

■ ТРУДЫ ■  
ВНИИАЛМАЗА



■ ТРУДЫ ■  
ВНИИАЛМАЗА

■ ТРУДЫ ■  
ВНИИАЛМАЗА

■ ТРУДЫ ■  
ВНИИАЛМАЗА

НОВЫЕ ПРОЦЕССЫ  
АЛМАЗНОЙ  
ОБРАБОТКИ  
И ДОВОДКИ

МИНИСТЕРСТВО СТАНКОСТРОИТЕЛЬНОЙ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
И КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПРИРОДНЫХ АЛМАЗОВ И ИНСТРУМЕНТА  
(ВНИИАЛМАЗ)

---

*Александр Александрович  
С. А. Александров*

НОВЫЕ ПРОЦЕССЫ  
АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ  
И ДОВОДКИ

Труды ВНИИАЛМАЗа

№ 2

“Библиотека Машиностроителя”  
[www.lib-bkm.ru](http://www.lib-bkm.ru)

НИИМАШ  
МОСКВА 1974

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Широко применяющаяся в настоящее время в самых различных сферах народного хозяйства алмазная обработка как новый технологический метод изучена еще недостаточно. Этим можно объяснить, например, часто встречающуюся в практике различную эффективность использования алмазных инструментов даже на однотипных операциях. Для определения общих закономерностей алмазной обработки, а в дальнейшем и разработки теоретических основ этого процесса важно тщательное накопление и обобщение опыта в области производства и в условиях эксплуатации алмазного инструмента.

ВНИИАЛМАЗ, один из первых в нашей стране инструментальных институтов, работает над созданием новых конструкций и технологии изготовления всех видов инструмента из природных и синтетических алмазов и сверхтвердых материалов. Одним из важных направлений его деятельности является определение оптимальных режимов эксплуатации алмазных инструментов.

При все возрастающем объеме использования алмазных инструментов для обработки различных материалов непрерывно увеличивается и круг специалистов научно-исследовательских организаций, вузов и заводов, работающих в этой области. Имея целью ознакомить специалистов разного профиля с информацией не только прикладного характера, но и прежде всего теоретического плана, ВНИИАЛМАЗ начал с 1973 года систематическое издание Трудов. Вопросы информационного оперативного характера, связанные с практикой алмазной обработки, освещаются в ежемесячном сборнике «Алмазы и сверхтвердые материалы».

Второй выпуск Трудов посвящен работам, выполненным в институте за последние годы, по созданию технологии изготовления инструментов и техники их применения, третий — вопросам изучения и исследования свойств природных и синтетических алмазов.

Авторы Трудов института будут благодарны всем специалистам, приславшим свои замечания и предложения по существу публикуемых работ.

Директор ВНИИАЛМАЗа

*В. Ф. РОМАНОВ*

## АННОТАЦИИ СТАТЕЙ, ПОМЕЩЕННЫХ В ТРУДАХ

ВНИИАлмаза № 2

Алмазная обработка поверхностей элементов ускоряющей структуры. Г. А. Зеликсон, В. Л. Шлионский, М. Н. Косякин, Е. К. Сорочкин.

Приведены результаты исследований обработки элементов ускоряющих структур алмазным инструментом, что позволяет уменьшить потери высокочастотной энергии на 5—10%.

Исследование процесса одновременной двусторонней доводки изделий из корунда. Р. З. Цыпкин, В. И. Белов, А. С. Дарер.

Сообщаются результаты исследования двусторонней доводки корунда на модернизированном станке мод. ПД-01 с использованием новой технологии, позволяющей сократить трудоемкость доводки в 18—20 раз.

Влияние смазочных сред на контактные взаимодействия между твердыми телами при граничном трении. А. А. Канаев, С. Я. Вейлер, Р. Ф. Кохап.

Исследовалось влияние смазок на процесс протягивания проволоки через твердосплавные и алмазные волокна. Показано, что смазки могут значительно повышать износостойкость алмазных волокон, не влияя при этом на силу трения.

Исследование кинетики уплотнения при спекании композиции железо — медь — олово. Г. А. Меерсон, Е. Г. Зимина, В. В. Журавлев.

