

С.С. ЧЕТВЕРИКОВ

# КЕРАМИКА *в* МАШИНОСТРОЕНИИ

Серия IV  
№ 17

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»  
1958

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО  
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

---

С. С. ЧЕТВЕРИКОВ

# КЕРАМИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»

---

Москва

1958

## СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Керамические материалы . . . . .	3
Состав керамических материалов . . . . .	4
Изготовление деталей . . . . .	5
Свойства керамических материалов . . . . .	7
Методы подготовки керамических поверхностей (шлифование, полирование и плакирование) . . . . .	10
Трение и смазки в паре металл — керамика . . . . .	14
Применение керамики в машиностроении . . . . .	15
Металлорежущие инструменты . . . . .	16
Дереворежущие инструменты . . . . .	22
Мерительные инструменты . . . . .	24
Волочильный инструмент . . . . .	24
Матрицы для прессования . . . . .	26
Различные износостойкие и антифрикционные детали машин	27
Экономическая эффективность применения керамики . . . . .	29
Литература . . . . .	32

### К ЧИТАТЕЛЯМ

Издательство «Знание» Всесоюзного общества  
по распространению политических и научных  
знаний просит присылать отзывы об этой брошюре  
по адресу: Москва, Новая площадь, д. 3/4.

Автор  
**Сергей Сергеевич Четвериков**

Редактор **Т. Ф. Исланкина**  
Техн. редактор **А. В. Трофимов**  
Корректор **Н. М. Краснопольская**

А04089. Подп. к печати 3/VI.1958 г.	Тираж 49 000 экз.	Изд. № 32
Бумага 60×92 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> —1,0 бум. л.—2 печ. л.	Учетно-изд. л. 1,92.	Зак. 1980

Типография изд-ва «Знание», Новая пл., д. № 3/4.

## КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Вопрос о широком применении керамики, или, как ее иногда называют, минералокерамики, как материала для изготовления режущих и мерительных инструментов и деталей машин, впервые был выдвинут нами<sup>1</sup> в СССР в 1948 году. В 1952 году появилось первое опубликованное нами сообщение по вопросу развития новой отрасли — машиностроительной керамики, а затем в 1955 году вторая статья с постановкой этого же вопроса. До указанного периода работы по использованию керамики в машиностроении ограничивались отдельными пробами и попытками применения спекшихся корундовых материалов в качестве пластинок для резцов.

Первые исследования по получению такого материала были начаты в Германии в период 1910—1930 годов. В 1930—1935 годах они проводились и в других странах, и в первую очередь в СССР и Англии. В 1932—1934 годах Ленинградский фарфоровый завод имени Ломоносова разработал технологию изготовления из подобного материала автосвечей, а в 1934 году изготовил из него инструменты для обработки эбонита, прессшпана, агата и керамической пластической массы. Подобные же опыты по точению неметаллических материалов резцами из окисной керамики провел в Германии в 1938 году Озенберг.

Во время второй мировой войны в Германии были проведены опыты по изготовлению из окисной керамики инструментов для обработки черных и цветных металлов, окончившиеся неудачей. Лишь после окончания войны, в связи с развитием техники, удалось получить окисную керамику, из которой можно было изготовить инструменты для обработки указанных выше материалов. Первые работы в этом направлении были проведены в Московском автомеханическом институте (МАМИ) в 1946 году, а затем в Московском химико-технологическом институте (МХТИ) имени Менделеева, Центральном научно-исследовательском институте тяжелого машиностроения (ЦНИИТМАШ) и Всесоюзном научно-исследовательском институте абразивов и шлифования (ВНИИАШ).

---

<sup>1</sup> Творческий коллектив в составе канд. техн. наук П. О. Грибовского, канд. техн. наук С. И. Мишкинда и автора.

К концу 1950 года проф. И. И. Китайгородскому удалось изготовить корундовый материал — микролит ЦМ-332. В настоящее время его изготавливают на Московском комбинате твердых сплавов в виде пластинок для резцов и ряда других деталей.

Параллельно с указанным применением керамики делались попытки использовать ее в машиностроении для других целей.

В недавно вышедшей в свет работе немцев Киффера и Шварцкопфа рекомендуются некоторые виды керамики для изготовления отдельных деталей машин, работающих на трение, и в первую очередь таких, как лопатки газовых турбин, подшипники, втулки и т. д. Керамические материалы могут найти широкое применение в машиностроении, если ими заняться вплотную, исследуя их свойства в применении к тем или иным изделиям.

### **Состав керамических материалов**

В настоящее время под керамикой в нашем машиностроении понимается по существу только корундовый материал ( $Al_2O_3$ ) типа микролита. Между тем имеется большое количество различных материалов, производимых керамической промышленностью на основе ряда других окислов. Несмотря на важные свойства корундовых материалов, во многих случаях может оказаться более рациональным применение иных видов керамики. Это может, во-первых, обуславливаться какими-либо техническими качествами других материалов и, во-вторых, определяться технико-экономическими предпосылками.

Все применяемые для изготовления различных изделий виды керамики должны обладать следующими свойствами: высокой твердостью, максимальной износостойкостью, механической прочностью, хорошей доводимостью и полируемостью, коррозионной стойкостью, в ряде случаев высокой красностойкостью.

Кроме того, необходимо, чтобы эти материалы изготавливались из недефицитного сырья и стоимость их была минимальной.

В данной брошюре будет рассказано о некоторых керамических материалах, наиболее способных удовлетворить приведенным выше требованиям.

К таким материалам относятся: корундовые, корундо-стеатитовые, шпинельные, корундо-муллитовые и стеатитовые.

*Корундовые материалы.* Наиболее перспективным керамическим материалом для машиностроения является корундовый (в первую очередь выпускаемый у нас под маркой ЦМ-332).

При изготовлении корундовых изделий большею частью применяют корракс, т. е. электроплавленную окись алюми-

ния ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Корунд ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) имеет твердость 9 по минералогической шкале Мооса при удельном весе  $3,99 \text{ г/см}^3$ .

Наши корундовые материалы типа ЦМ-332 имеют твердость по Роквеллу (шкала А)  $R_A=82-92$  и предел прочности при изгибе  $\sigma_{\text{и}}=32-40 \text{ кг/мм}^2$ . Такие материалы сохраняют механические свойства при температуре до  $1200^\circ$ . Поэтому из них можно изготавливать режущий инструмент, работающий при высоких скоростях резания. Температура обжига корундового материала  $1700-1800^\circ$ .

*Корундостеатитовые материалы* имеют в своем составе  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и стеклофазу ( $\text{SiO}_2$ ). Температура обжига этого материала ниже, чем корундового ( $1550-1650^\circ$ ). Его прочность при изгибе  $24 \text{ кг/мм}^2$ , а твердость 80. Из такого материала можно изготавливать изделия, для которых не требуется высокая теплостойкость, а именно: трущиеся детали, мерительные инструменты, режущие инструменты по дереву и т. п.

*Шпинельные материалы* ( $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) имеют еще более пониженные механические свойства:  $\sigma_{\text{и}}=14-25 \text{ кг/мм}^2$  и  $R_A=75-84$ . Температура обжига  $1550-1650^\circ$ . Этот материал может применяться для изготовления трущихся деталей машин, работающих в условиях небольших температур.

*Корундомуллитовый материал* ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) имеет температуру обжига около  $1500^\circ$  и представляет интерес для изготовления трущихся деталей машин. Его механические свойства все же достаточно велики:  $\sigma_{\text{и}}=24 \text{ кг/мм}^2$  и  $R_A=80$ .

*Стеатитовый материал* ( $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ). Температура обжига такого материала  $1200-1300^\circ$ . Изготовить материал с невысокой температурой обжига можно даже в небольшой мастерской. Стоимость сырья низкая. Из такого материала можно изготавливать относительно мало нагруженные изделия (мерительный инструмент или направляющие втулки). Такие изделия по качеству не будут уступать аналогичным изделиям из инструментальной стали. Механические свойства стеатита:  $\sigma_{\text{и}}=9-19 \text{ кг/мм}^2$  и  $R_A=70$ .

Все указанные выше материалы являются своеобразной гаммой материалов от более высокопрочных до менее прочных, от более дорогих до более дешевых, от применяемых взамен твердых сплавов и до применяемых взамен обычных сталей.

### Изготовление деталей

Изготавливать детали из указанных выше материалов можно по одной из двух технологических схем: 1) горячим литьем под давлением (шликерный метод) и 2) прессованием порошков. Первая схема принята в основном в керамической лаборатории Московского автомеханического института, а вторая — в лаборатории МХТИ имени Менделеева и на Комбинате твердых сплавов.

При изготовлении керамических изделий по первой технологической схеме подготовка порошков в тех случаях, когда они подвергаются помолу, производится в шаровой мельнице истирающего действия. Помол выполняется в большинстве случаев в барабанах со стальными шарами при последующем травлении порошка в 3—10 процентном растворе соляной кислоты в воде. Обычно помол ведется в 5-процентном растворе метилового спирта в дистиллированной воде. После помола, травления и введения необходимых добавок (шихтовки) из порошков изготовляют образцы.

