

УДК 621.62.762

**В. М. Голуб, М. В. Голуб**  
(Брестский государственный технический университет)

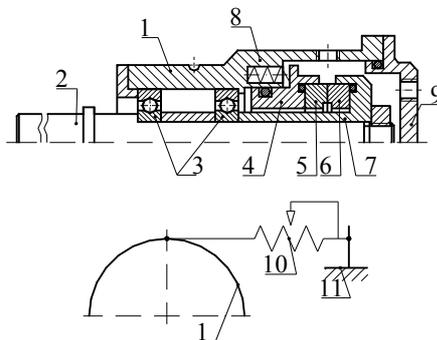
### КОМПОЗИЦИОННЫЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА И МАТРИЧНОЙ СВЯЗКИ ПРИ ТРЕНИИ

Исследованы композиционные материалы на основе порошков карбида вольфрама и медьсодержащей матричной связки. Разработан стенд для испытаний контактных колец торцовых уплотнений на трение и износ. Получена зависимость скорости изнашивания контактных колец от концентрации абразива в гидроабразивной смеси.

Подбор материалов фрикционной пары и ее способность работать длительный период времени в режиме сухого трения или дефицита смазки является важной задачей машиностроения. Фрикционный узел в процессе работы при высоких скоростях скольжения воспринимает как статические, так и динамические нагрузки и подвергается изнашиванию. На работу фрикционного узла влияет температурный режим, окружающая среда и наличие в ней абразива. Способность материалов поглощать или рассеивать тепловую энергию без катастрофического износа является важной характеристикой фрикционной пары.

Антифрикционные материалы должны сопротивляться терморастрескиванию в режиме сухого трения. На поверхности трения не должно возникать трещин в результате многократного колебания силового и теплового воздействия. В рабочих средах в условиях плохой смазки в узлах антифрикционной пары трения нашли применение композиционные материалы и покрытия на основе карбида вольфрама и медьсодержащей матрицы.

Для решения прикладных задач триботехники, связанных с оптимизацией состава композиционных материалов, применительно к антифрикционным устройствам, способным работать в сухом режиме трения и при дефиците смазки, проведены их испытания. Разработан специальный стенд, позволяющий снимать триботехнические характеристики материалов пар трения. Основным узлом стенда является испытательная головка (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема стенда для испытания контактных колец на трение и износ (пояснения в тексте)

Испытательная головка содержит корпус 1 и шпиндель 2. Вал шпинделя закреплен на подшипниках 3 в корпусе 1. В камере испытательной головки установлена аксиально-подвижная втулка 4 с контактным кольцом 5. Вращающееся контактное кольцо 6 установлено в обойму 7, связанную с валом. Аксиально-подвижная втулка с контактным кольцом 5 поджата пружинами 8, равномерно расположенными по окружности, к контактному кольцу 6. Усилие нагружения контакта определяется по величине сжатия пружин. Испытательная камера закрывается крышкой 9. Изменение частоты вращения шпинделя осуществляется через коробку передач станка, например, токарного, на котором устанавливается испытательная головка. Момент силы трения измеряется динамометром 10, прикрепленным к корпусу 1 головки тросиком через неподвижную стойку 11.

Износостойкий слой наносится на рабочие поверхности стальных колец путем припекания разнозернистых порошков карбида вольфрама медьсодержащей связкой. Для этого применяют методы порошковой металлургии, газопламенного напыления, электродугового расплава под слоем флюса, индукционного и электроконтактного припекания. В качестве шихты использованы смеси тонкодисперсных порошков карбида вольфрама с кобальтом (ВК-6, ВК-8 и др.) и литой карбид вольфрама (релит) с зернистостью 0,05 – 0,1 мм. После припекания износостойкого слоя проводится окончательная механическая обработка контактного кольца, при которой рабочая поверхность шлифуется и притирается алмазными пастами для достижения шероховатости  $Ra \leq 0,16 - 0,3$  мкм и отклонением от плоскости  $0,9 - 0,6$  мкм.

Испытанию были подвергнуты контактные пары, на торцевой поверхности колец которых нанесены износостойкие слои путем припекания разномерных порошков карбида вольфрама и медьсодержащей связки при температуре ее плавления. В качестве матричной связки для колец первой пары трения принята медь, для колец второй пары – медно-никелевый сплав, с содержанием никеля 10 % и для колец третьей пары медно-никелевый сплав с содержанием никеля 30 %. Микрофотография поверхности и структура материала рабочего слоя показаны на рис. 2.