Приведены результаты исследований изменения объема образцов композиции Fe — Cu — Sn при нагреве.

Методика расчета оптимального состава металлических связок алмазного абразивного инструмента для обработки различных материалов. П. И. Калинин, Г. М. Свердлов.

Разработана новая методика оценки взаимозависимости различных параметров металлической связки круга и обрабатываемого материала, позволяющая с учетом известных свойств сплавов и с минимальным количеством экспериментов создавать высокоэффективные инструменты различного назначения.

Исследование свойств поверхности твердосплавных деталей, обработанных электролитическим алмазным шлифованием. В. Н. Львов, В. Г. Сафонов, Э. В. Дуров.

Приведены результаты исследований качества обработанной электролитическим шлифованием поверхности твердых сплавов.

Исследование некоторых свойств наполненных фенолформальдегидных смол. Е. А. Сторчак, С. А. Попов, И. С. Пеккер.

Показано влияние материала и количества наполнителя на физико-механические и эксплуатационные свойства алмазных кругов на органических связках.

Влияние некоторых свойств шлифовального круга на интенсивность автоколебаний. В. Н. Ряховский.

Исследовалось влияние имеющихся на рабочей поверхности круга волн на точность обработки. Показано, что периодическое изменение скорости шлифования существенно снижает огранку на шлифуемой поверхности.

Оперативно-суточное планирование заданий для участков по производству алмазных кругов с применением современных математических методов и ЭВМ. В. А. Волков, М. Я. Израйлович, Н. А. Колчманов.

Разработан алгоритм оптимального оперативно-суточного планирования производства алмазного инструмента, рекомендуемый для практического использования диспетчерской службой заводов-изготовителей.

Исследование процесса шлифования мрамора алмазными торцевыми кругами. К. А. Перепеч.

Приведены результаты внедрения поточного шлифования камня на камнеобрабатывающих комбинатах.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

Предисловие . . . . .	3
<i>Г. А. Зеликсон, В. Л. Шлионский, М. Н. Косякин, Е. К. Сорокин.</i> Алмазная обработка поверхностей элементов ускоряющей структуры . . . . .	4
<i>Р. З. Цыпкин, В. И. Белов, А. С. Дарер.</i> Исследование процесса одно-временной двусторонней доводки изделий из корунда . . . . .	13
<i>А. А. Канаев, Р. Ф. Кохан, С. Я. Вейлер.</i> Влияние смазочных сред на контактные взаимодействия между твердыми телами при граничном трении . . . . .	20
<i>Г. А. Меерсон, В. В. Журавлев, Е. Г. Зимица.</i> Исследование кинетики уплотнения при спекании композиций железо — медь — олово . . . . .	26
<i>П. И. Калинин, Г. М. Свердлов.</i> Методика расчета оптимального состава металлических связок алмазного абразивного инструмента для обработки различных материалов . . . . .	35
<i>В. Н. Львов, В. Г. Сафронов, Э. В. Дуров.</i> Исследование свойств поверхности твердосплавных деталей, обработанных электролитическим алмазным шлифованием . . . . .	54
<i>Е. А. Сторчак, С. А. Попов, И. С. Пеккер.</i> Исследование некоторых свойств наполненных фенолформальдегидных смол . . . . .	62
<i>В. Н. Ряховский.</i> Влияние некоторых свойств шлифовального круга на интенсивность автоколебаний . . . . .	76
<i>В. А. Волков, М. Я. Израилевич, Н. А. Колчманов.</i> Оперативно-суточное планирование заданий для участков по производству алмазных кругов с применением современных математических методов и ЭВМ . . . . .	82
<i>К. А. Перепеч.</i> Исследование процесса шлифования мрамора алмазными торцевыми кругами . . . . .	91

## ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНЫХ СРЕД НА КОНТАКТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ТВЕРДЫМИ ТЕЛАМИ ПРИ ГРАНИЧНОМ ТРЕНИИ