Горячее литье образцов производится по технологии, разработанной канд. техн. наук П. О. Грибовским. Порошок, нагретый до 300° и охлажденный до 150°, вводится в расплавленную связующую массу (связку), нагретую до 80—90°. Состав массы: 94% парафина и 6% пчелиного воска или (для стеатитовых материалов) 95% парафина и 5% олеиновой кислоты. При введении высушенного порошка в связующую массу ее размешивают пропеллерной мешалкой. Получается литейная масса—шликер.

При изготовлении шликера он подвергается вакуумированию в специальном аппарате при температуре 80—100°. Затем его заливают в стакан литейного аппарата, термостатированный при  $t \leq 100^\circ$  и производят отливку деталей под давлением 5—8 атм. Удаление связки производится обычно в два этапа. При этом образцы помещают в жароустойчивые кюветы.

На первом этапе образцы помещают в сушильный шкаф, где их выдерживают при температуре 100—180°. Удаление остатков связки и первое спекание производится в муфельной печи с нихромовым нагревателем. Температура нагрева печи до 900—1100°.

Очищенные от засыпки и маркированные образцы поступают в окончательный обжиг. Спекание большинства образцов ведется в пламенных или электрических печах.

Вторая технологическая схема предусматривает получение прессованием пластинок и других изделий элементарных профилей из микролита ЦМ-332. Подготовленную шихту смешивают с пластификатором (4,5-процентный раствор каучука в бензине). Пресс-порошок высушивается при 100°, после чего приступают к прессованию пластинок на гидропрессе с давлением 700—800 кг/см<sup>2</sup>. Далее производится сушка при 100—110° в течение суток. Высушенные пластинки шлифуют на точилье, после чего производится первое спекание при 1100° в течение двух часов и окончательное спекание при 1720—1760° в течение 10—15 минут. В результате спекания получается усадка изделия до 25%.

Пластинки испытывают на твердость, определяют их объемный вес и пористость, а также осматривают для того, чтобы установить, нет ли трещин. Технологический процесс с исполь-

зованием горячего литья имеет ряд преимуществ перед прессованием: обеспечивается более однородная структура готового продукта, так как нет добавочных внутренних напряжений, возникающих при прессовании; получается большая производительность, а значит, удешевление изделия; обеспечивается возможность изготавливать сложные фасонные изделия.

### Свойства керамических материалов

Керамические материалы, используемые для изготовления инструментов или трущихся пар, должны обладать твердостью, износостойкостью и прочностью при статических и ударных нагрузках.

Измерять твердость керамических изделий наиболее целесообразно по методу Роквелла (шкала А).

Этот метод является основным при определении твердости твердых сплавов. Поэтому получаемые результаты сопоставимы. Твердость лучших керамических материалов достигает 89—93. Испытания на изгиб керамических материалов производятся так же, как и твердых сплавов. Предел прочности на изгиб лучших керамических материалов 35—45 кг/мм<sup>2</sup>.

Рассмотрим влияние следующих факторов на твердость и прочность корундовой керамики: микродобавок, температуры предварительного прокаливания материала и его дисперсности.

При образовании керамического тела некоторые добавляемые в малых количествах вещества способствуют росту зерна при спекании (рекристаллизации), понижая температуру спекания (минерализаторы), другие же вещества замедляют фазовые превращения и рекристаллизацию (ингибиторы). Основная задача при изготовлении керамического изделия — обеспечить минимальный рост исходных зерен при их обжиге. В качестве ингибиторов при обжиге окиси алюминия в настоящее время рекомендуются окись магния, окись хрома, окись циркония и др.

Результаты исследований, проведенных в Московском автомеханическом институте, показали, что наибольшая твердость керамических изделий достигается при добавке окиси магния, марганца, цинка или кальция, а наибольшая прочность — при добавке окиси магния или марганца. По сумме обоих показателей наиболее перспективными являются корундовые материалы с добавками окиси марганца и окиси магния.

При исследовании влияния различных количеств добавок было установлено, что наиболее оптимальным количеством окиси магния является 0,5%, а окиси цинка — 2%. Это показывает, что интенсивность действия разных добавок различна и поэтому надлежит искать оптимальную концентрацию для каждой добавки в отдельности.

В том же институте были проведены исследования по уста-



новлению влияния температуры предварительного прокаливания технического глинозема с различными добавками (1% окиси магния и 1% окиси хрома). Результаты испытаний показывают, что твердость образцов с повышением температуры предварительной термической обработки зерна увеличивается, причем резче всего повышается твердость при относительно низких температурах последующего спекания. Поэтому оптимальная температура спекания понижается у изделий из порошка, предварительно прокаленного при более высокой температуре.

В результате исследований влияния дисперсности исходного порошка установили, что с увеличением дисперсности не только увеличивается максимальная прочность и твердость, но и понижается оптимальная температура спекания. Изменение  $R_A$  и  $\sigma_{\text{и}}$  с повышением дисперсности связано с получением материала более тонких и плотных структур.

С уменьшением размеров зерна корундовой керамики заметно возрастают ее износостойкость, прочность и твердость. Наиболее высоки они в мелкозернистом материале со средним размером зерен до 3 микрон.

Структура керамического материала бывает крайне неоднородна по величине зерна в одном и том же изделии. Даже на поверхности изделия она неоднородна от края к середине: как правило, у края изделия структура более крупнозернистая с неплотным расположением зерен.

Проведенные исследования показывают, что изделия, имеющие плотное взаимное расположение однородных по величине даже довольно крупных зерен, могут иметь предел прочности на изгиб  $39 \text{ кг/мм}^2$ , а изделия с величиной зерна 2—4  $\text{мк}$ , имеющие неплотное расположение зерен, могут иметь предел прочности на изгиб лишь  $19 \text{ кг/мм}^2$ .

Можно сделать вывод, что прочность корундового материала в большой степени зависит как от величины зерен, так и от их расположения.

На качество керамического изделия влияет и связка отдельных зерен между собой. Проф. И. И. Китайгородским был выдвинут принцип стекло-цементного связывания зерен. Он считает, что кристаллы керамического материала должны быть связаны между собой миллимикронной пленкой стекловидного вещества, в котором, как в стеклянном волокне, исчезают явления хрупкости и появляются высокие механические свойства и новые условия физико-химического и физического взаимодействия кристаллической и стекловидной фазы.

Исследования показывают, что предел прочности на изгиб и удельный вес керамического изделия сильно зависят от толщины прослойки стеклофазы между зернами.

Можно полагать, что по мере совершенствования керамических материалов сфера применения их может быть значительно расширена. Некоторые керамические материалы обла-

дают очень высокой твердостью. Так, например, по фирменным данным американский керамический материал «ступалокс» имеет твердость до 95R<sub>A</sub>, английский материал «синтокс» имеет предел прочности при изгибе до 63 кг/мм<sup>2</sup>.

Переходя к вопросу определения износостойкости керамических материалов, необходимо отметить, что в настоящее время нельзя предложить единой, универсальной характеристики износостойкости.

Ряд исследований, проведенных в течение последних лет, позволяет установить, что из всех видов износа наиболее актуальными являются абразивный износ и износ схватыванием.

Проведенные в МАМИ исследования износостойкости позволяют установить стойкость на абразивный износ керамических материалов по сравнению с металлами и твердыми сплавами. Износостойкость определялась при помощи стального кольца, которое скользило по керамической колодке. В зону трения подавали суспензию карбида бора 320 (или электрокорунда 320) в минеральном масле, при определенном давлении и скорости. Измеряемыми параметрами являлись: момент и работа трения, путь трения, глубина лунки износа, разность веса образцов до и после опыта.

В ходе этих испытаний были получены два основных вывода:

- 1) по твердости, прочности и износостойкости корундовые материалы превосходят другие испытанные виды керамики и
- 2) соотношение износостойкости различных материалов чрезвычайно сильно зависит от условий изнашивания.

По данным этих опытов для дальнейших более подробных испытаний была избрана корундовая керамика.

Эксперименты, проведенные в МВТУ, показали, что характер износа при трении и его величина зависят от скорости трения. Общей особенностью износа для всех исследованных инструментальных материалов является то, что в диапазоне относительно низких скоростей, различных для отдельных сплавов, имеет место явление схватывания инструментального и обрабатываемого материала. На поверхностях износа образуются налипания, наросты и кратеры, как результат износа схватыванием, что свидетельствует о том, что износ в основном происходит за счет вырывов кусочков инструментального материала. Интенсивность износа сравнительно велика.

При скоростях 100—200 м/мин истирание происходит равномерно.

При трении по стали максимальная износостойкость для керамики была при скоростях порядка 300 м/мин, а для вольфрамтитанокобальтовых сплавов — при скоростях порядка 200 м/мин. Наибольшую абсолютную величину максимальной износостойкости имел твердый сплав Т60К6. Затем шел сплав Т30К6 и только после него ЦМ-332. Твердые сплавы вольфра-

мокобальтовой группы имеют максимальную износостойкость, в 2—8 раз меньшую.

При скоростях 300—600 *м/мин* износостойкость керамического материала ЦМ-332 выше износостойкости твердых сплавов, что находится в прямой зависимости от жароустойчивости этих сплавов.

При трении по чугуну зависимость износостойкости имеет такой же характер, как при трении по стали, причем максимумы износостойкости находятся при скоростях: для ЦМ-332 — порядка 600—700 *м/мин*, для сплавов вольфрамтитанокобальтовой группы порядка 250—300 *м/мин*, а для сплавов группы ВК в исследованном диапазоне скоростей максимума не обнаружено, так как он, очевидно, находится в зоне более низких скоростей.

