

УДК 621.922

**А. Е. Шило, С. Е. Шейкин**, доктора технических наук,  
**В. С. Гаврилова, В. Н. Ткач**, канд. физ.-мат. наук, **И. Ю. Ростоцкий**

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

### **АНТИФРИКЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ ИЗ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА ДЛЯ ХОЛОДНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**

*Properties of the solid technological lubrication for titanic alloys constituting an anti-friction composite based on the modified epoxide resin are described. Application of the indicated composite allows to carry out the multisequencing deforming reaching of details from the alloy of VT1-0 by a cemented-carbide tool at contact pressures to 2,2 GPa.*

#### **Введение**

Процессы холодного пластического деформирования (ХПД) по сравнению с процессами механической обработки на основе резания формируют повышенные эксплуатационные характеристики деталей за счет упрочнения поверхностного слоя, создания остаточных сжимающих напряжений, низкой шероховатости обработанной поверхности и др. При этом уменьшается отход металла в стружку, а также повышается производительность [1]. Для обработки перспективных в аэрокосмической технике, медицине, криогенной технике и других сферах титановых сплавов применение ХДП ограничено из-за повышенной склонности к схватыванию с инструментальными материалами и отсутствия технологических смазок. Использование технологических (как жидких, так и твердых) смазок, применяемых для ХПД высоколегированных сталей, при обработке титановых сплавов положительного результата не дало [2–4].

Для деформирующего протягивания деталей из титановых сплавов разработана твердая технологическая смазка, представляющая собой антифрикционную противозадирную композицию на основе модифицированной эпоксидно-диановой смолы. При испытании смазки схватывания инструмента с обрабатываемым материалом и ее отслоения от обрабатываемой поверхности не наблюдалось [5].

В данной работе проведено комплексное изучение свойств эпоксидной композиции в целом, а также ее тонких слоев, нанесенных на металл, до и после пластической деформации, определено влияние каждого компонента на адгезионную прочность композиции.

#### **Методика исследования**

В качестве объектов исследования были взяты пленки, полученные при отверждении полимерных композиций между двумя полированными поверхностями металлических плит, покрытых тонким слоем антиадгезива. Предельные механические свойства при одноосном растяжении (разрушающее напряжение  $\sigma_p$  и деформация при разрыве  $\varepsilon_p$ ) определяли с помощью прибора типа Поляни с жестким динамометром и автоматической регистрацией измеряемых величин. Скорость деформирования составила  $3,83 \cdot 10^{-5}$  м/с. Модуль упругости ( $E$ ) рассчитывали по наклону начального участка кривой  $\sigma$ – $\varepsilon$ .

Адгезионную прочность при сдвиге ( $\tau_v$ ) и отрыве ( $\sigma_{отр}$ ) определяли на стальных образцах (Ст. 3).

#### **Результаты**

Результаты исследования деформационно-прочностных и адгезионных свойств приведены в таблице. Из данных таблицы следует, что указанные свойства композиции при выбранной марке эпоксидно-диановой смолы зависят также от вида наполнителя, отвердителя и модификатора смолы.

### Состав и характеристики полимерных композиций

Номер композиции	Состав эпоксидной композиции			$\sigma_p$ , МПа	$\epsilon_p$ , %	$E$ , ГПа	$\tau_b$ , МПа	$\sigma_{отр}$ , МПа
	Смола	Наполнитель	Отвердитель					
1	ЭД	ВДН-1	RN-1	68,8	1,8	1,8	27,3	42,5
2	ЭДМ	ВДН-1	RN-1	82,8	3,7	1,4	40,1	53,5
3	ЭДМ	ВДН-2	RN-1	72,8	2,9	1,5	36,1	50,5
4	ЭДМ	ВДН-1	RN-2	48,5	2,9	1,7	24,5	32,7

Объектом исследования была выбрана производная эпоксидиановой смолы ЭД-20 с высокими прочностными показателями. Однако известно, что отвержденные эпоксидные смолы несмотря на большую адгезию к металлам довольно хрупкие. Для повышения пластичности эпоксидной композиции подобрали модификатор с реакционно-способными группами, введение которого в композицию увеличило ее адгезионную прочность при сдвиге, что очень важно для методов ХПД [6].

