

СЕКЦИЯ Б. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

УДК 678.027.3:678.046

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАНОРАЗМЕРНЫХ МОДИФИКАТОРОВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Е. И. Эйсымонт, Л. В. Михайлова, А. В. Струк, Е. А. Михмель

*Учебно-методический центр «Промагромаш» ОАО «Белкард»,
г. Гродно, Беларусь*

Н. А. Антанович

*ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения
с опытным производством», Беларусь*

В современном функциональном наноматериаловедении важнейшая роль принадлежит обоснованному выбору компонентов, обладающих заданными параметрами модифицирующего действия на определенном уровне структурной организации: молекулярном, надмолекулярном, фазовом. Для формирования структуры нанокompозита, адекватно трансформирующейся под действием эксплуатационных факторов, необходимо установление превалирующего цикла физико-химических реакций, обуславливающих процессы деградации и адаптации контактирующих компонентов металлополимерной системы. В этом аспекте целесообразно использование многофункциональных модификаторов, способных оказывать модифицирующее действие на полимерную матрицу как в процессе формирования композита, так и при эксплуатации изделия при определенных параметрах. В широкой номенклатуре наномодификаторов особое место принадлежит продуктам, полученным из природных полуфабрикатов, которые обладают специфическим кристаллофизическим строением и энергетическим состоянием, характеризующим повышенную активность в процессах физико-химического взаимодействия с полимерной матрицей.

Методами растровой электронной (РЭМ) и атомной силовой (АСМ) микроскопии исследованы особенности морфологии дисперсных частиц, полученных по различным технологиям: механическим дроблением, синтезом из мономеров, конденсацией продуктов сублимации и т. п. Установлено, что независимо от состава полуфабриката и условий получения дисперсного продукта образуются кластерные структуры, состоящие из наноразмерных частиц. Кластерное строение модификаторов обусловлено наличием у частиц нескомпенсированного заряда, механизм образования которого определяется кристаллофизическим строением или технологией диспергирования.

При введении модифицирующих кластеров в матрицу реализуется эффект многоуровневого модифицирования, приводящий к образованию квазикристаллических граничных слоев, упорядоченных под действием силового поля нескомпенсированного заряда, надмолекулярных агрегатов, увеличивающих устойчивость композита к действию неблагоприятных эксплуатационных факторов, и нанофазной структуры, повышающей сопротивление разрушению. В зависимости от состава и кристаллофизического строения наноразмерные модификаторы сохраняют исходные параметры, оказывая энергетическое воздействие на механизмы упорядочения матрицы, либо трансформируются, вступая во взаимодействие с полимерными макромолекулами с

образованием новой фазы, обуславливающей синергическое действие на повышение устойчивости образовавшегося нанокompозита к эксплуатационным факторам.

К числу наномодификаторов первого типа относятся силикатсодержащие частицы, полученные из природных полуфабрикатов – глины, трепелы, шунгиты, слюды, цеолиты. Наноразмерные частицы металлов и оксидов металлов образуют группу модификаторов второго типа. Работа выполнена в рамках задания 5.03 «Исследование кинетики релаксации зарядового состояния наночастиц в расплавах и растворах полимеров».

УДК 678.027.3:678.046

ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЕ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ СИСТЕМ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И ВОДОСНАБЖЕНИЯ

**Г. Н. Горбацевич, В. А. Струк, В. В. Воропаев,
А. С. Антонов, А. К. Цветников, М. П. Познякова**

*Учебно-методический центр «Промагромаш» ОАО «Белкард»,
г. Гродно, Беларусь*

В конструкциях запорной арматуры, применяемой в системах тепловодоснабжения и на предприятиях нефтехимического синтеза, используют уплотнительные элементы, предотвращающие утечку рабочей среды в течение заданного эксплуатационного ресурса. В зависимости от конструктивного исполнения герметизирующего узла (сальниковое или подвижное уплотнение), используют различные композиционные материалы – плетеные композиции на основе углеродных, асбестовых или полимерных волокон или триботехнические композиты.

При всем многообразии конструктивных исполнений герметизирующих узлов запорной арматуры существует общий характерный признак используемого герметизатора, состоящий в образовании в зоне контакта разделительного слоя с повышенной устойчивостью к действию температур и реверсивного движения. Разделительный слой герметизатора обеспечивает низкий коэффициент трения и заданную износостойкость подвижного сопряжения.

Исследованы особенности морфологии, строения и триботехнических характеристик композиционных фторсодержащих материалов, используемых для изготовления сальниковых уплотнителей и седел шаровой арматуры, применяемой в системах водо-газоснабжения, теплоэнергетики и технологиях получения сжатых и сжиженных газов. Методами ИК-спектроскопии, ДТА, спектроскопии термостимулированных токов (ТСТ), атомной силовой (АСМ) и растровой электронной (РЭМ) микроскопии исследован состав, строение и механизм модифицирующего действия ультрадисперсных продуктов термогазодинамического синтеза политетрафторэтилена (УПТФЭ).

Установлена фазовая структура частиц УПТФЭ, образованная олигомерными и полимерными фракциями различной массы и близкого молекулярного строения. Наличие в структуре частицы УПТФЭ олигомерного компонента обуславливает пластифицирующее действие на матрицу политетрафторэтилена и формирование устойчивого разделительного слоя в зоне фрикционного контакта элементов герметизирующей системы, обеспечивающего повышенную износостойкость и низкий коэффициент трения.

Разработаны составы герметизирующих материалов для изготовления сальниковых набивок и седел шаровых кранов с повышенными параметрами эксплуатационного ресурса. Введение в состав композитов ультрадисперсного олигомер-полимерного компонента (УПТФЭ), независимо от технологии изготовления герметизирующих элементов и конструктивного исполнения уплотнительного узла, обеспечивает формирование на поверхностях трения устойчивого разделительного слоя на основе фторсодержащих олигомеров и продуктов изнашивания элементов трибосопряжения.

Разработанные композиционные герметизирующие материалы прошли испытания в конструкциях компрессорной техники для получения сжатых и сжиженных газов (ОАО «Гродно Азот»), в запорной арматуре газопроводов высокого давления (ОАО «Гроднооблгаз»), водопроводов промышленного и бытового назначения (ПУЧП «Цветлит») и рекомендованы к внедрению.

УДК 678.027.3:678.046

НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ И СМЕСЕВЫХ МАТРИЦ

А. А. Рыскулов

Ташкентский автомобильно-дорожный институт, Узбекистан

С. В. Авдейчик, П. Г. Юревич

*Учебно-методический центр «Промагромаш» ОАО «Белкард»,
г. Гродно, Беларусь*

Машиностроительные материалы на основе смесей термопластичных, термоэластопластичных и олигомерных матриц относятся к числу наиболее перспективных композитов, структура и свойства которых регулируются в широких пределах в соответствии с эксплуатационными требованиями, предъявляемыми к изделиям из них. Особое место в номенклатуре смесевых функциональных композитов принадлежит материалам, полученным совмещением металлополимерных композитов в процессе термомеханического воздействия.

С применением комплекса методов физико-химического и структурного анализа исследованы особенности фазового состава и строения термомеханически совмещенных смесей металлополимеров, полученных на основе полиамидов, полиолефинов, полиэфиров. Установлены особенности деформационно-прочностных и триботехнических характеристик термопластичных нанокомпозитов, содержащих допинговые концентрации металлов. Установлен эффект повышения прочности, износостойкости и стойкости к термоокислительному старению, обусловленный формированием межмолекулярных связей вследствие адсорбционного взаимодействия металлических наночастиц с функциональными группами макромолекулы матричного полимера. В результате воздействия эксплуатационных факторов в структуре металлополимера реализуется обратимый фазовый переход «металл → металлосодерживающее соединение», особенностью которого является образование в композите новой фазы – высокомолекулярного продукта взаимодействия металлических наночастиц и полимерной макромолекулы. Вследствие этого металлополимерный нанокомпозит приобретает повышенную устойчивость к процессам термоокислительного старения при повышенных температурах.

При легировании базовых металлополимеров термопластичными или термоэластопластичными компонентами формируется структура с характерным строением: наноразмерные частицы металла оказывают упорядочивающее действие на надмолекулярном и нанофазном уровнях, а компонент – на межмолекулярном и макрофазном уровнях, образуя сополимерный продукт и армирующие агрегаты. Варьирование соотношения между матричным и модифицирующим металлополимерами получают смесевые композиты для изготовления изделий конструкционного и триботехнического назначения с повышенной устойчивостью к воздействию абразивных сред, повышенных температур, ударных нагрузок.

Разработаны составы металлополимерных нанокомпозиционных материалов на основе моно- и смесевых матриц, предназначенные для изготовления триботехнических покрытий, конструкционных и триботехнических элементов машин, механизмов и технологического оборудования. Разработанные материалы использованы в конструкциях автомобильных агрегатов (карданных валов, амортизаторов и тормозных камер), выпускаемых ОАО «Белкард», технологической оснастки – токарных патронах, выпускаемых ОАО «БелТАПАЗ», хлопкоочистительном технологическом оборудовании, производимом на ОАО «УЗПАХТАМАШ».

УДК 621.74:669.714

НЕПРЕРЫВНОЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ЛИТЬЕ БЕЗ МОДИФИКАТОРОВ МЕЛКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СЛИТКОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВО-КРЕМНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В. Ю. Стеценко, А. М. Певнев, Р. В. Коновалов

Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев

В настоящее время все более широкое применение в различных отраслях промышленности находят силумины с повышенными свойствами, которые зависят от микроструктуры отливок. Наиболее перспективным, экологически безопасным и эффективным способом измельчения микроструктуры сплава является скорость охлаждения слитка.

Целью исследования является увеличение производительности непрерывного горизонтального литья алюминиево-кремниевых сплавов и получение цилиндрических слитков диаметром 40 мм с мелкокристаллической структурой без применения примесных модификаторов.

Исследования проводили на опытной установке непрерывного горизонтального литья алюминиево-кремниевых сплавов. Для повышения интенсивности охлаждения слитка были разработаны, спроектированы и изготовлены струйный кристаллизатор и устройство с затоплено-струйной системой охлаждения.

В качестве объектов исследования были выбраны эвтектический и заэвтектический сплавы АК12 и АК18. Расплав готовили в индукционной печи ИСТ-16 с графитовым тиглем. В качестве шихты для сплава АК18 использовались чушки АК12 и лигатура Al+40%Si. Масса расплава составляла 45 кг. Металл в печи перегревали до 850 °С, далее его в ковше транспортировали к установке. Модифицирующие флюсы и лигатуры не применяли. Процесс разлива начинали при температуре расплава в металлоприемнике 750–800 °С. Извлечение слитка осуществлялось в режиме останова-рывка.

Из полученных образцов вырезали поперечные шлифы и исследовали их микроструктуру методом металлографического анализа, при помощи аппаратно-

программного комплекса на базе микроскопа Carl Zeiss «AxioTech vario». Изучение микроструктуры проводили по размерам кристаллов α -фазы эвтектического и первичного кремния.

Установлено, что при непрерывном горизонтальном литье сплава АК12 с использованием затоплено-струйных систем охлаждения средний размер первичной α -фазы в слитке составлял 10–12 мкм, а дисперсность кристаллов эвтектического кремния – 0,7–1,2 мкм, при этом их форма становилась глобулярной. Средняя скорость литья составляла 1,62 м/мин. При литье силуминов в обычный кристаллизатор производительность составляет в среднем – 0,16 м/мин.

При разливке сплава АК18 на опытной установке было установлено, что дисперсность кристаллов первичного кремния в слитке составляла – 15–20 мкм, а размер глобулярных кристаллов эвтектического кремния – 1–1,5 мкм. Средняя скорость литья составляла 1,09 м/мин.