### **Методы подготовки керамических поверхностей (шлифование, полирование и плакирование)**

Методы абразивной и химико-термической обработки керамических изделий должны обеспечивать оптимальную микрогеометрию и антифрикционные свойства этих изделий. Абразивная обработка является единственным видом холодной обработки обожженного керамического изделия, с помощью которой можно добиться повышения его точности и чистоты обработки.

При правильном изготовлении керамических изделий точность их после обжига лежит в пределах допусков 4—5-го классов, поэтому изучение черногого обдирочного шлифования играет второстепенную роль. Более важным является освещение вопросов, связанных с тонким шлифованием (дистировкой) керамики, а также ее полированием, так как многие керамические изделия (мерители, фильеры, призмы приборов, нитеводители и др.) должны иметь очень точные размеры. Полирование уменьшает схватывание с металлом и коэффициент трения, уменьшает радиусы округления кромок инструментов, повышает стойкость изделий и их точность и т. д. Однако получение зеркальных керамических поверхностей высших классов чистоты (полирование керамики) сопряжено с рядом трудностей, которые, по-видимому, связаны с различной стойкостью при абразивном изнашивании кристаллической и стекловидной фаз керамического материала.

Производившаяся до последнего времени тонкая шлифовка и полировка стекла и камня с помощью порошков и паст, а металлов на шлифовальных кругах не давала возможности получать высокий класс чистоты при обработке керамики. Исследования, проведенные в Московском автомеханическом институте, внесли ясность в этот вопрос и позволили рекомендовать другие, наиболее рациональные методы.

Свободный абразив применялся при шлифовании в виде суспензии карбида бора, карбида кремния и электрокорунда на шлифовальниках из чугуна, железа, меди, свинца и плексигласа. При шлифовании на кругах применялись абразивы тех же видов при различных связках — керамической, бакелитовой и вулканитовой.

Исследования показали, что худшая микрогеометрия получается при прочих равных условиях при использовании карбида кремния, а лучшая — при применении электрокорунда. Лучшие результаты были получены на шлифовальниках медных и из плексигласа. Круги на керамической основе образуют на керамике многочисленные каверны (выколки) и поэтому непригодны для отделочных операций. Наименьшая шероховатость изделий отмечается при обработке их кругами на органических связках; близкие результаты получаются при шлифовании с помощью водной суспензии электрокорунда.

Во время шлифования мелкозернистыми кругами на вулканитовой и бакелитовой связках при увеличении скорости в пределах до 35 м/сек улучшается микрогеометрия керамики.

При доводке керамических поверхностей обычно применяется карбид бора зернистостью 240—320 на чугунном притире. Подобный способ приводит к образованию многочисленных выколов и зазубрин на кромках.

Из-за недостаточной эффективности доводки керамических поверхностей большое значение приобретают различные методы их полирования.

Проводился ряд опытов по полированию керамических поверхностей с помощью водных суспензий. Лучшие результаты были получены при применении красного крокуса, трепела и полирита на полировальниках из войлока, фетра и смол. Во всех случаях получена чистота обработки не выше 10-го класса.

Наблюдения показали, что лучшие результаты достигаются при полировании связанным абразивом. Важную роль играет также среда, в которой производится полирование. Например, применяя для полирования круги из электрокорунда зернистостью более 120 на вулканитовой связке и подавая слабый водный раствор кислот (например, 2-процентный раствор соляной и серной кислот), можно получить зеркальные керамические поверхности 11-го класса. Подобную микрогеометрию можно получить, натирая керамику полировальником из того же керамического материала при подаче небольшого количества воды.

Зеркальные поверхности высших классов можно получить также, сочетая в специальных полировальных кругах лучшие абразивы с вулканитовой и бакелитовой связками. При полировании на кругах из трепела на вулканитовой связке можно получить поверхность 12—13-го класса.

Обдирочное шлифование керамических пластинок, применяемых для резцов, рекомендуется производить на кругах из зеленого карбида кремния на керамической связке зернистостью от 46 до 120.

В результате проведенных исследований было установлено, что наиболее благоприятными условиями заточки являются: скорость 1—4 м/сек (наибольшая производительность при 2 м/сек), сила нажатия — порядка 75 кг/см<sup>2</sup>, наличие продольной подачи и охлаждения. При этих условиях происходит полное самозатачивание круга, качество заточки хорошее, лезвие получается без выкрашиваний и сколов, чистота поверхности в пределах 7—8-го классов для всех исследованных кругов. Производительность заточки, в зависимости от характеристики круга, составляет 450—750 мм<sup>3</sup>/мин, что в 30—40 раз превышает производительность при обычно рекомендуемых условиях. В связи с тем, что при данных режимах круг работает в условиях полного самозатачивания, расход абразива значителен и составляет в зависимости от характеристики круга 900—1500% от съема керамики. Большой расход абразива в значительной степени компенсируется более полным использованием круга.

Московский комбинат твердых сплавов рекомендует затачивать режущие керамические пластинки при скорости вращения круга 2—4 м/сек и только ручную, слегка прижимая пластинку к кругу. Необходимо, чтобы круг вращался по направлению от режущей кромки к опорной плоскости пластинки, т. е. круг должен «набегать» на пластинку. В качестве охлаждающей жидкости следует применять 3—5-процентный содовый раствор, который заливают в металлическое корыто под кругом в таком количестве, чтобы круг был погружен в этот раствор примерно на треть диаметра.

Доводка режущих кромок пластинок, по рекомендациям Комбината твердых сплавов, производится на чугунном вращающемся диске пастой из карбида бора зернистостью 240—320. При доводке притирают узкие фаски на передней и задних поверхностях пластинки. Ширина доводочной фаски на передней поверхности находится в пределах 0,2—0,3 мм, а по задним поверхностям, главной и переходной—1,0—1,5 мм. Окружная скорость доводочного диска должна быть в пределах 1,0—1,5 м/сек. По данным иностранной печати, рекомендуется доводить пластинки алмазными кругами зернистостью 320 и выше.

При использовании пластинок в многолезвийных инструментах, например в торцовых фрезах, необходимо перед заточкой и доводкой пластинок притирать их по опорным поверхностям для обеспечения параллельности плоскостей.

К методам подготовки керамических поверхностей также относятся различные их покрытия, благодаря которым на керамике образуются защитные пленки, могущие изменить износостойкость поверхности и поведение ее в условиях трения.

В частности, покрытие поверхности, или, как обычно называют, плакирование, может способствовать улучшению пайки керамических изделий.

Рассмотрим покрытия керамики двух видов: 1) покрытия пленками мягких окислов и 2) покрытия пленками некоторых металлов.

При покрытиях первого вида можно наносить пленки ряда окислов. Были проведены опыты, при которых керамика покрывалась пастой с использованием окиси меди. Технологической связкой для изготовления этой и других паст служил насыщенный раствор канифоли в скипидаре. В эту связку вводился порошок окиси меди до получения массы сметанообразной консистенции. Полученную пасту наносили мягкой кистью на предварительно очищенную поверхность керамики. Очистка состояла в промывании ацетоном и последующем выдерживании в течение получаса в хромовой смеси (равные объемы насыщенного раствора хромпика и концентрированной серной кислоты). После очистки пластинки промывались проточной водой и высушивались при температуре  $100 - 120^{\circ}$ . Затем их медленно нагревали в сушильном шкафу для удаления летучих составляющих связки. После этого пластинки нагревались в шахтной печи с карборундовыми нагревателями в течение  $5 - 7$  часов до температуры  $1050 - 1100^{\circ}$  с выдержкой  $60 - 80$  минут.

Правильный режим обжига обеспечивал получение ровной сплавившейся пленки, остеклованной с поверхности или имеющей характерный блеск мелких кристалликов. Такая пленка при соскабливании не отделяется. Аналогично производятся покрытия керамики пастами с другими окисями. Лучшие результаты получают при использовании окиси железа, дающей при температуре  $1600^{\circ}$  чрезвычайно прочно сцепленную с подложкой пленку темно-коричневого цвета, имеющую местами металлический блеск.

При покрытии керамики пленками некоторых металлов интересными методами являются: а) вжигание пленок окислов с последующим восстановлением их до металла и б) вжигание порошкообразного металла, сплавляемого легкоплавким стеклом.

Вжигание пленок с последующим восстановлением дало лучшие результаты при использовании окиси меди и худшие при использовании окиси железа. Многочисленные эксперименты показывают, что прочность сцепления пленки с керамикой обеспечивается только при вжигании пленки окисла в окислительно-газовой среде. При последующем нагревании керамики в трубчатой электрической печи в защитной газовой среде получают плотные пленки меди. Процесс восстановления происходит в течение  $30 - 40$  минут при температуре  $850 - 900^{\circ}$ .

При вжигании порошкообразных металлов хорошие резуль-

таты дает порошок железа с 10% стекла. До обжига процесс идет аналогично описанному выше. Обжиг проводится при температуре 950 — 1050°, с выдержкой до 30 минут.

Канд. техн. наук М. М. Иоффе предложил на основе заграничного опыта свой вариант металлизации керамики. По этому варианту керамику предварительно обезжиривают, поверхность ее покрывают пастой из гидрида титана и 5-процентного раствора целлулоида в амилацетате и сушат. Затем керамику покрывают обрезками меди или пермаллоя<sup>1</sup> и обжигают в вакууме при температуре для меди 1050°, а для пермаллоя 1350°.

