

Показано значне зниження вмісту концентраторів напружень на оброблених поверхнях при використанні нових абразивних композитів.

**Ключові слова:** абразивні композити, жароміцний сплав, концентратори напружень.

*The parameters of grinding of heat-resistant alloys with new polymer-abrasive composites containing  $Cu^{2+}$  and  $Mn^{2+}$  metal-polymer complexes is shown. The influence of polymerization conditions on the wear resistance of the abrasive composites was studied. The correlation of the fatigue resistance of machined parts of heat-resistant alloys and technological parameters of tools manufacture was found. A significant reduction of number of stress concentrators on the processed surfaces is shown.*

**Keywords:** abrasive composites, heat-resistant alloys, stress concentrators.

### Литература

1. Инструментально-технологические разработки ИСМ им. В.Н. Бакуля НАНУ в 2010 году / Новиков Н.В., Бондаренко Н.А., Клименко С.А., Пащенко Е.А. // Инструментальный світ. - № 4(52). – 2011. – С. 4–11.
2. Опыт применения инструмента из сверхтвердых материалов в промышленности / Пащенко Е.А., Волкогон В.М., Федорович В.А., Барабан В.П., Барабан С.В. // Оборудование и инструмент для профессионалов. Серия Металлообработка. - 2011, № 1, С. 68–73.
3. Алмазные шлифовальные круги плоские со специальным профилем для обработки твердосплавных фасонных поверхностей / Сидоренко Л.С., Пащенко Е.А., Савченко Д.А., Галков А.В. // Инструментальный світ. - № 3 (51) – К.: 2011. – С. 39–42.
4. Износостойкие круги из монокристаллов алмаза, с металлополимерным покрытием на «потеющей» полимерной связке для резания твердого сплава / Гаврилова В.С., Пащенко Е.А., Кошкин А.М. и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. - Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, НАН Украины. 2012. – вып. 15. – С. 553–556.

Поступила 29.06.15 г.

УДК 621.921

**Д. А. Савченко**, канд.техн.наук

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

### **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА КОМПОЗИТОВ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ ОЛИГОФЕНИЛЕНОВ КАК СВЯЗУЮЩИХ АБРАЗИВНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЗАТОЧЕННЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ФРЕЗ**

*Рассмотрено влияние условий получения ванадийсодержащих металлоолигомеров как связующих для изготовления алмазосодержащих инструментальных композитов на период стойкости заточенных торцевых фрез из твердого сплава. Изучен механизм такого влияния, обусловленный особенностями состава и строения композитов.*

**Ключевые слова:** металлоолигомер, олигофенилен, ванадий, графен, период стойкости.

### **Введение**

Абразивные композиционные материалы являются необходимой составляющей технологических процессов изготовления и заточки фрез, а также других лезвийных инструментов из твердых сплавов. Эксплуатационные характеристики абразивных композитов в значительной степени влияют на износостойкость заточенных инструментов. Увеличение продолжительности работы торцевых фрез без перетачивания за счет улучшения условий контактного взаимодействия поверхности твердого сплава и абразивного композита можно достигнуть усовершенствованием структуры инструментального материала. Перспективным решением упомянутой задачи является использование абразивосодержащих композитов на основе металлополимеров, содержащих графен-графановые плоскости.

Цель настоящей работы – показать перспективность использования шлифовального инструмента на основе полимерных связей, содержащих графен-графановые структурные элементы, а также определить взаимосвязь условий получения ванадийсодержащего олигомера и продолжительности работы торцевых фрез, обработанных кругами на основе этого олигомера без перетачивания.

#### Экспериментальная часть

При изготовлении образцов ванадийсодержащих олигомерных материалов и композитов из них в качестве исходных компонентов использовали комплексные соединения ванадия, а также олигофенилен. Строение ванадийсодержащего полимера и композита на его основе анализировали с использованием широкоугольного рентгеновского рассеяния на установке ДРОН-1,5 с использованием фильтрованного излучения  $\text{CuK}_\alpha$  с длиной волны 0,154 нм. Инструментальная угловая ширина коллимации составляла 2 мин. Эксплуатационные характеристики торцевых фрез определяли в условиях ЗМКБ «Прогресс». Определяли взаимосвязь температуры синтеза олигомера, структуры металлополимера и долговечности работы торцевых фрез при фрезеровании алюминиевого сплава.