Непрерывное горизонтальное литье сплавов АК12 и АК18 с применением струйного кристаллизатора и устройства с затоплено-струйным вторичным охлаждением, позволяет увеличить скорость литья в 8–12 раз и получить слитки диаметром 40 мм с высокодисперсной микроструктурой без применения модифицирующих флюсов и лигатур.

УДК 621.74:669.714

ПОВЫШЕНИЕ ФРИКЦИОННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ АЛЮМИНИЕВО-КРЕМНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В. Ю. Стеценко, А. И. Ривкин, А. П. Гутев

Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев

Отливки из алюминиево-кремниевых сплавов, получаемые литьем в струйный кристаллизатор, вследствие мелкокристаллической и инвертированной микроструктуры, обладают повышенной фрикционной износостойкостью. Она в свою очередь зависит от содержания меди и дисперсности кристаллов кремния в отливке. Эвтектические силумины обладают наиболее высокой дисперсностью микроструктуры. Целью работы является определение рационального состава и термообработки эвтектического сплава, обеспечивающие заготовке максимальные антифрикционные свойства, превышающие аналогичные для бронзы БрОЦС5-5-5.

Литьем в струйный кристаллизатор были получены отливки из сплава АК15 диаметром 50 мм и высотой 160 мм. Микроструктура этих заготовок состояла из кристаллов эвтектического кремния глобулярной формы со средним диаметром 1,2 мкм и α -фазы. Отливки подвергались отжигу при температуре 520 °С в течение 1–10 часов. В результате получили заготовки с глобулярными кристаллами эвтектического кремния размером 2–7 мкм. Для определения влияния меди на износостойкость эвтектических силуминов были изготовлены отливки с содержанием меди 1, 2, 3 и 4 %. Их термообработку проводили по режиму Т5: нагрев до температуры 520 °С, выдержка в течение 4 ч, закалка в воде и последующее искусственное старение в течение 6 ч при температуре 175 °С. В результате получали заготовки с дисперсностью кристаллов эвтектического кремния 3,5–3,8 мкм и твердостью 77,9–129 НВ.

Фрикционную износостойкость образцов исследовали на машине трения СМЦ-2 в условиях сухого трения по схеме вал-втулка при нагрузке 0,8 МПа и скоростью скольжения образца относительно стального шлифованного вала (сталь 45) твердостью 58 HRC – 0,38 м/с. Скорость износа образцов определяли по убыли объема

сплава с единицы площади в час. Коэффициент трения скольжения в отсутствие смазки определяли на торцевой машине трения, при нормальном напряжении 12,8 Н и вращении со скоростью 620 об/мин. Коэффициент трения скольжения со смазкой И20А – при нормальном напряжении 200 Н и вращении со скоростью 300 об/мин. Контртело было изготовлено из закаленной стали 45 твердостью 58 HRC. В качестве образцов сравнения были изготовлены аналогичные образцы из бронзы БрОЦС5-5-5.

Было установлено, что при укрупнении глобулярных кристаллов эвтектического кремния в образцах сплава АК15 до 3,2–3,9 мкм (время выдержки 3–5 ч) их фрикционная износостойкость увеличивается на 9–14 %, а дальнейший рост кристаллов эвтектики не приводит к значительному повышению износостойкости образцов. Поэтому наиболее приемлемым временем выдержки заготовок в печи является 3–5 ч. Установлено, что рациональным содержанием меди в силумине АК15 является 3–4 %, что обеспечивает повышение твердости заготовок в среднем в 1,7 раза и износостойкости более чем на 20 %. Испытания на торцевой машине трения показали, что при сухом трении коэффициент трения скольжения образцов из АК15МЗ в 1,65 раз ниже, а при трении со смазкой – в 1,35 раз ниже, чем у аналогичных образцов из бронзы.

Таким образом, чтобы повысить фрикционную износостойкость заготовок из эвтектических алюминий-кремниевых сплавов, полученных литьем в струйный кристаллизатор, необходимо увеличить содержание меди до 3–4 %, провести отжиг отливок при 520 °С в течение 3–5 ч и термообработку по режиму Т5.

УДК 621.7.043

ОПЫТ ПРОКАТКИ ВИНТОВЫХ ЗАГОТОВОК

В. В. Васылькив, В. М. Олендер, В. В. Бобрык

*Тернопольский национальный технический университет
имени Ивана Пулюя, Украина*

Механизмы, оснащенные винтовыми рабочими органами и винтовыми элементами, широко используются в разных отраслях пищевого и сельскохозяйственного машиностроения. Для получения таких рабочих органов используют винтовые заготовки (ВЗ). Одним из продуктивных методов производства таких заготовок является прокатка полосовых заготовок. Прокатка ВЗ – это вид ОМД, который используется для получения прутковых и симметрических и близких к ним деталей с винтовыми поверхностями, а также объемных винтовых заготовок, характеризуется локальным, перемещающимся очагом пластической деформации и переменной по ширине заготовки степенью деформации, а также вращательным движением деформирующей части инструмента, вращательным или поступательным движением заготовки. Однако такая технология характеризуется необходимостью использования сложного оборудования, а также невозможностью изготовления винтовых заготовок со значительным соотношением высоты витка к его толщине (удельной высотой) более 20 ед. и небольшим внутренним радиусом витка менее 50 мм.

Целью исследований было создание нового способа кинетопластического формообразования ВЗ на фрезерных станках на основе сочетания принципов гибки путем разгонки и гибки путем асимметрического обжатия полосы. После ряда неудачных попыток был создан инструмент путем замены зубьев фрезы на свободно вращающиеся ролики и получил название пластофреза. Это способствовало разработке нового процесса и устройства прокатки, состоящего из комплекта двух пла-

стофрез, которые образуют между собой клиновидную щель. Полосовая заготовка деформируется, как и при обычной прокатке: при вращении пластофрез и подачи полосовой заготовки с помощью направляющей проводки и валков. На рис. 1 представлены экспериментальные образцы ВЗ.

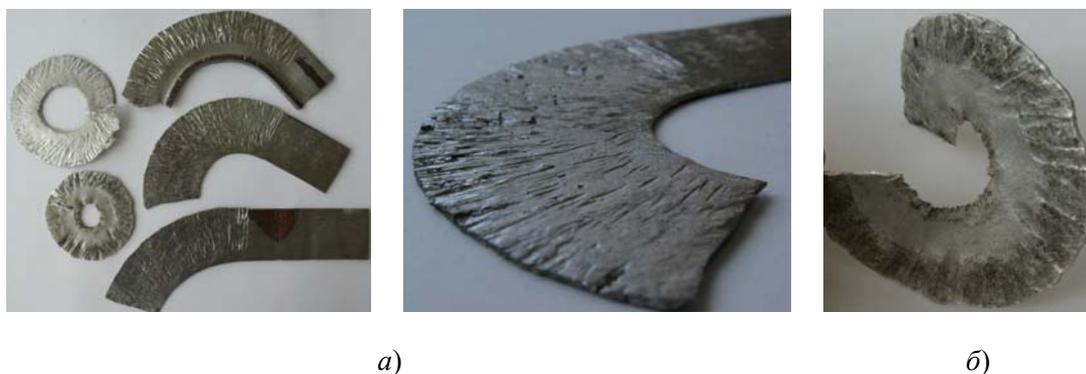


Рис. 1. Экспериментальные образцы:
а – плоские витки; б – винтовая заготовка

Проблемными вопросами такого процесса формообразования ВЗ является возможность возникновения трещин, а также наличие геометрических отклонений поверхности витков. Устранить их можно с помощью использования полосовых заготовок специального профиля в сечении, регулировкой скорости вращения пластофрез и скорости подачи полосовой заготовки, а также диаметра роликов такого инструмента.

Изготовленные таким способом ВЗ характеризуются небольшим внутренним радиусом витка (менее 50 мм), удельной высотой более 20 ед., углом наклона винтовой линии в пределах $4-85^\circ$, коэффициентом шага витка $0,1-0,75$ ед., коэффициентом технологической сложности изготовления $0,1-0,65$, коэффициентом использования материала $75-95\%$.

УДК 669.295

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СВЯЗИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ИХ ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ

Ю. Б. Егорова, Р. А. Давыденко, Е. В. Чибисова

*«МАТИ»-Российский государственный технологический университет
имени К. Э. Циолковского (Ступинский филиал), г. Ступино*

Цель настоящей работы состояла в исследовании статистических зависимостей кратковременных механических свойств с химическим составом отечественных и зарубежных промышленных титановых сплавов разных классов. Совместное влияние β -стабилизаторов на прочность сплавов можно оценить с помощью прочностного эквивалента по молибдену, а влияние α -стабилизаторов и нейтральных упрочнителей – с помощью прочностного эквивалента по алюминию. Механические свойства сплавов сильно зависят от типа и габаритов полуфабрикатов и режимов их термической обработки, поэтому в настоящей работе были статистически проанализированы временное сопротивление разрыву и относительное удлинение прутков диаметром 8–12 мм в отожженном состоянии (после одинарного отжига с охлажде-

нием на воздухе) с глобулярной структурой. Статистический анализ проводили с помощью ППП «Stadia». Значимость коэффициентов регрессии и корреляции (парных линейных, частных линейных, нелинейных и ранговых) проверяли с помощью критерия Стьюдента.

Были проанализированы различные однофакторные и многофакторные регрессионные модели зависимости механических свойств от прочностных эквивалентов по алюминию и молибдену титановых сплавов разных классов. По данным статистического анализа с увеличением прочностных эквивалентов по Al и Mo прочностные свойства повышаются, а пластические – снижаются. Прочностной эквивалент по Al в большей степени влияет на механические свойства титановых сплавов, чем прочностной эквивалент по Mo. С увеличением временного сопротивления разрыву на 100 МПа относительное удлинение α -, псевдо α - и $\alpha+\beta$ -сплавов титановых сплавов уменьшается в среднем на 2 %.

Разработаны линейные модели, позволяющие прогнозировать механические свойства α -, псевдо α - и $\alpha+\beta$ -сплавов титановых сплавов в зависимости от прочностных эквивалентов или проводить выбор сплава с заданным уровнем механических свойств. Предложенные модели наиболее целесообразно применять для титановых сплавов с $[Al]_{\text{экв}}^{\text{пр}} \approx 3\text{--}14\%$ и $[Mo]_{\text{экв}}^{\text{пр}} \approx 0\text{--}5\%$.

На основе регрессионного анализа построена диаграмма прочностных эквивалентов, на которой приведены полосы, соответствующие определенным интервалам временного сопротивления разрыву и относительного удлинения. С увеличением прочностного эквивалента по молибдену требуется меньшее количество эквивалентных алюминию элементов для получения заданного уровня механических свойств. Так, например, для обеспечения временного сопротивления разрыву $\sigma_b = 1000 \pm 25$ МПа и относительного удлинения $\delta = 15 \pm 2\%$ сплав должен иметь $[Al]_{\text{экв}}^{\text{пр}} \approx 14\%$ и $[Mo]_{\text{экв}}^{\text{пр}} \approx 1\%$ или $[Al]_{\text{экв}}^{\text{пр}} \approx 10\%$ и $[Mo]_{\text{экв}}^{\text{пр}} \approx 4\%$. При $[Al]_{\text{экв}}^{\text{пр}} > 12\%$ и $[Mo]_{\text{экв}}^{\text{пр}} > 5\%$ относительное удлинение снижается до значений, которые не допустимы для условий эксплуатации.

УДК 666.762

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ЛЕГКОПЛАВКОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

М. П. Купреев, Е. Н. Леонович

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Беларусь

При изготовлении шлифовального инструмента из порошков кубического нитрида бора в промышленности используется легкоплавкая керамическая связка С10. В состав этой связки входят оксид лития и фтористый натрий, которые значительно повышают прочностные свойства абразивных изделий на их основе.