А. А. КАНАЕВ, Р. Ф. ҚОХАН, С. Я. ВЕЙЛЕР

Исследование реологических свойств контактной зоны имеет большое значение для определения механизма граничного трения твердых тел. Классические представления о механизме действия смазок при граничном трении исходят из предположения об идеально гладких поверхностях, не испытывающих упруго-пластических деформаций у контактирующих твердых тел. Поэтому процесс граничного, или переходного, трения сводится к проскальзыванию моно- или полимолекулярных слоев, образованных адсорбированными молекулами органических веществ с длинными углеводородными цепями (молекулярный ворс), или к пластично-вязкому течению внутри достаточно толстого слоя смазки [1, 2]. Но подобные формы внешнего трения и смазочного действия наблюдаются не всегда, так как для их реализации необходимы очень малые давления и чрезвычайно гладкие поверхности с молекулярной шероховатостью. В работах [3, 4] было показано, что в поверхностных слоях сопряженных металлов (или одного из них), подвергаемых пластической деформации в условиях трения, под действием активной смазки образуется тончайший (сотые доли мкм) адсорбционно-пластифицированный слой металла, в котором локализуются сдвиговые напряжения и деформации, вызванные силами трения. В основе этого явления лежит эффект адсорбционного понижения прочности и облегчения деформации твердых тел [5, 6].

Образование пластифицированного слоя металла связано с миграцией поверхностно-активных (адсорбирующихся) молекул смазочного вещества по дефектам поверхностей твердых тел и межкристалльным границам, а также понижением свободной поверхностной энергии. Но влияние поверхностно-активной смазки на процессы контактных взаимодействий не может ограничиваться только пластифицированием поверхностного слоя металла. Часть смазки остается между поверхностями твердых тел в виде очень тонких прослоек, которые должны влиять на характер контактных взаимодействий между ними. Поэтому особое значение приобретают реологические свойства слоя трения — многокомпонентного образования, включающего в себя и пластифицированный слой металла, и остаточные прослойки поверхностно-активной смазки.

В данной работе для исследования влияния смазок на характер контактных взаимодействий между поверхностями твер-

дых тел использовался процесс пластической деформации металла под действием жесткого недеформируемого инструмента. Чтобы исключить возможность образования толстого гидродинамического слоя смазки, опыты проводили при чрезвычайно малых скоростях относительного перемещения в контакте, для чего на горизонтальную планку устанавливали волоку, через которую пропускали исследуемый образец, изготовленный из тонкой калиброванной медной проволоки. Волочение осуществляли под действием груза, который подвешивали к пропущенному через волоку концу проволоки; вес груза задавали в определенных пределах (рис. 1). При протягивании через волоку проволока пластически деформировалась. Были получены зависимости скорости волочения  $v$  от напряжения  $\sigma$ , возникающего в поперечном сечении  $S_k$  протянутой проволоки под воздействием тянущей силы  $P$ :

$$v = f(\sigma), \text{ где } \sigma = \frac{P}{S_k}.$$

При этом ползучести протянутого участка проволоки не наблюдалось.

Преимущества данного метода состоят в возможности изучения самых малых скоростей деформации, соизмеримых со скоростями ползучести, что позволяет исследовать процесс перехода от статического трения к кинетическому.

Чтобы выявить влияние физико-химических свойств смазочной среды, вводимой в зону контакта деформируемого металла и волоки, использовали различные модельные смазки. Для сравнения проводили контрольные опыты с тщательно очищенными и обезжиренными образцами.

Большой интерес представляло исследование влияния смазочных сред на контактные взаимодействия в условиях очень сильной и очень слабой адгезии между металлом и инструментом. С этой целью были выбраны волоки из металлокерамического сплава ВК-6, обладающего сильной адгезией по отношению к меди, а также из алмаза, у которого адгезии к меди не обнаруживается. При достаточно малом нагружении образца заметной деформации не наблюдалось в течение нескольких суток. С постепенным возрастанием груза до определенной величины начинается медленное, но стационарное пластическое

