

**PCT**

ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
Международное бюро

МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ  
С ДОГОВОРОМ О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (PCT)



(51) Международная классификация изобретения 5: B24B 7/16, 37/04	A1	(11) Номер международной публикации: WO 94/17956 (43) Дата международной публикации: 18 августа 1994 (18.08.94)
---------------------------------------------------------------------	----	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(21) Номер международной заявки: PCT/RU93/00042

(22) Дата международной подачи:  
12 февраля 1993 (12.02.93)

(71)(72) Заявитель и изобретатель: КОНДРАТЕНКО  
Владимир Степанович [RU/RU]; 111402 Москва, ул.  
Вешняковская, д. 12, корп. 1, кв. 41 (RU) [KON-  
DRATENKO, Vladimir Stepanovich, Moscow (RU)].

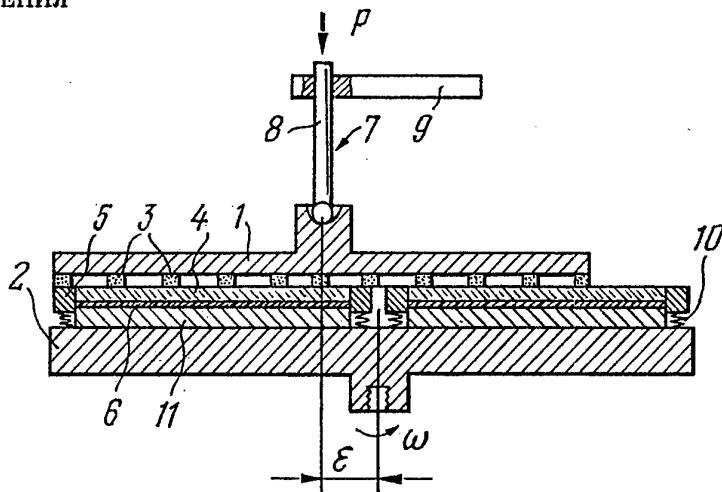
(81) Указанные государства: AU, CA, JP, KR, US, европейский патент (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

**Опубликована**

С отчетом о международном поиске.

(54) Title: PROCESS FOR MACHINING COMPONENTS MADE OF BRITTLE MATERIALS AND A DEVICE FOR CARRYING OUT THE SAME

(54) Название изобретения: СПОСОБ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ



**(57) Abstract**

The process involves optimizing the load conditions for the machined surfaces of the components, selecting and applying the optimum permissible specific force applied to the tool in the light of the relative thickness of the machined component, and using laser cutting to cut the edges of the components to size after the surface of the components has been machined. The process disclosed is carried out using a novel diamond-abrasive tool and novel designs for the devices concerned. According to one variant, the device comprises a surface plate (1) with a diamond-abrasive tool and a surface plate (2) arranged eccentrically on which are mounted holders (5) with recesses for the components (4). Each recess has a resilient lining (6). Force is applied by means of a clamping mechanism (7). When the surface plates are displaced in relation to each other and the diamond-abrasive layer on the tools is used with a specified configuration and composition of the preforms, and also of the resilient linings whose thickness is calculated using the formula cited, the device in question facilitates the creation of the desired surface and adjustment of the force exerted by the tool on the component.

(57) Реферат

Способ заключается в оптимизации условий нагружения обрабатываемых поверхностей деталей, выборе и использовании оптимальных допустимых удельных нагрузок инструмента в зависимости от относительной толщины обрабатываемой детали, а также в применении для обработок кромок деталей в размер лазерной резки, выполняемой после обработки поверхности детали. Способ обеспечивается применением нового алмазно-абразивного инструмента и новых конструкций устройств.

Устройство по одному из вариантов содержит планшайбу (1) с алмазно-абразивным инструментом и установленную с эксцентриком планшайбу (2), на которой расположены кассеты (5) с гнездами для деталей (4). В каждом гнезде размещена упругая прокладка (6). Нагружение осуществляют с помощью прижимного механизма (7). При относительном перемещении планшайб, использовании алмазно-абразивных покрытий инструментов с определенным расположением таблеток и их составом, а также упругих прокладок, толщину которых определяют из приведенного соотношения, данное устройство обеспечивает получение заданной формы поверхности и регулирование нагрузок инструмента на детали.

ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Коды, используемые для обозначения стран-членов РСТ на титульных листах брошюр, в которых публикуются международные заявки в соответствии с РСТ.

AT	Австрия	FI	Финляндия	MR	Мавритания
AU	Австралия	FR	Франция	MW	Малави
BB	Барбадос	GA	Габон	NE	Нигер
BE	Бельгия	GB	Великобритания	NL	Нидерланды
BF	Буркина Фасо	GN	Гвинея	NO	Норвегия
BG	Болгария	GR	Греция	NZ	Новая Зеландия
BJ	Бенин	HU	Венгрия	PL	Польша
BR	Бразилия	IE	Ирландия	PT	Португалия
CA	Канада	IT	Италия	RO	Румыния
CF	Центральноафриканская Республика	JP	Япония	RU	Российская Федерация
BY	Беларусь	KP	Корейская Народно-Демократическая Республика	SD	Судан
CG	Конго	KR	Корейская Республика	SE	Швеция
CH	Швейцария	KZ	Казахстан	SI	Словения
CI	Кот д'Ивуар	LI	Лихтенштейн	SK	Словакия
CM	Камерун	LK	Шри Ланка	SN	Сенегал
CN	Китай	LU	Люксембург	TD	Чад
CS	Чехословакия	LV	Латвия	TG	Того
CZ	Чешская Республика	MC	Монако	UA	Украина
DE	Германия	MG	Мадагаскар	US	Соединённые Штаты Америки
DK	Дания	ML	Мали	UZ	Узбекистан
ES	Испания	MN	Монголия	VN	Вьетнам

## СПОСОБ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

### Область техники

Изобретение относится к области обработки прецизионных деталей, в частности, к способам обработки деталей из хрупких материалов и устройствам для его осуществления.

### Предшествующий уровень техники

При обработке прецизионных деталей методом свободного притира достигаются высокие точности формы поверхности, отклонение которой от заданной может 10 составлять 0,1 – 0,01 длины волны. Однако получение точных поверхностей гарантировано для деталей с относительной толщиной (отношение толщины к диаметру или диагонали обрабатываемой детали), не влияющей на деформацию в процессе обработки, составляющей  $h/D > 1/5$ . При этом производительность на операциях шлифования и полирования обратно пропорциональна точности получаемой поверхности.

15 Существует однако в ряде разделов современной техники обширный класс изделий из стекла, кварца, керамики и других материалов, для которых указанные ограничения не приемлемы. К их числу можно отнести стеклянные и кварцевые заготовки для фотоматериалов, стеклянные и стеклокерамические заготовки для магнитооптических и магнитных дисков, пластины для жидкокристаллических 20 индикаторов, экранов и другие. Относительная толщина указанных деталей составляет 0,01 и менее. В то же время к рабочим поверхностям и геометрическим размерам этих изделий предъявляются весьма жесткие требования.

Обработка указанного класса изделий осуществляется с помощью свободного абрэзива, обеспечивающего по сравнению со связанным алмазным инструментом снижение удельных нагрузок в зоне обработки. К основным недостаткам такой технологии следует отнести:

- низкую производительность труда;
- большую глубину нарушенного при шлифовании слоя, для удаления которого требуется длительное полирование;
- 30 — большой расход абразивных порошков за счет низкого коэффициента их полезного использования;
- низкую временную стабильность процесса шлифования свободным абразивом;
- низкую культуру производства с плохими условиями труда, характери-

зумыми малой степенью механизации и автоматизации процессов в силу перечисленных выше причин.

Переход при шлифовании стекла и других хрупких материалов от свободного абразива к связанному алмазному инструменту сулит качественно новый уровень технологии, характеризуемой резким ростом производительности обработки, увеличением износостойкости инструмента и улучшением культуры производства. Однако не известно случаев применения связанного алмазного инструмента для прецизионного финишного шлифования тонких крупногабаритных изделий с относительной толщиной  $h/D \approx 1/50$  и менее с высокими требованиями к точности формы обрабатываемой поверхности, что можно объяснить более высокими удельными давлениями при алмазном шлифовании.

Помимо высоких требований к геометрии и частоте рабочих поверхностей указанных изделий жесткие ограничения накладываются на точность габаритных размеров данных изделий. Поэтому традиционная технология изготовления указанных изделий предусматривает первоначальный этап алмазной обработки и фасетирования кромок изделий и последующую обработку их поверхностей. Последней операцией в технологическом цикле обработки прецизионных изделий является операция полирования. Это определяет наличие на рабочей поверхности прецизионных изделий нерабочих зон, расположенных вдоль кромок деталей, обусловленных "заваливанием" краев при полировании. Этот недостаток для таких изделий, как магнитные или магнитооптические диски приводит к резкому сокращению эффективной площади изделия и, как следствие, к уменьшению емкости памяти диска.

Известен способ обработки деталей, при котором детали нагружают, прижимая их к инструменту, и перемещают детали и инструмент друг относительно друга в плоскости обработки [А.С. СССР 1237387]. В этом способе при ведении силового шлифования при нагрузках 1200 – 4000 Н достигается повышение точности формирования плоской поверхности за счет применения алмазно-абразивного инструмента с рабочей поверхностью вогнутой формы, компенсирующей деформации корпуса инструмента.

Однако такие режимы обработки совершенно не приемлемы для точной обработки деталей с относительной толщиной  $h/D < 1/10$ .

Известен способ одностороннего полирования деталей между двумя инструментами, при котором детали размещают в кассетах в два ряда через прокладку, нагружают детали с помощью верхнего инструмента и сообщают относительные перемещения инструментам и кассетам [Заявка Японии № 63 – 93561].

Этот способ может быть успешно использован только для полирования поверхностей деталей, уже сформированных на предшествующих операциях шли-

фования. Он же может быть использован для шлифования деталей, так как сuspензия абразива, попадая между прокладками и деталями приведет к их деформации. Кроме того, в предлагаемой конструкции кассет может быть использована только жесткая прокладка, обеспечивающая при загрузке деталей их сохраняемость. В то же время применение жестких прокладок при шлифовании тонких деталей не целесообразно, так как приводит к деформациям.

Таким образом, предлагаемый способ обработки деталей не может быть использован для эффективного шлифования тонких прецизионных деталей из стекла и других хрупких материалов с высоким модулем упругости.

Известно устройство для обработки деталей, содержащее две планшайбы, на одной из которых закреплен инструмент в виде полировального полотна для обработки деталей, а на второй расположена упругая прокладка, на которой закреплена кассета с гнездами для размещения деталей [А.С. СССР 958079]. Устройство также снабжено прижимным механизмом и приводом вращения одной из планшайб. Однако данное устройство не обеспечивает высокого качества обработки тонких деталей. Это объясняется следующим образом. Нагрузка, действующая на нажимную планшайбу, распределяется равномерно на обрабатываемые детали посредством упругой прокладки. А поскольку при равномерно распределенной нагрузке съем материала пропорционален линейной скорости относительного перемещения детали и инструмента, то с помощью описанного устройства нельзя получить высокую точность геометрической формы поверхности, так как съемы будут возрастать от центра к периферии нажимной планшайбы. Кроме того, используемая конструкция упругой прокладки не исключает деформации тонких обрабатываемых деталей.

Известно устройство для одностороннего полирования плоских поверхностей деталей между двумя инструментами, рабочие поверхности которых образованы полировальными полотнами, содержащее два соосно смонтированных инструмента, расположенные между ними в зацеплении с центральным и наружным зубчатым колесом кассеты с гнездами для деталей, прокладки для размещения деталей в гнездах кассет в два ряда и привод вращения инструмента и кассет [Заявка Японии № 63 – 93561].

В данном устройстве детали размещают в гнездах кассет в два ряда через прокладку и обработку осуществляют верхним и нижним инструментом одновременно обеих деталей с одной стороны каждую.

Однако описанное устройство не может обеспечить высокого качества обработки тонких крупногабаритных деталей с относительной толщиной  $h/D \approx 1/50$  и менее из-за неравномерной сжимаемости упругой прокладки при нагружении обрабатываемой поверхности. Если же прокладку изготовить из чрезмерно жестко-

го материала, то при нагружении деталей произойдет их деформация, которая не позволит получить высокую точность формы обрабатываемой поверхности.

- Известно устройство для обработки деталей, содержащее верхний и нижний инструмент, выполненный в виде соосно установленных дисков с алмазно-абразивным покрытием, между которыми расположена кассета с гнездами для размещения деталей и привод вращения инструмента и кассеты [А.С. СССР 139204]. Однако применение описанных кольцевых алмазных инструментов не позволяет получать при обработке тонких деталей из хрупких материалов заданной формы обрабатываемой поверхности за счет неравномерного нагружения при обработке исходной поверхности со значительными отклонениями формы от заданной. Сложность достижения поставленной задачи усугубляется высокими удельными нагрузками, необходимыми для эксплуатации применяемых составов алмазно-абразивного инструмента.

