

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН

Обобщен современный отечественный и зарубежный опыт изготовления сменных многогранных пластин. Дано краткое описание применяемого оборудования и условий его эксплуатации.

Изготовление сменных многогранных пластин (СМП) начинается с тщательного анализа на наличие вредных примесей исходного сырья, вспомогательных материалов и полуфабрикатов, используемых в производстве [1].

Далее технологический процесс предусматривает получение порошков W, Co, карбидов WC, TiC, TaC, приготовление смеси карбидов с кобальтом WC-Co, (Ti, W)C-Co, (Ti, Ta, W)C-Co, прессование заготовок из этих смесей и последующее их спекание, механическую обработку пластин, мойку, нанесение износостойких покрытий (если это требуется), маркировку и упаковку пластин.

Основным условием приготовления смеси карбидов с кобальтом является равномерное распределение кобальта (связки), карбидов и легирующих элементов (если они присутствуют) между собой в соотношении, отвечающем данной марке твердого сплава. Для этого указанные порошки смешивают, а затем подвергают размолу в жидкой среде (этиловый спирт, гексан, ацетон или другие органические жидкости). Здесь жидкая среда препятствует окислению компонентов полученной суспензии и обеспечивает оптимальное диспергирование ингредиентов.

Процесс размола в значительной мере определяет равномерность распределения компонентов смеси, от которой в дальнейшем зависят условия спекания и эксплуатационные свойства твердого сплава.

Продолжительность размола в зависимости от требуемого размера зерна карбидной фазы твердого сплава обычно составляет 18...96 часов.

Для размола в настоящее время чаще всего применяют атриторные мельницы, например, фирмы *Tisoma* (Германия).

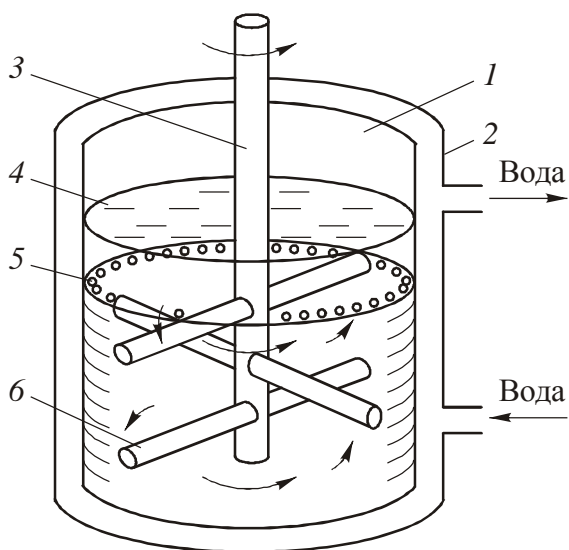


Рис. 1. Схема атриторной мельницы:

- 1 – размольная емкость;
- 2 – рубашка водоохлаждаемого кожуха;
- 3 – вал мешалки; 4 – размазываемая смесь – пульпа; 5 – размазывающие тела; 6 – лопасти мешалки

Схема атриторной мельницы показана на рис. 1. Это неподвижный водоохлаждаемый стальной барабан, футерованный изнутри твердосплавными пластинами. В барабан загружают размазываемую смесь – пульпу и размазывающие тела – твердосплавные шары диаметром 5...15 мм. Последние приводятся в движение лопастной крестовиной (мешалкой), также армированной твердым сплавом. Непосредственно мешалкой приводится во вращение относительно небольшое количество шаров, остальные приводятся в движение путем передачи импульсов от шара к шару. Скорости шаров распределены очень неравномерно как по радиусу, так и по высоте, и именно этим объясняется высокая, по сравнению, например, с барабанными мельницами, эффективность измельчения в атриторах, так как механическое истирающее ударное воздействие на частицы порошка, заключенные между двумя шарами, возможно только тогда, когда они движутся с разными скоростями [2].