Толщина полученных в результате плакирования тем или иным способом покрытий керамики находится в следующих пределах: средняя толщина пленок окиси меди (CuO) равна 0,1 — 0,2 мм, медной пленки — 0,03 — 0,05 мм, железной со стеклом — 0,2 — 0,4 мм. При плакировании способом, предложенным Иоффе, толщина пленки достигает 0,5 — 1 мм.

Ряд опытов, проведенных с плакированной керамикой, показал, что плакирование фактически не улучшает ее полируемости, а в ряде случаев ухудшает, но существенно повышает антифрикционные свойства керамических поверхностей, препятствуя наволакиванию металла при трении. Кроме того, плакированную керамику можно паять с металлом. Таким образом можно прочно соединить режущие пластинки с державками резцов.

Разработка вопросов плакирования керамики металлами подводит нас к новой проблеме создания керамико-металлических композиций (керметов) — проблеме, идея которой принадлежит проф. И. И. Китайгородскому. Эта проблема еще не нашла у нас решения в разработке вопросов применения керамики в машиностроении, в то время как за границей она уже широко разрабатывается. Лишь первые опыты по получению таких материалов были проведены в Московском автомеханическом институте.

### Трение и смазки в паре металл — керамика

При пластическом деформировании металлов, например волочении, интенсивное схватывание металла с керамикой препятствует стабилизации процесса. Даже в случаях умеренного наволакивания металла на керамическую поверхность, как это имеет место в мерителях, это явление оказывается нежелательным, снижая точность измерений и увеличивая износ. Обычно при заданных материалах трущейся пары и режиме трения применяются следующие меры борьбы со схватыванием: антизадирные смазки, защитные пленки и улучшение микрогеометрии поверхностей трения.

---

<sup>1</sup> Пермаллой — состав, содержащий 7,8% никеля и 92,2% железа.

Опыты в этом направлении при трении керамики с металлами были проведены в последние годы в керамической лаборатории МАМИ на машине трения МИ (типа Амслера). При проведении опытов кольцо контактировало с плоскостью, причем регистрировались: момент трения, работа и путь трения, нормальное давление, изменение веса образцов, конфигурация и площадь нароста на керамике. Для испытаний была взята керамика ЦМ-332 в паре с медью. Контрольные опыты производились при трении по стали марки 50. Давление было взято  $30 - 70 \text{ кг/мм}^2$ , скорость трения — порядка  $0,5 \text{ м/сек}$ .

Было установлено, что при названных условиях при сухом трении происходит интенсивное схватывание (вплоть до глубинного вырывания) металла с керамикой. Коэффициент трения  $\mu = 0,4 - 0,5$ .

После применения различных смазок, используемых для уменьшения трения металлов, было установлено, что большинство из них не дает положительных результатов при трении керамики по металлу, лишь глицерин хорошо устранял наволакивание и сводил к минимуму износ, обеспечивая по меди коэффициент трения  $\mu = 0,01 - 0,05$ , а по стали  $0,03 - 0,06$ . Хорошей приработочной смазкой, обеспечивающей тонкую приработку керамической поверхности, является водная суспензия коллоидального графита (аквадаг). Лучшая из этих смазок — препарат ЭЛП-В. При применении этого препарата полностью устраняется заедание, уменьшается износ металла, но повышается износ керамики. Таким образом, данный препарат является лишь хорошей приработочной смазкой для точных сопряжений деталей машин.

В паре «керамика по керамике» при всех смазках при повышенных давлениях возникает катастрофический износ и большие коэффициенты трения, вследствие чего следует избегать такого сочетания.

Интересно отметить влияние на трение микрогеометрии керамической поверхности. Оказывается, что даже при сухом трении тонкая шлифовка и полировка керамики резко локализуют размеры схватывания. При смазке глицерином такие поверхности почти не имеют признаков наволакивания металла, а коэффициент трения, например по меди, достигает  $0,009 - 0,018$ . На основе этих данных можно сделать вывод, что керамика является не только материалом высшей износостойкости, но она перспективна в качестве антифрикционного материала.

## **ПРИМЕНЕНИЕ КЕРАМИКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

В предыдущем разделе рассказывалось о некоторых экспериментальных исследованиях, проведенных для определения ряда свойств керамических изделий. На основе результатов этих исследований можно было уточнить методы обработки



и материалы, которые рационально применять для изготовления керамических инструментов и деталей машин.

При выборе изделий, которые целесообразно изготавливать из керамики, следует руководствоваться главным образом следующими соображениями:

а) выбирать инструменты и детали, широко применяемые в машиностроении, улучшение и удешевление которых дало бы ощутимый технико-экономический эффект;

б) при выборе изделия следует учитывать технические возможности керамики.

В данном разделе будут рассмотрены различные минерало-керамические инструменты — металлорежущие, дереворежущие, мерительные, волоочильные, а также матрицы для пресования и различные износостойкие и антифрикционные детали машин.

### **Металлорежущие инструменты**

Первая в СССР экспериментальная работа по применению керамики в резцах для обработки металлов была проведена инж. С. И. Мишкиндо совместно с канд. техн. наук П. О. Грибовским (1946—1948 гг.). Эта работа дала хорошие результаты. Начиная с 1949 года в нашей стране началась интенсивная разработка указанной проблемы. В результате ряда проведенных экспериментов группе работников МХТИ имени Менделеева под руководством доктора технических наук проф. И. И. Китайгородского удалось к концу 1950 года изготовить для резцов корундовый стеклоцементный материал нового типа, названный микролитом ЦМ-332.

Дальнейшее развитие работы в этом направлении заключалось главным образом в изучении условий использования полученной керамики в резцах различной конструкции и исследовании вопросов производительности таких резцов.

После ряда работ, проведенных различными научно-исследовательскими организациями и заводами, были созданы оптимальные конструкции резцов, повышена их стойкость и стабильность, а также значительно расширены области их применения.

В настоящее время керамические резцы применяют на многих предприятиях. На некоторых из них созданы новые конструкции резцов и разработаны рациональные методы их использования. Первым из таких предприятий является Московский машиностроительный завод имени М. И. Калинина. Работники завода широко применяют минералокерамические резцы на токарных операциях и достигли при этом немалых успехов.

Замена в ряде случаев резцов из твердых сплавов керамическими дала возможность заводу значительно снизить затрату машинного времени и повысить производительность станков;

такие результаты достигнуты за счет резкого повышения скоростей резания.

Керамические пластинки закрепляют в специальных державках. На рис. 1 показаны державки для различных резцов. Эти державки просты по конструкции и могут быть изготовлены на любом заводе. Они обеспечивают правильное положение и надежное крепление пластинок, а также быструю смену их (15—20 сек.) на станке в случае затупления или поломки.

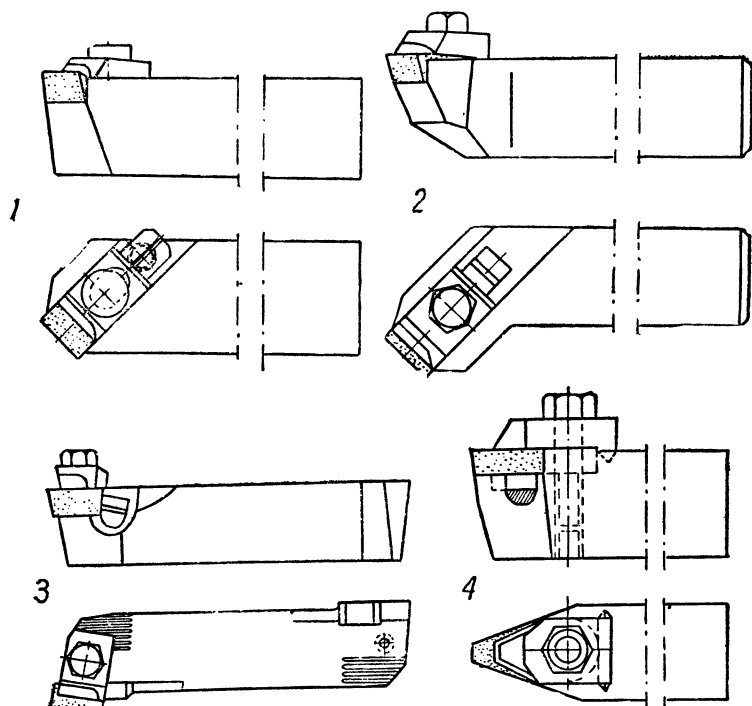


Рис. 1. Державки для различных резцов:  
1—для прямого проходного резца; 2—для отогнутого проходного резца; 3—для подрезного резца и 4—для прорезного резца.

Прижим, крепящий пластинку в пазу державки, служит одновременно стружкозавивателем и стружколомателем. Это особенно важно потому, что обработка стали керамическими резцами производится с большими скоростями. При помощи упорного винта с эксцентриковой головкой можно постепенно, по мере стачивания пластинки, выдвигать ее на 1,2 и 3 мм.

В зависимости от качества отдельных пластинок и условий работы стойкость керамики при черновой обточке чугуна и стали колеблется от 2 до 70 минут.

На заводе применяют такие резцы главным образом при обдирочном точении по корке чугунных отливок и стальных поковок свободнойковки.