#### Раскрытие изобретения

- 15 В основу настоящего изобретения положена задача создать способ обработки деталей из хрупких материалов и устройство для его осуществления с такими параметрами, при котором за счет уменьшения деформаций в процессе обработки и уменьшения глубины нарушенного слоя помимо резкого увеличения производительности труда будет обеспечено значительное повышение качества обработки 20 поверхности, сокращение ряда операций по обработке кромок деталей традиционными методами, а также увеличение эффективной площади рабочей поверхности прецизионных деталей за счет устранения нерабочих зон вдоль кромок деталей.

- Поставленная задача решается тем, что в способе обработки деталей из хрупких материалов, при котором детали размещают в кассетах, нагружают, прижимая их к инструменту, и перемещают детали и инструмент друг относительно друга в плоскости обработки, согласно изобретению при обработке поверхностей деталей удельную нагрузку инструмента на деталь выбирают в зависимости от относительной толщины обрабатываемой детали из соотношения:

$$Q = (0.7 - 7) \times 10^{-5} \times h/D \times E_o,$$

- 30 где  $Q$  — удельная нагрузка инструмента на обрабатываемую деталь, МПа;  
 $h/D$  — относительная толщина обрабатываемой детали;  
 $h$  — толщина обрабатываемой детали, м;  
 $D$  — диаметр или диагональ обрабатываемой детали, м;

$E_o$  — модуль упругости материала обрабатываемой детали, МПа,

обеспечивая уменьшение деформации деталей в процессе обработки.

При этом обработку поверхности деталей осуществляют алмазно-абразивным инструментом.

5 Подбор оптимальных условий нагружения обрабатываемой поверхности, особенно для деталей с относительной толщиной порядка 1/50 и менее, уменьшающих их деформации в процессе обработки, а также установленная взаимосвязь между допустимыми удельными нагрузками, относительной толщиной обрабатываемых деталей и модулем упругости материала детали позволяет соблюдать 10 условия точного формирования обрабатываемой поверхности.

Целесообразно, в случае дополнительной обработки кромок деталей в размер, резку в размер осуществлять путем предварительного нанесения надреза по линии реза, нагрева линии реза лазерным излучением с плотностью мощности  $(0.2 - 20) \times 10^6 \text{ Вт}/\text{м}^2$  и с длиной волны, для которого разрезаемый материал непрозрачен, при 15 относительном перемещении лазерного пучка и материала и локального охлаждения зоны нагрева с помощью хладагента, при этом очень важно вначале производить обработку поверхности детали, а затем осуществлять обработку в размер указаным способом резки.

Такая последовательность операций позволяет сократить ряд трудоемких 20 операций алмазной обработки кромок, их фацетирования и снятия фасок, а также резко повысить качество деталей за счет исключения заваливания краев деталей при их полировании.

Более подробно предлагаемый способ обработки деталей будет рассмотрен при описании устройства, реализующих данный способ.

25 Устройство для обработки деталей, содержащем две планшайбы, на одной из которых закреплен инструмент для обработки поверхности деталей, а на второй расположена упругая прокладка, на которой закреплена кассета с гнездами для размещения деталей, прижимное устройство и привод вращения по меньшей мере одной из планшайб, согласно изобретению, упругая прокладка размещена в каждом 30 гнезде кассеты, при этом толщина упругой прокладки определяется из следующего соотношения:

$$\frac{0.4 Q}{h/D E} \leq H \leq \frac{10 Q}{h/D E},$$

где  $Q$  — удельная нагрузка инструмента на обрабатываемую деталь, МПа;

$h/D$  — относительная толщина обрабатываемой детали;

35  $h$  — толщина обрабатываемой детали, м;

$D$  — диаметр или диагональ обрабатываемой детали, м;

$E$  — модуль упругости материала прокладки, МПа;  
 $H$  — толщина упругой прокладки, м,

а инструмент выполнен из отдельных алмазно-абразивных таблеток, расположение и состав которых выбирают такими, что при обработке детали 5 обеспечивается получение заданной формы обрабатываемой поверхности и регулирование нагрузок инструмента на обрабатываемые детали.

В другом устройстве для обработки деталей, содержащем верхний и нижний инструмент, выполненный в виде дисков с алмазно-абразивным покрытием, между которыми расположены кассеты с гнездами для размещения деталей и привод 10 вращения инструмента и/или кассеты, согласно изобретению, при выполнении алмазно-абразивного покрытия в виде отдельных, размещенных на дисках, таблеток, расположение и состав алмазно-абразивных таблеток выбирают такими, что при обработке деталей обеспечивается получение заданной формы обрабатываемой поверхности и регулирование нагрузок инструмента на 15 обрабатываемые детали.

Описанные устройства позволяют производить обработку деталей из хрупких материалов при оптимальных удельных нагрузках инструмента на детали в соответствии с описанным выше способом обработки деталей и обеспечивает высокое качество обработки поверхностей деталей с относительной толщиной 20  $h/D < 1/10$ .

Очень важно в устройстве для обработки деталей между двумя инструментами, рабочие поверхности которых образованы из отдельных абразивных элементов, разместить последние на нечетном количестве концентрических зон, при этом количество абразивных элементов, перекрываемых одной деталью, следует выбирать из условия:

$$25 \quad n_1 = \frac{(0.4 - 4) 10^4 P}{\frac{h}{D} S K},$$

а количество абразивных элементов в любой зоне и в средней зоне определять соответственно по формулам:

$$n_i = (0.8 - 1.2) n_1 + \frac{n_1}{4} (i - 1),$$

$$n_{i_0} = (1.02 - 1.2) [(0.8 - 1.2) n_1 + \frac{n_1}{4} (i_0 - 1)],$$

30 где  $n_1$  — количество абразивных элементов, перекрываемых одной деталью;

$P$  — общая нагрузка, Н;  
 $h/D$  — относительная толщина обрабатываемой детали, то есть отношение толщины к диаметру или диагонали обрабатываемой детали;  
 $S$  — площадь рабочей поверхности одного абразивного элемента, м<sup>2</sup>;  
5       $K$  — количество одновременно обрабатываемых деталей каждым притиром;  
 $n_i$  — количество абразивных элементов в  $i$ -той зоне;  
 $n_{i_0}$  — количество абразивных элементов в средней зоне;  
 $i_0$  — порядковый номер средней зоны.

10      Установленный закон расположения абразивных элементов на притирах обеспечивает, во-первых, их равномерный износ в процессе эксплуатации, во-вторых, взаимосвязь между допустимыми удельными нагрузками на детали заданной толщины с удельными давлениями на инструмент, обеспечивающими работу выбранного инструмента в режиме самозатачивания, позволяет уменьшить деформации деталей  
15      в процессе обработки и управлять формой обрабатываемой поверхности.

Кроме того, в устройстве при односторонней обработке деталей, расположенных в кассете по обе стороны упругой прокладки, двумя инструментами, каждая прокладка выполнена составной по меньшей мере из двух отдельных упругих элементов, соединенных между собой посредством перемычки, обеспечивая равномерное нагружение плоских поверхностей деталей в процессе их обработки.

Целесообразно в ряде случаев упругие элементы и/или перемычки выполнять дискретными или в виде емкостей, наполненных газом или жидкостью. Кроме того, в качестве перемычки прокладки может быть использована сама кассета, на поверхности которой непосредственно расположены упругие элементы.

25      Применение описанных устройств обеспечивает равномерное нагружение обрабатываемых поверхностей деталей, а также уменьшение их деформаций в процессе обработки. Это позволяет при обработке деталей с относительной толщиной от 0.1 до 0.001 исправлять поверхность с исходной неудовлетворительной плоскостностью и чистотой поверхности.

30      Очень важно в ряде случаев кассету выполнять разрезной в плоскости обработки и между элементами кассеты располагать пружинящие опоры, а сами элементы кассеты связывать между собой направляющими, обеспечивающими перемещение элементов кассеты в плоскости, перпендикулярной плоскости обработки, при этом жесткость пружинящих опор и упругих элементов прокладок

35      определена из соотношения:

$$0.1C_2 < C_1 < C_2,$$

где  $C_1$  — жесткость пружинящих опор;  
 $C_2$  — жесткость упругих элементов прокладок.

Кроме того, упругие элементы прокладок выполняются с уменьшающейся жесткостью от края к центру.

- 5        Такое конструктивное исполнение сепараторов обеспечивает возможность проведения режимов выхаживания обрабатываемой поверхности при минимальных удельных нагрузках порядка 0.002 МПа, что исключает деформацию деталей при их обработке и гарантирует получение минимального нарушенного и минимальной шероховатости обрабатываемой поверхности. Это обеспечивает сокращение времени последующего полирования деталей в 3 – 5 раз.

- 10      В ряде случаев целесообразно абразивные элементы располагать в матрице, износостойкость которой ниже износостойкости абразивных элементов. Наиболее подходящим материалом матрицы для шлифовальных и полировальных абразивных элементов может служить технический войлок из химических волокон, предварительно подвергнутый термической обработке при температуре 90 – 140°С в течение 0.5 – 5 часов.

- 15      Использование такого конструктивного решения с применением указанного материала обеспечивает улучшение микрорельефа поверхности при шлифовании деталей и является прекрасным полировальным материалом, обладающим высокими полирующими способностями и высокой износостойкостью.

- 20      При изготовлении инструмента из отдельных абразивных элементов, состав последних должен содержать компоненты при следующем их соотношении в вес.%:

	эпоксидная смола	40 – 70
	отвердитель	4.5 – 9.0
25	алмазный порошок	0.04 – 8.0
	вспомогательный абразив	10 – 40
	функциональная добавка	2.2 – 22.0

- 30      В качестве вспомогательного абразива целесообразно использовать двуокись церия или циркония, а в качестве функциональной добавки — смесь в вес.%: водорастворимой соли серной или фосфорной кислоты 40 – 70 и щавелевой или лимонной кислоты 30 – 60.

- 35      Иногда целесообразно при изготовлении абразивных элементов в качестве связующего использовать фенопласти — термореактивные прессовочные массы на основе фенолоальдегидных смол, или аминопласти — термореактивные прессовочные массы на основе карбамидо-, меламино- и карбамидомеламиноформаль-

дегидных смол, или смесь из фенопластов и аминопластов.

Применение данного алмазного инструмента для грубого и тонкого шлифования обеспечивает по сравнению с микропорошками из электрокорунда зернистостью 20 и 10 мкм снижение глубины нарушенного слоя в 4 – 5 раз и повышение производительности шлифования в 3 – 5 раз. Важным достоинством описанного алмазного инструмента является возможность его эксплуатации в режиме самозатачивания при низких удельных давлениях на алмазоносный слой порядка 0.005 – 0.05 МПа и низких относительных линейных скоростях обработки порядка 1 – 3 м/с.

#### Краткий перечень чертежей

- 10        В дальнейшем изображение поясняется на примерах выполнения со ссылками на прилагаемые чертежи, на которых:
- фиг.1а,б – профилограммы обработанных поверхностей стеклокерамических дисков по известному (а) и по предлагаемому (б) способам;
- 15        фиг.2 – схему устройства для односторонней обработки плоских поверхностей деталей одним инструментом;
- фиг.3 – схему устройства для односторонней обработки поверхностей деталей двумя соосными инструментами;
- фиг.4 – изображает схему определения количества абразивных элементов  $n_1$ , перекрываемых одной деталью;
- 20        фиг.5а,б – схему изменения профиля плоской (а) и вогнутой (б) шлифованной поверхности (штриховая линия) после полирования (непрерывная линия);
- фиг.6-8 – конструкции различных вариантов кассет и упругих прокладок в разрезе;
- 25        фиг.9 – схему устройства для односторонней обработки деталей двумя инструментами с помощью составной подпружиненной кассеты;
- фиг.10а-д – профилограммы поверхностей стеклянных заготовок для фотоматериалов, обработанных свободным абразивом зернистостью 20мкм (а) и 10мкм (б), а также разработанным связанным алмазным инструментом после грубого шлифования (с) и после тонкого шлифования (д).

### Лучший вариант осуществления изобретения

Способ обработки деталей из хрупких материалов заключается в том, что детали размещают в кассетах, нагружают, прижимая их к инструменту, и перемещают детали инструмент друг относительно друга в плоскости обработки, согласно 5 изобретению при обработке поверхностей деталей удельную нагрузку инструмента на деталь выбирают в зависимости от относительной толщины обрабатываемой детали из соотношения:

$$Q = (0.7 \cdot 7) \times 10^{-5} \times h/D \times E_o,$$

где  $Q$  — удельная нагрузка инструмента на обрабатываемую деталь, МПа;  
 10  $h/D$  — относительная толщина обрабатываемой детали;  
 $h$  — толщина обрабатываемой детали, м;  
 $D$  — диаметр или диагональ обрабатываемой детали, м;  
 $E_o$  — модуль упругости материала обрабатываемой детали, МПа,

обеспечивая уменьшение деформации деталей в процессе обработки. При этом 15 обработку поверхностей деталей осуществляют алмазно-абразивным инструментом.