Цель исследования – изучение влияния давления прессования и содержания связки С10 в шихте абразивной композиции на основе электрокорунда на ее прочностные свойства.

Определение прочности материала при изгибе осуществлялось путем разрушения образца, свободно лежащего на двух опорах, приложенной к нему посередине расстояния между опорами нагрузкой, в условиях кратковременного статического нагружения (ГОСТ 18228–85). Твердость образцов определялась по ГОСТ 19202–80 на приборе для

измерения твердости по методу Роквелла с применением шариков диаметром 5 мм. Для сокращения числа опытов исследования проведены с использованием ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка 2^2 . Содержание связки изменялось в пределах 8 ± 2 %, а давления прессования – 16 ± 6 МПа.

Изучены абразивные композиции, содержащие в шихте (по массе): 6–10 % легкоплавкой керамической связки С10 оптимального состава, 89–94 % микропорошка электрокорунда А25 зернистостью 63 мкм. В качестве временной связки применялся 50%-ный водный раствор декстрина кукурузного.

После расчета всех коэффициентов получены уравнения регрессии в натуральных единицах, адекватно описывающие зависимость прочности на изгиб абразивной композиции (1) и ее твердости (2) от содержания связки (x_1) и давления прессования (x_2). Температура обжига образцов 1000 °С:

$$H = 269,1 + 38,8x_1 + 38,5x_2 + 10,5x_1x_2 - 8,83x_1^2 - 11,6x_2^2; \quad (1)$$

$$\sigma = 32,96 + 10,1x_1 + 1,83x_2 + 1,33x_1x_2 + 1,3x_1^2 + 0,26x_2^2. \quad (2)$$

На основании анализа экспериментальных данных установлено, что с увеличением содержания связки шихте абразивной композиции и давления прессования ее твердость и прочность на изгиб возрастают практически линейно в выбранных пределах варьирования факторов. В выбранных пределах варьирования факторов на прочность при изгибе абразивной композиции в большей степени влияет содержание в ней керамической связки, чем давление прессования. Это, по-видимому, обусловлено тем, что с повышением содержания в абразивной композиции керамической связки увеличиваются и зоны (мостики) срачивания абразивных частиц связкой, что значительно сказывается на повышении фактической площади подвергаемого излому поперечного сечения исследуемых образцов.

При повышении давления прессования абразивные частицы хотя и сближаются друг с другом, но зоны их срачивания керамической связкой (мостики связки) увеличиваются менее интенсивно. Поэтому в меньшей степени изменяется и подвергаемая разрыву при изгибе площадь поперечного сечения пористого материала, а значит, и прочность при изгибе исследуемых образцов.

УДК 620.192.46

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ МАТЕРИАЛА, ПОВРЕЖДЕННОГО СЕТКОЙ ТРЕЩИН ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ

П. О. Марущак, Р. Т. Бищак

*Тернопольский национальный технический университет
имени Ивана Пулюя, Украина*

С. В. Панин, П. С. Любутин

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

Известно, что наличие множества дефектов соизмеримой величины разгружает зоны концентрации напряжений, в то же время их индивидуальное подрастание или коалесценция могут привести к появлению трещины большего масштабного уровня

и разрушению конструкции. Взаимное влияние трещин меняет хрупкость и пластичность материала, которые могут рассматриваться как основные механические свойства твердого тела, определяющие его необратимое формоизменение. Взаимное и одновременное влияние свойств хрупкости и текучести может быть описано при помощи подходов физической мезомеханики.

Были проанализированы условия локализации деформаций, влияние вида напряженного состояния на характер разупрочнения материала. С использованием оптической системы анализа полей деформаций исследуются вопросы локализации неупругого деформирования в зонах концентрации напряжений.

В рамках концепции физической мезомеханики материалов исследованы особенности деформирования и разрушения фрагмента ролика МНЛЗ с сеткой трещин термической усталости. Использование оптико-телевизионного способа измерения деформаций на мезомасштабном уровне позволило охарактеризовать деформационные характеристики материала на мезоуровне с использованием деформационного параметра – интенсивности деформации сдвига (ИДС – γ_{avg}).

На основании обработки цифровых изображений деформируемого материала дан анализ формированию и развитию дефектов на различных структурных уровнях, что позволило уточнить оценку запаса прочности, определило резервы несущей способности, деформационные свойства материала. Создание условий устойчивого деформационного разупрочнения материала в зонах повреждений способствует использованию резервов несущей способности, повышению живучести и безопасности деформируемых твердых тел.

Использование физико-математических подходов к анализу процессов разрушения твердых тел на различных пространственных масштабах позволило учесть роль коллективных эффектов ансамблей дефектов при формировании очагов разрушения. На основе полученных автомодельных решений поврежденности поверхности предложены масштабно-инвариантные закономерности развития разрушения материала.

Рассмотрены механизмы неустойчивого лавинообразного развития сдвиговых деформаций на стадии предразрушения материала, исследованы закономерности накопления поврежденности при деформировании фрагментов ролика машины непрерывного литья заготовок, на основании построения векторов смещений и вычисления компонент тензора дисторсии.

В результате проведения экспериментов установлена взаимосвязь распределения трещин и их влияние на деформационные характеристики материала, показана смена масштабно-инвариантного распределения векторов сдвига при переходе от микро- к макроскопическому разрушению.

УДК 678.027.3:678.046

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ИНГИБИТОРОВ ИЗНАШИВАНИЯ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ

Н. А. Антанович

*ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения
с опытным производством», Беларусь*

**Е. В. Овчинников, В. А. Струк, А. С. Антонов,
Г. Н. Горбацевич, Е. И. Кулеш**

*Учебно-методический центр «Промагромаш» ОАО «Белкард»,
г. Гродно, Беларусь*

На основании комплексных исследований, проведенных с использованием методов ДТА, ИК-спектроскопии, спектроскопии ТСТ, атомной силовой и электронной растровой микроскопии, лабораторных, стендовых и натуральных испытаний предложена классификация фторсодержащих композитов на олигомерных, полимерных и смесевых матрицах и проведен анализ особенностей их применения в триботехнике, системах теплоэнергетики и нефтехимического синтеза.

Системный анализ особенностей эксплуатации различных триботехнических, герметизирующих и теплотехнических устройств с применением категории «ингибитор изнашивания» позволил определить наиболее эффективные направления совершенствования фторкомпозитов на молекулярном, межмолекулярном, надмолекулярном, нанофазном и макрофазном уровнях:

– механохимический синтез и термохимическое совмещение термопластичных фторсодержащих сополимеров, в том числе с использованием полимерных и полимер-олигомерных модификаторов;

– регулирование межмолекулярного взаимодействия воздействием энергетических потоков, в том числе обеспечивающих образование олигомерных и полимер-олигомерных фаз в объеме композита;

– совмещение олигомеров в растворах при формировании тонкопленочных покрытий;

– применение механохимического и энергетического модифицирования компонентов на стадии подготовки и переработки композитов;

– формирование смесевых композитов из фторсодержащих компонентов различной молекулярной массы с применением растворов, осаждением продуктов совместной сублимации, воздействием энергетических потоков на смеси полимеров, в том числе фторсодержащих и нефторсодержащих, фторсодержащих и металлосо-держащих;

– модифицирование полимерных и полимер-олигомерных полуфабрикатов наночастицами и нанокластерами металлов;

– совмещение фторсодержащих матриц с полимерными и олигомерными композитами, в том числе формирующих структуры типа «сетка в сетке»;

– формирование композитов с применением термоокислительного трансформирования порошкообразных или волокнистых наполнителей в многофункциональные компоненты в процессе монолитизации и термообработки полуфабрикатов;

– использование наноразмерных наполнителей с заданным зарядовым состоянием и габитусом частиц;

– применение смесей функциональных компонентов, обеспечивающих одновременное модифицирование на различных структурных уровнях;

- формирование многослойных структур на твердых подложках, в том числе высокопрочных и обладающих развитой морфологией поверхностного слоя;
- введение в состав смазок, смазочно-охлаждающих технологических сред полимерных, полимер-олигомерных и олигомерных фторсодержащих модификаторов в сочетании с модификатором различного механизма действия.

УДК 666.3.015

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ СВЕТОТРАНСФОРМИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БЕЛЫХ СВЕТОДИОДОВ

А. О. Добродей, Е. Н. Подденежный

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В основном белые светодиоды (СД) изготавливаются на основе синего кристалла и желтого люминофора. Кристалл покрывается слоем геля с порошком люминофора. Толщина слоя такова, чтобы часть синего излучения возбуждала люминофор, а часть – проходила без поглощения.

Большинство производителей белых СД используют в качестве желтого люминофора иттрий-алюминиевый гранат, легированный трехвалентным церием (ИАГ, YAG: Ce³⁺). Спектр люминесценции таких люминофоров характеризуется максимальной длиной волны в диапазоне 530–560 нм.

Существуют также люминофоры на основе силикатных и оксинитридных систем. К настоящему времени для силикатных люминофоров не достигнуто такое же высокое значение квантовой эффективности, как для YAG: Ce³⁺ (более 90 %). Создание оксинитридных люминофоров имеет более сложную технологию синтеза.

Люминофоры на органической основе до сих пор не слишком долговечны, чтобы использоваться в мощных промышленных и бытовых светильниках, неорганические же получают в условиях высоких температур синтеза, что не позволяет наносить их непосредственно в виде пленок на подложки из стекла или полимера.

Люминофор на основе ИАГ обладает определенными недостатками: узкая полоса возбуждения, ограничение на индекс цветопередачи излучения светодиода, ограничение на цветовую температуру излучения светодиода. Тем не менее, эффективность таких люминофоров в настоящее время довольно высока.

Основные идеи актуальных разработок в этом направлении следующие:

- использование в качестве активатора двухвалентного европия с широкой полосой возбуждения;
- построение матрицы люминофора на группировках SiN⁺ (высокая стабильность) и AlO⁺ (необходимый цвет излучения, высокая квантовая эффективность).
- координационная сфера активатора составлена атомами кислорода и азота.

Одним из последних направлений в области технологии преобразования цвета излучения при изготовлении белых СД является использование люминесцирующей керамики, которая позволит получать светодиоды с высокой однородностью цвета и повышенной временной стабильностью.

В НИЛ ТКН ГГТУ им. П. О. Сухого разработана улучшенная методика синтеза порошковых микрокристаллических люминесцентных материалов путем соосаждения гидроксидов иттрия и алюминия аммиаком с последующей термообработкой.

Также разработана и патентуется в настоящее время новая методика формирования наноструктурированных порошкообразных материалов на основе ИАГ, легированного ионами переходных и редкоземельных элементов (Fe, Mn, Cr, Eu, Ce и др.) методом термохимической реакции (горение), являющихся исходными материалами для получения высокоплотной керамики и композитов для создания белых СД. Установлено, что при соблюдении оптимальных режимов идентифицируется фаза граната кубической модификации $Y_3Al_5O_{12}$.

Изучение спектрально-люминесцентных характеристик полученных образцов порошкообразных материалов подтвердило перспективность их применения для оптоэлектроники и систем освещения.

УДК 666.1.002.34/35

ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ И НАНОКОМПОЗИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АЭРОСИЛОВ

О. А. Стоцкая, Е. Н. Подденежный, А. А. Бойко

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Целью настоящего исследования является разработка нового варианта золь-гель синтеза функциональных материалов на основе коллоидных форм кремнезема с использованием в качестве оптически активных частиц наноразмерных оксидов переходных и редкоземельных элементов, нанесенных на пирогенные кремнеземы, так называемых модифицированных аэросилов.