Метод исследования влияния температуры на структуру и свойства заключался в следующем: растворы олигофенилена и комплексных соединений ванадия нагревали до определенной температуры, после чего раствор комплексного соединения постепенно добавляли в раствор олигофенилена. Температурный диапазон составлял 283–373 К. Растворы готовили с концентрацией: соединение ванадия – 48 г/л, олигофенилен – 100 г/л. После добавления последней порции соли в олигомер и последующего его прогревания в течение 10 мин. выпадал обильный осадок. Осадок отфильтровывали на воронке Бюхнера и промывали большим объемом дистиллированной воды для удаления водорастворимых побочных продуктов. Далее олигофенолят ванадия подвергали термообработке при температуре 973 К для удаления органической составляющей синтезированного соединения. Остаток после термообработки представлял собой оксид соответствующего металла, после пересчета на стехиометрическое содержание металла в оксиде выводили содержание ванадия в металлсодержащем олигомере [1].

Из полученных олигомеров получали полимеры без наполнителя, а также композиции, содержащие порошок алмаза АС 20 125/100. Температура получения металлополимеров и металлополимерных композитов на основе комплексных соединений ванадия составляла 548 К.

#### Результаты исследования и их обсуждение

При получении олигомера с повышением температуры нагревания реакционного раствора повышалась степень вхождения металла в олигомер. Зависимость вхождения металла в олигомер от температуры в реакционном объеме приведена в табл. 1

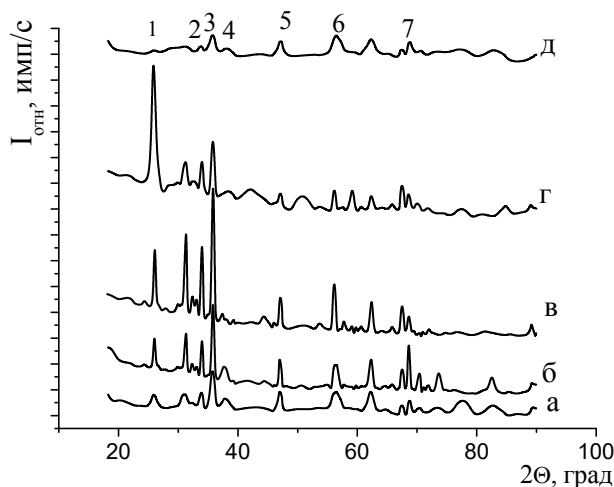
Таблица 1. Зависимость количества соединения ванадия в составе синтезированного олигомера от начальной температуры реакции

Температура олигомеризации, К	295	313	323	343	363
Количество исходного соединения ванадия, вошедшего в состав олигомера, мас. %	43	49	52	54	38

При повышении температуры реакции увеличивается количество ионов ванадия, вошедших в состав металлоолигомера.

В процессе полимеризации происходит агрегация ионов металла, приводящая к образованию крупных частиц и кластеров, состоящих главным образом из нестехиометрических оксидов соответствующего элемента. Проследить за такими изменениями можно при использовании метода широкоугольного рентгеновского рассеяния. Этот метод позволяет также доказать существование графеновых и графановых слоев в металлополимерном материале, образующемся при термообработке исходных олигомеров под давлением.

Результаты широкоугольного рентгеновского исследования металлополимеров, содержащих производные ванадия, показаны на рисунке.



Дифрактограммы полифенолята ванадия после полимеризации олигомера, полученного при температуре: а–295К; б–313К; в–323К; г–343К; д–363К

Результаты рентгенографии показали, что в металлополимерном материале содержатся слои графена и графана (пик 1 на рисунке), а также частицы металла и оксидов металла (пики 2–7 на рисунке). Расшировка цифр, указанных на дифрактограммах, приведена в табл. 2.