Как известно, при обработке связанным алмазным инструментом плоских 20 поверхностей тонких деталей, у которых относительная толщина  $h/D < 1/5$ , нельзя получить высокую точность формы поверхности из-за деформаций детали в процессе обработки. В нашем случае речь идет об обработке деталей с относительной толщиной  $h/D \approx 1/50$  и менее. При жестком нагружении таких деталей произойдет их деформация. В процессе обработки наиболее выступающие участки поверхности будут сошлифованы и поверхность детали выравнивается по плоскости инструмента. Однако после снятия нагрузки произойдет изменение формы обработанной 25 поверхности за счет высокой упругости материала деталей.

Уменьшение деформаций деталей в процессе их обработки может быть достигнуто за счет уменьшения общей нагрузки на обрабатываемые детали, уменьшения удельных нагрузок, а также за счет перераспределения нагрузок и их ускорения усреднения по всей обрабатываемой поверхности.

30 Экспериментально установлено, что при постоянной удельной нагрузке при уменьшении относительной толщины нагружаемой детали величина ее деформации линейно возрастает. Поэтому при обработке деталей с заданной относительной толщиной оптимальное значение удельной нагрузки инструмента на обрабатываемую поверхность подбирают, исходя из условия минимальных деформаций детали и

максимальных съемов материала. Экспериментально определено, что с увеличением относительной толщины обрабатываемой детали величину допустимых удельных нагрузок можно линейно увеличивать в указанном диапазоне.

Кроме того, экспериментально установлено, что величина допустимых 5 удельных нагрузок инструмента на обрабатываемую деталь находится в линейной зависимости от модуля упругости материала детали.

В приведенном диапазоне удельных нагрузок инструмента на обрабатываемую деталь минимальные значения наиболее приемлемы для операций тонкого финишного шлифования и для режимов выхаживания, в то 10 время, как максимальные удельные нагрузки следует использовать на предварительных операциях грубого шлифования.

Описанный способ обработки деталей из хрупких материалов может быть использован для обработки плоских поверхностей деталей, у которых противоположная поверхность не является плоской, например, заготовок плоско-15 выпуклых или плоско-выгнутых линз. В этом случае при определении оптимальных значений удельных нагрузок инструмента в качестве толщины детали выбирается ее среднее значение для плоско-выгнутых заготовок и минимальное значение для плоско-вогнутых заготовок. Остальные приемы способа остаются одинаковыми как и для плоско-параллельных деталей.

20 В способе обработки деталей, описанном выше, согласно изобретению после обработки поверхности детали путем шлифования и/или полирования дополнительно осуществляют обработку кромок деталей в размер, при этом резку в размер осуществляют путем предварительного нанесения надреза по линии реза, нагрева линии реза лазерным излучением с плотностью мощности  $(0.2 - 20) \times 10^6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$  и с длиной 25 волны, для которого разрезаемый материал непрозрачен, при относительном перемещении лазерного излучения и материала и локального охлаждения зоны нагрева с помощью хладагента. При этом очень важно то, что вначале осуществляют обработку поверхности детали, а затем осуществляют обработку в размер описанным способом.

Как известно, к таким прецизионным деталям, как заготовки для фотобаб-30 лонов, заготовки для магнитных и магнито-оптических дисков предъявляются очень жесткие требования не только к рабочим поверхностям, но и к габаритным размерам. Поэтому отдельной операцией в процессе изготовления указанных деталей является операция обработки кромок детали в размер с помощью алмазно-абразивного инструмента. Поскольку при такой обработке кромок может быть повреждена рабочая поверхность детали, то сначала производится обработка кро-35 мок, а затем обработка поверхности, при этом последней операцией является полирование поверхности детали. Такая последовательность операций не может обеспечить высокого качества рабочей поверхности, так как при полировании

деталей происходит "заваливание" краев, что приводит к уменьшению эффективной рабочей площади детали.

- Указанных недостатков при изготовлении прецизионных деталей можно избежать, если сначала произвести обработку поверхности исходной заготовки, включая полирование, а затем обработку кромки в размер произвести с помощью лазерной резки, исключающей повреждение рабочей поверхности и обеспечивающей необходимую точность геометрических размеров.

- Этот способ резки неметаллических материалов под действием термоупругих напряжений, возникающих в результате локального охлаждения предварительно нагревенного лазерным излучением участка материала, заключается в образовании в материале несквозной разделяющей трещины, глубину, форму и направление распространения которой можно регулировать в широких пределах.

- При этом нагрев линии реза лазерным излучением осуществляют до температуры, не превышающей температуру размягчения материала, а скорость относительного перемещения лазерного пучка и материала и место локального охлаждения зоны нагрева выбирают из условия образования в материале несквозной разделяющей трещины.

- Применение для нагрева поверхности материала по линии реза лазерного пучка эллиптического сечения обеспечивает повышение производительности и качества резки. Необходимо при резке по криволинейному контуру лазерный эллиптический пучок в процессе резки ориентировать по касательной к линии реза в любой точке криволинейного контура.

- Для управления формой и направлением развития разделяющей трещины нагрев необходимо осуществлять лазерным пучком с перераспределением энергии относительно траектории перемещения и регулировать положение зоны охлаждения на поверхности материала относительно положения пучка.

- В ряде случаев, желательно после получения в материале несквозной разделяющей трещины осуществлять повторный нагрев линии реза. Повторный нагрев линии реза обеспечивает значительное увеличение глубины разделяющей трещины или сквозное докалывание.

- Сущность описанного способа резки неметаллических материалов заключается в следующем.

- При нагреве поверхности неметаллических материалов, например, стекла лазерным излучением во внешних слоях материала возникают значительные напряжения сжатия, которые, однако, к разрушениям не приводят. Обязательными условиями нагрева при резке являются следующие. Во-первых, лазерный пучок должен обеспечивать поверхностный нагрев, то есть излучение должно иметь длину волны, для которого материал непрозрачен. Например, для стекла это

излучение инфракрасного диапазона с длиной волны более 2 мкм, в качестве которого может быть использовано излучение CO<sub>2</sub>-лазера с длиной волны 10.6 мкм, излучение CO-лазера с длиной волны порядка 5.5 мкм или излучение HF-лазера с длиной волны 2.9 мкм. Во-вторых, при нагреве поверхности материала максимальная температура нагрева не должна превышать температуры размягчения материала. В противном случае при превышении предела пластичности материала после охлаждения вдоль линии реза в материале возникают остаточные термоапп-режения, приводящие к растрескиванию материала.

При подаче хладагента вслед за лазерным пучком происходит резкое ло-  
10 кальное охлаждение поверхности материала по линии реза. Создаваемый гради-  
ент температур обуславливает возникновение в поверхностных слоях материала  
напряжений растяжения. При превышении ими предела прочности материала в  
последнем образуется несквозная разделяющая трещина, проникающая вглубь  
материала до внутренних слоев, испытывающих напряжение сжатия.

15 К числу факторов, имеющих первостепенное значение для процесса резки путем получения несквозной разделяющей трещины под действием термоупругих напряжений, следует отнести:

- параметры лазерного пучка, а именно: плотность мощности излучения, размеры и форма пучка на поверхности разделяемого материала;
- скорость относительного перемещения пучка и материала;
- теплофизические свойства, количество и условия подачи хладагента в зону нагрева;
- теплофизические и механические свойства разделяемого материала, его толщина и состояние поверхности.

25 Для оптимизации режимов резки для различных материалов необходимо установить взаимосвязь между основными параметрами процесса.

При определении максимальной плотности мощности лазерного излучения для любого разрезаемого материала следует иметь в виду, что максимальная температура нагрева не должна превышать температуру размягчения материа-  
30 ла. Поэтому минимальное значение плотности мощности  $0.2 \times 10^6$  Вт/м<sup>2</sup> примени-  
мо для наиболее легкоплавких марок стекол большой толщины и минимальных  
скоростей термораскалывания. Максимальная плотность мощности  $20 \times 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>  
может быть использована при резке тугоплавкого кварцевого стекла, корунда и  
других материалов с высокой температурой размягчения и/или с высоким значе-  
35 нием коэффициента температуропроводимости.

Установлено, что скорость термораскалывания обратно пропорциональна глубине разделяющей трещины. При резке тонких листовых материалов толщи-  
ной от 0.3 до 2 мм даже при высоких скоростях 100 – 500 мм/с глубина образую-

щущаяся микротрешины достаточна для последующего раскалывания по намеченному контуру. Однако при резке более толстых материалов даже при низких скоростях резки образуется недостаточно глубокая трещина, которая обеспечивала бы качественное окончательное разделение материала.

5 Экспериментально установлено, что предварительный нагрев разрезаемого материала до температуры в диапазоне  $(0.4 - 1) \Delta T$ , где  $\Delta T$  – термостойкость материала при охлаждении, приводит к резкому увеличению скорости термораскалывания и глубины разделяющей трещины.

Было отмечено, что в ряде случаев необходимо проводить повторный нагрев линии реза с целью углубления несквозной разделяющей трещины или сквозного докалывания материала по намеченному контуру. Это связано с тем, что перечисленные выше приемы приводят к образованию в материале несквозной и в ряде случаев весьма неглубокой микротрешины. В случае прямолинейной резки окончательное разделение материала на части осуществляется путем разламывания надрезанного материала вручную или с помощью специальных механизмов или приспособлений. Однако разламывание заготовки с замкнутым криволинейным контуром затруднено. Для решения этой проблемы следует проводить повторный нагрев линии реза лазерным пучком или другим тепловым источником. Возникающие в результате повторного нагрева термонапряжения приводят к дальнейшему углублению разделяющей несквозной трещины. Величина углубления трещины зависит от мощности теплового источника, скорости резки, толщины материала и глубины исходной микротрешины. Варьируя указанными параметрами, можно получить различную величину углубления трещины, вплоть до сквозного докалывания.

Было указано, что при резке по криволинейному контуру лазерный пучок эллиптического сечения необходимо строго ориентировать по касательной к линии реза в любой точке криволинейного контура. Это вызвано, с одной стороны, существенной зависимостью скорости термораскалывания от угла поворота эллиптического пучка по отношению к направлению движения. С другой стороны, необходимость ориентации пучка по касательной к линии реза, особенно при повторном нагреве, связана с требованием получения кромки детали, перпендикулярной к поверхности материала изделия. В случае отклонения эллиптического пучка от касательной в материале возникает асимметричное распределение термонапряжений, приводящее к отклонению угла плоскости трещины от нормального по отношению к поверхности, что в ряде случаев неприемлемо.

35 Способ осуществляют следующим образом. Берут заготовку детали, у которой произведена обработка поверхности путем шлифования и полирования. Укладывают ее на координатный стол. Включают перемещение стола по заданной программе и механизм нанесения надреза, представляющий собой алмазную

- пирамидку или иглу, прижимающуюся с регулируемым усилием к поверхности заготовки в определенный момент времени на очень короткий промежуток времени. Направляют лазерное излучение от лазера через фокусирующий объектив на поверхность заготовки в место с нанесенным надрезом. Включают форсунку для подачи воздушно-водяной смеси (хладагента) в зону нагрева в момент, когда форсунка находится над местом, где нанесен надрез. В месте подачи хладагента образуется микротрещина, которая по мере перемещения заготовки распространяется по линии реза. После того, как линия реза, задаваемая микротрещиной, замыкается, образуя замкнутый контур, прекращают подачу хладагента в зону нагрева. Однако перемещение заготовки и нагрев линии реза лазерным излучением продолжают еще в течение одного полного оборота. После образования сквозной разделяющей трещины по всему замкнутому контуру отключают лазерное излучение, затем останавливают координатный стол и снимают заготовку. После удаления облоя получают готовое изделие, в описанном примере — прецизионный стеклянный диск.

Применение описанного способа обработки деталей в указанной последовательности выполнения операций обеспечивает следующие преимущества перед известными способами обработки:

- снижение трудоемкости при обработке кромок в размер;
- исключение ряда операций, в частности, снятие фасок;
- повышение качества обработки поверхности за счет исключения "завалов" по краям детали и, как следствие, увеличение эффективной рабочей площади деталей.

На фиг.1 (а,б) показаны для сравнения профили обработанных поверхностей дисков из стеклокерамики диаметром 65 мм и толщиной 0.635 мм по традиционной технологии (а), когда последней операцией было полирование поверхности, и согласно предлагаемому изобретению (б), когда последней операцией была резка заготовки в размер. Как видно из приведенных профилограмм, точность обработки поверхности по предлагаемому способу в 15 раз выше, чем обеспечивает известная технология.

Для осуществления описанного выше способа обработки деталей может быть реализовано несколько вариантов устройств. В зависимости от требований, предъявляемых в каждом конкретном случае к обрабатываемой детали, во-первых, последняя может подвергаться обработке либо одной поверхности, либо обеих, во-вторых, обработка может заключаться либо только в шлифовании поверхности, либо только в ее полировании, либо в шлифовании и последующем полировании, а в ряде случаев требуется еще дополнительная обработка кромок детали в размер. В каждом отдельном рассмотренном случае следует использовать оптимальное устройство.

