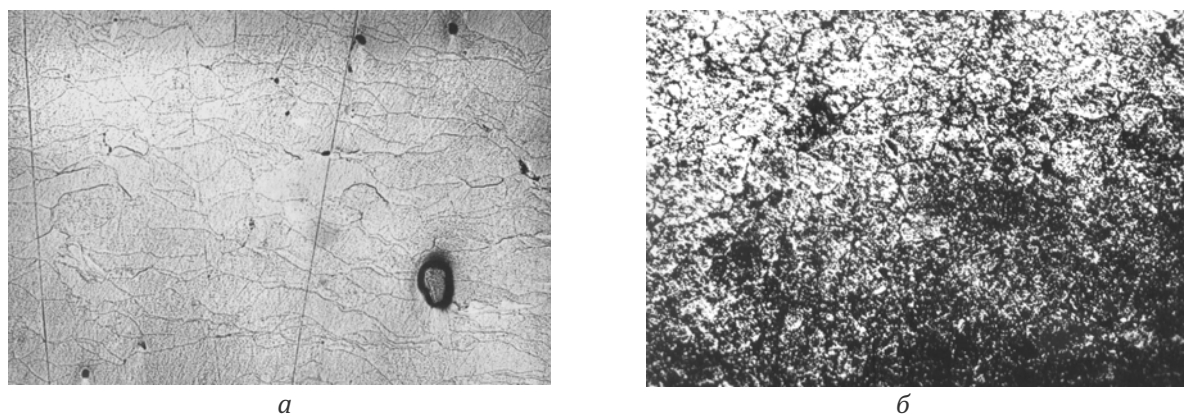
Этот вывод подтвержден результатами исследований структуры заготовок и изделий.

Для получения характеристик плотности полученных брикетов проводили количественный анализ пористости на автоматическом анализаторе “Magiscam”. Измерение плотности производилось на поперечных и продольных шлифах. Микроисследования проводили с помощью микроскопа “Neofot”. Результаты измерений говорят о высокой плотности брикетов (97,8 – 99,9%), в то время как на рис. 9 (а – поперечные шлифы; б – продольные шлифы) видно большое количество пор.

Рис. 9. Структура брикетов из гранул АМц после спекания, $\times 50$

Такое несоответствие по всей вероятности объясняется тем, что поры концентрируются по сечению неравномерно и в поле измерений участки наибольшего скопления пор не попали. Однако таких участков на образцах немного, и они не определили общую плотность брикетов.

Микроструктура брикетов из порошка АМц после прессования и последующего спекания представлена на рис. 10.

Рис. 10. Микроструктура брикетов из порошка АМц: а – до спекания, $\times 50$; б – после спекания, $\times 100$

Микроструктура брикета после прессования на нетравленном образце (а) почти не выявляется; видны границы частиц порошка, имеются микродефекты в виде пор. Микроструктура брикета после спекания (б) характеризуется различной травимостью зон. При нагреве до температуры спекания и выдержке неравновесные избыточные фазы растворяются в α -твердом растворе и при последующем охлаждении выделяются в дисперсном виде. Спекание способствует “залечиванию” возникающих в результате пластической деформации (при брикетировании) микродефектов и тем самым приводит к повышению пластичности.

После штамповки изделия была исследована микроструктура в различных сечениях образца. На рис. 11 представлена микроструктура участков изделия после травления, четко выражена текстура деформированного металла.

На рис. 11 б видно, что сдвиговые напряжения по сечению элемента неравномерны при формообразовании втулки и фланца из-за различных контактных условий на границе “инструмент – деталь”.

Увеличение температуры спекания брикета из порошка приводит к выявлению литой структуры образцов. Нагрев при спекании выше $T_{\text{сол}}$ способствует увеличению количества жидкой фазы, которая распределяется, заполняя пустоты между частицами и кристаллизуется с образованием “смазанных” границ между частицами (рис. 11).

В результате в брикетах на границах частиц происходит формирование общих зерен. С увеличением количества жидкой фазы число объединенных зерен растет. Однако увеличивается и размер алюминидов, образующихся в результате распада твердого раствора в алюминии, что приводит к снижению механических свойств.