Во время размола в атриторной мельнице работает система циркуляции суспензии. При этом соотношение между объемами шаров и суспензии должно быть равным 6:1. После мокрого размола пульпу насосом под давлением 0,6 МПа через распылительную форсунку подают в сушильную камеру 1 установки сушки распылением (рис. 2) [3]. Туда же, пройдя подогреватель 5, поступает под давлением 0,1...0,3 МПа азот, нагретый до температуры

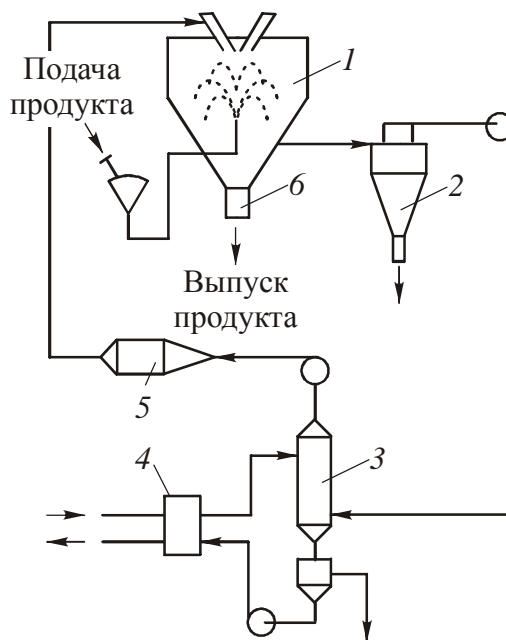
170...200 °С. Образовавшиеся при распылении гранулы, высохнув, скапливаются в разгрузочном бункере б. Смесь паров спирта с азотом (температура около 100 °С) из камеры 1 поступает в циклон 2, где в разгрузочном бункере накапливаются унесенные из камеры 1 мелкие гранулы, и насосом подается в скруббер-конденсатор 3. Здесь спирт отделяется от азота и поступает в холодильник 4.

Полученные таким способом гранулы порошка карбид-связка имеют сферическую форму диаметром 20...200 мкм.

Карбидная основа твердосплавной смеси делает ее малопластичной и плохо прессуемой. Поэтому перед прессованием пластин порошок твердосплавной смеси пластифицируют путем ввода в него 6...15 % пластификатора (парафин, воск, раствор каучука в бензине и др.). Благодаря этому улучшается текучесть смеси, уменьшается трение между зернами карбида и, как следствие, усилие прессования.



а)



б)

Рис. 2. Установка (а) модели HS-120 фирмы Niro Atomizer (Дания) для сушки распылением пульпы твердосплавной смеси после размола компонентов в спирте и

ее схема (б): 1 – сушильная камера; 2 – циклон; 3 – скруббер-конденсатор;
4 – холодильник; 5 – подогреватель; 6 – разгрузочный бункер

При пластифицировании важно обеспечить равномерное распределение пластификатора в смеси, а также удалить из смеси воздух, который вызывает появление вздутий на поверхности и раковин внутри прессованных пластин. Для борьбы с этим явлением пластифицирование осуществляют в вакуумной установке с подогревом смеси до температуры 38...42 °С горячей водой (рис. 3). Для повышения интенсивности смешения и получения однородной массы лопасти установки должны вращаться навстречу друг другу с разными частотами вращения ($n_1 = 0,5n_2$) [4].

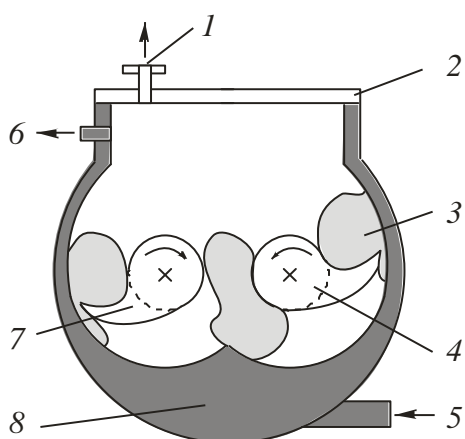


Рис. 3. Вакуумная установка для пластифицирования смеси порошков карбид-связка: 1 – к вакуумному насосу; 2 – крышка; 3 – перемешиваемая масса; 4, 7 – лопасти; 5 – вход горячей воды, 6 – выход горячей воды; 8 – фасонный корпус

Прессование заготовок СМП выполняют на пресс-автоматах фирм *Osterwalder* (Швейцария), *East Precision Mashinery* (Китай), *Dorst* (Германия) и др.