Наиболее простым устройством для обработки деталей является устройство (фиг. 2) для односторонней обработки деталей, содержащее две планшайбы 1 и 2, на одной из которых, а именно, на планшайбе 1 закреплен инструмент 3 для обработки поверхностей деталей 4, выполненный в виде отдельных алмазно-5 абразивных таблеток. На другой планшайбе 2 закреплены кассеты 5 с гнездами для размещения деталей 4, при этом в каждом гнезде кассеты 5 расположена упругая прокладка 6. Нагружение обрабатываемых деталей 4 осуществляется с помощью прижимного механизма 7, выполненного в виде опоры 8, один конец которой 10 зафиксирован на планшайбе 1, а другой конец закреплен в поводке 9 для передачи усилия нагрузки на планшайбу 1 и осуществления, в случае необходимости, возвратно-поступательного перемещения прижимного механизма 7. Между кассетой 5 и нижней планшайбой 2 имеются пружинящие опоры 10, а в качестве направляющих для перемещения кассеты 5 в вертикальной плоскости служит опорная площадка 11, выполненная по размеру обрабатываемой детали 4.

15 Следует отметить, что в случае более жестких режимов обработки, кассета 5 может быть закреплена непосредственно на нижней приводной планшайбе 2 без пружинящих опор 10.

Устройство работает следующим образом.

В гнезде кассеты 5 на упругие прокладки 6 свободно укладываются заготовки 20 деталей 4. Затем устанавливают прижимную верхнюю планшайбу 1 с инструментом, опускают поводок 9 с опорой вращения 8, включают привод вращения нижней планшайбы 2 и механизм нагружения поводка 7 нагрузкой  $P$ . За счет разности сил трения, возникающих между соприкасающимися поверхностями вращающегося инструмента, образованного абразивными элементами 3, и деталей 4, во вращение 25 приводится нажимная планшайба установленная с эксцентриком  $e$  по отношению к приводной планшайбе 2. Нагрузка, действующая на нажимную верхнюю планшайбу, распределяется на обрабатываемые детали 4 посредством упругих прокладок 6. Упругая прокладка, размещенная в каждом гнезде кассеты 5, выполнена из упругого материала. Толщина упругой прокладки определена из следую-30 щего соотношения:

$$\frac{0.4 Q}{\frac{h}{D} E} \leq H \leq \frac{10 Q}{\frac{h}{D} E} ,$$

где  $Q$  — удельная нагрузка инструмента на обрабатываемую деталь, МПа;

$h/D$  — относительная толщина обрабатываемой детали;

$h$  — толщина обрабатываемой детали, м;

$D$  — диаметр или диагональ обрабатываемой детали, м;

- E* — модуль упругости материала прокладки, МПа;  
*H* — толщина упругой прокладки, м.

Более универсальным для обработки плоских поверхностей деталей является устройство (фиг.3), содержащее два инструмента, выполненных в виде нижнего 5 диска 12 и соосного с ним верхнего диска 13, на поверхности которых закреплены алмазно-абразивные покрытия 3. Между дисками 12 и 13 в зацеплении с центральным и наружным зубчатыми колесами 14 и 15 установлены кассеты 16 с 10 гнездами для размещения обрабатываемых деталей. При этом алмазно-абразивные покрытия выполнены в виде отдельных таблеток, а расположение и состав 15 алмазно-абразивных таблеток выбирают такими, что при обработке деталей обеспечивается получение заданной формы обрабатываемой поверхности и регулирование нагрузок инструмента на обрабатываемые детали.

При обработке деталей между двумя инструментами, рабочие поверхности которых образованы из отдельных абразивных элементов, последние размещают на 15 нечетном количестве концентрических зон, при этом количество абразивных элементов, перекрываемых одной деталью, выбирают из условия:

$$n_1 = \frac{(0.4 - 4) 10^4 P}{\frac{h}{D} S K},$$

а количество абразивных элементов в любой зоне и в средней зоне определяют соответственно по формулам:

$$20 \quad n_i = (0.8 - 1.2) n_1 + \frac{n_1}{4} (i - 1),$$

$$n_{i_0} = (1.02 - 1.2) [(0.8 - 1.2) n_1 + \frac{n_1}{4} (i_0 - 1)],$$

- где *n<sub>1</sub>* — количество абразивных элементов, перекрываемых одной деталью;  
*P* — общая нагрузка, Н;  
*h/D* — относительная толщина обрабатываемой детали, то есть отношение толщины к диаметру или диагонали обрабатываемой детали;  
*S* — площадь рабочей поверхности одного абразивного элемента, м<sup>2</sup>;  
*K* — количество одновременно обрабатываемых деталей каждым притиром;  
*n<sub>i</sub>* — количество абразивных элементов в *i*-той зоне;  
30 *n<sub>i\_0</sub>* — количество абразивных элементов в средней зоне;

вом шлифовании слоя. Например, установлено, что при изготовлении фотошаблонных заготовок размером 102 x 102 x 2.6 мм оптимальное значение стрелы вогнутости после чистового шлифования составляло 2 мкм, а для заготовок размером 127 x 127 мм – 3 мкм. При этом максимальная глубина нарушенного слоя после

5 шлифования составляет не более 6 мкм.

С этой целью плотность заполнения среднего ряда устанавливают выше по сравнению с любым рядом в 1.02 – 1.2 раза. Значение 1.02 выбрано из тех соображений, что 2%-ое увеличение плотности заполнения среднего ряда обеспечивает устойчивое изменение плоскостности в сторону вогнутой поверхности на 10 самую незначительную величину (менее 1 мкм). При меньшем значении коэффициента поправки получить стабильное отклонение плоскостности в сторону вогнутой поверхности не удается. Максимальное значение 1.2 обусловлено тем, что при больших его значениях величина отклонения плоскостности настолько велика, что даже при длительном полировании не достигается получение плоской поверхности, а на полированной поверхности образуется несколько центров.

Помимо обеспечения необходимых удельных нагрузок и заданной формы обрабатываемой поверхности предлагаемый в данном изобретении закон расположения абразивных элементов обеспечивает равномерный износ инструмента в процессе эксплуатации. Это практически исключает периодическую правку инструмента, что характерно для притиров, работающих со свободным абразивом.

Таким образом, применение инструмента в виде отдельных абразивных элементов, расположенных по предлагаемому закону на поверхности притиров, обеспечивает резкое снижение удельных нагрузок в зоне обработки.

Важным шагом по улучшению качества обработки поверхности деталей с 25 относительной толщиной  $h/D < 1/10$  является оптимизация условий нагружения обрабатываемой детали. Как известно, в случае жесткого нагружения обрабатываемой детали между двумя притирами относительная толщина детали должна быть не менее 1/5. В противном случае деформации детали не позволят получить точную форму обрабатываемой поверхности.

Установлено, что качество обработки тонких деталей зависит не только от исходной плоскости рабочей поверхности инструмента, но также и от формы внешней нагрузки. Если форма внешней нагрузки и контактирующей с ней поверхности детали не совпадают, то в процессе обработки возникают зоны локальных напряжений, вызывающие деформацию детали.

35 Экспериментально установлено, что если детали нагружать с помощью упругой прокладки, размещенной между двумя деталями, то это позволяет в 5 – 7 раз уменьшить влияние удельных нагрузок на величину деформаций деталей с одинаковой относительной толщиной по сравнению с жестким нагружением.

$i_0$  — порядковый номер средней зоны.

Изготовление инструмента, рабочая поверхность которого образована из отдельных абразивных элементов, позволяет при сохранении постоянной удельной нагрузки снизить величину общей нагрузки во много раз.

5 Изменение плотности заполнения абразивных элементов в зоне обработки, то есть количества элементов, перекрываемых одной деталью (фиг.4), обеспечивает достижение необходимых удельных нагрузок в зоне резания. Максимальную удельную нагрузку следует определять с учетом относительной толщины обрабатываемой детали. Чем она меньше, тем должна быть меньше удельная  
10 нагрузка в зоне обработке. Например, если при грубом шлифовании стеклянных пластин с относительной толщиной  $h/D = 1/10$  оптимальной удельной нагрузкой является около 0.2 МПа, то при шлифовании деталей с относительной толщиной 1/100 нагрузку следует уменьшить до 0.01 – 0.02 МПа. Исходя из этих соображений и определяется плотность заполнения рабочей поверхности инструмента  
15 абразивными элементами.

Помимо обеспечения необходимых удельных нагрузок в зоне обработки расположение абразивных элементов на поверхности притиров должно обеспечить формирование необходимой геометрии обрабатываемой поверхности. При обработке плоских поверхностей деталей на операциях шлифования стремятся к получению  
20 плоской поверхности с минимальными отклонениями по плоскости.

В случае необходимости получения полированной поверхности с минимальными отклонениями поверхности от плоской формы возникают следующие трудности. Известно, что при длительном полировании поверхности, особенно с помощью нежестких войлочных или суконных полировальных материалов,  
25 происходит более интенсивный съем материала на краях деталей, в результате чего после полирования плоской исходной шлифованной поверхности получают выпуклую поверхность (фиг. 5а). Если же при шлифовании получить пластину с вогнутой поверхностью (фиг. 5б), то после полирования за счет "заваливания" краев плоскость улучшается и достигает минимальных отклонений от плоской идеальной  
30 поверхности. На фиг. 5 (а,б) штриховой линией показан профиль поверхности после шлифования, непрерывной линией — профиль окончательно обработанной поверхности после полирования.

Таким образом, для получения деталей с высокими требованиями по плоскости при шлифовании следует получать заданную вогнутую поверхность.  
35 При этом, величина задаваемой стрелы вогнутости будет определяться следующими факторами: размерами обрабатываемых деталей и временем их полирования, которое, по существу, определяется глубиной нарушенного при последнем чисто-

Дело в том, что при нагружении детали с помощью упругой прокладки, изготовленной из материала с определенной толщиной и модулем упругости, данный упругий элемент полностью скопирует форму контактирующей поверхности, что наиболее важно в начальный момент обработки, когда сошлифовываются 5 выступающие участки обрабатываемой детали. Избыточное давление на эти участки будет перераспределяться согласно закону Паскаля по всем направлениям, то есть по всей поверхности.

В устройстве (фиг.3) при односторонней обработке деталей 17 и 18, расположенных в кассете 16 по обе стороны упругой прокладки 19, двумя инструментами, 10 каждая прокладка должна быть выполнена составной по меньшей мере из двух отдельных упругих элементов 20 и 21, соединенных между собой посредством перемычки 22. Это обеспечивает равномерное нагружение плоских поверхностей деталей в процессе их обработки.

Возможны различные варианты изготовления кассет и упругих прокладок, 15 обеспечивающих равномерное нагружение плоских поверхностей деталей в процессе их обработки.

В частности, на фиг.6 изображена кассета 16 с прокладкой, состоящей из нижнего и верхнего упругих элементов 19 и 20 и дискретной перемычки 23, которая соединяет упругие элементы 19 и 20 в единую трехслойную прокладку. Можно также 20 использовать дискретные упругие элементы со сплошной перемычкой.

На фиг.7 изображена кассета 16 с прокладкой, в которой нижний и верхний упругие элементы выполнены в виде отдельных изолированных емкостей 24, наполненных газом или жидкостью, соединенных с помощью перемычки 21 в единую прокладку.

На фиг.8 изображена кассета 25 с упругой прокладкой, в которой в качестве 25 перемычки использована сама кассета, непосредственно на поверхности которой расположены упругие элементы 20 и 21. Гнезда для размещения деталей 17 и 18 образованы с помощью накладных элементов 26 и 27.

Целесообразность применения составной упругой прокладки объясняется следующим. Если использовать в качестве прокладки однослойный упругий элемент, то при обработке тонких крупногабаритных деталей с относительной толщиной  $h/D \approx 1/50$  и менее происходит их неравномерное нагружение за счет неравномерной сжимаемости прокладки. Нагрузка в этом случае будет уменьшаться от центра детали к периферии. Чем меньше относительная толщина обрабатываемых деталей, тем меньше должна быть упругость используемой прокладки. 35 Однако тем больше в данном случае будет неравномерность распределения нагрузки по поверхности детали.

Это противоречие может быть преодолено за счет применения комбинированной прокладки, состоящей из двух упругих элементов, связанных между собой

с помощью перемычки, выполненной из более жесткого материала. Кроме того, с целью получения более равномерного перераспределения нагрузок по всей обрабатываемой поверхности упругие элементы или перемычку между ними выполняют дискретными, то есть состоящими из отдельных элементов, расположенных, 5 например, в "шахматном порядке".

В качестве упругих элементов можно использовать емкость, наполненную газом или жидкостью. В этом случае емкость должна быть изготовлена из достаточно эластичного материала с малой толщиной, чтобы обеспечить полное копирование контактирующей поверхности детали. С точки зрения равномерности перераспределения 10 статической нагрузки такая прокладка является идеальной. Однако в процессе обработки жидкость в емкости при вращении перераспределяется под действием центробежной силы и не обеспечивает высокого качества обработки.