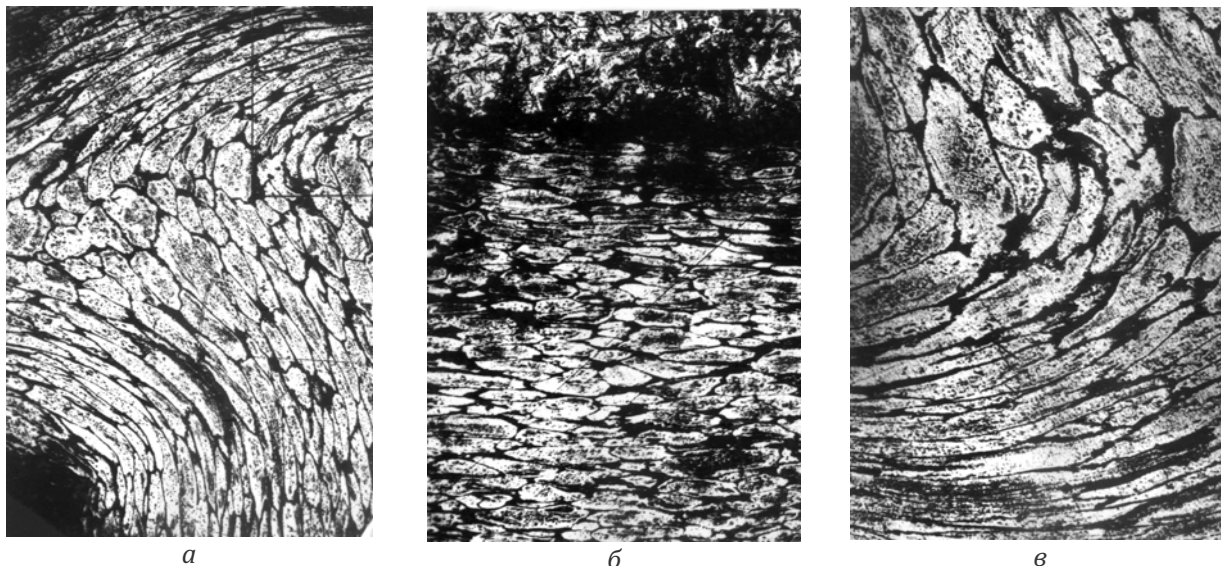


Рис. 11. Микроструктура участков штампованного изделия после травления: а – место перехода втулки во фланец, $\times 50$; б – горизонтальный участок фланца, $\times 50$; в – увеличение фрагмента, $\times 100$.

Для определения прочностных свойств по испытаниям на растяжение использовали плоские стандартные образцы с длиной рабочей части 30 мм и размерами поперечного сечения 6х6 мм. Образцы получали методами двустороннего прессования легированного порошка АМц в пресс-форме при давлении 500 МПа с последующим спеканием в вакуумной печи при $T = 910\text{ K}$ в течение 1 ч. Испытания проводили при комнатной температуре на испытательной установке 2Д 10/90 со скоростью 0,1 мм/с.



Рис. 12. Микроструктура изделия при увеличении температуры спекания до 925 K (место перехода втулки во фланец) – $\times 200$

В ходе каждого нагружения проводили регистрацию усилия и удлинения образца. Усредненные значения предела прочности σ_B при растяжении образцов составило:

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0} = \frac{3700}{33,7} \approx 110 \text{ МПа}$$

На рис. 13 представлены кривые, характеризующие пластичность компактного и порошкового сплава АМц.

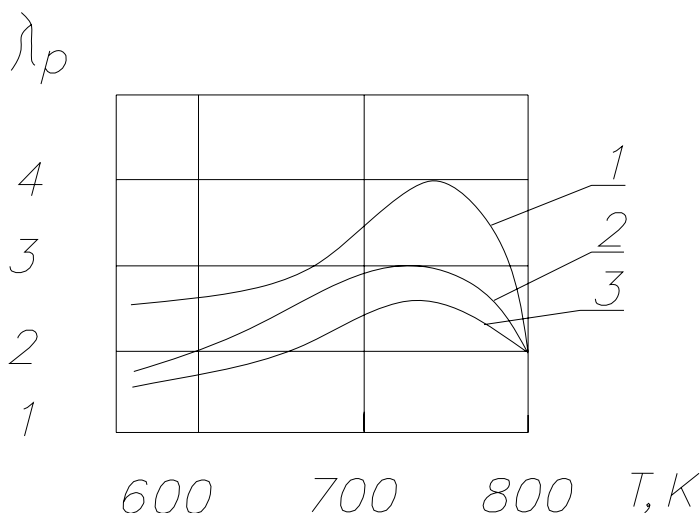


Рис. 13. Пластичность сплава АМц: 1 – деформированный металл; 2, 3 – порошковый сплав с размерами фракций $(-0315 + 025)$; $(-04 + 0315)$ соответственно