На рис. 4 показана циклограмма работы пресс-автомата фирмы *Dorst*, которая осуществляется в следующей последовательности:

1. Положение заполнения (точка *F*).

Неподвижная матрица 2 заполняется порошком до верхнего края. Верхний пуансон 1 перемещается вниз и погружается в матрицу (точка *E*), уплотняя порошок сверху.

2. Начало перемещения матрицы (точка M_1).

Верхний пуансон I достиг своего конечного положения в матрице 2 . Матрица с верхним пуансоном синхронно перемещается вниз. Достигается положение прессования, в результате которого порошок уплотняется снизу.

3. Положение прессования (точка P).

Верхний пуансон I перемещается вверх. Матрица 2 после короткой выдержки перемещается вниз и достигает положения стягивания.

4. Положение стягивания (точка A).

Заготовка извлекается из пресс-оснастки и сдвигается в сторону.

Таким образом, прессование заготовок на пресс-автомате *Dorst* осуществляется давлением верхнего пуансона I с подпрессовкой заготовки нижним пуансоном 3 , в результате чего обеспечивается высокая степень равномерности распределения плотности по всему объему заготовки, т. е. малая анизотропия свойств.

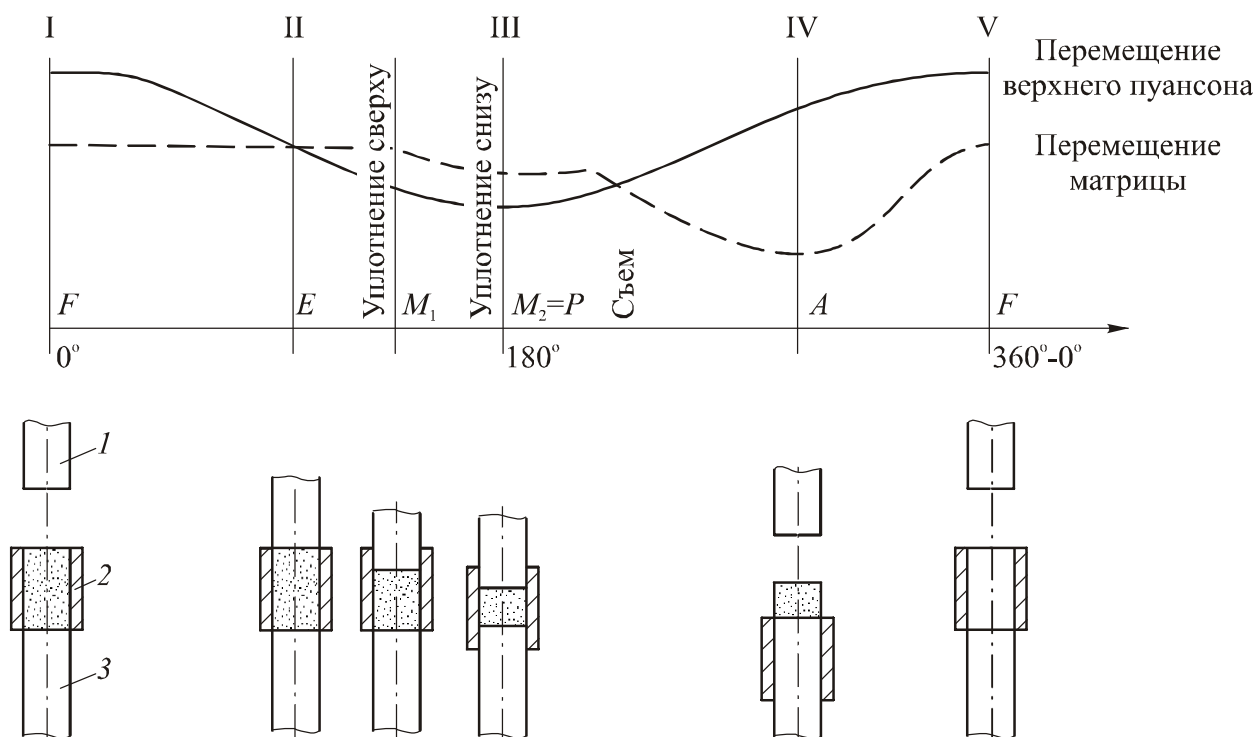


Рис. 4. Циклограмма работы пресс-автомата модели *TPA-35* фирмы *Dorst*:

1 – верхний пуансон; 2 – матрица; 3 – нижний пуансон

После прессования заготовки поступают на сушку в электрическую печь непрерывного действия. В процессе сушки при температуре 160...250 °С из заготовок удаляется бензин, если в качестве пластификатора использовали раствор каучука в бензине, частично выгорает пластификатор, а заготовки упрочняются.