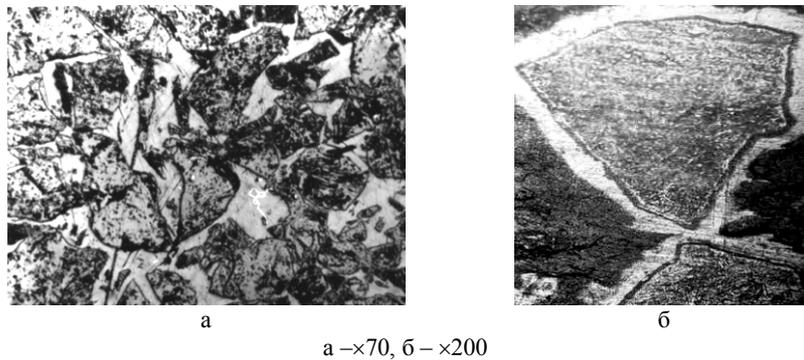
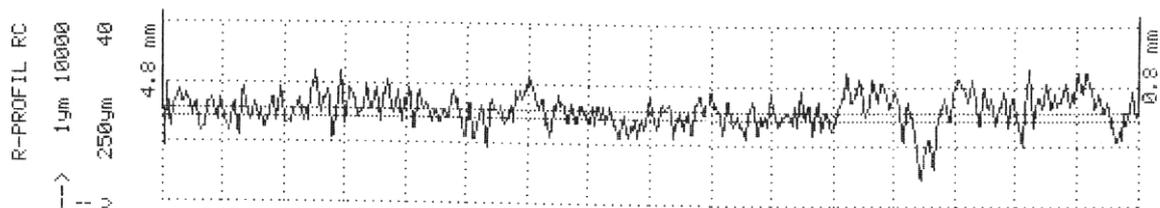


Рис. 2. Микрофотография поверхности и структура композиционного материала до испытания

Перед испытаниями были сняты профилограммы рабочих поверхностей, шероховатость которых составила  $Ra=0,21$  мкм (рис. 3).

Filter	RC		Filter	RC		Filter	RC	
Lt	4.8	mm	Lt	4.8	mm	Lt	4.8	mm
Lc	0.8	mm	Lc	0.8	mm	Lc	0.8	mm
Mb	250	mm	Mb	250	mm	Mb	250	mm
Ra	0.21	ym	Ra	1.55	ym	Ra	2.13	ym
RzD	1.27	ym	RzD	7.37	ym	RzD	10.03	ym
RzI	1.48	ym	RzI	9.92	ym	RzI	14.37	ym
RzJ	3.66	ym	RzJ	40.27	ym	RzJ	65.33	ym
RmD	1.81	ym	RmD	8.68	ym	RmD	13.81	ym
RmJ	4.18	ym	RmJ	41.50	ym	RmJ	65.62	ym
Rt	1.87	ym	Rt	10.62	ym	Rt	15.81	ym
Rp	1.06	ym	Rp	4.62	ym	Rp	7.25	ym
Rpm	0.61	ym	Rpm	3.40	ym	Rpm	5.18	ym
Rq	0.27	ym	Rq	1.92	ym	Rq	2.78	ym
R3z	0.91	ym	R3z	4.68	ym	R3z	5.28	ym
Pt	4.18	ym	Pt	41.50	ym	Pt	65.62	ym
Pc	0117	/cm	Pc	0020	/cm	Pc	0032	/cm
C1	+0.10	ym	C1	+0.77	ym	C1	+1.06	ym
C2	-0.10	ym	C2	-0.77	ym	C2	-1.06	ym
Sm	85.10	ym	Sm	500.0	ym	Sm	307.6	ym
tpi 10%	0.81	ym	tpi 10%	1.68	ym	tpi 10%	2.94	ym
" 20%	0.93	ym	" 20%	2.56	ym	" 20%	4.49	ym
" 30%	0.99	ym	" 30%	3.37	ym	" 30%	5.43	ym
" 40%	1.06	ym	" 40%	3.99	ym	" 40%	6.44	ym
" 50%	1.12	ym	" 50%	4.61	ym	" 50%	7.00	ym
" 60%	1.18	ym	" 60%	5.05	ym	" 60%	7.36	ym
" 70%	1.24	ym	" 70%	5.48	ym	" 70%	7.97	ym
" 80%	1.37	ym	" 80%	5.98	ym	" 80%	8.73	ym
" 90%	1.49	ym	" 90%	6.66	ym	" 90%	10.35	ym
" 100%	1.87	ym	" 100%	10.61	ym	" 100%	15.79	ym