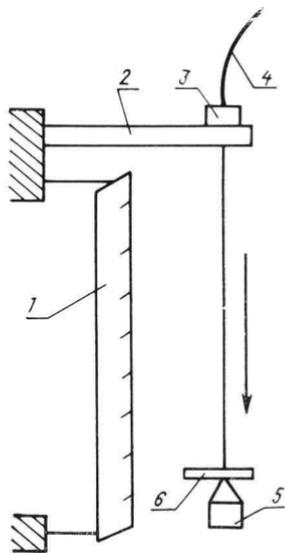


Рис. 1. Схема установки для исследования зависимости скорости волочения  $v$  от усилия волочения  $P$ :

1 — масштабная шкала; 2 — планка; 3 — волока; 4 — образец; 5 — груз; 6 — визир

течение металла через волоку. Подбирая соответствующую нагрузку, удалось достичь чрезвычайно медленного течения металла (до нескольких долей миллиметра в сутки).

На рис. 2 приведены кривые  $v=f(\sigma)$ , полученные при волочении образцов через твердосплавную волоку в различных смазочных средах и всухую. Скорость волочения  $v$  монотонно возрастает при увеличении напряжения волочения  $\sigma$ . Обнаружено также, что существует предельное напряжение  $\sigma_m$ , которое может существовать в реологической системе деформируемый

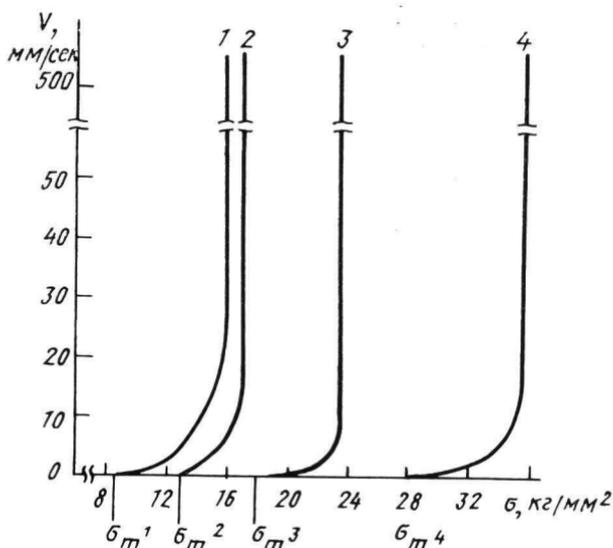


Рис. 2. Зависимость скорости волочения  $v$  от напряжения  $\sigma$  при протягивании меди через твердосплавную волоку в различных смазочных средах:

1 — воск; 2 — жирные спирты  $C_{17}-C_{32}$ ; 3 — олеиновая кислота; 4 — без смазки

металл — смазочная среда, не вызывая пластического течения. Величина  $\sigma_m$  зависит от физико-химических свойств смазочной среды. Необходимо также отметить, что при волочении меди через твердосплавную волоку деформация со смазками во всех случаях осуществляется с гораздо меньшими напряжениями  $\sigma_m$ , чем без смазки.

Если рассматривать жидкую смазку как дисперсионную среду, а микровыступы на поверхностях инструмента и взаимодействующие с ними микровыступы на поверхности деформируемого металла как частицы коллоидных размеров, можно представить слой трения в виде коллоидной системы.

При трении твердых тел в зависимости от их физико-химических свойств, а также свойств промежуточной среды (смазки) могут реализоваться самые разнообразные виды контактных взаимодействий. В случае волочения меди через твердосплавную волоку без смазки наблюдается обильное налипание деформируемого металла на твердый сплав, что свидетельствует о возникновении между ними фазовых адгезионных контактов. Если этот же процесс осуществлять со смазкой, то взаимодействие между медью и твердым сплавом будет происходить через тончайшую остаточную прослойку, предотвращающую образование фазовых контактов. При очень малых скоростях скольжения и высоких давлениях, не допускающих возможности образования толстого гидродинамического слоя смазки, толщина остаточной прослойки дисперсионной среды будет способствовать образованию между отдельными микровыступами металла и инструмента коагуляционного контакта. В этом случае слой трения можно рассматривать как коагуляционную структуру, обладающую нерелаксирующим модулем сдвига и пределом текучести, которые зависят от физико-химических свойств контакта.