Этот недостаток устраняется следующим образом. Упругие элементы выполняют в виде отдельных изолированных емкостей малого объема, наполненных 15 жидкостью или газом. Данные емкости равномерно распределяют по всей площа-ди прокладки и фиксируют с помощью перемычки. Такая прокладка обеспечивает равномерное перераспределение нагрузки по всей обрабатываемой поверхности, идеально копирует контактирующую поверхность детали и, следовательно, обеспе-чивает высокое качество обработки.

20 На операциях финишного тонкого шлифования, основным назначением которого является подготовка поверхности к полированию, то есть формирование поверхности с минимальной шероховатостью и с минимальным нарушенным слоем, необходимо обработку производить при минимальных удельных нагрузках. В этом случае описанные конструкции кассет из монолитного корпуса и упругой 25 прокладки не могут гарантировать при загрузке и обработке деталей их сохран-ность. Дело в том, что в ненагруженном состоянии верхний упругий элемент выступает над поверхностью кассеты. Верхняя обрабатываемая деталь размеща-ется на упругой прокладке напротив гнезда сепаратора. При нагружении верхним инструментом может произойти смещение детали относительно гнезда, что при-30 ведет к повреждению или разрушению детали.

В этом случае, целесообразно кассету выполнять разрезной в плоскости обработки и между элементами кассеты 28 и 29 располагать пружинящие опоры 30. Сами составные элементы кассеты связаны между собой направляющими, обес-печивающими перемещение элементов кассеты в плоскости, перпендикулярной 35 плоскости обработки. При этом жесткость пружинящих опор и упругих элементов прокладок связаны между собой соотношением:

$$0.1 C_2 < C_1 < C_2,$$

где  $C_1$  — жесткость пружинящих опор;

$C_2$  — жесткость упругих элементов прокладок.

Схема устройства для обработки деталей с применением описанных кассет изображена на фиг. 9.

Устройство содержит нижнее и верхнее основание 12 и 13 с закрепленными абразивными элементами 3. В зацеплении с центральным и наружным зубчатыми колесами 14 и 15 расположена кассета, состоящая из двух составных элементов 28 и 29, между которыми расположены пружинящие опоры 30. Кроме того, в нижнем элементе кассеты 28 имеется пазец 31, а в верхнем — отверстие 32, выполняющие роль направляющих, обеспечивающих перемещение элементов кассеты 28 и 29 друг относительно друга в вертикальной плоскости. В гнезде кассеты, выполненном соосно в элементе 28 и 29, расположены детали 17 и 18, между которыми размещена упругая прокладка, состоящая из упругих элементов 33 и 34 и перемычки 22.

В данном устройстве упругие элементы прокладок выполнены с уменьшающейся жесткостью от края к центру. Это достигается тем, что в упругих элементах 33 и 34 выполнены разгрузочные отверстия 35. Таким образом, достигается равномерное нагружение обрабатываемых деталей за счет равномерного сжимания упругих элементов в процессе нагружения и обработки деталей. Подбор диаметра и плотности расположения разгрузочных отверстий 35 осуществляется в зависимости от относительной толщины обрабатываемых деталей  $h/D$ , а также модуля упругости и толщины упругих элементов 33 и 34.

Высота и жесткость пружинящих опор 30 должны обеспечить в ненагруженном состоянии общую высоту составной кассеты больше, чем суммарная высота нижней детали 17 и ненагруженной упругой прокладки. Выполнение этого условия обеспечивает простоту загрузки верхней детали 18 в гнездо верхнего элемента кассеты 29 и исключает возможность поломки детали 18 в процессе нагружения верхним инструментом и пуском привода станка.

Кроме того, в верхней части устройства расположен трубопровод 36 для подачи смазочно-охлаждающей жидкости в кольцевую емкость 37, сообщенную каналами 38 с зоной обработки деталей.

Необходимо соблюдать указанное выше условие — жесткость пружинящих опор  $C_1$  должна быть меньше жесткости упругих элементов  $C_2$  прокладки.

В этом случае большая часть нагрузки будет приходиться на обрабатываемые детали 17 и 18, а меньшая — на составные элементы кассеты 28 и 29. В то же время подпружиненный элемент кассеты 29, прижимаясь посредством пружинящих опор 30 к верхнему инструменту, обеспечивает удержание тонкой детали 18 в гнезде кассеты в процессе обработки.

Даже в режиме выхаживания деталей в процессе тонкого финишного шли-

фования, когда удельные нагрузки на обрабатываемые детали минимальны, при выполнении указанного соотношения жесткости  $C_1$  и  $C_2$  подпружиненная часть кассеты 29 удерживает деталь 18 в гнезде.

Если жесткость упругих опор и упругих элементов одинаковы, то есть при 5  $C_1/C_2 = 1$ , то в этом случае отсутствует возможность проведения выхаживания деталей, а также будет иметь место высокий износ кассет. Если же  $C_1/C_2 \leq 0.1$ , то усилия прижатия подпружиненной части кассеты 29 к верхнему инструменту может оказаться недостаточно для удержания детали 18 в гнезде кассеты, что может привести к разрушению детали в процессе обработки.

10 В ряде случаев, связанных со спецификой обрабатываемых деталей и применяемого инструмента и оснастки, применение инструмента в виде отдельных абразивных элементов, расположенных на поверхности основания, невозможно. В этом случае, абразивные элементы целесообразно размещать в матрице, износостойкость которой ниже износостойкости абразивных элементов. Матрицу с расположеннымными в ней абразивными элементами необходимо закреплять на основании инструмента.

Установлено, что для достижения поставленной задачи в качестве материала матрицы целесообразно использовать технический войлок из химических волокон, предварительно подвергнутый термической обработке при температуре 20  $90 - 140^{\circ}\text{C}$  в течение 0.5 – 5 часов. Войлок технический из химических волокон, представляющий собой рыхлое, легко счесываемое полотно, предназначен для фильтрации газов и дизельного топлива и для звукоизоляции. Применение данного материала в исходном состоянии, выпускаемом промышленностью, в качестве матрицы для шлифовальных или полировальных абразивных элементов не возможно, так как волокна полотна слабо связаны между собой и легко счесываются. После проведения термообработки по указанным режимам происходит усадка и уплотнение материала. При этом продолжительность термообработки обратно пропорциональна температуре термообработки. В то же время продолжительность термообработки линейно возрастает в указанном диапазоне при увеличении толщины используемого полотна войлока.

В результате экспериментальных исследований установлено, что оптимальными условиями термообработки являются те, после которых модуль упругости войлока будет в пределах 2 – 4 гПа.

Инструмент такой конструкции, а именно когда абразивные элементы расположены в матрице, наиболее целесообразно использовать при двусторонней обработке деталей с помощью устройства, описанного выше, но без применения упругой прокладки. Это наиболее важно при изготовлении деталей с повышенными требованиями к разнотолщинности. Поэтому целесообразно производить перв-

вичную обработку на операциях двустороннего шлифования с помощью указанного инструмента, где будет устранена разнотолщинность и непараллельность исходной заготовки. Тонкое шлифование целесообразно производить путем одностороннего шлифования с применением упругих прокладок и подпружиненных составных кассет. Полирование в ряде случаев также целесообразно осуществлять путем двусторонней обработки без упругих прокладок.

5 При определении оптимальных удельных нагрузок помимо учета их влияния на точность обработки поверхности существует еще один важный критерий – это соблюдение условий, обеспечивающих эффективную работу, то есть работу в 10 режиме самозатачивания, связанного абразивного инструмента.

Известные типы связанного алмазного инструмента предназначены для эксплуатации при высоких удельных давлениях 0.03 – 0.15 МПа и высоких относительных линейных скоростях 10 – 40 м/с [см. Рогов В.В. Финишная алмазно-абразивная обработка неметаллических деталей. – Киев: Навукова думка. – 1985.–264 с.]. 15 Однако такие режимы не приемлемы для обработки деталей с относительной толщиной порядка 1/50 и менее, так как вызывают значительные деформации деталей в процессе обработки.

20 В связи с этим необходимо было создать связанный абразивный инструмент, работающий при низких удельных давлениях в пределах 0.005 – 0.05 МПа и низких относительных линейных скоростях инструмента и обрабатываемой детали порядка 1 – 3 м/с.

25 Таким условиям удовлетворяет алмазный инструмент на органической связке. В качестве связующего была выбрана эпоксидно-диановая смола с отвердителем полиэтиленполиамин. Состав данного алмазного инструмента содержит помимо эпоксидно-диановой смолы и полиэтиленполиамина алмазный порошок, 30 вспомогательный абразив и функциональную добавку. В качестве вспомогательного абразива используют двуокись церия или циркония, а в качестве функциональной добавки – смесь водорастворимой соли серной или фосфорной кислоты и щавелевой или лимонной кислоты. Компоненты материала взяты в следующем процентном соотношении, в вес. % :

35	эпоксидная смола	40 – 70
	полиэтиленполиамин	4.5 – 9.0
	алмазный порошок	0.04 – 8.0
	вспомогательный абразив	10 – 40
	функциональная добавка	2.2 – 22.0

Использование в качестве вспомогательного абразива двуокиси церия или циркония, имеющих сравнительно низкую прочность и тонкодисперсную чешуй-

- чатую структуру, способствует улучшению упруго-пластических свойств инструмента и снижению его засаливания в процессе эксплуатации. Кроме того, вспомогательный абразив (двуокись церия или циркония) способствует удалению микронеровностей на обрабатываемой поверхности, то есть участвует в формировании микрорельефа. Комплекс двуокиси церия (циркония) — алмазные зерна в указанных соотношениях образуют каркас абразивной массы с высокоразвитой поверхностью, имеющей высокую реакционную способность. В то же время в каркасе отсутствуют сыпучие, конгломераты, которые в процессе шлифования выделили бы отдельные несвязанные алмазные зерна.
- 10       Функциональная добавка, состоящая из смеси водорастворимой соли серной или фосфорной кислоты и щавелевой или лимонной кислоты, выполняет двойственную функцию. Во-первых, это трибохимическое воздействие реагентов на поверхность стекла или стеклообразного материала в зоне контакта инструмента с обрабатываемой деталью, а во-вторых, взрыхление связки и обновление новых алмазоносных слоев за счет растворения мелкодисперсных частиц указанных химических реагентов под действием воды, являющейся основой состава смазочно-охлаждающей жидкости.

15       При подборе оптимального состава для изготовления алмазного инструмента исследовалось влияние различных компонентов и их соотношения на режущую способность инструмента и качество обработанной поверхности.

20       Наряду с высокими удельными съемками материала, обеспечиваемыми инструментом с указанным составом, обеспечивается достижение минимальной шероховатости обработанной поверхности.

25       Алмазный инструмент указанного состава изготавливается следующим образом. В эпоксидную смолу при тщательном перемешивании вводят компоненты в следующей последовательности: алмазный порошок, смесь, предварительно расщепленных в ступке соли и кислоты, двуокись церия, полиэтиленполиамин (отвердитель). Массу перемешивают до получения однородной консистенции, заливают в формы в виде отдельных таблеток и выдерживают при комнатной температуре не менее 14 – 16 часов. Затем производят термическую обработку полученных алмазоносных элементов при температуре 370 – 390°К в течение 2 часов, после чего их медленно охлаждают до комнатной температуры.

30       При разработке алмазного инструмента необходимо было учесть особенности грубого и чистового шлифования. Операция грубого шлифования (I переход) для указанного класса обрабатываемых деталей предназначена для производительного удаления слоя исходной заготовки с полированной, как правило, поверхностью и получения поверхности с высокой точностью ее геометрической формы.

35       На операции чистового шлифования (II переход) должна быть предельно уменьшена глубина нарушенного на I переходе шлифования слоя материала и окон-

чательно сформирована форма поверхности, то есть должна быть проведена подготовка поверхности к полировке.

Сравнительные профилограммы обработанных поверхностей стеклянных заготовок для фотомоделей на I и II переходах шлифования разными инструментами приведены на фиг.10(а-д). На фиг.10(а,б) представлены профилограммы поверхностей, обработанных на чугунных притирах супензиями микропорошков зернистостью 20 мкм (I переход) и 10 мкм (II переход), имеющие шероховатость поверхности  $R_a$  соответственно 0.84 и 0.46 мкм. Профилограммы поверхностей, обработанных разработанным алмазным инструментом, после I и II переходов приведены на фиг.10 (с,д). Шероховатость поверхности  $R_a$  для каждого случая составляет соответственно 0.42 и 0.16 мкм. Высокое качество шлифованной поверхности позволяет резко сократить время последующего полирования.

Усиление режущей способности алмазного инструмента при низких удельных нагрузках достигается использованием в алмазносной массе в качестве связующего фенопласта — термореактивную прессовочную массу на основе фенолоальдегидных смол, или аминопласти — термореактивную прессовочную массу на основе карбамидо-, меламино- и карбамидомеламиноформальдегидных смол, или смеси из фенопластов и аминопластов.