Далее заготовки попадают в вакуумно-компрессионную печь (рис. 5), где перед спеканием из них полностью удаляют пластификатор.



Рис. 5. Общий вид вакуумно-компрессионной печи *PVA-Tepla*

Процесс спекания в печах заключается в последовательном выполнении спекания и горячего изостатического прессования. На первой стадии спекание обеспечивает относительную плотность заготовок пластин около 92...95 %, при которой все поры являются закрытыми. Спекание производят в вакууме для того, чтобы не оставлять газов в закрытых порах. После достижения указанной плотности вакуум в печи заменяют атмосферой аргона при повышенном (до 10 МПа) давлении, допрессовывая заготовки до беспористого состояния. Благодаря всестороннему сжатию равными по величине давлениями аргона твердый сплав приобретает более однородную структуру и повышенные механические характеристики. График изменения температуры T и давления P во времени τ в вакуумно-компрессионных печах представлен на рис. 6 [6].

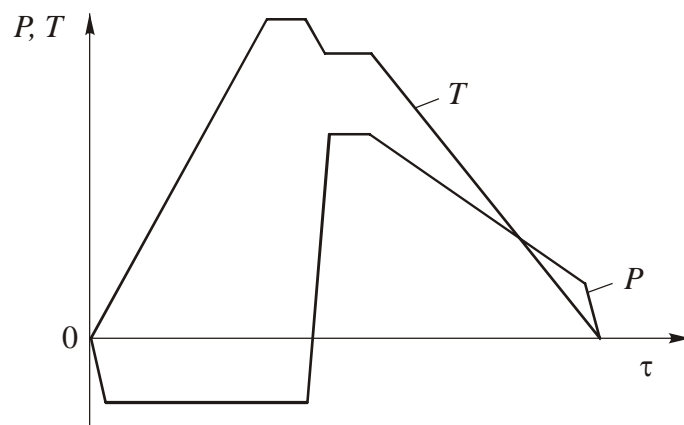


Рис. 6. Рабочий цикл совмещенного процесса спекания и газостатической обработки твердосплавной заготовки:

P – давление, T – температура, τ – время

В твердосплавной промышленности нашли применение вакуумно-компрессионные печи фирм *PVA-Tepla* (Германия), *Degussa* (Германия), *Autoclave engineers* (США), *Avure* (Швеция) и др.

После спекания заготовки СМП шлифуют по опорным поверхностям, а заготовки пластин высоких классов допусков еще и по задним поверхностям, радиусам и фаскам на передних поверхностях. Это делается в связи с тем, что надежность СМП сильно зависит от качества их опорных поверхностей, а также точности пластин и особенно от точности расположения их задних поверхностей и вершин [6, 7].