Как видно из представленных зависимостей, пластичность порошкового материала достаточно высока для полноценной замены компактной заготовки порошковой, прошедшей операции спекания и выдавливания [14]. Деталь, получаемая из порошковой заготовки (часть электрического цилиндрического соединителя) прошла длительные испытания на рост грибка, воздействие морского климата, одиночные удары и смятие, получив положительные оценки, а процесс ее получения из распыленных легированных порошков сплава АМц рекомендован к внедрению.

5. АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ТИПА

В идеале, для получения подшипника, работающего в сложных условиях теплоотвода, необходимо получить материал с сочетанием разнородных компонентов, один из которых пластичен (металлическая матрица сплава алюминия), а другой обладает смазывающей способностью (частицы со слоистой структурой, играющие роль твердой смазки). В последние годы в качестве структурных составляющих алюминиевых сплавов, повышающих их антифрикционные свойства, используют твердые смазки – частицы графита, сульфиды, фториды и другие соединения [15]. Их эффективность связана с образованием на поверхности вторичных структур тонких адгезионных пленок. В связи с недефицитностью и невысокой стоимостью представляли интерес частицы графита, низкий коэффициент трения которых объясняется их легким расслоением по плоскостям скольжения, а также способностью адсорбировать на поверхности влагу и газы (рис. 14) [16]. Слоистая структура графита обладает анизотропией механических свойств в разных направлениях кристалла.

Кристаллическая решетка графита гексагональная, слоистая, с периодами $a = 0,2461$ нм и $c = 0,6708$ нм. Точечная группа симметрии $6/m/m/m$, плотность 2230 кг/м^3 ; $T_{пл} = 4125 \pm 50$ К. Кислотоупорен (окисляется только при высоких температурах), жаропрочен, легко обрабатывается, хорошо проводит электрический ток. Обладает малым сечением захвата тепловых нейтронов, малым коэффициентом трения, резкой анизотропией свойств; твердость вдоль оси c по шкале Мооса - 1, перпендикулярно этой оси - 5,5 и выше; коэффициент теплового расширения α вдоль оси равен $28,2 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$.

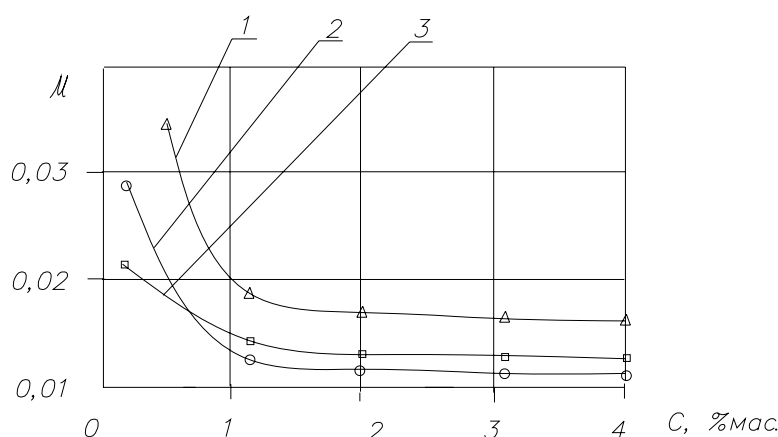


Рис. 14. Влияние содержания графита на коэффициент трения при различных нагрузках образца из алюминиевого порошка: 1, 2, 3 – 25; 15; 10 МПа соответственно

При облучении нейтронами увеличивается твердость, электросопротивление, модуль упругости, а теплопроводность уменьшается (в 20 раз). Может быть природный и синтетический. Графит получают искусственно нагреванием антрацита без доступа воздуха. Синтетический графит применяется в качестве эрозионностойких покрытий для сопел ракетных двигателей, камер сгорания, для изготовления отдельных деталей ракет, в электротехнике и химической промышленности, а также в качестве замедлителей нейтронов в ядерных реакторах. Кроме этого графит используется в литейном деле, станкостроительной промышленности, производстве плавильных тиглей, электродов, смазок, карандашей, типографских красок и т.д.