Установлено, что введение в алмазносную массу на основе эпоксидной смолы с отвердителем, вспомогательного абразива и функциональной добавки, в качестве дополнительного наполнителя аминопласти и/или фенопласта, или их смеси в количестве 2 – 40 вес.% обеспечивает повышение производительности шлифования в среднем на 20%.

Применение указанных термореактивных прессовочных масс (аминопласти и фенопласта) в составе для изготовления алмазного инструмента позволяет выявить и успешно использовать новые свойства указанных материалов:

- использование его в качестве вспомогательного абразива, активно участвующего в формировании микрорельефа обрабатываемой поверхности;
- использование его в качестве основной функциональной добавки — наполнителя, обеспечивающего вскрытие алмазносной массы и обеспечивающего работу алмазного инструмента в режиме самозатачивания;
- использование этого твердого термореактивного мелкодисперсного материала повышает износостойкость и прочность алмазосодержащей композиции.

Выявленные свойства фенопласта и аминопласта позволили использовать эти материалы в качестве основного связующего при изготовлении алмазного инструмента. Инструмент, содержащий указанное связующее в количестве 95.0 – 99.7 вес.% и алмазный порошок в количестве 0.3 – 5.0 вес.% отличается высокими режущими способностями в широком интервале удельных давлений

от 0.01 до 1 МПа. Это свойство является уникальным. Например, алмазные инструменты на металлической или керамической связке работают при удельных давлениях не менее 0.1 МПа, на органической связке – 0.05 – 0.15 МПа.

Кроме того, алмазный инструмент со связующим из фенопласта и/или аминопласта отличается простотой изготовления. Прессование алмазных элементов – таблеток производят при температуре 120 – 200°C (390 – 470K) и давлении (150 – 1200) 9.81 x 104 Па. Изменением режимов прессования можно управлять в широких пределах свойствами получаемых алмазных таблеток.

### Примеры

- 10 1. Производили шлифование и полирование стеклянных заготовок для фотоматриц размером 127.0 ± 0.8 x 127.0 ± 0.8 x 2.6 ± 0.4 мм из термически полированного флоат-стекла, забракованного по плоскостности и чистоте поверхности. Шлифование в два перехода осуществляли связанным алмазным инструментом на основе эпоксидно-диановой смолы и отвердителя полиэтиленполиамина.
- 15 Шлифование осуществляли на станке двусторонней обработки планетарного типа. Количество одновременно обрабатываемых заготовок на каждом притире с внутренним диаметром 250 мм и наружным диаметром 630 мм составляет 4 шт. Шлифовальныйник изготовлен из алмазных таблеток диаметром 16 мм для первого перехода и 11 для второго перехода, расположенных на семи концентрических рядах.
- 20 20 Шлифование производили при следующих технологических режимах: скорость вращения шпинделя – 100 об/мин, общая нагрузка на обрабатываемые детали  $\approx 200$  Н (на первом переходе).

При грубом шлифовании использовали 4 кассеты из текстолита толщиной 16 мм со сквозными окнами размерами  $127.5 + 0.2 \times 127.5 + 0.2$  мм. В качестве трехслойной прокладки использовали два упругих элемента из поропласта полиуретанового толщиной 5 мм каждая с модулем упругости 300 МПа, между которыми размещена перемычка толщиной 8 мм. Общая толщина прокладки и деталей (два ряда деталей с трехслойной прокладкой между ними) в нагруженном состоянии составляет 17 мм, что обеспечивает распределение нагрузки верхнего притира только на обрабатываемые детали. Время шлифования на первом переходе составляет 4 мин. Шероховатость обрабатываемой поверхности равна  $R_a = 0.42$  мкм. Шлифование в указанных режимах с применением описанного алмазного инструмента обеспечивает получение вогнутой поверхности со стрелой прогиба 3 – 4 мкм.

При финишном точном шлифовании (второй переход) фотоматричных заготовок после грубого шлифования использовали 4 кассеты из листового материала толщиной 4 мм, с обеих сторон которых закреплены диски диаметром 188 мм из

текстолита листового толщиной 3 мм с гнездами размерами  $127.5_{-0.2}^{+0.2} \times 127.5_{-0.2}^{+0.2}$  мм. В гнездах к поверхности кассет наклеены упругие элементы из поропласта листового полиуретанового толщиной 3 мм каждый. Время шлифования на втором переходе составляет 4 мин. Шероховатость обработанной поверхности составила  $R_a = 0.16$  мкм.

- 5       Полирование производили при следующих режимах: скорость вращения шпинделя 60 об/мин, общая нагрузка на 4 обрабатываемые заготовки составляла 280Н, плотность суспензии полирита  $(1.09 - 1.1)10^3$  кг/м<sup>3</sup>, pH=7. В качестве полировального полотна использован технический войлок из химических волокон, предварительно термообработанный при температуре 120°C в течение 1 часа. Время полирования 10 составило 20 мин. Расход полирита —  $0.5 \times 10^{-3}$  кг/мин. Плоскость поверхности после полирования — менее 0.5 мкм в рабочей зоне диаметром 102 мм.

2. Производилось изготовление стеклянных заготовок для магнитных дисков диаметром 65 мм. Шлифование исходных заготовок диаметром 74 мм и толщиной  $1.0_{-0.2}^{+0.2}$  мм производилось в два перехода: на первом переходе с помощью 15 алмазного связанныго инструмента в течение 2 мин до толщины 0.8 мм, затем на втором переходе алмазным инструментом в течение 4 мин с выхаживанием до толщины 0.7 мм.

- Общая нагрузка на втором переходе — 120 Н, при выхаживании — 40 Н. Шлифование производилось одновременно 12 деталей, размещенных в два ряда в 20 кассетах, состоящих из двух подпружиненных частей.

Полирование производилось в течение 10 мин до толщины  $0.635 \pm 0.025$  мм.

После полирования производилась резка заготовки диаметром 74 мм в размер (наружный диаметр —  $65 \pm 0.1$  мм и внутренний диаметр  $20 \pm 0.038$  мм) с помощью лазерного излучения. Резку осуществляли следующим образом.

- 25      В качестве лазера был использован лазер на двуокиси углерода типа ЛГ-25А мощностью 36 Вт с длиной волны излучения 10.6 мкм. Лазерное излучение фокусировалось с помощью сферическо-цилиндрической линзы в пучок эллиптического сечения. Осуществили надрез длиной 1.5 мм по линии реза (по большому диаметру 65 мм) с помощью алмазной пирамиды. В качестве хладагента использовалась воздушно-водяная смесь, подаваемая в зону нагрева под давлением  $2.5 \times 10^5$  Па. Скорость резки составила 45 мм/с. Точность резки составила 10 мкм. Аналогично осуществлена резка по внутреннему диаметру 20 мм.

- 35      Результаты испытаний описанных способа обработки деталей и устройства для его осуществления на некоторых примерах шлифования, полирования и резки в размер при различных технологических параметрах представлены в таблицах

Анализ результатов испытаний позволяет сделать следующие выводы.

Для соблюдения условий точного формообразования обрабатываемой по-

верхности следует учитывать и взаимоувязывать допустимые удельные нагрузки на детали заданной относительной толщины с удельными давлениями на алмазный слой, обеспечивающими работу используемого инструмента в режиме самозатачивания.

5       Обработку деталей следует осуществлять, размещая их в гнезда кассет в два ряда с комбинированной упруго-эластичной прокладкой между ними. Упругий элемент полностью копирует форму контактирующей поверхности и перераспределяет нагрузку инструмента на обрабатываемую поверхность, что обеспечивает значительное уменьшение деформаций деталей в процессе обработки. При этом 10 усилие прижима детали к рабочей поверхности инструмента может регулироваться за счет упругих свойств или толщины упруго-эластичной прокладки в самом широком диапазоне.

Применение описанного изобретения наряду со снижением трудоемкости процесса за счет сокращения ряда операций алмазно-абразивного шлифования и 15 доводки кромок деталей обеспечивает заметное повышение качества изделий, повышение механической прочности и эксплуатационной надежности изделий благодаря бездефектности кромок после лазерной резки.

#### **Промышленная применимость**

Настоящее изобретение может быть использовано в электронной промышленности при изготовлении прецизионных подложек для жидкокристаллических индикаторов и фотошаблонов, магнитных и магнитооптических дисков, в часовой промышленности для изготовления защитных стекол, в автомобилестроении для 20 изготовления линз для фар и зеркал, а также в других областях техники и производства, где используются прецизионные изделия из неметаллических материалов.

**Результаты испытаний процесса обработки деталей  
из хрупких материалов**

Таблица 1

№№ приме- ров	Параметры обработки						Результаты испытаний		
	$h/D$	$Q$ , МПа	$E_0$ , $10^3 \times$ хМПа	$H$ , $10^{-3} \times$ м	$E$ , $10^3 \times$ х МПа	Коэф-т 0.7 - 7	Шеро- хова- тость $R_a$ , мкм	Пло- ско- стность, мкм	Выход годных изде- лий, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.1	0.05	70	1.5	2	0.7	0.32	0.5	94
2	0.1	0.2	70	1.5	2	2	0.42	1.0	98
3	0.1	0.5	70	1.5	2	7	0.46	1.5	90
4	0.02	0.01	70	5	0.3	0.7	0.16	1.0	92
5	0.02	0.04	70	5	0.3	2	0.20	1.0	96
6	0.02	0.1	70	5	0.3	7	0.24	2.5	91
7	0.005	0.003	70	3	0.3	0.7	0.08	1.5	93
8	0.005	0.01	70	3	0.3	2	0.16	2.0	95
9	0.005	0.03	70	3	0.3	7	0.20	4.5	89

**Возможные варианты составов  
алмазно-абразивного инструмента**

Таблица 2

Компоненты составов	Содержание компонентов, вес. %							
	Номера вариантов							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Эпоксидная смола	56	40	70	56	56	56	—	—
Отвердитель	8	4.5	9	8	8	8	—	—
Алмазный порошок	2	1	1.5	2	8	0.5	3	1
Двукись церия	28	—	—	10	22	28	—	—
Двукись циркония	—	40	15.5	—	—	—	—	—
Соль серной кислоты	4	—	2	4	—	4	—	—
Соль фосфорной кислоты	—	8	—	—	4	—	—	—
Шавелевая кислота	3	6.5	—	3	—	4.5	—	—
Лимонная кислота	—	—	2	—	3	—	—	—
Аминопласт	—	—	—	18	—	—	97	99
Фено пласт	—	—	—	—	—	—	—	—
Параметры процесса								
Время шлифования, мин	2	4.5	8	1.5	4	7	2	6
Шероховатость $R_a$ , мкм	0.32	0.42	0.36	0.32	0.46	0.42	0.32	0.42
Выход годных изделий, %	98	60	52	98	86	70	97	89

### Формула изобретения

1. Способ обработки деталей из хрупких материалов, при котором детали размещают в кассетах, нагружают, прижимая их к инструменту, и перемещают детали и инструмент друг относительно друга в плоскости обработки, отличающимся тем, что при обработке поверхностей деталей удельную нагрузку инструмента на деталь выбирают в зависимости от относительной толщины обрабатываемой детали из соотношения:

$$Q = (0.7 - 7) \times 10^{-5} \times h/D \times E_o,$$

где  $Q$  — удельная нагрузка инструмента на обрабатываемую деталь, МПа;  
 10  $h/D$  — относительная толщина обрабатываемой детали;  
 $h$  — толщина обрабатываемой детали, м;  
 $D$  — диаметр или диагональ обрабатываемой детали, м;  
 $E_o$  — модуль упругости материала обрабатываемой детали, МПа,

обеспечивая уменьшение деформации деталей в процессе обработки.

15 2. Способ по п.1, отличаяющимся тем, что обработку поверхностей деталей осуществляют алмазно-абразивным инструментом.

3. Способ по пп.1,2, отличающимся тем, что после обработки поверхностей деталей путем шлифования и/или полирования дополнительно осуществляют обработку кромок деталей в размер, при этом резку в размер 20 осуществляют путем предварительного нанесения надреза по линии реза, нагрева линии реза лазерным излучением с плотностью мощности  $(0.2 - 20)10^6 \text{ Вт м}^{-2}$  и с длиной волны, для которого разрезаемый материал непрозрачен, при относительном перемещении лазерного излучения и материала и локального охлаждения зоны нагрева с помощью хладагента, при этом вначале осуществляют обработку поверхности детали, а затем осуществляют обработку в размер.

4. Устройство для обработки деталей, содержащее две планшайбы (1,2), на одной из которых закреплен инструмент (3) для обработки поверхностей деталей (4), а на второй расположена упругая прокладка (6), на которой закреплена кассета (5) с гнездами для размещения деталей (4), прижимный механизм (7), нагружающий через одну из планшайб

обрабатываемые детали, и привод вращения по меньшей мере одной из планшайб, отличающийся тем, что толщина упругой прокладки (6) определена из соотношения:

$$\frac{0.4 Q}{h/D} \leq H \leq \frac{10 Q}{h/D},$$

- 5 где  $Q$  — удельная нагрузка инструмента на обрабатываемую деталь, МПа;  
 $h/D$  — относительная толщина обрабатываемой детали;  
 $h$  — толщина обрабатываемой детали, м;  
 $D$  — диаметр или диагональ обрабатываемой детали, м;  
 $E$  — модуль упругости материала прокладки, МПа;  
10  $H$  — толщина упругой прокладки; м,

а инструмент (3) выполнен из отдельных алмазно-абразивных таблеток, расположение и состав которых выбирают такими, что при обработке деталей (4) обеспечивается получение заданной формы обрабатываемой поверхности и регулирование нагрузок инструмента (3) на обрабатываемые детали (4).