Опорные поверхности пластин обрабатывают на двухсторонних плоскошлифовальных станках фирмы *Peter Wolters MicroLine* (Германия), *Wendt* (Германия) и др. Так, например, обработка пластин на станке модели *WBM 200/21* фирмы *Wendt* (рис. 7) производится торцами двух алмазных кругов 1, 5, между которыми располагаются пластины 2, установленные в ячейки сепаратора 6, совершающего осциллирующее движение относительно шлифовальных кругов [8]. Верхнему шлифовальному кругу 5 сообщается вертикальное перемещение для подвода в рабочую зону, рабочей подачи и отвода. По окончании рабочей подачи производят выхаживание, после чего обработанные пластины выводятся из рабочей зоны для разгрузки.

Алмазные круги, применяемые на этих станках, имеют диаметр 500 мм, ширину рабочей поверхности 40 мм и толщину алмазоносного слоя (зернистостью 100/80) 4 мм.

Шлифование осуществляют с использованием масляной СОЖ, так как применение водных жидкостей приводит к образованию на поверхностях пластин трудноудаляемых окисных пленок [9].

Двухсторонние плоскошлифовальные станки могут использовать и для одностороннего шлифования опорных поверхностей пластин со стружколомающими канавками. Для этого вместо верхнего алмазного круга устанавливают металлический диск, который прижимает пластины к нижнему алмазному кругу.