Применяемое на заводе имени Калинина и на других заводах механическое крепление пластинок не обеспечивает равномерного распределения давления на пластинку при ее зажиме. Это объясняется недостаточной ровностью опорных плоскостей пластинок, выпускаемых комбинатом твердых сплавов.

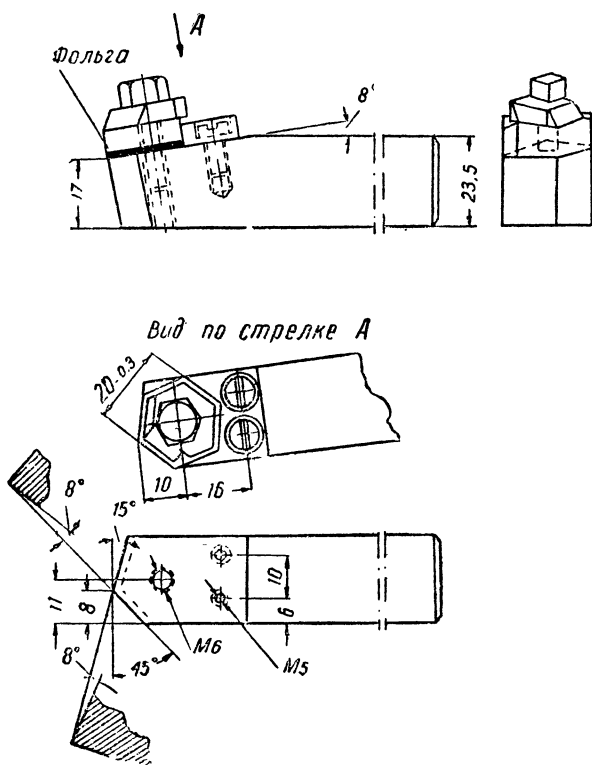


Рис. 2. Державка для проходного резца с пластинкой шестигранной формы для обработки чугуна.

Прокладки из мягких металлов между пластинкой и гнездом державки и между пластинкой и верхним прижимом уменьшают эту неравномерность, но не в полной мере. Значительное количество пластинок ломается в основном из-за больших местных напряжений, возникающих при зажиме пластинок в державках резцов. В последнее время большое распространение приобретает базирование керамических пластинок с предварительно доведенной опорной плоскостью на прокладке из твердого сплава. Это обеспечивает большую жесткость соединения и долговечность державки.

Челябинским абразивным заводом были предложены новые формы пластинок, пригодные для токарных резцов всех типов. Эти пластинки с несколькими режущими лезвиями и с отверстиями для их крепления не имеют некоторых из указанных выше недостатков. Конструкция державки для проходных резцов с пластинками шестигранной формы и геометрия заточки пластинки для обработки чугуна показаны на рис. 2. Державка имеет отрицательный передний угол, равный  $8^\circ$ , что позволяет использовать пластинку без переточки 12 раз. У шестигранных пластинок, предназначенных для обработки стали, должны быть заточены задние углы на всех шести гранях; тогда каждую пластинку можно будет использовать 6 раз.

Пластинки трапецеидальной формы могут применяться для упорно-подрезных и расточных резцов при растачивании глухих отверстий и уступов; пластинки ромбовидной формы — для резцов упорно-подрезных и расточных при растачивании сквозных отверстий; пластинки треугольной формы — для резьбовых резцов и расточных при наличии уступов в отверстиях. Все такие резцы имеют верхние прижимы с припаянными к ним твердосплавными пластинками, которые служат стружколомателями. Крепление пластинок центральным болтом создает равномерное давление на пластинку. Простота конструкции зажима позволяет быстро устанавливать пластинку для использования очередной острой кромки.

Механическое крепление керамических пластинок является наиболее распространенным, так как обладает рядом преимуществ перед неразъемными соединениями.

Дело в том, что ни один из припоев, применяемых для пайки металлов и сплавов, не «смачивает» керамики. Поэтому используют различные методы крепления, применяющиеся на отдельных заводах в определенных случаях, когда нельзя применить механическое крепление. Большинство из них не обеспечивает необходимой прочности соединения.

Лучшим методом является пайка по плакированной медью или другим металлом поверхности керамической пластинки. Опыт Харьковского завода транспортного машиностроения, Крюковского вагоностроительного завода и других говорит о том, что такой метод пайки обеспечивает соответствующую прочность крепления. Для такой напайки надо иметь предварительно плакированные пластинки, но до сих пор такие пластинки в централизованном порядке Комбинат твердых сплавов не выпускает и заводам приходится самим проводить плакирование, что не всегда возможно.

Керамические резцы в настоящее время успешно применяются на многих заводах. Для более рационального использования таких резцов необходимо соблюдать соответствующую геометрию режущих элементов их, а также оптимальные режимы резания.

Наиболее важным вопросом геометрии керамических резцов является определение конструктивной формы передней грани. Рациональная геометрия передней части резца зависит от характера износа, подачи, условий входа и выхода инструмента, а также от величины сил резания. Проведившиеся стойкостные и динамические опыты с керамическими резцами позволяют установить следующее.

Из-за значительной хрупкости керамики лезвия таких резцов мелко выкрашиваются, осыпаются в первый момент резания, и, как следствие этого, получается сравнительно большое округление лезвия и большой первоначальный износ (около 0,1 мм). На интенсивность и величину выкрашивания влияют жесткость системы станок—деталь—инструмент, жесткость державки, ударный характер приложения сил резания при входе и выходе резца, особенно при больших подачах. Последние исследования показали, что при точении стали и чугуна средней твердости керамические резцы должны иметь положительный передний угол от  $5^\circ$  до  $15^\circ$  (для уменьшения вибраций и сил резания) и отрицательную фаску на передней грани шириной 0,1—0,2 мм по всему режущему периметру с углом от 5 до  $45^\circ$ , в зависимости от подачи и условий работы.

Задние углы, главный и вспомогательный, целесообразно брать  $\alpha = \alpha_1 = 8-10^\circ$ , главный угол в плане для проходных резцов  $\varphi = 45-75^\circ$ , а вспомогательный  $\varphi_1 = 10-15^\circ$ . Радиус сопряжения задних поверхностей для обдирочных работ следует принимать 1,5 мм и для чистовых 1 мм.

Исследования стойкости керамических резцов и чистоты обработанной ими поверхности дают возможность сделать следующие выводы. Максимально допустимый износ задней грани резцов при точении стали — не более 0,4 мм, а при точении чугуна — порядка 0,5—0,6 мм. При большем износе происходит выкрашивание, сколы и ухудшается чистота обрабатываемой поверхности. При чистовом точении стали рекомендуется работать с подачей 0,08—0,12 мм/об, глубиной резания — 0,25—0,5 мм и скоростями резания — 300—400 м/мин. Стойкость резцов при этих режимах достигает 50—100 минут; чистота поверхности при точении стали средней твердости наивысшая (в пределах 6—7-го класса).

При чистовом точении чугуна рекомендуется применять скорости резания в пределах 300—800 м/мин. В этом случае чистота обработанной поверхности находится в пределах 7—8-го класса, стойкость — в пределах 35—120 минут.

Таким образом, вопросы рационального использования керамических резцов к настоящему времени проработаны достаточно полно. Задача наших заводов — широко использовать такие резцы в производстве, учитывая специфические особенности керамики.

Попытки оснащения керамикой других режущих инструмен-

тов делались уже давно, но положительных результатов удалось добиться лишь при оснащении керамикой торцовых фрез. На рис. 3 представлена фреза, созданная на Горьковском автозаводе. Такой фрезой можно обрабатывать чугунные изделия со скоростью резания в 2 раза большей, чем при использовании аналогичной ей твердосплавной фрезы. Однако допустимая подача на зуб намного меньше, чем при работе твердосплавной фрезой. Отсюда можно сделать вывод, что работа такими минералокерамическими фрезами не всегда оправдывает себя экономически.

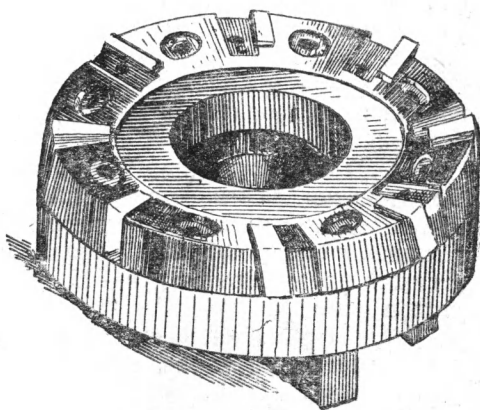


Рис. 3. Торцовая фреза, оснащенная керамическими пластинками.