- 15 5. Устройство для обработки деталей, содержащее верхний и нижний инструмент, выполненный в виде дисков (12, 13) с алмазно-абразивным покрытием, между которыми в зацеплении с зубчатыми колесами (14, 15) расположены кассеты (16) с гнездами для размещения деталей и привод вращения инструмента и/или кассеты, отличаясь тем, что при выполнении алмазно-абразивного покрытия в виде отдельных, размещенных на дисках (12, 13), таблеток (3), расположение и состав алмазно-абразивных таблеток выбирают такими, что при этом обеспечивает при обработке деталей обеспечение получения заданной формы обрабатываемой поверхности и регулирование нагрузок инструмента на обрабатываемые детали.
- 20 25. Устройство по п.5, отличающееся тем, что алмазно-абразивные таблетки (3) закреплены на дисках (12, 13) на нечетном количестве концентрических зон, и количество таблеток, перекрываемых одной деталью, выбирают из условия:

$$n_1 = \frac{(0.2 - 2) 10^4 P}{\frac{h}{D} S K},$$

а количество абразивных элементов в любой зоне и в средней зоне определять соответственно по формулам:-

$$n_i = (0.8 - 1.2) n_1 + \frac{n_1}{4} (i - 1),$$

$$n_{i_0} = (1.02 - 1.2) [(0.8 - 1.2) n_1 + \frac{n_1}{4} (i_0 - 1)],$$

- 5                где  $n_1$  — количество абразивных элементов, перекрываемых одной деталью;  
                  $P$  — общая нагрузка, Н;  
                  $h/D$  — относительная толщина обрабатываемой детали, то есть отношение толщины к диаметру или диагонали обрабатываемой детали;  
 10               $S$  — площадь рабочей поверхности одного абразивного элемента,  $\text{м}^2$ ;  
                  $K$  — количество одновременно обрабатываемых деталей каждым притиром;  
                  $n_i$  — количество абразивных элементов в  $i$ -той зоне;  
                  $n_{i_0}$  — количество абразивных элементов в средней зоне;  
 15               $i_0$  — порядковый номер средней зоны.

7. Устройство по пп.5,6, отличающееся тем, что при односторонней обработке деталей, детали расположены в кассете в два ряда, между которыми установлена упругая прокладка (19), при этом каждая прокладка выполнена составной по меньшей мере из двух отдельных упругих элементов (20,21), соединенных между собой посредством перемычки (22), обеспечивая равномерное нагружение плоских поверхностей деталей (17,18) в процессе их обработки.

8. Устройство по п.7, отличающееся тем, что упругие элементы и/или перемычка (23) выполнены дискретными.

9. Устройство по пп.7,8, отличающееся тем, что упругие элементы выполнены в виде емкостей (24), наполненных газом или жидкостью.

10. Устройство по пп.7 – 9, отличающееся тем, что в качестве перемычки прокладки использована сама кассета (25), непосредственно на поверхности которой расположены упругие элементы.

11. Устройство по пп.5 – 10, отличающееся тем, что кассета выполнена разрезной в плоскости обработки и между элементами кассеты (28, 29) расположены пружинящие опоры (30), а сами элементы кассеты связаны

между собой направляющими (31, 32), обеспечивающими перемещение элементов кассеты в плоскости, перпендикулярной плоскости обработки, при этом жесткость пружинящих опор (30) и упругих элементов (33, 34) прокладок определена из соотношения:

5

$$0.1C_2 < C_1 < C_2,$$

где  $C_1$  — жесткость пружинящих опор;  
 $C_2$  — жесткость упругих элементов прокладок.

12. Устройство по пп.5 – 11, отличающееся тем, что упругие элементы (33, 34) прокладок выполнены с уменьшающейся жесткостью от края к центру.

10

13. Устройство по пп.4 – 6, отличающееся тем, что абразивные элементы расположены в матрице, закрепленной на основании инструмента, износостойкость которой ниже износостойкости абразивных элементов.

15

14. Устройство по пп.4 – 6, отличающееся тем, что матрица для шлифовальных или полировальных абразивных элементов выполнена из технического войлока из химических волокон, предварительно подвергнутого термической обработке при температуре 90 – 140°C в течение 0.5 – 5 часов.

15. Устройство по пп.4 – 6, 13, 14, отличающееся тем, что состав абразивных элементов содержит компоненты при следующем их соотношении в вес.%:

20

связующее	44.5 – 79
алмазный порошок	0.04 – 8.0
вспомогательный абразив	10 – 40
функциональная добавка	2.2 – 22.0

16. Устройство по п.15, отличающееся тем, что в качестве связующего использована эпоксидная смола с отвердителем, взятая в соотношении, вес.%:

25

эпоксидная смола	40 – 70
отвердитель	4.5 – 9.0,

в качестве вспомогательного абразива использована двуокись церия или циркония, а в качестве функциональной добавки использована смесь, вес.%: гидро растворимой соли

серной или фосфорной кислоты 40 – 70 и щавелевой или лимонной кислоты 30 – 60.

17. Устройство по пп.4 – 6, 13 – 16, отличающееся тем, что при изготавлении абразивных элементов в качестве связующего использованы фено-  
5 пласти – термореактивные прессовочные массы на основе фенолоальдегидных смол, или аминопласти – термореактивные прессовочные массы на основе карбамидо-, меламино- и карбамидомеламиноформальдегидных смол, или смесь из феноопластов и аминопластов.