Разработана схема золь-гель синтеза прозрачных стекол и наноккомпозитов с использованием модифицированных аэросилов. В данной схеме формирование композиционных золь-гелей осуществлено путем введения в гидролизаты ТЭОС наполнителей – чистых аэросилов (А-380, А-300) и модифицированных аэросилов. По разработанной схеме получены гель-стекла состава $SiO_2-P_2O_5$, $SiO_2-P_2O_5-V_2O_5$, $SiO_2-P_2O_5-V_2O_5-Cr_2O_3$, $SiO_2-Cr_2O_3-TiO_2$. Установлено дегидроксилирующее влияние аэросилов, модифицированных оксидами фосфора и ванадия в кремнеземной матрице. Разработана методика получения бесцветных и окрашенных стекломатериалов оптического назначения с пониженным содержанием гидроксид-ионов (до $3,5 \cdot 10^{-4}$ мас. %).

Анализ спектров люминесценции порошкообразных композитов состава $SiO_2-Cr_2O_3-TiO_2$ (рис. 1) показал, что присутствие ионов титана и увеличение температуры спекания увеличивает интенсивность люминесценции в синтезированном материале по сравнению с композитом состава $SiO_2-Cr_2O_3$, а также снижается содержание гидроксидных групп в образцах до $4 \cdot 10^{-3}$ мас. %. На основании анализа спектров гель-стекол состава $SiO_2-Cr_2O_3-V_2O_5-P_2O_5$ (рис. 2), установлено, что введение в состав силикатной матрицы наночастиц оксидов фосфора и ванадия приводит к сдвигу полосы люминесценции хрома (550–700 нм) в диапазон 450–600 нм. Показано, что введением аэросилов, модифицированных многокомпонентными оксидными системами, можно влиять на спектральное положение полосы люминесценции материала, а следовательно, и на его оптические свойства.

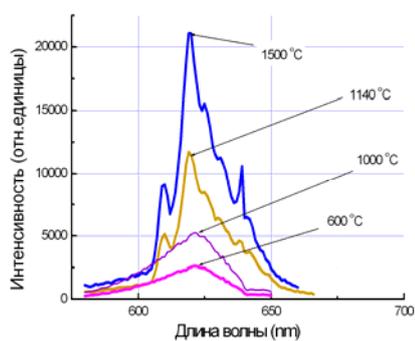


Рис. 1. Люминесценция порошка $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3$ при различных температурах отжига

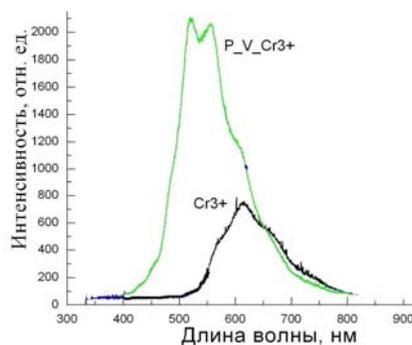


Рис. 2. Люминесценция гель-стекла $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-V}_2\text{O}_5\text{-Cr}_2\text{O}_3$

По данным измерений оптических и люминесцентных характеристик оптимизированы методики и режимы синтеза оптических материалов, определены области их применения в качестве эффективных люминофоров, материалов для маркировки промышленных изделий.

УДК 666.1

О НЕВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ОДНОРОДНОГО ЭКСТРУЗИОННОГО ЛИСТА ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА МЕТОДОМ СВОБОДНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РАСПЛАВА

П. Д. Петрашенко, А. И. Кравченко

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

С. Ф. Мельников, Н. В. Якимович

*Институт механики металлополимерных систем
имени В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель*

В данной работе приведены результаты исследований свойств листового материала из полиэтилена низкого давления (ПЭНД) марки 273-79 российского производства (Ставролен). Образцы материала получали на экструзионной листовальной линии ЛЛ 90х90х1000 (Украина) для последующего вакуумформования из него изделий.

Ставилась задача обеспечить получение тонкого (~1 мм) листового материала, предназначенного для вакуумформования с минимальными отходами листа. Для вакуумформовки достаточной шириной листа являлся размер 920 мм, тогда как линия обеспечивала его ширину (без обрезки и установки заглушек в экструзионную головку) 1000–1030 мм. Одним из вариантов получения листа нужной ширины могло быть изменение расстояния между плоскощелевой головкой экструдера и валками приемного каландра, что позволяло расплаву свободно «усаживаться» до нужного размера листа за счет охлаждения. На этом промежутке лист не подвергался механическим напряжениям (так как скорости выхода расплава из головки и валков приемного каландра совпадали) и охлаждался естественно по мере движения от головки к каландру.

Изменение ширины полимерного листа в зависимости от расстояния между головкой и каландром представлено на рис. 1, из которого видно, что варьирование размерами листа в небольших пределах (до 20 см) таким способом возможно.

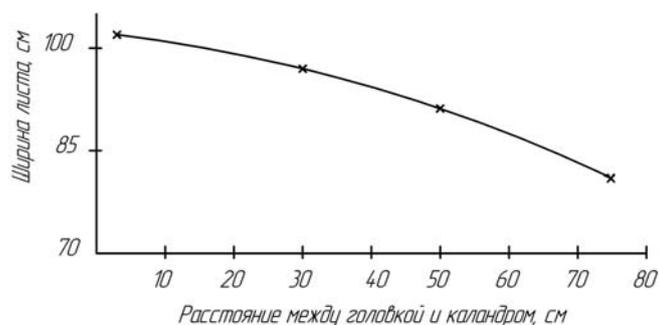


Рис. 1. Зависимость ширины экструзионного листа от расстояния между головкой и каландром

Однако дальнейшая вакуумформовка, полученных таким способом листов, не дала положительных результатов – лист разрывался в определенных местах при его разогреве. Последующие испытания листов подтвердили неоднородность их свойств по ширине, что и приводило к разрывам.

Таким образом, получение однородного листа методом свободного охлаждения расплава в промежутке между головкой и каландром невозможно.

Были рассмотрены причины, приводящие к неоднородности свойств листового материала.

УДК 621.793.092

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ И ПОРИСТОСТИ ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧАЕМОГО СОВМЕСТНОЙ ВЫТЯЖКОЙ

М. И. Лискович, Н. В. Иноземцева

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Плотность и пористость порошкового покрытия являются одними из важнейших характеристик, определяющих эксплуатационные свойства изделий. Меняя плотность и пористость покрытия, например, при изготовлении подшипников скольжения, можно изменять прочность, износостойкость и долговечность покрытия, маслоразбавляемость, продолжительность работы без смены смазки, коэффициент трения.

В этой связи представляет интерес выяснение возможности регулирования плотности и пористости покрытия при нанесении его путем совместной вытяжки основы и порошка [1], [2], а также определение основных параметров процесса, существенно влияющих на величину плотности и пористости получаемого покрытия.

Плотность и пористость покрытия определялась после совместной вытяжки по ГОСТ 18898–89 методом взвешивания их на воздухе и в воде.

На рис. 1 показаны зависимости относительной плотности покрытия в конечном изделии от усилия деформации порошка, рассчитанного теоретически и полученного как разность измеренных усилий совместной вытяжки и вытяжки одной основы без порошка. Общий характер кривых подобен типичным графикам зависимости относитель-

ной плотности прессовок от усилия и давления прессования порошков [3, с. 92], что свидетельствует об одинаковом механизме уплотнения и деформации порошка.

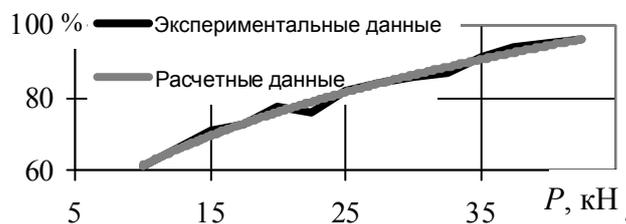


Рис. 1. График зависимости относительной плотности покрытия от усилия вытяжки порошка

Таким образом, меняя параметры процесса и величину усилия вытяжки можно добиваться требуемой плотности и пористости покрытия. Это в свою очередь позволяет изменять связанные с пористостью и плотностью эксплуатационные характеристики изделий.

Литература

1. Способ изготовления полого композиционного изделия : пат. 3933 Респ. Беларусь, МПК В21D 22/20, В22F 3/02 / М. И. Лискович, Ю. Л. Бобарикин, Н. И. Стрикель ; заявитель ГГТУ им. П. О. Сухого ; заявл. 25.05.1998 ; опубл. 30.06.2001 // Афіц. бюл. «Изобретения, полезные модели и промышленные образцы» / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2001. – № 2(29). – С. 174.
2. Способ изготовления полого композиционного изделия : пат. 3933 Респ. Беларусь, МПК В21D 22/20, В22F 3/10 / М. И. Лискович, Ю. Л. Бобарикин, Н. И. Стрикель ; заявитель ГГТУ им. П. О. Сухого ; заявл. 16.05.2005 ; опубл. 30.08.2008 // Афіц. бюл. «Изобретения, полезные модели и промышленные образцы» / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 4(63). – С. 153.
3. Пористые проницаемые материалы : справочник / под ред. С. В. Белова. – Москва : Металлургия, 1987. – 335 с.

УДК 666.1.053

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ СТЕКЛА

И. И. Злотников, П. А. Хило

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Алмазная обработка стекла, в частности шлифование и сверление отверстий практически невозможна без применения смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Основной функцией СОЖ является отвод тепла из зоны резания, так как при высокой температуре возможна локальная закалка поверхности стекла, что обуславливает возникновение напряжений в материале и приводит к чешуйчатому сколу.

Данная работа посвящена изучению перспектив улучшения процесса алмазно-абразивной обработки стекла путем применения новых полимерсодержащих СОЖ.

В результате исследований были разработаны две рецептуры СОЖ (табл. 1).

Таблица 1

Составы смазочно-охлаждающих жидкостей, мас. %

Компонент	СОЖ 1	СОЖ 2
	Патент РБ 11517	Патент РБ 12872
Глицерин	0,03–0,7	0,3–1,5
Этиленгликоль	0,02–0,6	0,2–0,7
Сополимер акриламида с акрилатом натрия	0,05–0,9	–
Триэтаноламин	–	0,1–0,6
Ортофосфорная кислота	0,005–0,1	–
Изопропиловый спирт	–	0,05–0,6
Полиакриловая кислота	–	0,1–0,5
Вода	до 100	до 100

Разработанные СОЖ были испытаны на ОАО «Гомельстекло» на операциях обработки кромок и сверлении стекла толщиной до 10 мм. СОЖ подавали в зону шлифования свободно падающей струей, при сверлении – через внутреннюю полость сверла. Скорость шлифования составляла 25–26 м/с. Эффективность использования СОЖ иллюстрирует табл. 2. Испытания разработанных СОЖ проводили в сравнении с базовой СОЖ, представляющей собой 0,8%-ный раствор кальцинированной соды в воде.

Таблица 2

Эффективность использования смазочно-охлаждающих жидкостей

Показатель	Вид СОЖ		
	СОЖ 1	СОЖ 2	Вода + 0,8 % соды
Съем стекла, мкм/мин	50	55	25
Шероховатость R_a обработанной поверхности, мкм	2,2	2,0	4,5

Таким образом, применение СОЖ позволяет более чем в два раза увеличить скорость съема стекла и понизить шероховатость обработанной поверхности. Кроме того, при использовании СОЖ алмазный инструмент не засаливается, работает в режиме самозатачивания и не требует правки для восстановления режущих свойств.

УДК 678.019

К ВОПРОСУ О ПРИНЦИПАХ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ПОЛИМЕРОВ

Т. И. Александрова, В. П. Русов

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Л. С. Корецкая

*Белорусский торгово-экономический университет
потребительской кооперации, г. Гомель*

Большинство полимеров имеют малую стойкость к действию комплекса атмосферных факторов. Наиболее разрушающим фактором для полимеров является УФ в диапазоне 290–400 нм. В составе солнечного излучения, достигающего поверхности Земли, этот диапазон составляет ~6 %, но этого достаточно для разрушения полимеров.