На одном из машиностроительных заводов внедрена в производство торцовая фреза для ступенчатого фрезерования чу-

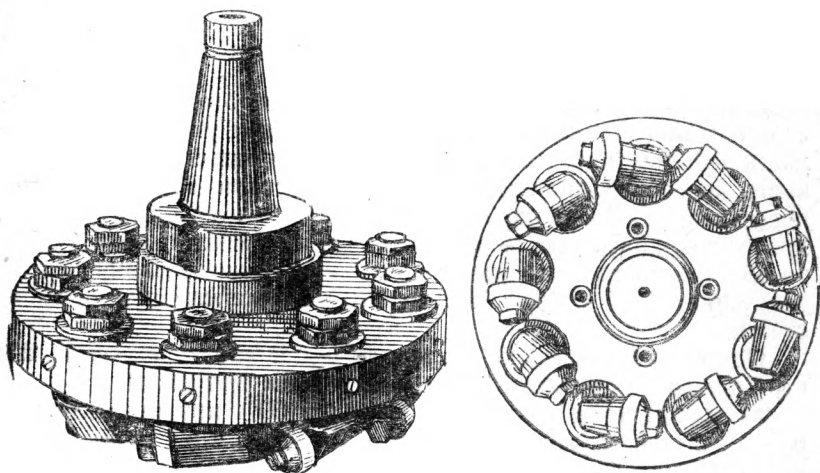


Рис. 4. Торцовая фреза с режущими кольцами из керамики.

гунных деталей из чугуна твердостью  $190\text{--}255 \text{ кг/мм}^2$  и стальных — из конструкционной стали 45.

Эта фреза, изображенная на рис. 4, имеет вставные цилин-

дрические державки, на которых закреплены режущие кольца из керамики. Вставные резцы этих фрез расположены в радиальном направлении на разных расстояниях от оси фрезы и имеют неодинаковый вылет в осевом направлении. Установка резцов по высоте регулируется так, что каждый резец снимает слой металла не более 1 мм. Большая глубина резания, как показали исследования, приводит к сколам кольцевых резцов из керамики.

Чтобы обеспечить плотное прилегание колец к опорной шайбе державки, их необходимо шлифовать и, кроме того, следует помещать под кольцо и на него прокладки из медной фольги толщиной около 0,1 мм. Передний угол режущих элементов в такой фрезе берется  $\gamma = -12^\circ \div -8^\circ$ , задний угол  $\alpha = 12^\circ \div 8^\circ$ , угол в плане  $\varphi = 10 \div 12^\circ$ .

Такие фрезы на заводе применяются как для чернового фрезерования по корке, так и для чистового под окончательный размер.

В результате замены твердосплавной фрезы керамической скорости резания повышены на 60%, а минутные подачи — на 25—70%. Одновременно с повышением режимов резания стойкость фрез увеличилась более чем в 2 раза.

При двустороннем использовании кольцевых резцов можно получить без переточки 15—20 периодов стойкости путем соответствующих поворотов колец относительно их оси.

Опыт этого завода начинают использовать и другие заводы.

## Дереворежущие инструменты

Дереворежущие инструменты обычно изготавливают из инструментальных сталей, преимущественно углеродистых, и лишь небольшую часть их армируют твердыми сплавами. Стойкость дереворежущих инструментов из стали в ряде случаев недостаточна. Очевидно целесообразнее было бы при резании древесины применять керамические инструменты, если учесть то обстоятельство, что удельное сопротивление резания дерева составляет 1—7 кг/мм<sup>2</sup> против 120—300 кг/мм<sup>2</sup> при резании стали.

Однако керамические материалы для дереворежущих инструментов не применялись по следующим причинам:

а) малые углы резания ( $\delta$  порядка  $60^\circ$ ) при относительно больших задних углах ( $\alpha$  порядка 10—15°), что ослабляет режущую кромку;

б) необходимость получения ровных и весьма острых режущих кромок ( $r$  до 10 микрон и менее), что требует специальных методов заточки, этим же вызывается ослабление сечения лезвия в зоне малых  $r$ ;

в) ударные нагрузки на режущие зубья, так как большинство дереворежущих инструментов работает по схеме фрезы;

г) обязательность надежной пайки режущих зубьев в корпусах инструментов (там, где применяется пайка) из-за больших центробежных сил при обычных скоростях обработки (5000—8000 об/мин.).

Для решения этих вопросов в лаборатории машиностроительной керамики Московского автомеханического института были проведены ассистентом Е. Г. Шумовым под руководством автора экспериментальные работы.

Изготовлены следующие дереворежущие инструменты:

1) двузубая фреза для деревообрабатывающего цеха автозавода имени И. А. Лихачева, представленная на рис. 5;

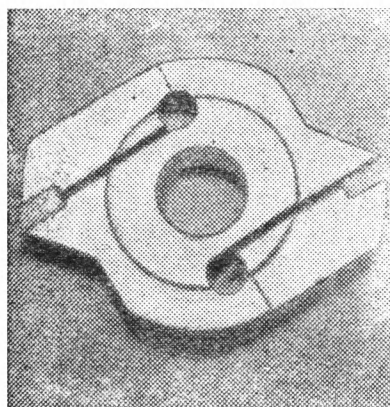


Рис. 5 Двузубая фреза по дереву с керамическими пластинками.

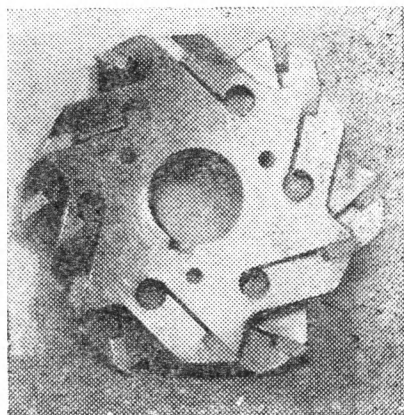


Рис. 6. Шестизубая ступенчатая фреза по дереву с керамическими пластинками.

2) шестизубая ступенчатая фреза для Московского завода малолитражных автомобилей, представленная на рис. 6, и

3) двузубая составная фреза для деревообрабатывающего завода Министерства приборостроения, аналогичная представленной на рис. 5.

Эти фрезы были испытаны в условиях производства при обработке древесины различных пород, фанеры и даже текстолита со скоростью до 6000 об/мин.

Результаты испытаний показывают, что минералокерамическими фрезами можно успешно обрабатывать древесину различных пород. Внедрение таких фрез в производство—дело ближайшего будущего. Необходимо дальнейшее развитие исследовательских работ в данной области для установления наиболее рациональной геометрии режущих элементов таких инструментов и расширения их номенклатуры.



## Мерительные инструменты

В 1942 году П. О. Грибовский выдвинул идею оснащения калибров керамикой, но только в 1954 году лаборатория машиностроительной керамики МАМИ приступила к практическому осуществлению этой идеи. Были изготовлены калибры с керамическими кольцами и стальными хвостовиками и ручками (рис. 7). Кольца изготовлялись методом горячего литья. В равных условиях с керамическими калибрами испытывались калибры из инструментальной стали У10. Испытания проводились в цеховых условиях. Калибрами измеряли детали массового производства на заводе МЗМА на тех позициях, где износ стальных калибров велик.

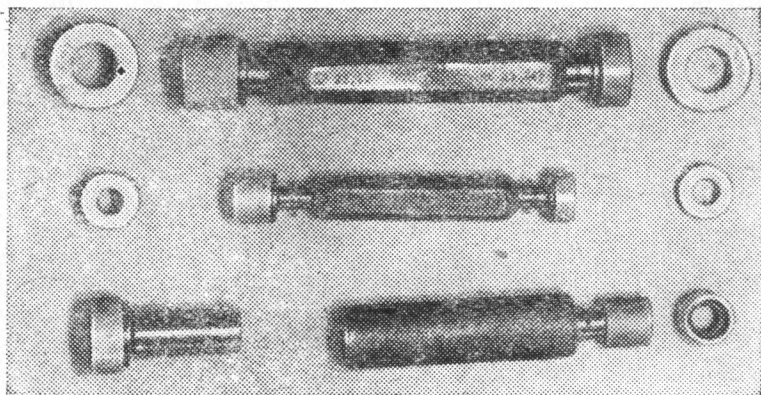


Рис. 7. Калибры-пробки с керамическими насадками.

Полученные данные показали, что износостойкость одного калибра из корундостеатитового материала была выше износостойкости калибра из стали У10 более чем в 23 раза. Образец калибра не был полностью изношен. Другие корундостеатитовые и корундомуллитовые калибры оказались в 3—4 раза более стойкими, чем стальные, а стеатитовые имеют примерно одинаковую стойкость со стальными.

Один корундовый калибр в течение четырех смен совсем не изнашивался, в то время как стальной изнашивался на 1—2 микрона.

Эксперименты показали, что внедрению керамических калибров должна предшествовать определенная подготовка: инструктаж сотрудников, защита мест хранения калибров амортизирующими прокладками, облегчение веса калибров путем применения рукояток из пластмассы.

## Волоочильный инструмент

Работы по применению керамических волок для волочения черных металлов показывают, что в том случае, когда удава-

лось осуществить стабильное волочение через керамическую волоку, стойкость ее оказывалась выше, чем твердосплавной. Всесоюзной конторой технической помощи на Каменск-Уральском заводе проводились испытания волок из керамики. При волочении хромеля через керамические волоки стойкость их оказалась выше стойкости волок из твердого сплава ВК8. Производительность станков при работе с новыми волоками повысилась на 30—40% за счет сокращения простоев, вызываемых сменой изношенных волок.

Такие волоки крепятся так же, как и твердосплавные, в стальных обоймах методом горячей запрессовки или посредством скользящей посадки с последующей зачеканкой внутренней кромки обоймы. Рабочий канал расшлифовывается до заданного размера обычным способом, применяемым на заводе для твердосплавных волок. В качестве смазки применяют порошкообразную смесь графита и серы.

