

При отрицательном потенциале на шарах (кривая 2) коэффициент  $K_{\text{ВП}}$  с увеличением коэффициента поглощения светового потока меньше единицы заключением товарного масла и окисленного до  $K_{\text{П}} = 0,3$  ед., когда  $K_{\text{ВП}} > 1$ .

Таким образом, при отрицательном потенциале на шарах показатель износа больше, чем при его отсутствии.

На основании проведенных исследований установлено, что при создании электрического положительного потенциала на малой площади контакта (шара) на поверхности образуются защитные пленки, способные разделять поверхности трения и уменьшать износ как товарного, так и окисленного моторного синтетического масла ВНИИ НП – 50–1–4Ф. Это явление объясняется адсорбцией кислых продуктов окисления и образованием на поверхности трения органических соединений. Применение этого явления может значительно повысить надежность трибосистем.

#### Библиографические ссылки

1. Ахматов А. С. Молекулярная физика граничного трения. М.: Физматлит, 1963.
2. Hardy W. B. Collected Scientific Papers. Cambridge, 1936.
3. Bawden F. P. Tabor D Friction and Lubrication of Solids. Oxford, 1954.
4. Боуден Ф. П., Тейбор Д. Трение и смазка. М.: Машгиз, 1960.
5. Ковальский Б. И., Грибанов М. Е. Устройство для испытания трущихся материалов и масел: а. с. № 983522 СССР МКИ<sup>3</sup>. G01 № 19/02. 1982, Бюл. № 47.
6. Способ определения смазывающей способности масел: пат. 2186386. Рос. Федерация. МКИ<sup>3</sup>. G01 № 33/30, 3/56 / Б. И. Ковальский, С. И. Васильев, С. Б. Ковальский [и др.]. 2002, Бюл. № 21.

B. I. Kovalsky, Yu. N. Bezborodov, S. B. Kovalsky, E. G. Maltseva, N. N. Malysheva

### INFLUENCE OF ELECTRIC POTENTIAL ON MECHANO-CHEMICAL PROCESSES AT THE BOUNDARY SLIDING FRICTION

*The testing results of motor oils by the three-ball machine of friction are resulted at change of polarity of a constant voltage on samples.*

*Keywords: a current proceeding through frictional contact, mechano-chemical processes, diameter of a stain of deterioration.*

© Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Ковальский С. Б., Мальцева Е. Г., Мальшева Н. Н., 2011

УДК 621.762

Г. Г. Крушенко, М. Н. Фильков

### ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО КОМПОЗИТА С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ УПРОЧНЯЮЩИХ НАНОПОРОШКОВ

*В результате обработки в планетарной мельнице композиции, состоящей из частиц алюминия и нанопорошка нитрида титана TiN, разработана технология изготовления алюминиевого композита с повышенными механическими свойствами.*

*Ключевые слова: алюминиевые композиты, нанопорошки химических соединений, механические свойства.*

В работе [1] описана технология изготовления алюминиевого композиционного материала в виде протяженных профилей с волокнистой структурой: пруток (рис. 1), профили (рис. 2) с применением метода экструзии композиции, состоящей из частиц алюминия и нанопорошков (НП) высокопрочных химических соединений. Перед прессованием эти компоненты загружали в тонкостенный алюминиевый контейнер и производили его вращение в установке с эксцентричными осями при скорости 60 об/мин, в результате чего в поверхность частиц алюминия прочно внедрялись частицы НП. При этом использовалось более 20-ти видов НП (бориды, карбиды, нитриды, оксиды, силициды и смеси некоторых из них), полученные как методом плаз-

мохимического, так и электродугового синтеза (только  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

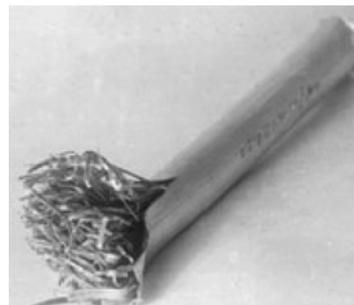


Рис. 1. Типичный вид композита (пруток  $\varnothing 9,5$  мм), отпрессованного из алюминиевых гранул и НП

Результаты испытаний механических свойств композитов, полученных, например, из композиции «гранулы плюс НП», показали, что их прочность и пластичность превышают таковые для прессовок из одних гранул алюминиевого сплава АД (см. таблицу), что связано собственно не только с волокнистой структурой этих материалов, но и с тем, что в процессе экструзии в поверхность алюминиевых частиц внедряются частицы НП, что было установлено с помощью микроскопического изучения их поверхности.