Для повышения стойкости полимерных материалов в них вводят термо- и фотостабилизаторы. Атмосферостойкость полимеров зависит от содержания в них стабилизатора и его эффективности. Каждый стабилизатор имеет оптимальную концентрацию, при которой полимер наиболее стоек к действию атмосферных факторов, обычно от 0,3 до 1 %.

Определение эффективности действия стабилизаторов – сложный и длительный процесс. Эффективность термостабилизаторов обычно определяют по индукционному периоду окисления при поглощении кислорода.

Эффективность действия фотостабилизаторов оценивается по результатам натурных или лабораторных испытаний в камерах искусственной погоды, но это длительный процесс.

Результаты проведенных нами ранее исследований показали, что принципы выбора стабилизатора зависят от назначения полимерного изделия (покрытия, пленки, литьевые детали). Исследования разных классов стабилизаторов: замещенные фенолы, производные бензофенона и бензотриазола, ферроцена, калексарена показали, что эффективные для блочного полимера стабилизаторы часто не являются эффективными для пленок и покрытий.

Фотостабилизаторы для полимерных покрытий выбирают по влиянию их на внутренние напряжения и изменение конформаций. Установлена корреляционная зависимость долговечности покрытий от конформаций макромолекул и величины внутренних напряжений.

При выборе стабилизаторов для полимерных пленок наиболее эффективным методом является исследование фотодеформаций их.

В результате проведенных исследований установлено, что разность фотодеформаций полимерных пленок при УФ- и ИК-облучении коррелирует с их долговечностью в атмосферных условиях.

Показано, что чем меньше разность фотодеформаций пленки стабилизированного полимера по сравнению с нестабилизированным, тем эффективнее фотостабилизатор.

УДК 621.034.4:534.6

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ДЕГАЗАЦИИ ЭПОКСИДНОЙ КОМПОЗИЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

М. М. Рыженко

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Исследовалась возможность применения ультразвуковых колебаний для ускорения протекания ряда гетерогенных процессов в равновесных условиях при нанесении эпоксидных антикоррозионных композиций на металлические покрытия, лимитирующим фактором которых являются пузырьки газа в композиции. Распространение интенсивных ультразвуковых колебаний в эпоксидной композиции при формировании покрытий приводит к развитию кавитации, что нарушает условия равновесия в системе композит–газ и способствует энергичной дегазации композита.

Процесс дегазации композита под действием ультразвука можно свести к следующим этапам: диффузии атомов растворенного газа в кавитационные полости; коагуляции мельчайших газовых пузырьков в более крупные за счет колебательных движений; всплывания крупных пузырьков на поверхность неотвержденного эпоксидного композита. Для подтверждения кавитационной гипотезы ультразвуковой дегазации эпоксидный композит заливали в литейную форму, которую помещали на излучатель так, что облучаемый объем композита находился в пучности смещений.

При проведении эксперимента были использованы мешалка А-1 с переменным числом оборотов $n = 40\text{--}80$ об/мин, литейная форма, ультразвуковая установка, состоящая из генератора УЗГ-4М, магнестрикционного преобразователя ПМС-15А, с резонансной частотой волновода 19,5 кГц амплитудой 13–24 мкм.

Суждение о дегазации композита под действием кавитации делалось по изменению пористости в отвержденных образцах композита. Количественное определение дегазации под действием кавитации определяли методом поглощения влаги, проводилось на образцах 10x10x100 мм, полученных без воздействия и с воздействием ультразвука, которые помещали в дистиллированную воду и при температуре 20 °С выдерживались в течение 1200 ч. Ниже приведены сравнительные исследования результатов эксперимента.

Поглощение влаги эпоксидным композитом, %

Условия испытания	Время испытания, ч					
	200	400	600	800	1000	1200
Без обработки УЗК	0,9	1,0	1,03	1,09	1,2	1,7
С обработкой УЗК	0,45	0,47	0,51	0,57	0,6	0,6

Проведенные исследования показали, что при отверждении эпоксидного композита в ультразвуковом поле в результате дегазации при развитии кавитации пористость композита уменьшается почти в два раза по сравнению с композитом, отвержденным без ультразвука.

УДК 543.226:678.675

**К АНАЛИЗУ АНТИФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИЙ
НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА-6****Н. В. Грудина***Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь***О. Р. Юркевич***Институт механики металлополимерных систем
имени В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель*

Для получения антифрикционных материалов и покрытий широко используется полиамид-6 (ПА-6), модифицированный добавками компонентов органической и неорганической природы. Введение в состав полиамида-6 низкоплавких компонентов, в частности полиэтилена, позволяет реализовать в процессе трения эффект самосмазывания. К недостаткам покрытий на основе полиамида-6 относят: значительное поглощение влаги, достигающее 14 % для исходного полимера, и низкую устойчивость адгезионных связей с металлическим основанием, особенно при эксплуатации во влажных средах. Улучшить свойства покрытий удастся путем введения в состав композиций дополнительных полимерных компонентов.

В данной работе представлены результаты термического анализа ПА-6, ПЭНД и их смесей с другими компонентами: низкоплавкой полиэфирной смолой марки ПЭФ-668, эпоксидным компаундом ПЭП-534, поливиниловым спиртом (ПВС) в порошкообразном виде, коллоидно-графитовым препаратом С-1, фосфогипсом марки А, техническим углеродом (сажа марки ДГ-100), стабилизатором – неозон А.

Анализ материалов выполняли методами ДТА и ТГ на дериватографе OD-102 и на приборе STA 6000. Термограммы получали при скорости нагрева образцов 2,5 град/мин (масса навески 600 мг) и 4 град/мин (масса навески 35 мг) соответственно. Образцы для оценки свойств композиционных материалов представляли собой пленки толщиной от 0,4 до 0,6 мм. Определяли прочность пленок при растяжении – σ_p и относительное удлинение при разрыве – ϵ_p по ГОСТ 11262 на образцах в виде лопаток (2x16 мм), вырубленных из полученных пленок после отслаивания фольгового субстрата.

Исследованы тепловые процессы, происходящие в порошках полиамида (ПА-6), полиэтилена низкого давления (ПЭНД) и их смесей с другими компонентами при нагреве и охлаждении на термограммах в виде зависимостей ДТА и ТГ, их влияние на свойства формируемых материалов и покрытий. Наиболее общей закономерностью наблюдаемых эффектов является отрицательное действие термоокислительных процессов при нагреве и сплавлении порошковых материалов. Так, добавки к порошку ПА-6 других более низкоплавких полимерных порошков может приводить к интенсификации термоокисления матричного материала при формировании композита, что сказывается на его физико-механических свойствах. Наглядным примером этому является поведение смеси ПА-6 с ПЭНД, нагрев которой сопровождается большим выделением тепла в результате реакций окисления, приводящих к связыванию макромолекулами полимеров кислорода из окружающего пространства. Модифицирование порошка ПА-6 веществами, блокирующими окисление компонентов смеси, приводит к увеличению прочности и деформационной способности формируемых пленок. Вероятным механизмом такого модифицирующего действия является связывание (адсорбция) дисперсными добавками низкомолекулярных веществ,

присутствующих в полимере и являющихся инициаторами термоокислительных процессов.

Таким образом, результаты исследований показали, что взаимодействие компонентов друг с другом и окружающей средой можно регулировать путем использования модифицирующих добавок в процессах получения композиционных материалов и покрытий из смесей полимеров, когда происходит взаимодействие компонентов, приводящее к изменению свойств исходных составляющих.

УДК 621.762

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПАКТНЫХ ИЗДЕЛИЙ С МЕТАСТАБИЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ ИЗ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ ПОРОШКОВ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНЫМ СПЕКАНИЕМ

М. Н. Верещагин, С. И. Кирилюк

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Метастабильные кристаллические и аморфные порошки при их компактировании в холодном состоянии с сохранением аморфной структуры в компактных изделиях требуют удельных давлений не ниже 4,4 ГПа, причем плотность прессовки растет до величины 0,68–0,74 от плотности массивного материала. Дальнейшее повышение давления практически не влияет на плотность получаемого изделия. Горячее компактирование таких порошков при температуре нагрева ниже температуры кристаллизации позволяет достичь относительной плотности 0,87–0,98 при давлении 0,75–4 ГПа в течение 5–20 мин. Взрывное компактирование этих порошков со временем импульса $2,5 \cdot 10^{-5}$ – $9 \cdot 10^{-6}$ с и давлении 4–28 ГПа позволяет получить компактные изделия из данных порошков с плотностью, близкой к плотности массивного образца, но требует применения дорогостоящей оснастки для работы при очень высоких давлениях.

Одним из перспективных методов компактирования порошков с неравновесной структурой является метод электроимпульсного прессования – спекание порошковых композиций путем пропускания импульсов электрического тока. Оно основано на комбинированном действии электрической энергии и механического давления и позволяющее осуществлять одновременное спекание и прессование порошковых материалов. При этом за время прохождения импульса, несколько миллисекунд, материал в местах контакта нагревается и сплавляется, образуя компактное изделие. Так как время прохождения импульса не велико, то основная масса материала не успевает нагреться, приобрести температуру выше температуры кристаллизации и по сути сохраняет исходное метастабильное состояние. Места расплавов в точках контакта быстро охлаждаются за счет увода тепла в объем частиц и тем самым тоже сохраняют метастабильную структуру. Приложенное давление деформирует и уплотняет спекаемый порошок.

Для спекания использовали метастабильные порошки, полученные из быстро закаленных лент, полученные методом спиннингования на медный диск. Скорость закалки составляла 10^5 – 10^6 К/с. Ленту, полученную методом спиннингования, измельчали в атриторе, до получения порошка размером 50–160 мкм, который в дальнейшем использовали для электроимпульсного спекания. Дифференциально-термический и рентгеновский анализы показали, что структура аморфных сплавов исходного порошка не содержит в себе кристаллической фазы. На дифрактограмме

отсутствовали максимумы кристаллической фазы, а на кривых ДТА при нагреве наблюдался сдвоенный экзотермический пик, эндотермический аналог которого при охлаждении отсутствовал, что подтверждает образование аморфной структуры.

На лабораторной установке из исходных метастабильных порошков были получены компактные образцы путем электроимпульсного спекания. Компактные изделия имели плотность $\approx 68\text{--}78,5$ % от плотности исходного материала. При этом плотность электрического тока составляла ≈ 39 А/мм², при длительности импульса 0,05 с, приложенное давление ≈ 4 МПа. Количество импульсов – один. Прессовки, полученные данным методом, обладают высокими механическими характеристиками, при металлографическом исследовании – участки металла фактически не травятся, что говорит об аморфной, метастабильной структуре полученных образцов.

УДК 621.892

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПРИСАДОК В СМАЗОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ РАЗЛИЧНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Е. Н. Волнянко

*Институт механики металлополимерных систем
имени В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель*

И. В. Царенко

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Современное производство предполагает использование высокотехнологичного оборудования, работоспособность которого во многом обеспечивается правильно подобранными смазочными технологическими средами. Это касается пластичных смазок, смазочно-охлаждающих жидкостей, гидравлических жидкостей и т. д. Рынок предлагает огромный спектр смазочных материалов различного функционального назначения, и задача производителя подобрать наиболее эффективные по параметрам «качество–цена». Известны примеры, когда несущая способность трибосопряжения в зависимости от применяемого смазочного материала увеличивалась в 2,7 раз. Делая ставку на импортные смазочные материалы, потребитель заранее обрекает себя на высокую цену, включающую услуги посредников и транспортные расходы. Тем более, что сравнительными испытаниями зарубежных смазочных материалов не обнаружено преимуществ перед отечественными. Наиболее экономически приемлемый путь – это путь модифицирования традиционных смазочных технологических сред современными присадками или комплексом присадок, направленно улучшающими эксплуатационные характеристики конкретного трибосопряжения.