На металлургическом заводе в городе Лиепая были испытаны волоки из керамики при протягивании проволоки из конструкционной стали СТ2 диаметром от 6,8 до 5,3 мм. Эти волоки крепились в стальных обоймах методом горячей запрессовки. Волоки из керамики ЦМ-332 показали при испытаниях примерно вдвое большую стойкость, чем волоки из твердого сплава ВК8.

Волочение меди широко применяется в электротехнической промышленности. Неоднократные попытки волочения меди через волоки из керамики ЦМ-332 оканчивались неудачей, так как мгновенно возникали затяжки из-за налипания меди на стенки канала, в результате чего проволока обрывалась через каждые несколько метров.

Одним из препятствий была трудность получения керамических заготовок с волочильным каналом правильной геометрии при надлежащей плотности стенок. В лаборатории машиностроительной керамики Московского автомеханического института провели ряд экспериментов с целью ликвидации ука-

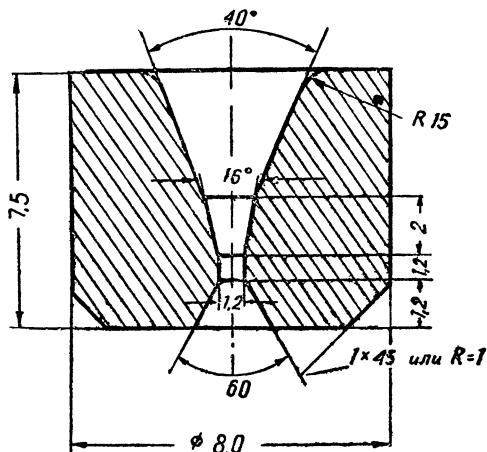


Рис. 8. Волоки с керамическими вставками для протягивания медной проволоки диаметром 1,2 мм.

занного недостатка. Там изготовили слепую заготовку, а затем в ней просверлили отверстия. Это позволило заметно улучшить качество заготовок.

Были испытаны различные виды покрытий. Лучшие результаты показали образцы, плакированные окисью меди.

Для изготовления волок были применены наиболее тонкозернистые и износостойкие материалы. В качестве смазки использовался глицерин и специальное масло. Волочение проходило со скоростью  $0,6—1,5$  м/сек, при обжати медной проволоки в  $21—28\%$ . Диаметр входной волоки —  $1,2$  мм, как показано на рис. 8. Результаты опытов показали, что усилие при волочении через керамическую волоку несколько меньше, чем через твердосплавную. Стойкость керамических волок на  $50—70\%$  выше стойкости твердосплавных.

Внедрению керамических волок в производство должна еще предшествовать углубленная экспериментальная проработка многих вопросов их эксплуатации.

### Матрицы для прессования

При прессовании проволоки и прутков из цветных металлов и их сплавов вставки к матрицам, через которые продавливается нагретый до  $800^\circ$  металл, должны хорошо противостоять воздействию высоких температур и больших удельных давлений. На Каменск-Уральском заводе твердосплавные вставки в

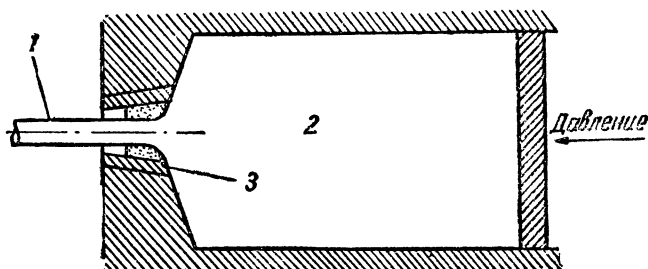


Рис. 9. Схема установки для прессования проволоки:  
1—проволока; 2—сжимаемый металл; 3—керамическая вставка.

матрицах для прессования латунной проволоки частично заменены вставками из керамики ЦМ-322. Вставка из керамики имеет свободную посадку в гнезде стальной обоймы и закрепляется в нем при помощи кольца с фаской и зачеканки края обоймы. Принципиальная схема прессования показана на рис. 9. Проволоку прессуют на прессе мощностью  $1500$  т. Нагретый металл продавливается через канал вставки-волоки со скоростью  $12—15$  м/сек.

В результате замены вставок из сплава ВК8 вставками из керамики повысился процент выхода годной продукции, так как керамика значительно меньше слипается с прессуемым металлом. По стойкости вставки из керамики практически равноценны вставкам из сплава ВК8.

На заводе «Красный выборжец» также применяют керамические вставки при прессовании проволоки из медных и латунных прутков. По данным заводов, основной причиной выхода из строя керамических вставок является растрескивание их в результате резких перепадов температуры в процессе прессования, которые и следует, по возможности, предотвратить.

Лаборатория машиностроительной керамики МАМИ в настоящее время ведет исследовательские работы по созданию матриц для прессования свинцовой проволоки.

### **Различные износостойкие и антифрикционные детали машин**

Керамика, вследствие своей высокой износостойкости, может получить очень широкое применение при изготовлении деталей, работающих на истирание.

Рассмотрим ряд изделий нашего машиностроения, в которых используется керамика взамен твердых сплавов и качественных сталей.

Первая группа таких изделий относится к различного рода направляющим втулкам, которые изнашиваются от трения об их стенки каких-либо металлов, сплавов, текстиля и т. п.

На Харьковском канатном заводе керамические вставки в направляющих втулках, изготовленные Комбинатом твердых сплавов, применяются в сигарных прядевьющих машинах канатно-проволочного производства. Стойкость их до износа от 15 месяцев до двух и более лет, тогда как вставки из закаленной инструментальной стали У8 работали не более четырех смен. Условия работы направляющих проволоку вставок весьма тяжелые, так крутильная доска со вставками, показанная на рис. 10, делает 1200 об/мин. В шпагатном и канатно-волокнутом производствах такие вставки, поставленные на машины в 1953 году, работают без замены до сего времени.

На ленинградской фабрике «Канат» в 1954 году стальные направляющие вставки были частично заменены керамическими, что дало очень хорошие результаты.

Интересные результаты дало внедрение направляющих втулок на заводах «Москабель» и «Кирскабель», проведенное лабораторией машиностроительной керамики МАМИ.

При крутке металлических кабелей в крутильно-вьющих машинах отдельные жилы пропускаются через систему направляющих втулок, которые размещены на быстро вращающихся барабанах диаметром до 3 м.

Для опытов взяли втулки с внутренним диаметром 8 мм, которые были конструктивно оформлены в виде двух колец, закрепленных в стальной обойме (рис. 11).

Во время испытаний скручивали алюминиевую проволоку диаметром 2,3—3,4 мм и стальную проволоку диаметром 2—2,5 мм.

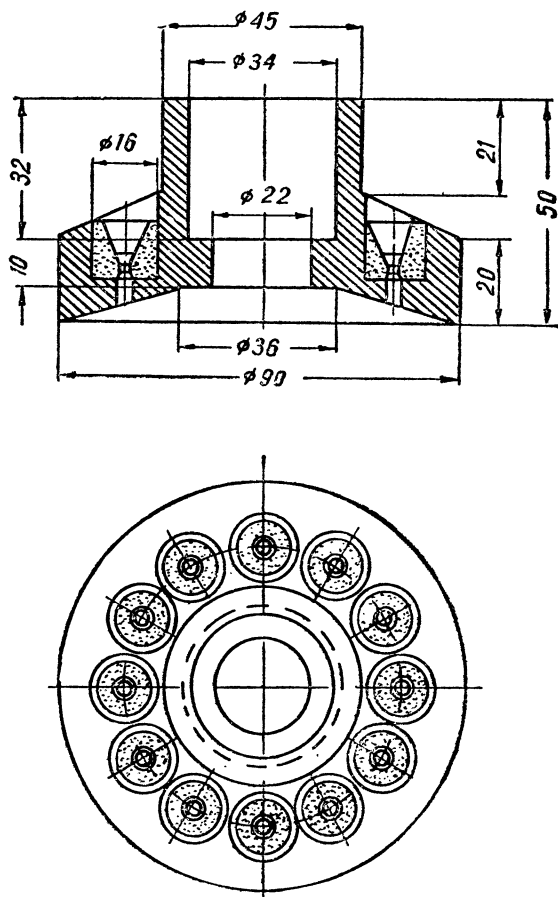


Рис. 10. Крутильная доска с керамическими вставками.

В результате испытаний установили, что внедрение таких втулок на всех аналогичных машинах может дать значительный экономический эффект, так как керамические втулки обеспечивают повышение производительности крутильных машин, сокращение расхода втулок и уменьшение затрат на ремонт и восстановление.

Результаты, получаемые от применения втулок, оснащенных керамикой, можно оценить и с иной стороны. Керамические втулки являются одними из первых испытанных керамических деталей машин. Условия эксплуатации этих втулок достаточно типичны для многих деталей, работающих на износ. Следовательно, благоприятные результаты, полученные при применении керамики во втулках, могут рассматриваться как предпосылка к развитию машиностроительной керамики, понимаемая под ней широкий круг деталей машин.

В настоящее время Комбинат твердых сплавов изготавливает керамические сопла для пескоструйных аппаратов. По данным заводов-потребителей, такие сопла по стойкости превосходят во много раз стальные закаленные сопла.