В начале 90-х годов прошлого столетия группа авторов [17] разработала композиционный материал на основе алюминия, включающий графит, оксид алюминия, медь, магний, кремний, получаемый смешиванием порошков алюминия и графита, брикетированием и экструдированием с выдавливанием лигатуры и дальнейшим ее растворении в матричном расплаве. Таким образом было положено начало широкого внедрения алюминий-графитовых композиционных материалов для получения подшипников скольжения. Эта технология в условиях дефицитной и неритмичной поставки антифрикционной бронзы на Минский моторный завод в период распада СССР быстро стала промышленной, так как ей предшествовали исследования не одного поколения ученых, в том числе ученых ФТИ НАН Беларуси [18].

Методы порошковой металлургии позволяют изготавливать композиционные алюминиевые материалы с равномерно распределенными включениями твердых смазок, достаточно выдерживая их количество. Смеси порошков алюминия и частиц твердой смазки, связанных с помощью термоактивной смолы, являются простейшим композиционным алюминиевым материалом для подшипников скольжения. После формирования под давлением и отверждением полученной массы материал легко поддается механической обработке [19].

Спеченные алюминиевые композиционные материалы открывают широкие возможности регулирования структуры и пористости материала. Такого рода антифрикционные материалы рассматриваются как перспективные заменители оловянистых бронз при работе в условиях трения со смазкой и без нее [20]. Оксидная пленка, присутствующая на частицах алюминия, предотвращает заволакивание пор под нагрузкой, а пластичная основа обеспечивает хорошую прирабатываемость подшипника. Рекомендуется применение таких материалов в узлах трения, где нежелателен профилактический ремонт [21]. Невысокая прочность спеченных алюминиевых изделий определяет их работу только в малонагруженных узлах трения. Так изделия из спеченного алюминия с 5% меди (пористость 15–20% имеют предел прочности при сжатии 170 МПа).

Повышение прочностных и антифрикционных свойств спеченного алюминия может быть достигнуто его комплексным легированием. Изготовление таких материалов предполагает использование предварительно легированных порошков, а также их смеси. Спеченные алюминиевые композиты, антифрикционные свойства которых улучшены введением в их состав графита, могут работать в режиме самосмазывания [22]. Однако материал не выдерживает тяжело-нагруженных условий эксплуатации. При пористости заготовок 20% материал композиции АЖГр-6-3 имеет предел прочности на сжатие 150 МПа [23]. Материалам, присутствие в которых частиц твердых смазок еще больше снижает их прочность, улучшают механические характеристики посредством дополнительных операций и приемов.

Таким образом, становится очевидным, что поиск способов получения антифрикционных композиционных материалов, обеспечивающих работоспособность подшипников в более нагруженных условиях эксплуатации, должен быть направлен на достижение высокой прочности изделий и полуфабрикатов, что может быть достигнуто последующей обработкой давлением с применением сложных схем нагружения деформируемого материала.