абв



а – до начала испытаний; б – после испытания первой пары трения; в – после испытания третьей пары трения; профилограмма поверхности кольца до начала испытаний

Рис. 3. Результаты профилографирования контактных поверхностей пар трения

Испытания без смазки проводились при скорости скольжения 7 м/с и удельном нагружении контакта  $p_{уд} = 0,3$  МПа. Испытания пар трения проводились в течение 10 часов с периодическими пусками и остановками. Коэффициент трения контактных колец составил 0,2–0,3. Температура колец достигала 400 °С. Шероховатость поверхностей после испытания увеличилась и составила для колец первой и второй пары трения  $Ra = 1,55$  мкм, а для третьей пары трения –  $Ra = 2,13$  мкм.

Поверхности колец первой и второй пары трения не претерпели особых изменений (рис. 4). На рабочих поверхностях колец третьей пары, с повышенным содержанием никеля в матричной связке, отмечены микротрещины (рис. 5). Более высокой стойкостью в режиме сухого трения обладают контактные кольца, рабочий слой которых выполнен на основе медной и медно-никелевой связки с небольшим содержанием никеля. Увеличение никеля в матрице снижает теплоотвод от поверхности контактных колец и при многоцикловой микропластической деформации материала связки, с изменением температуры, приводит к возникновению микротрещин.

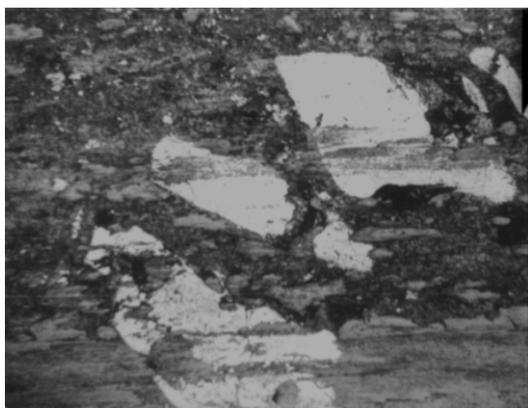


Рис. 4. Контактная поверхность кольца с рабочим слоем на основе зернового карбида вольфрама и медьсодержащей матричной связки  $Cu - 100\%$  ( $\times 200$ ) после испытаний

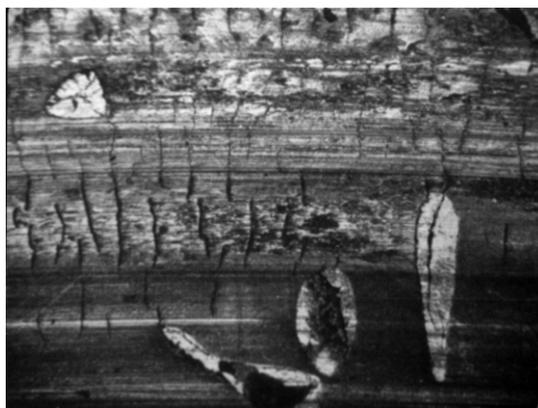
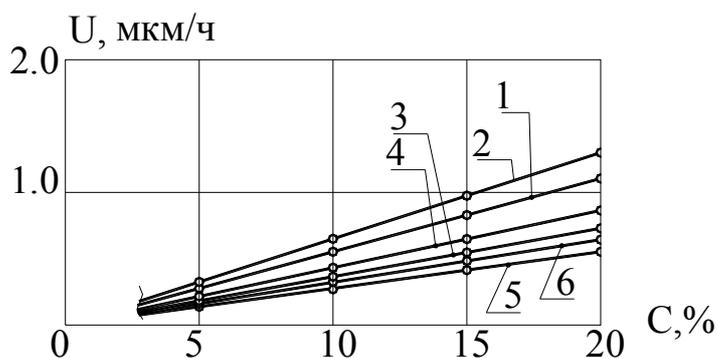


Рис. 5. Контактная поверхность кольца с рабочим слоем на основе зернового карбида вольфрама и медно-никелевой матричной связки  $Cu - 70\%$ ;  $Ni - 30\%$  ( $\times 200$ ) после испытаний

Исследованы контактные кольца пар трения в условиях абразивного воздействия.

В этом случае пары трения испытывались при подводе к контакту абразивной смеси (вода с тонкозернистым 0,05 – 0,065 мм кварцевым песком).

Получена зависимость скорости изнашивания контактных колец от концентрации абразива в гидроабразивной смеси. С увеличением содержания абразива скорость изнашивания рабочего слоя возрастает (рис. 6).