При очень медленном движении сопротивление сдвигу внутри прослойки мало по сравнению с сопротивлением отрыву, но оно возрастает при увеличении скорости скольжения. Это соответствует вязкому течению внутри слоя трения и согласуется с опытными данными (см. рис. 2).

Прочность коагуляционных контактов между медью и твердым сплавом значительно ниже прочности фазовых адгезионных контактов. Поэтому наличие смазки всегда способствует уменьшению силы трения между медью и твердым сплавом.

Иная картина наблюдается при волочении меди через алмазную волоку. При экспериментах протягивали медную проволоку диаметром 0,26 мм через алмазную волоку диаметром 0,20 мм. Как видно из приведенных в таблице данных, ни одно из исследованных смазочных веществ не обеспечило значительного снижения напряжения волочения  $\sigma_m$  по сравнению с деформацией без смазки. Обнаружено, что значительная часть исследованных смазочных веществ способствовала увеличению предельного напряжения волочения  $\sigma_m$  по сравнению с волочением образца без смазки. Напряжение волочения возрастало под влиянием даже таких классических антифрикционных смазочных веществ, как олеиновая кислота и касторовое масло. В этом случае уменьшению силы трения способствовали в основном более вязкие вещества.

Из сопоставления результатов, полученных при волочении меди через металлокерамическую и алмазную волоки видно, что адгезионная составляющая существенно влияет на величину силы трения.

Смазка	$\sigma_{т}$ , кгс/мм <sup>2</sup>
Без смазки	28
Олеиновая кислота	33
Этиленгликоль	34
Керосин	32,3
Стеариновая кислота	28
Касторовое масло	33,4
Алкил-фенол	27,4
СЖК	26
Глицерин	28
Диэтиленгликоль	32,4

Основным назначением смазки является предотвращение образования фазового контакта (экранирующее действие) и пластифицирование (адсорбционное или химическое) тончайшего поверхностного слоя металла. Из-за слабого адгезионного взаимодействия между медью и алмазом интенсивность напряженно-деформированного состояния в поверхностных слоях недостаточна для образования в них значительного количества микродефектов, обуславливающих проявление адсорбционного эффекта. В то же время наличие тонкой жидкой или любой другой прослойки не может значительно изменить общее усилие, необходимое для осуществления объемной деформации и сдвига в зоне контакта, так как силы взаимодействия между алмазом и медью чрезвычайно малы. Поэтому смазки существенно не изменяют силу трения при волочении меди через алмазную волоку.

На рабочей поверхности волоки, даже обработанной до очень высокого класса чистоты, есть микронеровности, между которыми в виде менисков расположены остаточные прослойки смазки. Поэтому в контактной зоне во множестве точек наряду с тангенциальной составляющей силы трения, обусловленной пластично-вязким течением внутри жидкой прослойки и пластифицированного слоя, существуют нормальные силы между контактными поверхностями, которые возникают вследствие капиллярного давления внутри остаточных прослоек. Этим, по-видимому, можно объяснить незначительное увеличение силы трения при волочении меди через алмазную волоку при использовании ряда смазок. Данный эффект обнаруживается только при полном отсутствии адгезии между деформируемым металлом и инструментом.

Таким образом, можно выделить три основных вида действия смазочной среды в процессе внешнего трения: пластифицирова-

ние, экранирование и структурообразование. В зависимости от физико-химических свойств тел, подвергающихся трению, смазочной среды, а также напряженно-деформированного состояния в контакте может преобладать тот или иной эффект. Структурообразующее действие смазки проявляется только при очень малых скоростях сдвига. Для разрушения тиксотропной коагуляционной структуры контакта в момент начала сдвига иногда требуется большее усилие, чем для поддержания стационарного течения. Поэтому статический коэффициент трения оказывается больше кинетического при стандартных методах исследования, когда ускорение относительного перемещения контактных поверхностей достаточно велико.