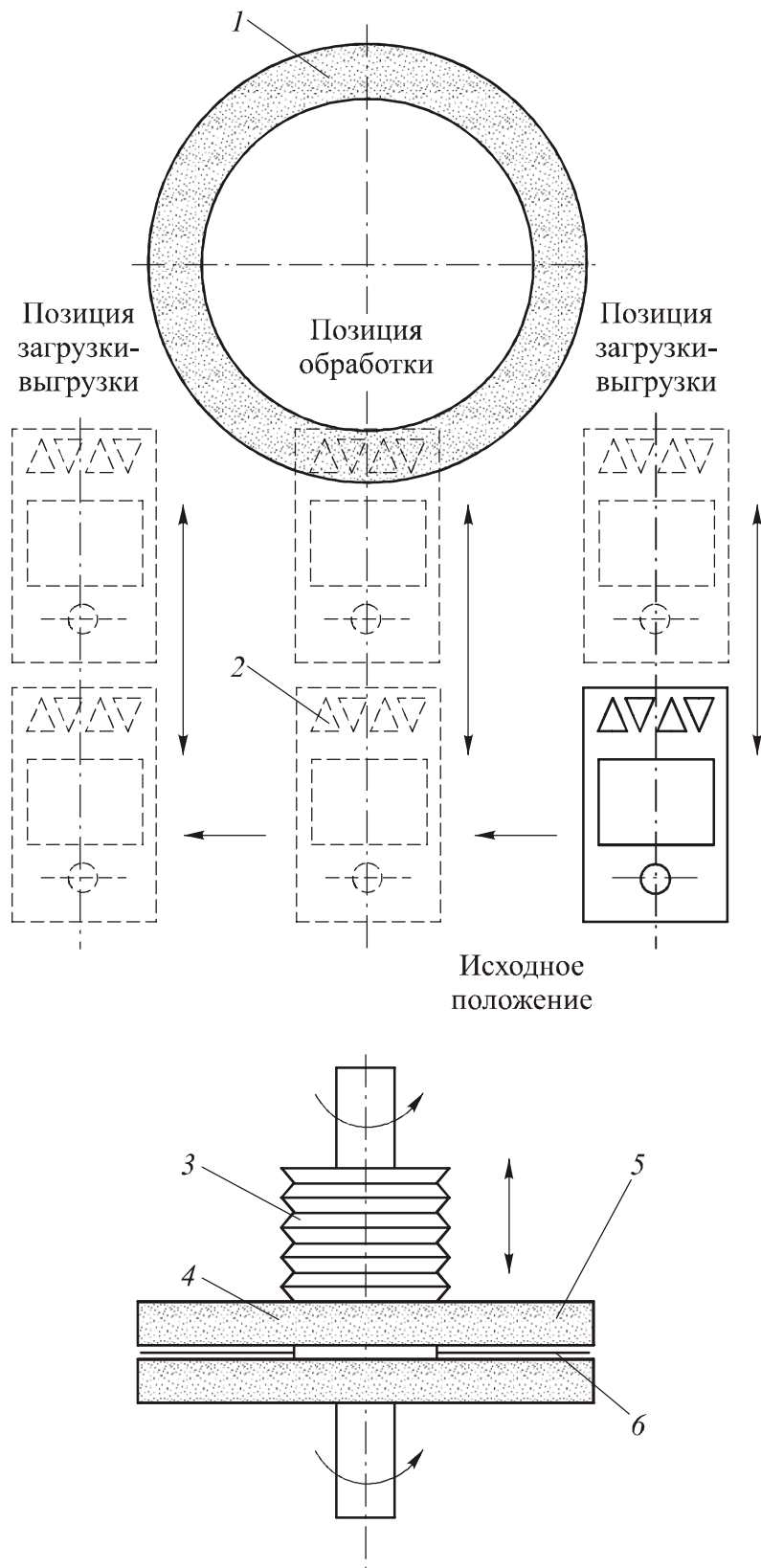


Рис. 7. Схема двухстороннего алмазного шлифования твердосплавных пластин на станке модели *WBM 200/21* фирмы *Wendt*:

1 – нижний алмазный круг; 2 – твердосплавная пластина; 3 – эластичный кожух; 4 – толкатель; 5 – верхний алмазный круг; 6 – сепаратор

Шлифование задних поверхностей пластин (граней и вершин) производят на станках с ЧПУ фирм *Wendt* (Германия), *Agathon* (Швейцария) и др. В этом случае главные формообразующие движения – поступательное в направлении оси X , вращательные вокруг осей B и C осуществляются с помощью шаговых электродвигателей, управляемых системой числового программного управления (ЧПУ) станка (рис. 8) [8]. Такой способ шлифования позволяет производить обработку задних поверхностей пластин любых форм, в том числе пластин, имеющих задний угол на гранях и вершинах.