В представленной работе рассмотрены возможности применения наноразмерных керамических частиц β -сиалона в качестве противоизносной и антифрикционной присадки к пластичным смазочным материалам. Триботехнические испытания показали, что нагрузочная способность узла трения, содержащего присадку, увеличивается в $\sim 3,5\text{--}7$ раз по сравнению с исходным смазочным материалом. Нагрузочная способность трибосопряжения достигает 70 МПа, что свидетельствует о целесообразности применения таких присадок в тяжело нагруженных узлах трения. Как

правило, трение в условиях высоких нагрузок осложняется воздействием множества внешних факторов – высокой температуры, влажности, длительной работы без замены смазочного материала. С целью минимизировать их действие авторы предлагают комплексные присадки, включающие наряду с противоизносными антиокислительные добавки, ингибиторы коррозии. Только в этом случае можно получить значительное улучшение эксплуатационных характеристик смазочных материалов и реально увеличить ресурс трибосопряжения.

Комплексная присадка может быть использована в различных смазочных технологических средах. Получены положительные результаты по применению такой присадки в качестве шумопонижающей в металлообрабатывающих станках. Присадка обеспечивает улучшение режима смазывания непрерывностью масляной пленки, разделением трущихся поверхностей, что способствует сохранению жидкостного и граничного режима трения в широком диапазоне нагрузок и виброизоляции колебаний, генерируемых в зубчатом зацеплении. Опытно-промышленные испытания показали, что в результате применения присадки уровень шума снижается на 2 дБ. Эффективно использование наноразмерных керамических частиц в качестве прирабочных составов. Методами оптической микроскопии и профилометрии показано, что микрорельеф поверхностей после трения в среде смазочных материалов, содержащих наноразмерные керамические частицы, является наиболее изотропным и отличается оптимальной конфигурацией. Предварительная приработка рабочих поверхностей позволяет повысить несущую способность трибосопряжений до 75 %.

УДК 537.874:678.742.2

КОРРОЗИЯ КАК ФАКТОР УЛУЧШЕНИЯ РАДИОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ

И. В. Царенко

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В. А. Банный, Д. С. Тилинина

*Институт механики металлополимерных систем
имени В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель*

Согласно представлениям радиофизики, в полимерных композитных радиопоглощающих материалах (РПМ), составляющих основу электромагнитных экранов (ЭМЭ), функции радиопоглотителей выполняют армирующие элементы и функциональные наполнители – металлические, ферритовые, сегнетоэлектрические. Как правило, в состав полимерных композитных РПМ входит значительное количество (до 90 % мас.) частиц металлического наполнителя. Ежегодно в процессе коррозии теряются тонны металлосодержащего материала. Поэтому традиционно при разработке новых металлосодержащих изделий особое внимание уделяется изучению влияния коррозии на их характеристики.

Цель работы состоит в оценке влияния оксидных пленок, формирующихся на поверхности частиц наполнителя в результате коррозионных процессов, на радиофизические характеристики полимерных композитных ЭМЭ.

Экспериментальные образцы толщиной 10 мм изготавливали термическим прессованием из смесей полиэтилена высокого давления (ПЭВД), карбонильного железа (5–10 мкм) и ингибиторов коррозии (ИК). В качестве ИК использовали нитрит дициклогексилamina (НДА) и фенил-бензимидазол (ФБИ).

Образцы: контрольный без ИК и содержащие ИК – подвергали ускоренным коррозионным испытаниям путем выдержки в течение 21 суток в термо-влажностной камере ($T = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность 95 %) и в морской воде ($T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, соленость $C = 35\text{ }%$, $\text{pH} = 8\text{--}8,5$). До и после испытаний измеряли ослабление энергии S электромагнитного излучения (ЭМИ) частотой $\nu = 8\text{--}12\text{ ГГц}$, проходящего через образец, помещенный в волноводный тракт измерителя Р2-61.

Установлено, что введение ИК в состав РПМ приводит к возрастанию S на 15,6 % (НДА) и 10,1 % (ФБИ) по сравнению с контрольным образцом. После термо-влажностных испытаний образцов без ИК S возросло на 2,8 %, что, по-видимому, обусловлено образованием оксидных пленок на поверхности частиц наполнителя, появлением новых границ раздела в композите, что изменяет условия поглощения энергии ЭМИ. S образцов, содержащих ИК, уменьшилось после испытаний на 4,3 % (НДА) и 0,53 % (ФБИ). Это может свидетельствовать о снижении концентрации ИК в материале за счет его испарения, а также об отсутствии коррозионных процессов.

Таким образом, коррозионные процессы, а именно образование оксидных пленок на поверхности частиц карбонильного железа, приводят к улучшению радиофизических характеристик электромагнитных экранов, так как радиопоглощение определяется не только электромагнитными параметрами наполнителя, но и обусловлено дополнительными факторами рассеяния и интерференции электромагнитных волн на границах оксидных пленок.

УДК 621.7.043:621.785

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПРИ ПОДГОТОВКЕ ШТАМПОВОЙ СТАЛИ К ХОЛОДНОМУ ВЫДАВЛИВАНИЮ ГРАВЮРЫ ЧЕКАНОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА

И. Н. Степанкин, В. М. Кенько, И. А. Панкратов

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Точное воссоздание профиля гравюры чеканочного штампа имеет важное значение при изготовлении государственных наград и других элементов государственной символики. В таких случаях, как показано на рис. 1, рабочая поверхность чеканочного штампа представляет собой высокохудожественное изображение, изменение которого по технологическим требованиям невозможно. Для изготовления таких штампов, как правило, применяется технология холодного выдавливания гравюры, широко используемая при получении отделочных пуансонов и матриц холодновысадочного инструмента. Попытки последующего упрочнения с формированием развитого диффузионного слоя требуют длительного нагрева готового инструмента до температур свыше $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ (цементация и цианирование), что приводит к искажению полученного профиля гравюры и вносит недопустимые изменения в аверс награды.



Рис. 1. Инструмент для объемной штамповки
(чеканочная оснастка для изготовления элементов символики)

В работе предложена технология упрочняющей обработки заготовок чеканочных штампов из быстрорежущей стали Р6М5, позволяющая производить холодное выдавливание гравюры инструмента по предварительно упрочненному слою и обеспечивающая эффективное упрочнение высоконагруженного инструмента за счет создания на рабочих поверхностях развитых карбидных диффузионных слоев толщиной не менее 0,2 мм. Показано, что изменение режимов формирования науглероженных слоев быстрорежущих сталей обеспечивает заданную структуру и технологическую пластичность металла при его деформировании в холодном состоянии. Выявлена возможность увеличения технологической пластичности быстрорежущей стали Р6М5 с науглероженным слоем с 20 до 47 % при одновременном снижении необходимого деформирующего напряжения с 2000 до 1200 МПа за счет совмещения операций циклического отжига и науглероживания.

УДК 621.785.52

К ВОПРОСУ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

В. М. Кенько, И. Н. Степанкин

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Стойкость штампового инструмента, изготовленного из высоколегированных инструментальных сталей карбидного класса, зависит от химического состава металла, режимов термической и химико-термической обработок, которые определяют структуру после термообработки (размер зерна, степень легированности мартенсита (α -фазы), количество остаточного аустенита, количество карбидов и их состав).

В работе исследовано влияние технологических режимов науглероживания инструмента из быстрорежущей стали Р6М5 на структурообразование поверхностного слоя металла. Для функционального структурообразования упрочненных слоев инструмента технологические параметры науглероживания и последующей термообработ-

ки назначали в соответствии с уровнем остаточных напряжений, формирующихся в диффузионно-упрочненном слое. Адаптационные модели эксплуатации конкретных типов инструмента получали на основе компьютерного моделирования методом конечных элементов.

Результаты исследований показали, что морфология науглероженного слоя быстрорежущей стали Р6М5 определяется степенью растворения специальных карбидов легирующих элементов в металлической матрице. Управление структурой и свойствами упрочненного слоя осуществляется путем изменения температуры аустенизации металла перед закалкой. Окончательное формирование двухфазного материала на основе легированного мартенсита и распределенных в нем карбидных частиц, происходит на стадии дисперсионного твердения металла.

Степень легирования мартенсита и карбидный состав металла в готовом изделии – штамповой оснастке адаптировались к условиям её работы. Основными функциональными параметрами, определяющими наработку на отказ наиболее нагруженных штамповых инструментов – обесечных пуансонов и пуансонов обратного выдавливания, являются предел контактной выносливости и износостойкость рабочих поверхностей инструмента.

Диффузионное насыщение быстрорежущей стали Р6М5 углеродом позволяет получить на рабочих поверхностях инструмента высокоуглеродистый мартенсит при закалке с более низких температур, чем рекомендуемые 1220 °С. Дисперсионное твердение в процессе отпуска при 560 °С обеспечивает твердость поверхностного слоя 65–66 HRC независимо от температуры, с которой производится закалка в диапазоне 950–1220 °С.

Балл зерна, карбидный состав, твердость и предел выносливости более глубоких слоев зависят от температуры закалки, так как с увеличением температуры повышается растворимость карбидов легирующих элементов, степень легирования и насыщенность углеродом аустенита, а соответственно и мартенсита. Изменяя температуру закалки с 1220 до 950 °С можно регулировать размер зерна от 9 до 12 баллов, твердость с 62–63 HRC до 53–55 HRC в подповерхностном слое, вследствие изменения его карбидного состава.

Одновременно с изменением морфологии науглероженного слоя изменяются механические свойства материала – твердость и величина остаточных напряжений сжатия. Управление этими характеристиками позволяет создать карбидный слой, свойства которого в максимальной степени адаптированы к условиям работы тяжелонагруженной холодновысадочной оснастки.

УДК 621.73.16

**УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ШТАМПОВКИ ОБКАТЫВАНИЕМ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРОТЕКАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

С. П. Гожий

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*

Прессы для штамповки обкатыванием представляют собой совокупность двух механизмов: механизма осевого перемещения, выполненного в виде силового гидродоильника с гидравлическим приводом, и механизма обкатывающих движений ак-

тивного инструмента в виде специального механического или гидравлического механизма.

При применении в приводе механизма осевого перемещения традиционно насосного повода скорость рабочего перемещения практически постоянна $v \approx \text{const}$. Протекание технологической операции в таком случае характеризуется тем, что значение коэффициента λ (где $\lambda = F_k/F$; F_k – площадь контактной поверхности; F – площадь всей поверхности обкатывания) падает от максимального в начале операции до минимального значения в конце. Например, при осадке обкатыванием цилиндрического образца начальной высоты $h_0 = 30$ мм и диаметра $d_0 = 28$ мм со скоростью деформирования $v = 1,41$ мм/с = const и подачей на оборот $S = 0,28$ мм/с = const до конечной стадии стадии ($h = 6,5$ мм, $d = 60$ мм) имеем падение значения коэффициента λ от 0,13 до 0,08.

Упомянутая закономерность негативно сказывается на качественных характеристиках технологического процесса, основными из которых являются: накопление неравномерности деформаций в заготовке по высоте; невозможность обработки относительно высоких заготовок с $h/d > 1$ (h – высота; d – диаметр заготовки); попадание параметров процесса при крайних значениях λ в области неэффективных значений; сравнительно низкая производительность и др. Эффективность процесса штамповки обкатыванием существенно повышается при его протекании в узкой области значений λ , для которой уменьшается влияние контактного трения на общее технологическое усилие и создается благоприятное напряженно-деформированное состояние.

Реализовать возможность обработки с постоянным коэффициентом $\lambda \approx \text{const}$, т. е. при переменной скорости деформирования, можно за счет возможностей гидравлической схемы:

- использованием в гидравлическом приводе нескольких насосов постоянной производительности;

- использованием в гидравлическом приводе насоса управляемой производительности;

- применением группы гидравлических цилиндров в качестве рабочих;

- использованием насосно-аккумуляторного гидравлического привода.