Проведенное осциллографирование показало, что смазки существенно изменяют кинетику процесса деформации. Так, волочение медных образцов через металллокерамическую волоку без смазки сопровождалось сильными рывками, во время которых изменялось не только осевое усилие волочения, но и нормальное давление деформируемого металла на стенки волоки. Деформация с активной смазкой (олеат натрия) проходила плавно, без рывков (рис. 3). Смазки, изменяя реологические

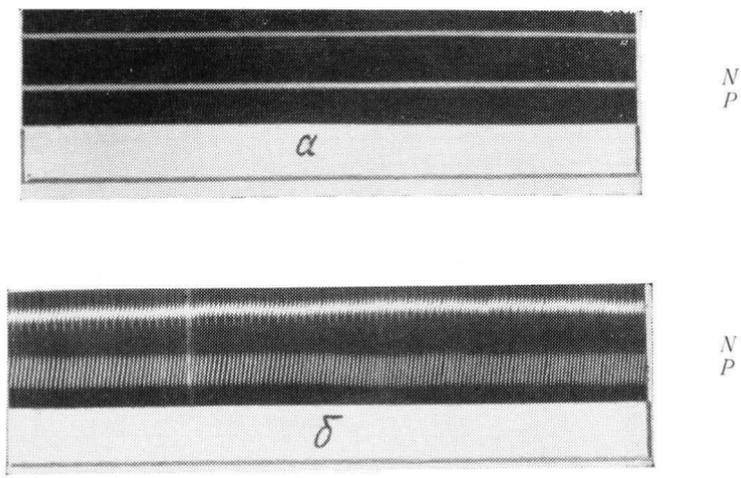


Рис. 3. Осциллограммы, отражающие характер процесса волочения меди через твердосплавную волоку со смазкой (а) и без смазки (б):

$P$  — осевое усилие волочения;  $N$  — нормальное давление металла на стенки волок

свойства контакта, способствуют изменению жесткости всей системы станок — инструмент — деталь. Это справедливо для любой механической обработки различных материалов.

Релаксационные колебания в контакте являются одной из причин низкого качества поверхностей изделий. Они же, создавая переменные нагрузки, могут значительно уменьшать износостойкость инструмента.

Смазки, не оказывая существенного влияния на силу трения, но уменьшая релаксационные колебания, могут значительно повышать износостойкость алмазных волок при обработке различных металлов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дерягин Б. В. Что такое трение? М., Изд. АН СССР, 1963.
2. Ахматов А. С. Молекулярная физика граничного трения. М., Физматгиз, 1963.
3. Вейлер С. Я., Лихтман В. И. Действие смазок при обработке металлов давлением. М., Изд. АН СССР, 1960.
4. Канаев А. А. и др. Обнаружение адсорбционного пластифицирования поверхностного слоя металла под влиянием активной смазки при граничном трении. ДАН СССР, т. 187, № 2, 1969.
5. Ребиндер П. А. Доклад на VI съезде физиков. М., 1928.
6. Ребиндер П. А. Юбилейный сборник к 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции. М., Изд. АН СССР, 1947.

УДК 621.922.34.079:669:621.762.5

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ УПЛОТНЕНИЯ ПРИ СПЕКАНИИ КОМПОЗИЦИИ ЖЕЛЕЗО — МЕДЬ — ОЛОВО

Г. А. МЕЕРСОН, В. В. ЖУРАВЛЕВ, Е. Г. ЗИМИНА

Исследование процесса уплотнения при спекании композиции Fe—Cu—Sn, применяющейся при изготовлении алмазного инструмента, проводили на образцах диаметром 10 мм с высотой 3 мм и на образцах диаметром 30 мм с высотой 15 мм, спрессованных под давлением 3 т/см<sup>2</sup>. Шихту готовили перемешиванием порошков железа, меди и олова в смесителе типа «Турбула» в течение 60 ч при скорости вращения смесительной камеры 65 об/мин.

Гранулометрический состав исходных порошков представлен в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Материал	Содержание зерен по фракциям, %						
	50—40	40—28	28—20	20—14	14—10	10—7	7 и менее
Sn	—	6	20	25	23	16	10
Cu-1	—	6	9	19	33	23	10
Cu-2	8	25	39	20	8	—	—