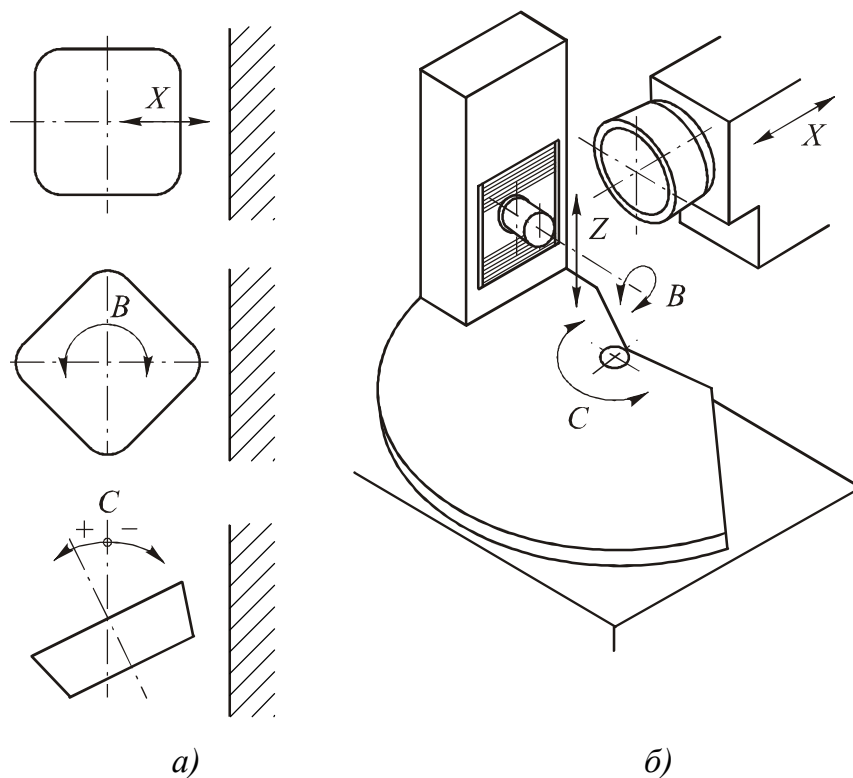


Рис. 8. Схема шлифования задних поверхностей СМП на станке с ЧПУ:
а – главные формообразующие движения; *б* – эти же движения на станке

При обработке задних поверхностей пластин применяют два способа их базирования [8]:

1. По наружной поверхности пластин

а) в центрирующей призме (рис. 9, *а*) – совмещение оси пластины l с осью шпинделя изделия производится путем регулирования положения центрирующей призмы 2 в направлении осей X и Z (см. рис. 8, *б*) вручную или

автоматически с помощью специального измерительного устройства и системы ЧПУ;

б) в центрирующей втулке с конусным отверстием (рис. 9, б) – совмещение оси пластины 1 с осью изделия производится благодаря тому, что центрирующая втулка 2 автоматически устанавливается соосно шпинделю изделия.

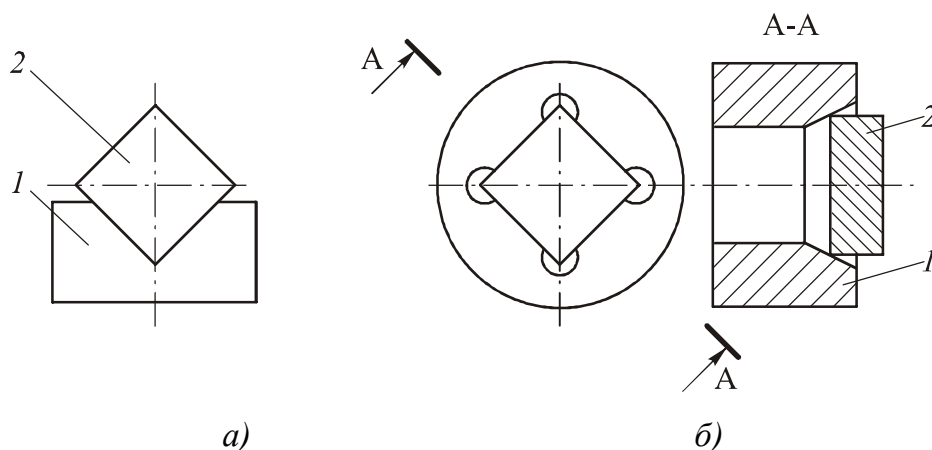


Рис. 9. Способы базирования пластин на станке с ЧПУ:
а – в центрирующей призме (1 – призма, 2 – пластина);
б – в центрирующей втулке (1 – втулка, 2 – пластина)

2. По отверстию в пластине

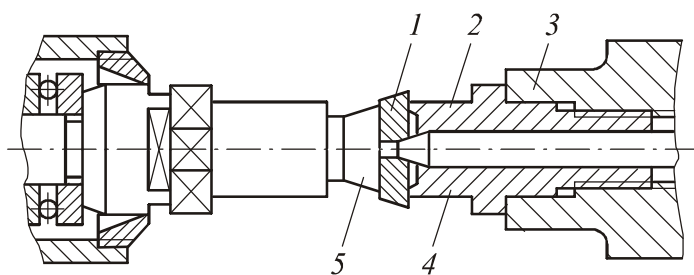


Рис. 10. Схема базирования пластины по отверстию: 1 – пластина; 2 – шток; 3 – шпиндель изделия; 4, 5 – зажимные цапфы

Базирование производится с помощью конической поверхности штока 2, расположенного внутри шпинделя 3 изделия (рис. 10). Пластины с помощью центрирующей призмы устанавливают между зажимными цапфами 4, 5,

которые с помощью гидроцилиндра зажимают пластину 1 предварительно и с небольшим усилием. Шток 2 перемещается и своей конической поверхностью выходит в отверстие пластины 1. После этого зажимные цапфы прижимают пластину окончательно с требуемым усилием, а шток 2 возвращается в исходное положение.