Изучение изменения прочностных и адгезионных характеристик эпоксидной композиции и кинетики процесса отверждения под воздействием различных отвердителей позволило подобрать нужный отвердитель, применение которого также повысило технологические свойства композиции.

Установлено, что при холодном пластическом деформировании наличие в эпоксидной композиции антифрикционного наполнителя не только влияет на ее смазочные свойства, но и определяет уровень межфазной прочности, повышая адгезию композиции к титановому сплаву.

Введение наполнителя в олигомерную композицию дополнительно способствует образованию особой структуры, характерной для сетчатых эпоксидных полимеров [7].

Влияние наполнителей на формирование сетчатых структур определяется взаимодействием реакционно-способных групп системы с поверхностью наполнителя.

Наименее изученным аспектом при ХПД титановых сплавов является изменение структуры контактирующих тонких слоев полимера и металла. Результаты исследования образцов титанового сплава с нанесенным покрытием в сканирующем электронном микроскопе в отраженных электронах свидетельствуют, что между полимерной смазкой и сплавом в процессе ХПД при контактном давлении до 2,2 ГПа образуется переходной слой толщиной около 3 мкм (рис. 1), в котором идентифицированы химические элементы как сплава ( $Ti$ , концентрация по массе  $C \sim 66\%$ ), так и полимерного покрытия ( $C$ ,  $C \sim 28\%$ ). Толщина оставшегося покрытия составляет около 4 мкм.

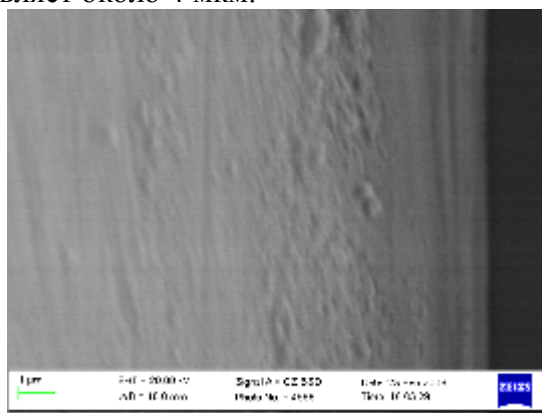


Рис. 1. Структура среза «полимерное покрытие – титановый сплав»

Исследование методом локального рентгеноспектрального анализа состава полимерного покрытия и его микроструктуры в отраженных электронах до (рис. 2) и после (рис. 3) пластической деформации выявило наличие в покрытии химических элементов (углерода  $C$ ,

кислорода O), присущих только ему, а также измельчение его зерен за счет пластического деформирования. По-видимому, при этом изменяется также надмолекулярная составляющая полимера.