1 / 5

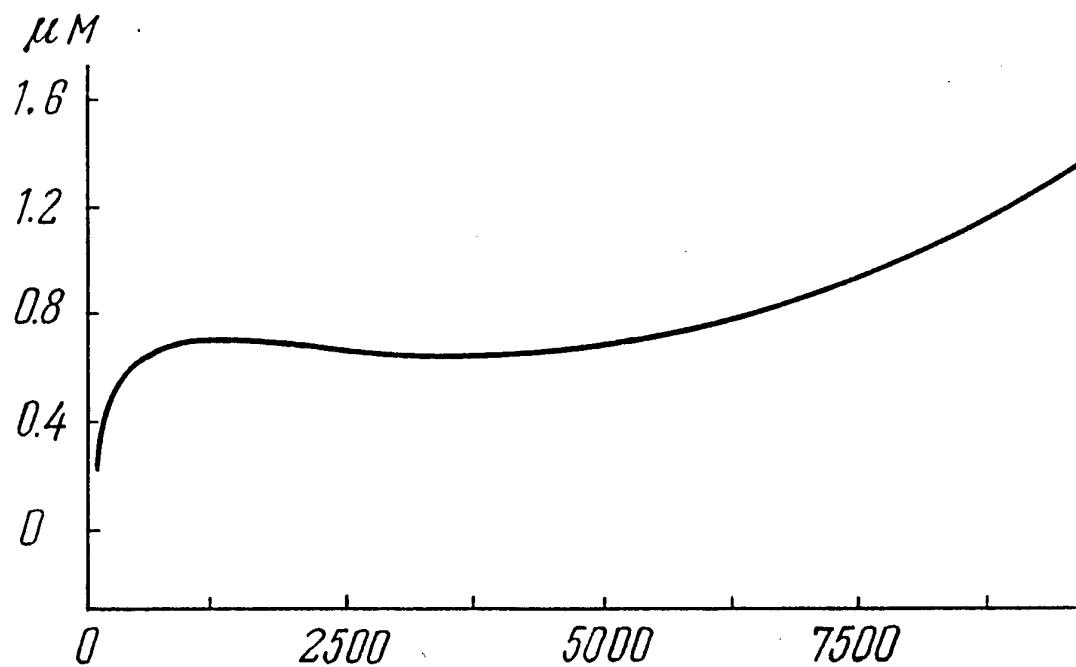


FIG. 1a

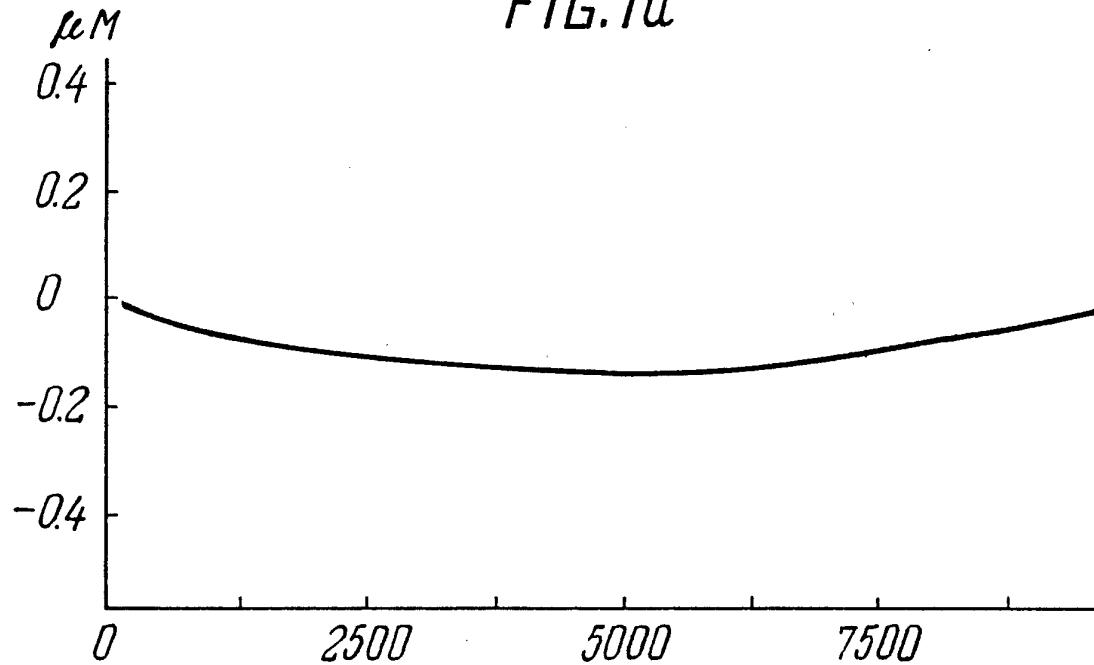


FIG. 1b

2/5

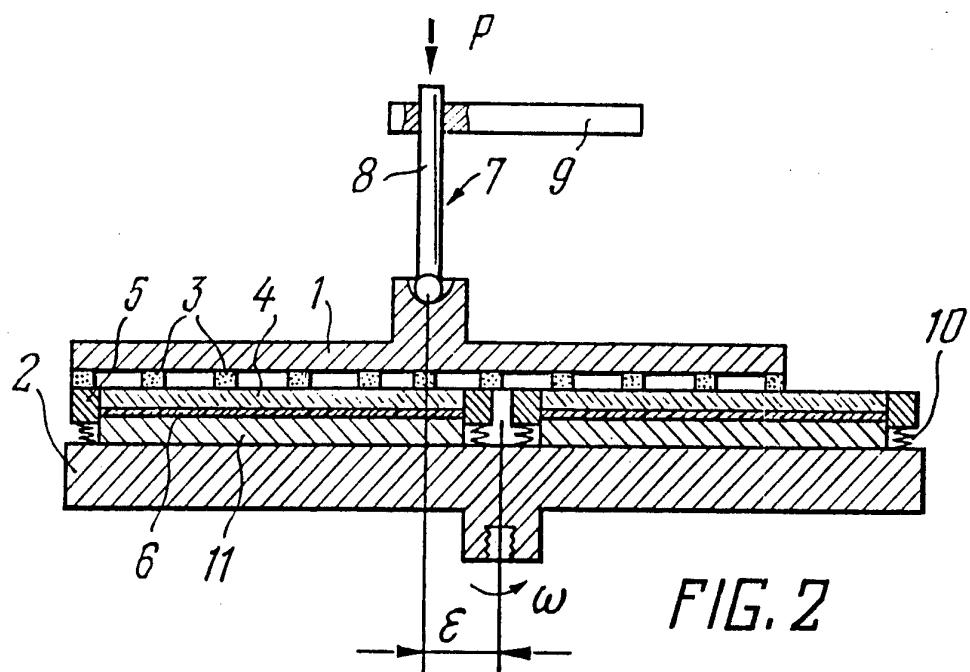


FIG. 2

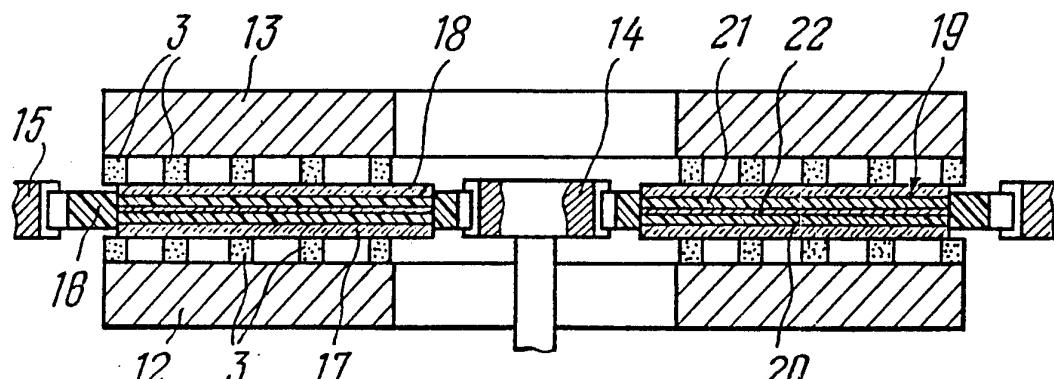


FIG. 3

3 / 5

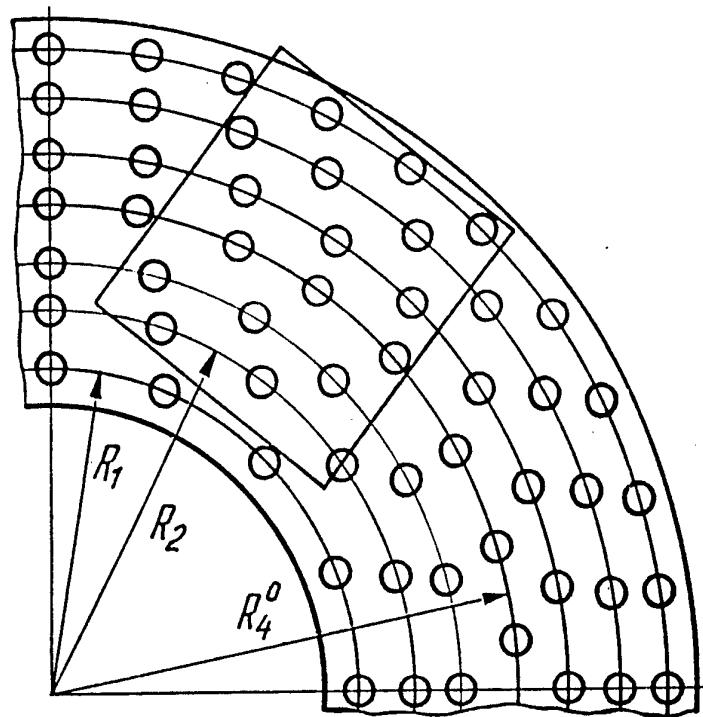


FIG.4

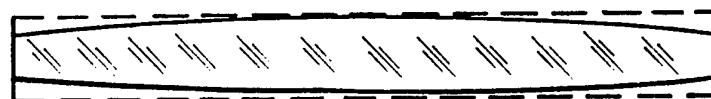


FIG.5a

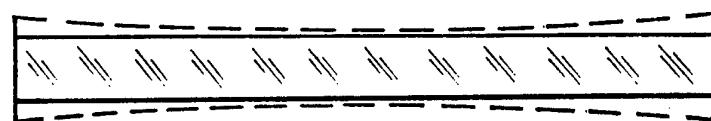


FIG.5b

4 /  
5

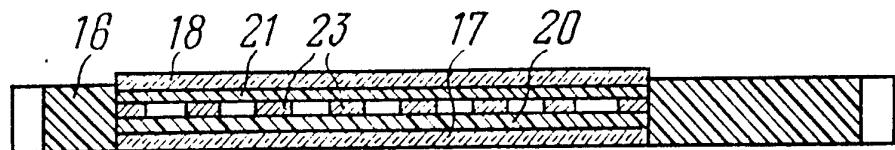


FIG. 6

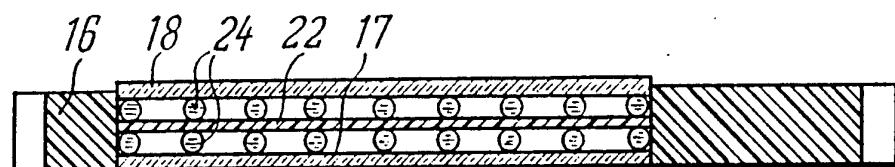


FIG. 7

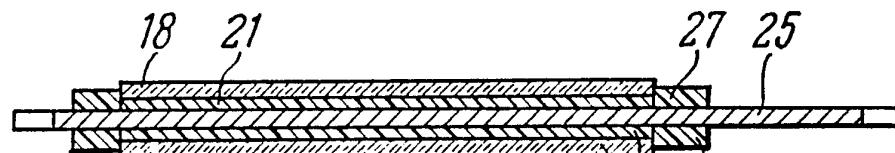


FIG. 8

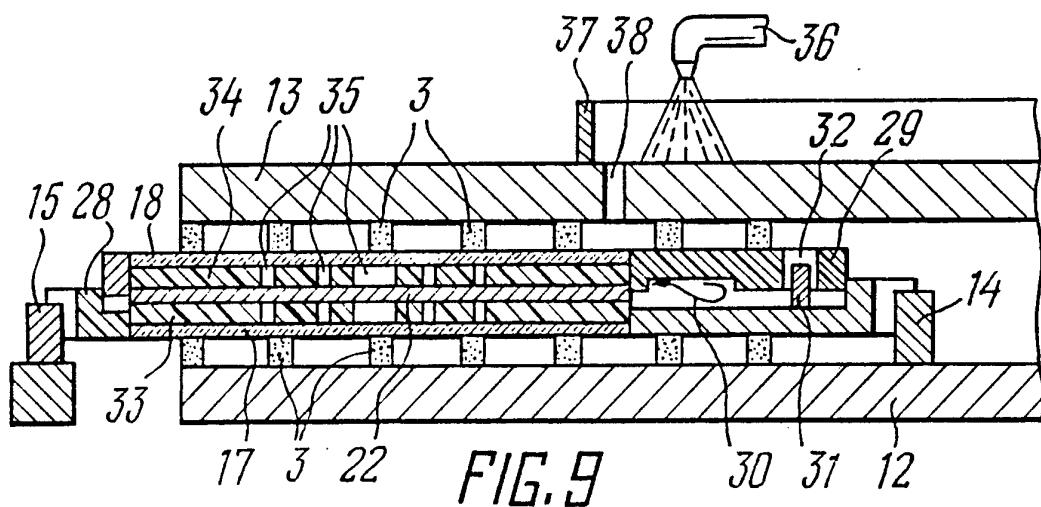


FIG. 9

5/5

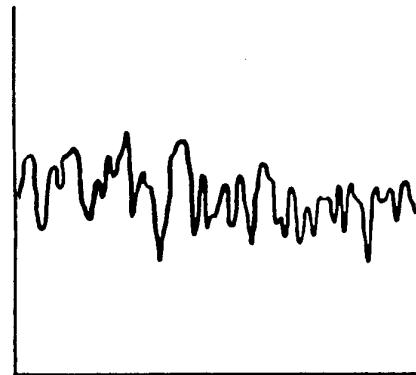


FIG.10a

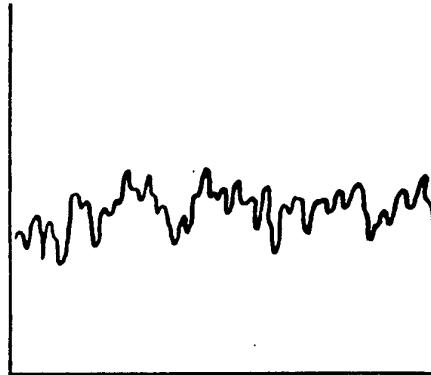


FIG.10b

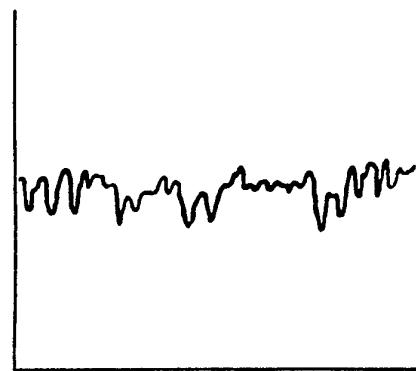


FIG.10c

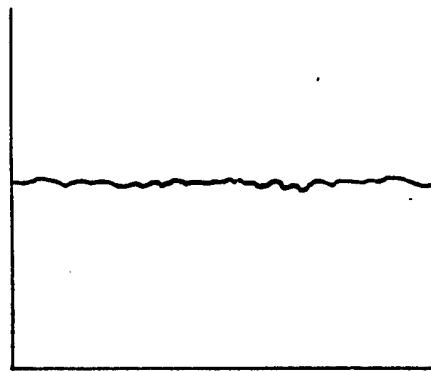


FIG.10d

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/RU93/00042

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

Int. Cl. 5 B24B 7/16, B24B 37/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. 5 B24B 7/16, B24B 7/17, B24B 37/04;  
B24D 7/06, B24D 3/28; B23K 26/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SU, A1, 1768374 (Spetsialnoe konstruktorsko-tehnologicheskoe bjuro pri Gomelskom elektroavtovukumnom zavode), 15 October 1992 (15.10.92)	1,2,4
A	FR, A1, 1562440 (PETER WOLTERS KRATZEN FABRIK UND MASCHINENFABRIK), 04 April 1969 (04.04.69), the claims	4
A	US, A, 4897966 (YUTAKA TAKAHASHI), 06 February 1990 (06.02.90), the claims	4,9
A	DE, A1, 3033944 (SPEEDFAM CORP.), 02 April 1981 (02.04.81), the claims	4
A	SU, A1, 831579 (Leningradskoe osoboe konstruktorskoe bjuro avtomatov i revolvernykh stankov) 23 May 1981 (23.05.81), the claims	5,11

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

07 October 1993 (07.10.93)

Date of mailing of the international search report

10 November 1993 (10.11.93)

Name and mailing address of the ISA/ RU

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**International application No.  
PCT/RU93/00042**C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SU, A1 1549737 (Institut sverkhtverdykh materialov AN USSR), 15 March 1990 (15.03.90), the claims	6
A	SU, A1, 420444 (Institut sverkhtverdykh materialov AN USSR) 03 October 1974 (03.10.74)	13

## ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка №  
PCT/RU 93/00042

## А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ

B24B 7/16, B24B 37/04

Согласно Международной патентной классификации (МКИ-5)

## В. ОБЛАСТИ ПОИСКА

Проверенный минимум документации (Система классификации и индексы): МКИ-5

B24B 7/16, B24B 7/17, B24B 37/04;  
B24D 7/06, B24D 3/28; B23K 26/00

Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки:

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если возможно, поисковые термины):

## С. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория *	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №.
A	SU, A1, 1768374 (СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ БЮРО ПРИ ГОМЕЛЬСКОМ ЭЛЕКТРОВАКУУМНОМ ЗАВОДЕ), 15 октября 1992 (15.10.82)	1,2,4
A	FR, A1, 1562440 (PETER WOLTERS KRATZEN-	4

последующие документы указаны в продолжении графы С  данные о патентах-аналогах указаны в приложении

* Особые категории ссылочных документов: "A" -документ, определяющий общий уровень техники. "E" -более ранний документ, но опубликованный на дату международной подачи или после нее. "O" -документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д. "R" -документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета.	"T"-более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения. "X"-документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну и изобретательский уровень. "Y"-документ, порочащий изобретательский уровень в сочетании с одним или несколькими документами той же категории. "&" -документ, являющийся патентом-аналогом.
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Дата действительного завершения международного поиска  
07 октября 1993 (07.10.93)Дата отправки настоящего отчета о международном поиске  
10 ноября 1993 (10.11.93)Наименование и адрес Международного поискового органа:  
Научно-исследовательский институт государственной патентной экспертизы, Россия, 121858, Москва, Бережковская наб. 30-1, факс (095)243-33-37, телетайп 114818 ПОДАЧАУполномоченное лицо:  
А. Козлова  
тел. (095)240-58-22

## ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка №.

PCT/RU 93/00042

## С. (Продолжение) ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория *	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №.
A	FABRIK UND MASCHINENFABRIK), 04 апреля 1969 (04.04.69), формула US, A, 4897966 (YUTAKA TAKAHASHI),	4, 9
A	06 февраля 1990 (06.02.90), формула DE, A1, 3033944 (SPEEDFAM CORP.),	4
A	02 апреля 1981 (02.04.81), формула SU, A1, 831579 (ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОСОБОЕ КО- НСТРУКТОРСКОЕ БЮРО АВТОМАТОВ И РЕВО- ЛЬВЕРНЫХ СТАНКОВ), 23 мая 1981 (23.05.81), формула	5, 11
A	SU, A1, 1549737 (ИНСТИТУТ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ АН УССР), 15 марта 1990 (15.03.90), формула	6
A	SU, A1, 420444 (ИНСТИТУТ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ АН УССР), 03 октября 1974 (03.10.74)	13