Рис. 2. Профили с волокнистой структурой, отпрессованные из частиц алюминия и нанопорошков (для сравнения в левом верхнем углу фотографии показаны две технологические пробы  $\varnothing$  72 мм)

Для проверки этого предположения по методике [2] была определена прочность выделенных из полученного композита волокон. При этом было установлено, что среднее значение временного сопротивления  $\sigma_b$  составляет 128,8 МПа.

С целью установления возможности повышения прочности алюминиевых волокнистых композитов была выполнена работа по увеличению в их объеме содержания НП. При этом использовали НП нитрида титана TiN, полученного методом плазмохимического синтеза, в связи с тем, что его применение в качестве модификатора в наибольшей степени позволило повысить механические свойства литых деталей сложной конфигурации типа «конусообразный обтекатель» (масса 25 кг) из сплава типа АЛ4М. К прочностным характеристикам этих деталей предъявляются повышенные требования, так как они работают в экстремальных условиях [3].

В качестве основы композита применяли алюминиевую «сечку», которая представляла собой фрагменты длиной 1...4 мм, полученные «гильотинированием» алюминиевой проволоки  $\varnothing$  2,0 мм, а также алюминиевый

порошок с размером частиц в интервале 0,5...0,7 мкм (рис. 3), полученный распылением. Средний размер частиц НП TiN составлял 40 нм (рис. 4). Смешивание частиц алюминия и НП TiN производили с помощью планетарной мельницы, в барабан которой загружали в качестве мелющих тел шарики  $\varnothing$  10 мм из нержавеющей стали.



Рис. 3. Оптическая фотография алюминиевого порошка ( $\times 50$ )

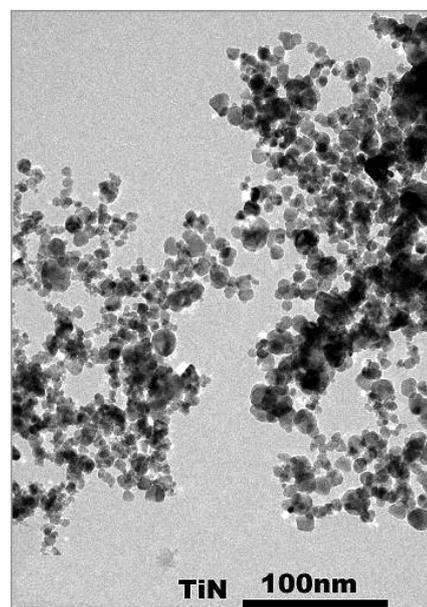


Рис. 4. Нанопорошок нитрида титана TiN

Известно, что в процессе работы шаровых мельниц практически всегда происходит загрязнение обрабатываемых компонентов материалом мелющих тел и барабана. Поэтому на первом этапе с целью предотвращения попадания материала барабана и шариков в композиты, которые предстояло прессовать из композиции «сечка»/алюминиевый порошок + НП TiN, на стенке барабана создавали гарнисаж из алюминия (оксида алюминия) путем загрузки в него «сечки» и шариков в соотношении 1:15, что заполняло примерно треть барабана. После чего вводили в действие мельницу на 10 мин при скорости вращения 600 об/мин.

**Механические свойства прутков  $\varnothing$  9,5 мм, отпрессованных из гранул алюминиевого сплава АД (не менее 98,8 % Al) и нанопорошков BN и TiCN**

Состав композиции	Временное сопротивление разрушению $\sigma_b$		Предел текучести $\sigma_{0,2}$		Относительное удлинение $\delta$ , %	
	МПа	Прирост, %	МПа	Прирост, %	%	Прирост, %
Гранулы из алюминиевого сплава АД	98,1	—	48,1	—	42,8	—
Гранулы сплава АД + НП BN	113,8	16,0	56,9	18,3	43,2	0,9
Гранулы сплава АД + НП TiCN	121,6	24,0	59,9	22,5	43,9	2,6

После остановки мельницы обработанную композицию удаляли из барабана и отбирали из нее шарики, а остатки «сечки» в дальнейшем не использовали. При этом осмотр поверхностей стенок мельницы и шариков показал, что они, как и предполагалось, оказались покрытыми слоем оксида алюминия толщиной в десятые доли миллиметров.