А также за счет возможностей механизма обкатывания:

- изменением частоты колебаний обкатывающих движений активного инструмента;

- изменением угла наклона активного инструмента.

Анализ предложенных вариантов показывает, что наиболее перспективным является управление коэффициентом λ за счет изменения угла наклона активного инструмента непосредственно в ходе технологического процесса. Одновременно расширяются технологические возможности оборудования.

ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ НА ОСНОВЕ РЕГЕНЕРИРОВАННЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ**А. А. Рыскулов***Ташкентский автомобильно-дорожный институт, Узбекистан***В. В. Андрикевич, А. В. Чекель, Е. В. Овчинников, К. Г. Козел***Учебно-методический центр «Промагромаши» ОАО «Белкард»,**г. Гродно, Беларусь*

В конструкциях автомобильных агрегатов различного функционального назначения применяют защитные, герметизирующие и демпфирующие элементы из полимерных материалов. В ряде случаев функция таких элементов состоит в обеспечении защиты конструкции от неблагоприятного воздействия эксплуатационных факторов и предотвращении возможности нахождения обслуживающего персонала в зоне действия подвижных узлов при их вращении или поступательном перемещении. Поэтому важнейшими параметрами материалов, из которых изготавливают защитные элементы конструкций, является оптимальная устойчивость к воздействию эксплуатационных факторов в виде влаги, абразивных частиц, ультрафиолетового излучения, вибрации и ударных нагрузок при достаточных деформационно-прочностных характеристиках. В этом аспекте применение первичных полимерных материалов и композитов на их основе, как правило, экономически необоснованно и приводит к неоправданным затратам.

Исследованы параметры служебных характеристик композиционных материалов на основе регенерированных термопластов с целью оценки возможности применения их для изготовления защитных элементов карданных валов сельскохозяйственной техники и автомобильных амортизаторов.

Методами ИК-спектроскопии, ДТА, растровой электронной микроскопии исследованы морфология композиций, полученных термодинамическим смешиванием регенерированных полипропилена (ПП) и полиэтилена (ПЭНД, ПЭВД) в экструзионной установке по рециклингу.

Установлено, что термомеханическое совмещение регенерированных компонентов обуславливает эффект упрочнения композита по механизму образования армирующей высокодисперсной фазы в матричном полимере и протеканию сополимеризационных механохимических процессов. При введении в состав композита наноразмерных модификаторов, выбранных из группы: технический углерод (сажа), глины, трепел, оксиды металлов, шунгит, продукты диспергирования силикатных стекол обеспечивается дополнительный эффект повышения термодинамической совместимости, обусловленный образованием пространственной сетки адсорбционных связей между наночастицами модификатора и полимерными макромолекулами матричного и модифицирующего полимера. Дополнительный эффект обусловлен формированием в объеме матричного полимера (ПП, ПЭНД, ПЭВД) наноразмерных упорядоченных областей в результате частичного восстановления структуры, образованной при одноосной или двухосной вытяжке полуфабриката (плоских нитей из ПП, пленок из ПЭВД, ПП, ПЭНД).

Разработана технологическая оснастка и выпущена опытная партия элементов защитных кожухов амортизаторов и карданных валов. Проведенные испытания свидетельствуют о целесообразности промышленного применения защитных элементов

на основе регенерированного сырья в конструкциях автомобильных и сельскохозяйственных агрегатов взамен первичных аналогов.

Исследования выполнены в рамках НИР и ОКР по заданию РНТП «Разработать композиционный материал на базе полиолефинов и технологию изготовления защитных агрегатов автотракторной и сельскохозяйственной техники с повышенной стойкостью к знакопеременным нагрузкам».

УДК 621.7.014

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ БЫСТРОЗАКАЛЕННЫХ ЛАТУННЫХ СПЛАВОВ

М. Н. Верещагин, И. В. Агунович

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В настоящее время для получения качественно новых материалов с особой структурой и свойствами широко используют сверхбыструю закалку из расплава. Сверхбыстрая закалка приводит к улучшению стандартных сплавов благодаря более однородному распределению легирующих элементов, повышению их растворимости в твердом растворе, уменьшению или устранению микросегрегаций, уменьшению размера зерна и образованию новых метастабильных фаз. Однако следует отметить, что созданный таким образом сплав может быть термодинамически неравновесным.

Целью данной работы является исследование особенностей формирования структуры, в быстрозакаленных латунных сплавах при высокоскоростной кристаллизации и ее изменения при термическом воздействии, а также изучение изменения микротвердости при различной температуре изотермического отжига. Так как зная особенности условий получения материалов, формируемую при этом структуру и свойства, можно получать в дальнейшем материал с желаемыми свойствами.

Методика исследований. Исследования микроструктуры и свойств, возникающих при проведении изотермического отжига, были выполнены на сплавах системы $\text{Cu}_{58,66}\text{Zn}_{17,96}\text{Ni}_8\text{Fe}_{0,19}\text{Pb}_2\text{Mn}_{0,5}\text{P}_{7,5}$. Быстрозакаленные ленты данного сплава получали методом двухвалковой закалки-прокатки расплава. Скорость прокатки $V = 3\text{--}4$ м/с. Образцы подбирались одинаковой толщины, равной 0,8 мм. Изотермический отжиг каждого образца проводили в атмосфере аргона с выдержкой в печи 40 мин и охлаждением на воздухе. Температуры отжига, °С: 100, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700. Микроструктуру быстрозакаленных образцов после отжига изучали на металлографическом микроскопе «МЕТАМ РВ-22». Микротвердость измеряли при вдавливании в образец алмазной пирамиды Виккерса на приборе ПМТ-3 согласно ГОСТ 9450–76. Определение фазового состава сплавов, параметров решеток литых и быстрозакаленных сплавов проводилось на дифрактометрическом комплексе D8 ADVANCE фирмы «BRUKER» (Германия).

Результаты исследований показали, что отжиг не снижает, как ожидалось, а несколько повышает значение микротвердости (кроме интервала температур 200–300 °С). Это связано с распадом метастабильных фаз при отжиге с образованием дисперсных частиц, что вызывает увеличение микротвердости образцов. После отжига при температуре 250 °С наблюдается резкое падение микротвердости образцов. Размер зерна при этом не меняется. Падение микротвердости вызвано фазовыми превращениями, возникающими в этой области температур, а именно резким ростом количества

α -фазы, и снижением количества β -фазы, что повлекло за собой падение твердости и увеличение пластичности быстрозакаленной ленты. Структура сплава после отжига более однородна, по сравнению с быстрозакаленным латунным сплавом до отжига. В процессе отжига изменяется ориентация зерен быстрозатвердевших лент. Текстура заметно уменьшается при температуре 400 °С и выше. Отжиг быстрозакаленных латунных лент до температуры 400 °С не приводит к протеканию рекристаллизационных процессов. Отжиг при температуре 400 °С и выше вызывает протекание собирательной рекристаллизации, приводящей к увеличению размера дендритных ветвей α -фазы. Полностью рекристаллизованное состояние получено не было, так как в исследуемых латунных сплавах значительное насыщение зерен легирующими компонентами блокирует их границы, и последующая рекристаллизация не идет.

УДК 678.073:678.05

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НИЗКОПЛАВКИХ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

Е. В. Иноземцева

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

О. Р. Юркевич

*Институт механики металлополимерных систем
имени В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель*

Низкоплавкие полиэфиры (ПЭТ) являются аналогами (по химическому строению основных звеньев макромолекул) полиэтилентерефталата (ПЭТФ), обладают разветвленной структурой, что придает им ряд специфических свойств. ПЭТ характеризуется высокими показателями прочности, ударной вязкости, устойчивостью к химически активным средам, механическому истиранию, является хорошими диэлектриками и др., но в отличие от ПЭТФ размягчаются (плавятся) при низких температурах, что существенно облегчает и удешевляет переработку их в изделия. Особенно перспективно использование ПЭТ в качестве основы композиционных материалов для порошковой технологии, в частности процессов получения различного назначения покрытий, облицовок, изделий методами ротационного формования и др.

Целью настоящей работы является изучение технологических особенностей композиционных материалов на основе ПЭТ и свойств формируемых пленок и покрытий.

В качестве объекта исследования использовали ПЭТ, имеющий характеристики: температура размягчения – $T_p = 88\text{--}136$ °С, температура стеклования – $T_c = 63\text{--}68$ °С, вязкость характеристическая – 0,63–0,65 дл/г, карбоксильное число – 25–40 ммоль/кг. Полимер в порошкообразном виде получали на мельнице молотковой (тип ММ-8) методом механического измельчения гранул, предварительно охлажденных в жидком азоте. В качестве компонентов композиционных составов использовали в порошкообразном виде полимеры (полиамид, полиэтилен) и модификаторы (наполнители, пигменты и др.), традиционно применяемые в составах защитно-декоративного назначения – порошковых красок.

Образцы покрытий из порошков ПЭТ получали на металлических (сталь, алюминий) субстратах. Формирование покрытий проводили в широком диапазоне температур и времен термостатирования. Адгезионную прочность покрытий определяли

методом отслаивания металлической фольговой подложки от полимерного слоя под углом 180° на разрывной машине ZM-40 при скорости 50 мм/мин. В процессе испытаний фиксировали усилие, необходимое для отслаивания фольги от покрытия. Адгезию характеризовали силой, затрачиваемой на отслаивание подложки шириной 10 мм от полимерного слоя и выражали в Н/м. Для определения механических свойств (предела прочности при растяжении – σ_p и относительного удлинения при разрыве – ε_p) из пленок после отслаивания субстрата вырубали образцы в виде лопаток (с размером рабочей части 16x2 мм), которые испытывали на разрывной машине.

Для порошковых материалов, полученных из композиционных ПЭТ, установлены оптимальные технологические режимы получения покрытий, обладающих максимальными значениями адгезии к металлическим субстратам и прочности пленок на разрыв. По уровню свойств покрытия из термопластичных ПЭТ не уступают широко распространенным покрытиям на основе порошковых полиэфирных красок термореактивного типа, а в ряде случаев превосходят их по технологичности, поскольку требуют меньших времен формирования при одинаковых температурах.

УДК 621.762

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДЛЯ ПОСЛОЙНОЙ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВОЙ ПОЛОСЫ

С. В. Шишков, Ю. Л. Бобарикин

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Металлофторопластовая полоса представляет собой трехслойный композиционный материал, используемый для изготовления подшипников скольжения. Технология получения металлофторопластовой полосы на последнем этапе имеет операцию калибровки, заключающуюся в прокатке трехслойной заготовки, состоящей из следующих слоев: стальная основа, бронзофторопластовый слой и фторопластовый слой. Калибровка предназначена для окончательного формирования требуемой толщины слоев композита. При совместном пластическом деформировании слоев прокаткой возникает послойная неравномерность деформации, которая является одной из важных задач теории совместного пластического деформирования. Послойная деформация определяет соотношение толщин слоев при производстве композита, влияющее на эксплуатационные характеристики материала. Для управления величиной толщины слоев необходимо иметь зависимость для определения высоты слоев в металлофторопластовой полосе при ее прокатке на стадии калибровки.