Таблица 2. Расшировка цифр, указанных на рисунке

Цифры на дифрактограммах						
1	2	3	4	5	6	7
Соединения, ответственные за дифракционный максимум						
Слои графена и графана	$V_2O_3$	$V_2O_3$	$V_2O_3$	$V_2O_5$	$VO_x$	$VO_x$

С повышением температуры и давления полимеризации количество графен-графановых структур в металлополимерах увеличивается на что указывает усиление интенсивности пиков 1 [2, 3].

Результаты изменения количества структурных фрагментов, образованных пакетами графен-графановых плоскостей в металлополимерном композиционном материале, содержащем АС 20 125/100 как наполнитель, обусловленного изменениями температуры получения металлоолигомера, приведены в табл. 3.

Таблица 3. Зависимость количества графен-графановых структур в композиционных материалах на основе металлополимеров от температуры синтеза исходного ванадийсодержащего олигомера

Температура получения композитов, К				
295	313	323	343	363
Интенсивность пика, у.е.				
1,07	1,13	1,17	1,21	1,00

Следующий этап работы предусматривал изучение особенностей синтезированных олигомеров как связующих для изготовления алмазсодержащих инструментальных композитов.

Как указывалось, оценивали влияние разработанных инструментальных композитов на качество обработанных поверхностей. Износостойкость торцевых фрез является одной из основных характеристик режущего инструмента, определяющих его работоспособность. Её следует определять

как для вновь создаваемых, так и доработанных инструментов [4]. Изучили влияние температуры получения олигомеров для металлополимерных композитов на основе ванадия на продолжительность работы без перетачивания торцевых фрез из твердосплава (табл. 4).

Таблица 4. Изменение периода стойкости торцевых фрез из сплава ВК6, заточенных кругами на основе металлополимерных связок, содержащих ванадий, а также кругами фирмы «Тиролит»

Температура получения олигомера на основе ванадия, К					Инструмент фирмы «Тиролит»
295	313	323	343	363	
Период стойкости, отн.ед.					
1,08	1,14	1,30	1,43	1,00	1,24
Коэффициент трения по сплаву ВК10					
0,11	0,08	0,07	0,06	0,15	0,07

Чтобы оценить эксплуатационные характеристики алмазных кругов на металлополимерной связке для сравнения использовали круги фирмы «Тиролит». Обработка фрез инструментом на основе металлополимерной связки, содержащей ванадий, приводит к повышению их стойкости в 1,13–1,15 раза в сравнении с образцами, заточенными импортным инструментом.

Проанализировали зависимость между коэффициентом трения металлополимерных композитов по твердому сплаву ВК10 (табл. 4) и содержанием графен-графановых структур в связке инструмента (см. табл. 3). Как видим, с увеличением содержания графен-графановых структур в связке в 1,1–1,2 раза коэффициент трения связки по сплаву ВК10 уменьшается в 1,2–2,5 раза. Минимальное значение коэффициента трения металлополимерного композита по сплаву ВК10–0,06 достигается при температуре приготовления металлоолигомера 343 К, при которой обеспечивается максимальное количество прекурсоров графен-графановых структур.

Можно выдвинуть предположение, что ионы, кластеры и частицы ванадия в металлополимерах и композитах на их основе являются эффективными катализаторами формирования графен-графановых плоскостей в процессе полимеризации. На это указывают как литературные данные [5], так и данные на рисунке и табл. 3. Соответственно увеличение количества металла, вошедшего в состав олигомера, с повышением температуры олигомеризации может приводить к увеличению количества графеновых и графановых структур в СТМ-содержащих композитах. В свою очередь, увеличение содержания графен-графановых структур в материале приводит к улучшению триботехнических характеристик шлифовального инструмента на основе такой связки и улучшению характеристик сформированного поверхностного слоя фрез. Улучшение качественных показателей поверхности проявляется в повышении периода стойкости заточенного лезвийного инструмента.