Следует отметить, что оксид алюминия, присутствующий на частицах алюминия, обладает исключительно высокой твердостью – 22 ГПа [4] (по шкале Мооса – 9), с чем связана и его хрупкость, поэтому в процессе работы мельницы в результате силового воздействия перемещающихся внутри стакана шариков оксидная пленка разрушается, и освобождающийся алюминий «намазывается» на поверхности стакана и шариков, создавая защитный гарнисаж. Разрушение оксидной пленки на алюминиевом порошке в результате его обработки в шаровой мельнице было установлено и в работе [5], что авторы также объяснили ее хрупкостью.

На втором технологическом этапе в барабан мельницы, плакированный оксидом алюминия, загружали те же шарики (также плакированные оксидом алюминия) и композицию «сечка» + НП TiN» в различном их соотношении. Обработку композиции производили в течение 10 мин при скорости вращения 600 об/мин.

Обработанную композицию прессовали в прутки разного диаметра при усилии прессования 20...23 т. При этом соотношение «сечка» + НП TiN» в пределах 40/44 : 1 оказалось оптимальным в отношении качества прутка: чистота его поверхности оказалась сопоставимой с поверхностью прутков, отпрессованных из цельных заготовок алюминия, а внутренний объем имел волокнистое строение (рис. 5). При этом содержание НП TiN в прутке составляло порядка 2,4...2,5 %, что в среднем на 31 % больше, чем содержат прутки (1,8...1,9 % НП), изготовленные без смешивания частиц алюминия и НП TiN в планетарной мельнице.

По такой же технологии готовили композицию «алюминиевый порошок + НП TiN», из которой по описанной выше технологии прессовали прутки. При этом оптимальное соотношение этих компонентов оказалось равным 1 : 12, т. е. содержание НП TiN в прутке составило порядка 7,7 %, что в еще большей степени позволяет уменьшить массу вводимого в расплав прутка.

Испытания волокон на растяжение по методике [2] показало, что их временное сопротивление  $\sigma_v$  для композита «алюминиевая сечка» + НП TiN в среднем составляет 133,4 МПа, а для композита «алюминиевый порошок + НП TiN» – 138, 5 МПа.

Увеличение прочности волокон по сравнению с применением ранее описанной технологии [1] можно связать только с предварительной обработкой прессуемых композиций в планетарной мельнице, в процессе которой происходит так называемая механоактивация [6] обрабатываемых материалов – процесс активирования твердых веществ механической обработкой, в данном случае шарами. При этом, помимо измельчения в обрабатываемых материалах происходит накопление структурных дефектов, увеличивается кривизна поверхности, могут происходить фазовые превращения и даже аморфизация кристаллов, что влияет на их химическую активность.

Механоактивация является сложным процессом, ход которого можно регулировать, варьируя большое число управляющих параметров, влияющих на энергетические, температурные и деформационные характеристики. К управляющим параметрам при использовании планетарных мельниц относится скорость вращения водила (диска), материал и размеры мелющих тел, материал барабана, суммарная масса мелющих тел, отношение объемов обрабатываемого материала и мелющих тел.

К основным характеристикам процесса механообработки относятся:

- скорость и частота соударений шаров;
- энергонапряженность;
- доза введенной механической энергии;
- локальная и фоновая температура;
- механические частоты нулевого, первого и второго порядков, характеризующие интенсивность пластической деформации порошка в ходе механоактивации.

Однако точное определение этих характеристик на сегодняшний день не представляется возможным. Их часто измеряют экспериментально [7], используя разного рода упрощения и допущения, пытаются оценивать аналитически [8], в рамках сильно упрощенных моделей, или определяют в ходе компьютерного моделирования [9]. Но при этом, как правило, удается получить только грубые оценки параметров.

В связи с этим, имея в виду сложность регулирования механизмов, имеющих место при соударении обрабатываемых в планетарной мельнице материалов с шарами и стенками барабана, полученные в настоящей работе результаты в виде повышенного содержания НП в волокнистых композитах достигнуты экспериментально путем варьирования содержаний обрабатываемых в мельнице материалов, количества шаров и числа оборотов в минуту мельницы.