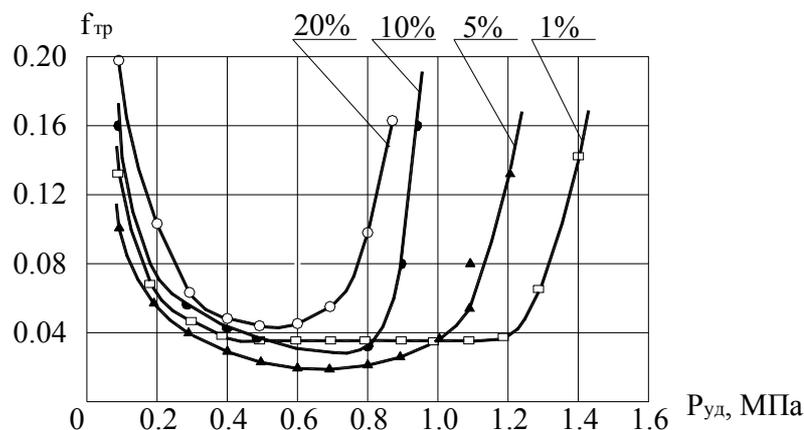


1 и 2 – неподвижное и вращающееся контактные кольца первой пары трения; 3 и 4 – неподвижное и вращающееся контактные кольца второй пары трения; 5 и 6 – неподвижное и вращающееся контактные кольца третьей пары трения  
Рис. 6. Зависимость скорости изнашивания контактных колец от процентного содержания абразива в рабочей среде (вода), при  $P_{уд} = 0,3$  МПа,  $V = 15$  м/с

В общем виде эта зависимость описывается уравнением:

$$u = k \cdot c^{1,2}$$

где  $u$  – скорость изнашивания, мкм/ч;  $c$  – концентрация абразива, %;  $k$  и  $m$  – коэффициенты, определяющие износные характеристики материалов контактных колец. В случае абразивного износа  $m = 1$ , а коэффициент  $k$  определяется тангенсом угла наклона кривой и для первой пары трения  $k^1 = 0,3$ ; второй –  $k^2 = 0,2$ ; третьей –  $k^3 = 0,15$ .



**Рис. 7. Зависимость коэффициента трения от удельного нагружения пары трения и содержания абразивных частиц в гидросмеси, при  $V=15$  м/с**

Существенно изменяется и нагрузочная способность колец пары трения от концентрации абразива. Так, если контактная пара трения работает в воде с содержанием абразива до 1%, то ее нагрузочная способность достигает  $p_{уд}=1,2$  МПа (рис. 7). С повышением концентрации абразива нагрузочная способность пары трения снижается. Наличие абразива в жидкости до 10% снижает допустимую нагрузку на контакт почти в два раза. Диапазон допустимой нагрузки определяется относительной стабильностью наименьшей величины коэффициента трения. Скачкообразное увеличение коэффициента трения сопровождается схватыванием материала контактных поверхностей и интенсивным износом колец пар трения.

УДК 621.983

**А. Г. Галилеев, О. Г. Девойно, А. С. Лапковский**  
(Белорусский национальный технический университет)

### **ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ**

Рассмотрены возможности использования различных видов лазерного излучения в области обработки твердых сплавов. Проанализировано влияние лазерной обработки на эксплуатационные характеристики твердосплавных деталей. Показана необходимость дальнейших исследований процесса с целью избежать дефектообразования в поверхностном слое.

Эксплуатационные характеристики твердых сплавов зависят от ряда факторов, таких как состав и структура связующей фазы, размер зерен кобальтовой и карбидной фаз, скорость охлаждения при спекании, уровень внутренних напряжений в фазовых составляющих. Для получения требуемых свойств поверхностного слоя используются различные методы упрочняющей обработки, например, алмазная обработка, ультразвуковое облучение или даже такие способы воздействия, как магнитно-алмазное полирование.

Лазерная обработка поверхностей металлов и сплавов относится к локальным методам термической обработки, которая осуществляется посредством высококонцентрированных источников нагрева. Мощное воздействие лазерного излучения позволяет улучшать свойства твердых сплавов в довольно широких пределах. Несмотря на то, что некоторые особенности лазерного воздействия на карбидо-кобальтовую систему недостаточно изучены, в целом можно вывести основные закономерности упрочняющей лазерной обработки.

*Импульсная лазерная обработка* является наиболее изученным и распространенным методом упрочнения твердых сплавов. Сущность метода состоит в облучении поверхности материала коротким высокоплотным ( $q = 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>) импульсом лазерного излучения. При этом адиабатически нагретый до температуры несколько тысяч градусов материал превращается в плазму.