#### Выводы

Показана эффективность использования шлифовального инструмента на основе металлополимерных композитов, содержащих ванадий. Доказано увеличение периода стойкости торцевых фрез в 1,13–1,15 раз при использовании разработанных композитов. Определено, что повышение температуры синтеза исходного металлоолигомера приводит к структурным изменениям в связке, способствующим улучшению работоспособности фрез. В основе выявленной взаимосвязи лежит закономерное увеличение количества графен-графановых структур в металлополимерном композите на основе ванадия с увеличением количества данного металла, вошедшего в состав исходного металлоолигомера в процессе полимеризации.

*Розглянуто вплив умов отримання ванадіймісних металоолігомерів як звязуючих для виготовлення алмазовмісних інструментальних композитів на період стійкості торцевих фрез з твердого сплаву. Вивчено механізм такого впливу, зумовлений особливостями складу та будови композитів.*

**Ключові слова:** металоолігомер, олігофенілен, ванадій, графен, період стійкості.

*The influence of obtaining condition of vanadium-containing metalloligomers for diamond-containing instrumental composites on efficient life of face milling cutter was considered. Influence mechanism, which was based on composition features and on structure composite was studied.*

**Key words:** *metallooligomers, oligophenylene, vanadium, graphene, efficiency.*

### Литература

1. Савченко Д. А. Гибридные органо-неорганические полимеры как новый класс инструментальных материалов. Оптимизация синтеза и механизм реакции / Д. А. Савченко // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения : сб. науч. тр.– К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2013. – Вып. 16. – С. 381–390.
2. Ishigami M. Atomic structure of graphene on SiO<sub>2</sub> / M. Ishigami, J.H. Chen, W.G. Cullen // Nano letters. – 2007. – 7. – N 6. – P. 1643–1648.
3. Synthesis of graphene-like structures in hybrid organic-inorganic polymers / D. Savchenko, E. Paschenko, A. Chernenko, O. Lazhevskaya // Intern. conf. «EMRS–2013», (15–19 sept. 2013, Warsaw): abstract book. – W., 2013. – P. 33
4. Ткачев А. Г. Типовые технологические процессы изготовления деталей машин / А. Г. Ткачев, И. Н. Шубин. – Тамбов : Изд-во Тамбовск. гос. техн. ун-та, 2004. – 112 с.
5. Mukhopadhyay K. A simple and novel way to synthesize aligned nanotube bundles at low temperature / K. Mukhopadhyay, A. Koshio, N. Tanaka // Japan. J. Appl. Phys. – 1998. – 37. – N 10. – P. 1257–1259.

*Поступила 26.06.15*

УДК 621.921

**Д. А. Савченко**, канд.техн.наук; **Н. Н. Нековаль**, **В. Н. Бычихин**,  
**О. В. Лажевская**, канд.техн.наук; **А. Н. Черненко**

*Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

### КОМПЛЕКСЫ ОЛИГОФЕНИЛЕНОВ С ЖЕЛЕЗОМ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНЫХ КОМПОЗИТОВ

*Изучена зависимость рабочих характеристик шлифовального инструмента на металлополимерной связке от условий получения пре-металлополимеров на основе соединений железа. Предложен механизм, лежащий в основе этой зависимости.*

**Ключевые слова:** *пре-металлополимер, железо, графан, относительный расход алмаза, шлифовальный круг.*

#### Введение

Повышение стойкости шлифовального инструмента не является основной задачей при его совершенствовании. Однако во многих случаях, например при использовании станков с ЧПУ, высокая размерная стойкость кругов является необходимым условием их эффективности при использовании абразивного инструмента на основе металлополимеров различного состава. Металлополимерная связка способна объединять преимущества полимерной и керамической связок, что проявляется как в структурных характеристиках, так и в особенностях контактного поведения.

Металлополимерные композиты, содержащие металл в виде ионов или кластеров в составе координационных фрагментов полимерной сетки являются одним из перспективных направлений исследования в современном материаловедении. Изучение металлополимерных связок на основе железа представляет повышенный интерес вследствие относительной лёгкости обратимых переходов иона железа между состояниями Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup>, что позволяет получать новые структурные характеристики полимера за счет каталитических свойств железа. Это, в свою очередь, может