На шпульных машинах «Хакоба» и мотально-катушечных машинах «Стандарт», установленных на Государственном все-союзном шелкоткацком красильно-отделочном комбинате имени Щербакова, стеклянные столбики для натяжения нитей, тормозные диски и глазки нитеводителей были заменены керамическими. Стойкость их оказалась большей в десятки раз.

Можно привести примеры использования керамических деталей из зарубежной практики.

Так, немецкая фирма Битлер выпускает наборные керамические ведущие конуса для натяжения протягиваемой проволоки на волочильной машине (рис. 12), взамен металлических, обычно быстро изнашивающихся. Конус состоит из ступенчатого ролика, собранного из отдельных колец 1—5 и трехступенчатого ролика 6, насаженных на металлическую втулку 7 и закрепленных гайками 8.

За рубежом изготавливаются редукторы с шестернями из керамики, шариковые и роликовые керамические подшипники и много других изделий.

Все, о чем было рассказано выше, свидетельствует о широких перспективах, которые имеет керамика в машиностроении.

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КЕРАМИКИ

Одним из важнейших факторов, определяющих перспективы внедрения керамики в производство, является экономическая целесообразность замены многих инструментов и деталей из металлов и твердых сплавов керамическими. Однако точную оценку экономического эффекта от внедрения керамических

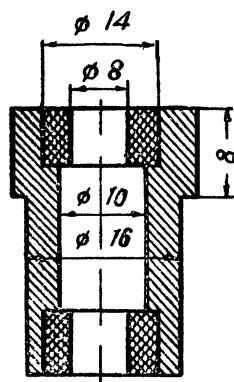


Рис. 11. Втулка с керамическими вставками

изделий можно будет сделать лишь на основе анализа их производства и эксплуатации в разных условиях в течение длительного времени. Не располагая такими данными, мы вынуждены ограничиться лишь обзором некоторых общих предпосылок в этой области.

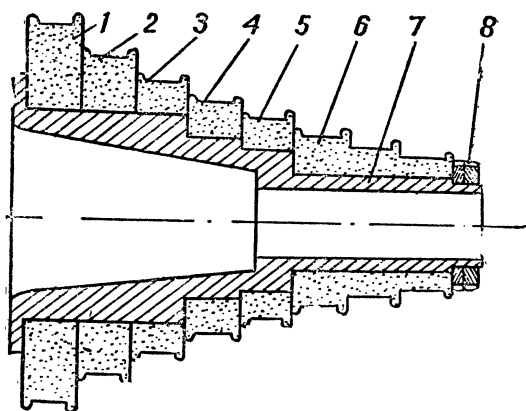
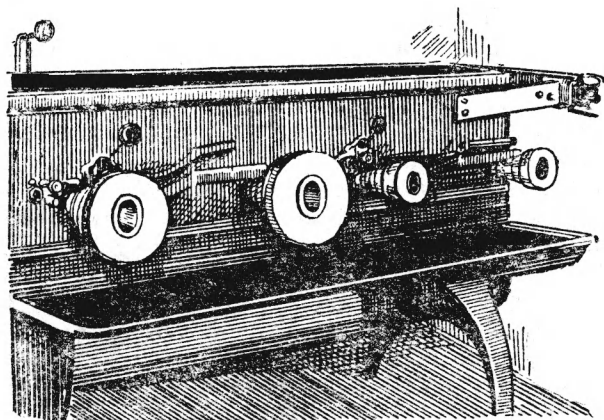


Рис. 12. Волоочильная машина с керамическими конусами:  
вверху—общий вид машины; внизу —  
керамический конус.

Интенсификация производственных процессов вызывает неуклонное повышение требований к износостойкости, красностойкости и коррозионной стойкости многих деталей машиностроения и различных инструментов. По этим показателям керамические материалы превосходят металлы и твердые сплавы,

и в этом состоит первый важный стимул к их применению в машиностроении.

Второй предпосылкой к внедрению керамики в машиностроении является высокая технологичность керамических изделий в условиях крупносерийного и массового производства. Необходимо отметить, что получаемые при этом после обжига заготовки отвечают 4—5 классам чистоты, т. е. зачастую не нуждаются в дальнейшей обработке.

Третья существенная особенность керамики состоит в том, что она использует дешевое сырье, в изобилии имеющееся в стране. Так, для изготовления корундовой керамики используется глинозем или гидраты окиси алюминия, получаемые из таких руд, как бокситы и т. п. Стоимость тонны технической окиси алюминия 765—785 руб., в то время как тонна порошка карбида вольфрама (сырье для твердых сплавов) стоит 100 000 руб.

Кроме указанных преимуществ, керамика имеет целый ряд особенностей, которые делают ее подчас наиболее рациональным машиностроительным материалом: низкий коэффициент термического расширения, большая прочность на сжатие, относительно небольшой вес, высокие электроизоляционные свойства.

Приведенные выше соображения показывают, что синтетические материалы типа керамики могут иметь большое значение для машиностроения. При этом в первую очередь надлежит уделить внимание окисной керамике, составляющей наиболее развитую область керамической технологии и материаловедения.

---



## Л И Т Е Р А Т У Р А

**Васильев А. Н., Майер Я. И., Морозов Ф. И** и др. — Применение керамических резцов на Московском машиностроительном заводе им. М. И. Калинина, 1954.

**Грибовский П. О.** — Горячее литье керамических изделий, Госэнергоиздат, 1956

**Жихарев В. И.** — Износ резцов с минералокерамическими пластинками, Журн. «Станки и инструмент», 1955, № 5.

**Замятин П. А.** — Минералокерамические сплавы и их применение, Металлургиздат, 1955.

**Исаев А. И. и Кириллова О. М.** — Исследование режущих свойств резцов с минералокерамическими пластинками, 1957.

**Китайгородский И. И. и Павлушкин Н. М.** — Свойства корундового микролита Журн. «Стекло и керамика», 1955, № 11.

**Кифер Р. и Шварцкопф П.** — Твердые сплавы, Металлургиздат, 1957.

**Лигский Ю. Д. и Наумов Л. Н.** — Торцовая фреза с круглыми минералокерамическими ножами, Журн. «Станки и инструмент», 1955, № 5.

**Меламед В. И.** — Многолезвийные минералокерамические пластинки, Журн. «Станки и инструмент», 1957, № 7.

**Мишкинд С. И.** — Вопросы развития машиностроительной керамики, 1957.

Сборник «Исследования и опыт внедрения скоростного резания металлов минералокерамическими инструментами», Горький, 1957.

Сборник «Физико-химические основы керамики», Промстройиздат, 1956.

**Тресвятский С. Г. и Черепанов А. М.** — Высокоогнеупорные материалы и изделия из окислов, Металлургиздат, 1957

**Четвериков С. С., Грибовский П. О. и Мишкинд С. И.** — Дереворежущий инструмент из керамики, Журн. «Деревообрабатывающая промышленность», 1955, № 3

**Четвериков С. С., Мишкинд С. И.** — Проблемы машиностроительной керамики. Сборник трудов Московской конференции по минералокерамическому инструменту Оборонгиз, 1958.

**Шепелева М. Д.** — Минералокерамический инструментальный материал ЦМ-332, Металлургиздат, 1957.

---

Издательство «Знание» Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний в 1957 году выпустило серию плакатов «Атомная энергия и ядерные реакторы» и в настоящее время приступило к изданию серии многокрасочных плакатов на тему:

## «РАДИОАКТИВНЫЕ ИЗОТОПЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ»

Автор — доктор химических наук, профессор **М. Б. Нейман.**

Цена одного комплекта, состоящего из 15 плакатов, — 30 рублей.

Тираж — 25 000 экз.

В плакатах отражены успехи ученых и инженеров СССР и зарубежных стран в деле применения радиоактивных изотопов в народном хозяйстве, агрономии, медицине и научных исследованиях.

При подготовке плакатов использованы материалы Женевской конференции 1955 года по мирному применению атомной энергии, Всесоюзной конференции 1957 года и Парижской конференции 1957 года по применению радиоактивных изотопов.

Плакаты могут быть использованы как наглядное пособие в школах, техникумах, вузах и при проведении лекций на научно-технические темы в домах культуры, заводских клубах, избах-читальнях и т. п.

### В плакатах разработаны следующие вопросы:

1. Методы получения радиоактивных изотопов.
2. Радиоактивные изотопы и их обнаружение.
3. Методы применения изотопов и техника безопасности.
4. Радиоактивные изотопы в металлургии.
5. Радиоактивные изотопы в машиностроении.
6. Радиоактивные изотопы и добыча топлива.
7. Радиоактивные изотопы в строительстве.
8. Радиоактивные изотопы в промышленности средств связи.
9. Радиоактивные изотопы в химической промышленности.
10. Радиоактивные изотопы в пищевой промышленности.
11. Радиоактивные изотопы в легкой промышленности.
12. Радиоактивные изотопы в сельском хозяйстве.
13. Радиоактивные изотопы в биологии.
14. Радиоактивные изотопы в диагностике.
15. Радиоактивные изотопы в терапии.

Помимо кратких пояснений, имеющихсся на каждом плакате, серия снабжена методическим пособием-брошюрой, в которой даны подробные пояснения.

Предварительные заказы просим направлять по адресу: Москва, Новая площадь, д. 3/4, издательство «Знание», отдел распространения.

Плакаты будут высылаться наложенным платежом (без задатка).

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»**