Выводы: В ФТИ НАН Беларуси проведены исследовательские работы и разработаны технологические процессы малоотходного производства композиционных материалов на основе порошков алюминия и его сплавов (высокоплотные материалы, пористые проницаемые материалы, антифрикционные материалы с дискретными наполнителями), позволяющие использовать весь спектр фракционного состава порошков, получаемых методом центробежного распыления расплава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гопиенко В.Г., Смагоринский М.Е., Григорьев А.А., Беллавин А.Д. Спеченные материалы из алюминиевых порошков. – М.: Металлургия, 1993.–320 с.
2. Манохин А.И., Поживанов А.М., Блинов К.А. Новое в технологии получения материалов.–М.: Машиностроение, 1990.– 448 с.
3. Образование пор в распыленном порошке/Ю.Ф. Терновой, А.Т. Ципунов, С.Б. Куратченко, О.М. Куимова, К.В. Кондакова. – Порошковая металлургия. –1985. –№ 1. – С.10 –14.
4. Первушин В.В., Куземко Р.Д., Голубков В.Г., Курович А.Н. Исследования форсуночных устройств машин газоструйного распыления расплавов//Порошковая металлургия: Тез. Докл. XV Всесоюз. науч.-техн. конф., Киев, 19-22.11.1985/Институт проблем материаловедения АН УССР.– Киев, 1985.–С.130–131.
5. Образование пор в распыленном порошке/Ю.Ф. Терновой, А.Т. Ципунов, С.Б. Куратченко, О.М. Куимова, К.В. Кондакова. – Порошковая металлургия.–1985.–№ 1.–С.10–14.
6. Ас.1478510 СССР Способ изготовления металлических порошков//Открытия. Изобретения.–1987. – С. 272
7. Ласковнѳв А.П. Композиционные материалы на основе порошковых сплавов алюминия. – Гомель: ИММС НАНБ, 2002.– 144 с.
8. Матусевич А.С. Композиционные материалы на металлической основе. – Минск: Наука и техника, 1978.–216 с.
9. Роман О.В., Габриелов И.П. Справочник по порошковой металлургии: порошки, материалы, процессы.– Минск.: Беларусь, 1988.–175 с.
10. Порошковая металлургия. Спеченные и композиционные материалы. Под ред. В.Шатта. Пер. с нем. М.: Металлургия, 1983.–520 с.
11. Колесников Ю.В., Морозов Е.В. Механика контактного разрушения. –М.: Наука, 1989.–219 с.
12. Ласковнѳв А.П. Современные малоотходные технологии производства порошковых композиций на основе алюминия//Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук.–1998.–№ 4.–С.53–54.
13. Ласковнѳв А.П., Клапчук Я.М., Калиниченко В.И. Производство высокоплотных полуфабрикатов из порошков алюминиевых сплавов//Пути повышения качества и надежности деталей из порошковых материалов: Тез. докл. науч.-техн. конф., Барнаул, 27–30 мая 1991 г./Алтайский ПИ им. И.И.Ползунова. – Рубцовск, 1991.–С.136.
14. Ас. 1826276 СССР Способ получения полуфабрикатов из псевдосплавов на основе алюминия// Открытия. Изобретения. 1992.–С. 101.
15. Волочко А.Т., Кошкин Ю.Б. Исследование структуры и свойств пористых алюминиевых материалов с включениями твердой и жидкой смазки//Весці Акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук, 1992.–№ 2.–С.3–6.
16. Волочко А.Т., Прокопов И.П., Румянцева И.Н. Кристаллизация алюминиевых сплавов с частицами графита и свинца // Весці Акадэміі навук БССР. Сер. фіз.-тэхн. навук, 1990.–№ 3.–С.44–47.
17. Пат. 643 РБ Композиционный материал и способ его получения //Афіцыйны бюлетэнь/ Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.–№ 2–1996.–С. 73.
18. Карѳв Г.Л., Челышев А.П., Волочко А.Т., Бортник Г.И., Малышев В.Ф. Свойства горячедеформированного алюминиево-графитового сплава//Порошковая металлургия.–1986.–№ 1.–С.40–43.
19. Волочко А.Т. Разработка и исследование процессов получения композиционных антифрикционных материалов из порошков на основе алюминия: Дис. ...к-та техн. наук: 05.16.06.–Минск, 1988.–189 с.
20. Ласковнѳв А.П., Волочко А.Т. Повышение надежности подшипников скольжения из алюминиево-графитовых сплавов // Проблемы качества и надежности машин: Тез. докл. респ. науч.-техн. конф., Могилѳв. 4-5.10.1994 г./Могилѳвский машиностроительный институт. –Могилѳв, 1994.–С. 100
21. Федорченко И.М., Пугина Л.И. Композиционные спеченные антифрикционные материалы. –Киев: Наукова думка, 1980.–403 с.
22. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах. Киев: Техника, 1970.–296 с.
23. Шоткин Ю.А., Благин В.М. Порошковые антифрикционные материалы для машиностроения. – Горький: НТО Машпром, 1989.–64 с.