Для решения поставленной задачи на основе анализа очага совместной пластической деформации слоев композита при прокатке была получена система уравнений, связывающих основные параметры послойной деформации с параметрами технологического процесса и свойствами материала:

$$\frac{H_{\text{пак}} - \Delta + H_{\text{ст}}}{H_{\text{пак}}} = 1 - \frac{h_{\phi} + h_{\text{бр}}}{H_{\phi} + H_{\text{бр}}}; \quad \frac{\varepsilon_{\phi}}{\varepsilon_{\text{бр}}} = \frac{\sigma_{S_{\text{бр}}}(\varepsilon_{\text{бр}})}{\sigma_{S_{\phi}}(\varepsilon_{\phi})},$$

где $H_{\text{пак}}$ – высота трехслойного пакета композита до прокатки; Δ – величина зазора между прокатными валками; $H_{\text{ст}}$ – высота стальной основы, условно не деформи-

руемой при прокатке; h_{ϕ} – высота фторопластового слоя после прокатки; $h_{\text{бр}}$ – высота бронзофторопластового слоя после прокатки; H_{ϕ} – высота фторопластового слоя до прокатки; $H_{\text{бр}}$ – высота бронзофторопластового слоя до прокатки; ε_{ϕ} – относительная степень деформации фторопластового слоя; $\varepsilon_{\text{бр}}$ – относительная степень деформации бронзофторопластового слоя; $\sigma_{S_{\phi}}(\varepsilon_{\text{бр}})$ – зависимость упрочнения бронзофторопластового слоя; $\sigma_{S_{\phi}}(\varepsilon_{\phi})$ – зависимость упрочнения фторопластового слоя.

Полученная аналитическая зависимость позволяет прогнозировать величины h_{ϕ} , $h_{\text{бр}}$ и адекватна экспериментальным данным.

УДК 621.671.001

АНАЛИЗ РАСЧЕТА ГЕРОТОРНОГО НАСОСА С ЭПИЦИКЛОИДАЛЬНЫМ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ

Д. Л. Стасенко, Д. В. Лаевский

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Предъявляемые требования к насосам и двигателям гидравлических систем сводятся к обеспечению заданных давления и производительности при минимальном весе и габаритах, максимального КПД, минимальной трудоемкости изготовления, простоты обслуживания, надежности работы в эксплуатационных условиях, большого ресурса.

Больше всего этим требованиям удовлетворяют шестеренные насосы, имеющие бесспорные преимущества по сравнению с другими типами насосов по своей простоте, весовым характеристикам, дешевизне и надежности [1].

Расчет распространяется на гидромашины с эпициклоидальным зацеплением, включающие шестерню с наружными зубьями и колесо с внутренними зубьями, число которых на единицу больше числа зубьев шестерни [2]–[4].

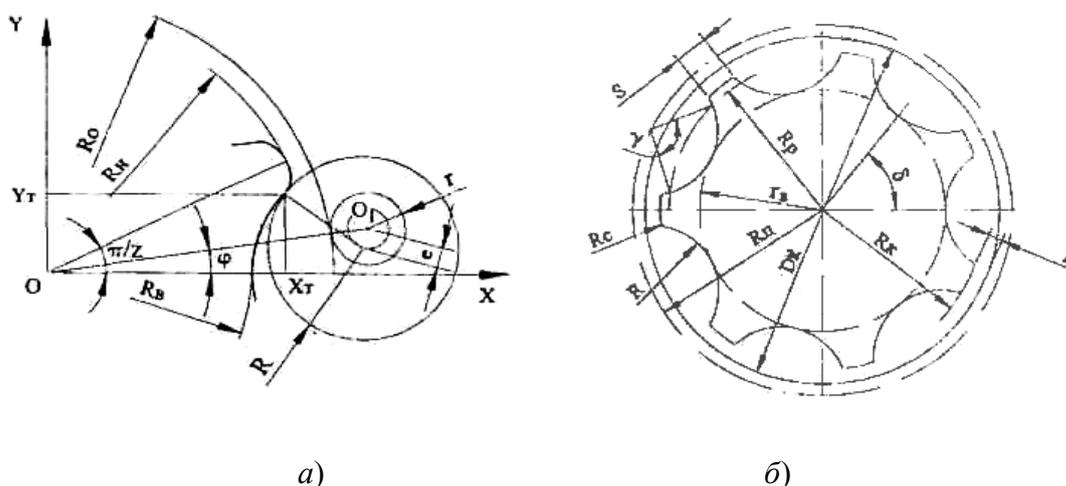


Рис. 1. Схема образования профиля зуба шестерни (а) и сопрягаемой шестерни (б)

Схема образования профиля зуба шестерни приведена на рис. 1, а. При предварительном расчете таких гидромашин исходят из рабочего объема, который приближенно определяется из уравнения

$$V_{\text{п}} = 4\pi e r h_{\text{п}} \left(z + 1 - \frac{R}{r} \right),$$

где z – число зубьев шестерни (внутреннего ротора); $h_{\text{п}}$ – приблизительная ширина шестерни; r – радиус окружности, обкатываемой без скольжения по основной окружности радиусом R_0 при построении профиля зубьев шестерни; e – эксцентриситет между осями шестерни и колеса; R – номинальный радиус зуба колеса, равный радиусу обрабатываемого инструмента при изготовлении шестерни.

Таким образом определены основные достоинства, недостатки и особенности применения героторных насосов. Представлен анализ расчетов сопрягаемых шестерни и колеса с эпициклоидальным зацеплением.

Литература

1. Юдин, Е. М. Шестеренные насосы / Е. М. Юдин. – Москва : Машиностроение, 1964.
2. Саенко, В. П. К расчету героторных гидромашин / В. П. Саенко, Р. Н. Горбатюк // Вестн. машиностроения. – 2004. – № 7.
3. Саенко, В. П. Условия ограничения сил в зацеплении героторных гидромашин / В. П. Саенко // Вестн. машиностроения. – 1991. – № 4. – С. 19–21.
4. Лурье, З. Я. Рабочий объем героторных гидромашин / З. Я. Лурье, В. П. Саенко // Вестн. машиностроения. – 2002. – № 2. – С. 11–13.

УДК 548.24

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ У МЕХАНИЧЕСКОГО ДВОЙНИКА, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ТЕПЛОВЫМИ ВЫДЕЛЕНИЯМИ НА ЕГО ГРАНИЦАХ

О. М. Остриков

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Процесс зарождения механических двойников сопровождается тепловыделением на их границах. Это приводит к образованию дополнительных термических напряжений, оказывающих влияние на междислокационное взаимодействие и на диффузионные процессы на конечной стадии развития двойника.

Целью работы стал расчет температурных полей, образованных остановкой развивающегося с большой скоростью двойника.

В случае точечного температурного источника мощностью T_p в плоском случае температурное поле задается выражением

$$T(x, y, t) = \frac{T_p}{4\pi a t} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{4at}\right),$$

где a – коэффициент температуропроводности; t – время.

Температурное поле двойника определяется по формуле

$$T(x, y, t) = T_1(x, y, t) + T_2(x, y, t),$$

где $T_1 = \int_{L_{AB}} T_p^{(1,0)} ds$; $T_2 = \int_{L_{CB}} T_p^{(2,0)} ds$ – криволинейные интегралы, которые определяют температурное поле $T_1(x, y, t)$ и $T_2(x, y, t)$ каждой границы (AB и CB) двойника и сводятся к определенным интегралам вида

$$T_1(x, y, t) = \int_0^L T_p^{(1,0)}(x, y, x_0, t) \sqrt{1 + (f_1'(x_0))^2} dx_0;$$

$$T_2(x, y, t) = \int_0^L T_p^{(2,0)}(x, y, x_0, t) \sqrt{1 + (f_2'(x_0))^2} dx_0.$$

Здесь, с учетом формулы для расчета распределения тепла от точечного источника, принято

$$T_p^{(1,0)}(x, y, x_0, t) = \frac{T_p^{(1)}}{4\pi at} \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2 + (y-f_1(x_0))^2}{4at}\right),$$

$$T_p^{(2,0)}(x, y, x_0, t) = \frac{T_p^{(2)}}{4\pi at} \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2 + (y-f_2(x_0))^2}{4at}\right),$$

где $T_p^{(1)}$ и $T_p^{(2)}$ – максимальные температуры на первой и второй границах двойника, соответственно; $f_1(x_0)$ и $f_2(x_0)$ – функции, которые определяют форму двойниковых границ.

Расчеты показали, что в момент времени, близкий к начальному моменту, высокая температура наблюдается на двойниковых границах. С течением времени фронт высокой температуры распространяется в нормальном, по отношению к границам, направлении в прилегающие к ним области. Спустя 10 с область высокой температуры приобретает вид окружности, внутри которой находится клиновидный двойник.

Предложенная методика расчета может быть использована для изучения эволюции термоупругих полей напряжений и термической активации дислокационных и диффузионных процессов на границах двойника после завершения его развития.

УДК 548.24

КИНЕТИКА ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНИЧНОГО ДВОЙНИКА

О. М. Остриков

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Рост двойников существенно зависит от процесса генерации частичных двойникующих дислокаций. Этот процесс имеет много общего с кинетическими, например, химическими реакциями и может быть описан аналогичными уравнениями.

Представим процесс генерирования двойникующих дислокаций как параллельную кинетическую реакцию, протекающую на двух двойниковых границах (рис. 1). Предположим, что в деформируемом твердом теле активировался источник двойникующих дислокаций, который испускает N_{ii} двойникующих дислокаций.

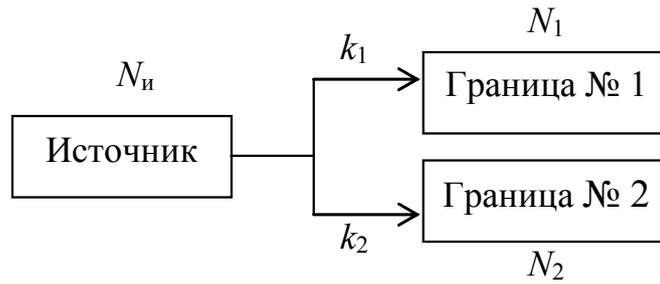


Рис. 1. Схематическое изображение параллельной кинетической реакции развития двойника клиновидной формы

Эти дислокации сформировали две двойниковые границы (рис. 2). Такой процесс можно описать следующей системой кинетических уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dN_n}{dt} = -(k_1 + k_2)N_n; \\ \frac{dN_1}{dt} = k_1N_n; \\ \frac{dN_2}{dt} = k_2N_n, \end{cases}$$

где t – время; k_1 и k_2 имеют физический смысл скоростей генерации двойникующих дислокаций на первой и второй границе двойника соответственно; N_1 и N_2 – число дислокаций источника, образующих первую и вторую границу двойника соответственно.

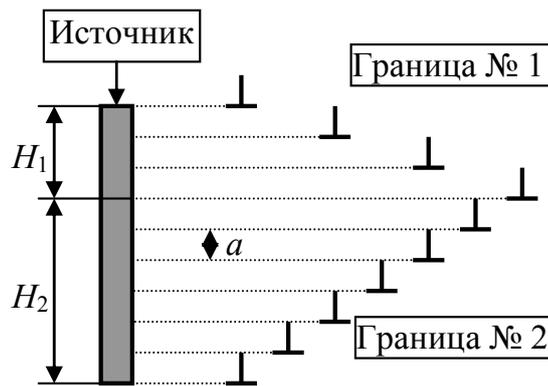


Рис. 2. Схематическое изображение источника двойникующих дислокаций и границ клиновидного двойника в виде совокупности двойникующих дислокаций ($H_1 = aN_1$; $H_2 = aN_2$)

В рамках развиваемой теории удалось определить время процесса формирования единичного двойника

$$t_{\text{дв}} = \frac{(N_{\text{и}})_{\text{макс}}}{k_1 + k_2},$$

где $(N_{\text{и}})_{\text{макс}}$ – максимальное число двойникующих дислокаций в источнике, и вывести формулу для расчета нормальной скорости роста двойника

$$V_n = 2ak(N_{\text{и}})_{\text{макс}} e^{-2kt},$$

где $k = k_1 + k_2$; a – расстояние между двойникующими дислокациями в плоскости, перпендикулярной плоскости двойникования.

Результаты расчета V_n показали хорошее согласие с экспериментальными данными.