Рис. 5. Типичный вид прутка, отпрессованного из различных композиций «алюминиевая сечка + НП TiN» и «алюминиевый порошок + НП TiN»: а – внешний вид прутка 6,0 мм; б, в – его внутреннее строение

**Библиографические ссылки**

1. Крушенко Г. Г., Фильков М. Н. Использование нанопорошков химических соединений для изготовления алюминиевых профилей с волокнистой структурой // Конструкции из композиционных материалов. 2010. № 3. С. 8–12.
2. Буров А. Е., Крушенко Г. Г., Москвичев В. В. Оценка прочности алюминиевого волокнистого композита, полученного с использованием нанопорошков // Вычислительные технологии. 2004. Т. 9; Вестн. КазНУ им. аль-Фараби. Сер. Математика, механика, информатика. № 3 (42). (Совм. выпуск. Ч. 2). С. 353–358.
3. Крушенко Г. Г. Модифицирование доэвтектического алюминиево-кремниевого сплава нанопорошком нитрида титана при литье сложнонагруженных деталей транспортного средства // Технология машиностроения. 2008. № 11. С. 5–7.
4. Properties of aluminium oxide coating on aluminium alloy produced by micro-arc oxidation / Xin Shi-Gang [et al] // Surface and Coatings Technology. 2005. Vol. 199. Iss. 2–3. P. 184–188.
5. Шеламов В. А., Литвинцев А. М. Физико-химические основы производства полуфабрикатов из спеченных алюминиевых порошков. М.: Металлургия, 1970.
6. Бодырев В. В. Экспериментальные методы в механике твердых неорганических веществ. Новосибирск: Наука, 1983.
7. Butyagin P. Yu., Pavlichev I. K. Determination of energy yield of mechanochemical reactions // Reactivity of Solids. 1986. Vol. 1. P. 361–372.
8. Iasonna A., Magini M. Power measurements during mechanical milling. An experimental way to investigate the energy transfer phenomena // Acta Materialia. 1996. Vol. 44. No. 3. P. 1109–1117.
9. Шелехов Е. В., Свиридова Т. А. Моделирование движения и разогрева шаров в планетарной мельнице. Влияние режимов обработки на продукты механоактивации смеси порошков Ni и Nb // Материаловедение. 1999. № 10. С. 13–22.

G. G. Krushenko, M. N. Filkov

**TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF ALUMINUM COMPOSITE WITH HIGH CONCENTRATION OF REINFORCE NANOPOWDERS**

*The authors describe technology of production of aluminum composite with increased mechanical properties which was developed as a result of processing the composition consisted of aluminum particles and nitride titanium TiN nanopowder in planetary-ball-mills.*

*Keywords: aluminum composite, nanopowders chemical compounds, mechanical properties.*

© Крушенко Г. Г., Фильков М. Н., 2011

УДК 620.22.621.763

Э. М. Никифорова, Р. Г. Еромасов, В. Ю. Таскин, В. И. Аникина

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

*Приведены результаты исследований дисперсных структур керамических масс с минерализаторами радиоспектроскопическими методами ядерного, магнитного и электронного парамагнитного резонансов.*

*Нашло экспериментальное подтверждение предположение, что морозостойкость керамических изделий в определенной мере зависит от изменений в степени подвижности молекул воды в заданном температурном интервале, а также от температур начала интенсивного торможения подвижности молекул воды и ее полного замерзания.*

*Повышение морозостойкости керамических материалов с низковязкими минерализующими добавками определяется созданием однородных структур с тонкими порами и капиллярами, не приводящих к миграции воды, пластическому перемещению льда и, как следствие, к внутреннему давлению в керамических изделиях.*

*Ключевые слова: керамические материалы, минерализатор, морозостойкость, термореологические свойства.*

Оценка эффективности действия минерализаторов на процессы структурообразования керамических масс, их физико-технические свойства в зависимости от динамической вязкости минерализаторов нашла подтверждение

при применении радиоспектроскопических методов исследований керамических дисперсных систем.

Исследованы дисперсные структуры керамических масс с минерализаторами радиоспектроскопическими