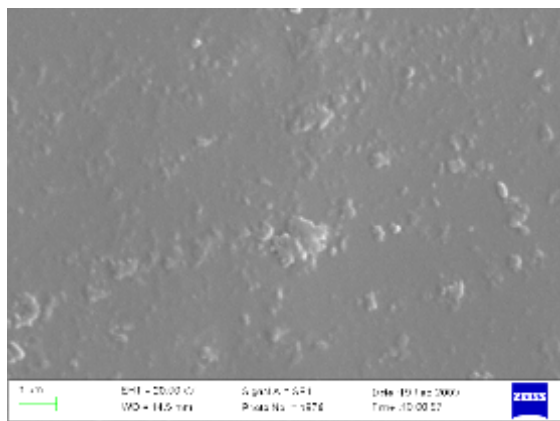


Рис. 2. Структура исходного полимерного покрытия

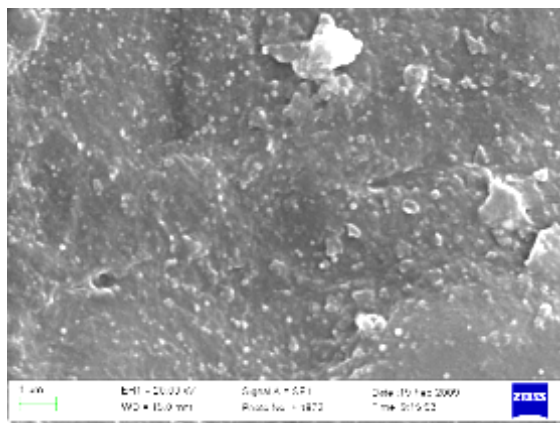


Рис. 3. Структура полимерного покрытия после ХПД

Методом инфракрасной (ИК) спектроскопии установлено, что в спектрах тонких слоев полимера и металла, снятых в исходном состоянии и после пластической деформации, основные изменения профиля полос наблюдаются в области  $1000\text{--}1200\text{ см}^{-1}$ . Вероятнее всего в процессе пластической деформации реакционно-способные группы взаимодействуют, что приводит к дополнительной сшивке полимерной матрицы, а также образованию новых связей «полимер – титан» типа  $\text{Me-O-CR}$ .

### Выводы

1. Разработано антифрикционное противозадирное полимерное покрытие, позволяющее осуществлять многоцикловое деформирующее протягивание деталей из сплава ВТ1-0 твердосплавным инструментом при контактном давлении до 2,2 ГПа.

2. Методами электронной микроскопии и ИК-спектроскопии установлено, что в процессе ХПД образуется переходный слой между полимерным покрытием и сплавом толщиной около 3 мкм, в котором образуются новые связи «полимер – металл» типа  $\text{Me-O-CR}$ , обуславливающие адгезионные свойства полимерной композиции.

3. В результате пластической деформации изменяется физическая структура полимера без его деструкции.

### Литература

1. Проскуряков Ю. Г. Дорнование отверстий. – Свердловск: Машгиз, 1961. – 192 с.

- Северденко В. П., Жилкин В. З. Основы теории и технологии волочения проволоки из титановых сплавов. – Минск: Навука и техника, 1970. – 204 с.
  - Гаркунов Д. Н. Триботехника. – Л.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
  - Розенберг О. А. Механика взаимодействия инструмента с изделием при деформирующем протягивании. – К.: Наук. думка, 1981. – 288 с.
  - А. с. № 1608979 СССР. Способ определения экранирующих свойств технологических смазок / О. А. Розенберг, А. М. Розенберг, Л. В. Лобанова. – Опубл. 30.01.84. Бюл. № 4.
  - Пахаренко В. А., Яковлева Р. А., Пахаренко В. А. Переработка полимерных композиционных материалов. – К.: Издат. компания «Воля», 2006. – 552 с.
  - Липатов Ю. С. Физическая химия наполненных полимеров. – М.: Наука, 1977. – 304 с.
- Поступила 12.05.09*

УДК 621.921:547.639

**А. Н. Черненко, Е. А. Пашенко**, докт. техн. наук, **О. В. Лажевская**, канд. техн. наук

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

### **ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТНОЙ ДЕСТРУКЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИОННЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ НА ОСНОВЕ МОНТМОРИЛЛОНИТА**

*Degradation of polymer binder of abrasive composites containing synthetic composite filler on the basis of aromatic polytriazine and montmorillonite has been studied. Correlation between activity of the gas products evolved by composite in a processing zone and operational functionality of the tool is shown.*

#### **Введение**

Объектом исследования является абразивный инструментальный материал на основе эпоксидного связующего и синтетического композиционного наполнителя (СКН). По данным электронной микроскопии (рис. 1) каждая частичка СКН представляет собой слоистый кристалл монтмориллонита, межслоевое пространство которого насыщено термостойким кристаллическим полимером – политриaziном, являющимся продуктом поликонденсации карбамида. Часть политриазина образует оболочку вокруг кристаллов монтмориллонита, причем его распределение между оболочкой и межслоевым пространством регулируется технологическим режимом получения СКН. Локализация части политриазина в межслоевом пространстве придает ему особые свойства, обуславливающие существенное влияние структуры СКН на процесс деструкции связующего в условиях рабочей зоны.

#### **Экспериментальные результаты**

Продукты деструкции полимер-абразивных композитов могут формировать в процессе работы газовые среды с высокой активностью в контактной зоне [1]. В целях оптимизации состава таких сред важно проанализировать структурные изменения в композиционных материалах на основе СКН и эпоксидных связующих, сопровождающие их термическую деструкцию. Согласно данным ЭПР, при обработке образцов композитов при температурах, вызывающих деструкцию эпоксидных полимеров, в системе появляются парамагнитные цен-