Шлифование фасок на передних поверхностях пластин производят на станках фирм *Wendt, Agathon* и др. следующим образом (рис. 11) [8].

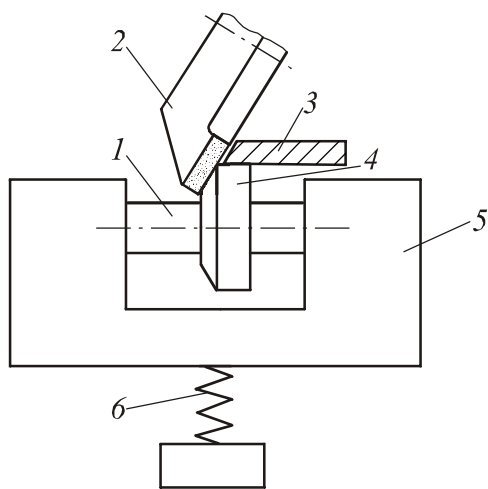


Рис. 11. Схема шлифования фасок на передних поверхностях пластин:
1 – цапфа; 2 – алмазный круг; 3 – копирная линейка; 4 – пластина;
5 – бабка изделия; 6 – пружина

После центрирования по наружному контуру пластину 4 зажимают в бабке 5 так, что ее передняя поверхность прижимается к передней неподвижной цапфе 1 таким образом, чтобы толщина пластины не оказывала влияния на ширину фаски. Бабка изделия 5 перемещается по направлению к алмазному шлифовальному кругу 2 и подводит подлежащую обработке режущую кромку (или заднюю поверхность) к копирной линейке 3. Перемещение бабки изделия вперед и сила прижима пластины к копирной линейке обеспечиваются пружиной 6. Алмазный круг подводится к заготовке и производит шлифование фаски с предварительно выбранной подачей на заданную глубину. После выхаживания алмазный круг возвращается в исходное положение.

У пластин, имеющих радиальное закругление вершин, фаски шлифуют за один оборот по всем граням и вершинам. При шлифовании пластин, имеющих

фаски на вершинах, после обработки каждой грани и вершины бабка изделия отводится для осуществления поворота пластины на следующую грань.

Станки с ЧПУ для шлифования граней и вершин пластин обеспечивают точность шлифования в пределах $\pm 0,005$ мм, которая достигается благодаря программируемому контролю за размерами и автоматической подналадке. При этом допуск на ширину фаски выдерживается в пределах $\pm 0,02$ мм, а производительность станка составляет 150...250 шт/ч. [8].

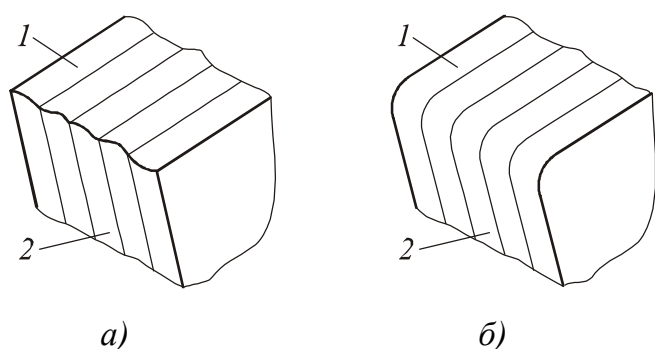


Рис. 12. Вид режущей кромки СМП:
а – после алмазного шлифования;
б – после полирования щетками
(1 – передняя поверхность, 2 – задняя поверхность)

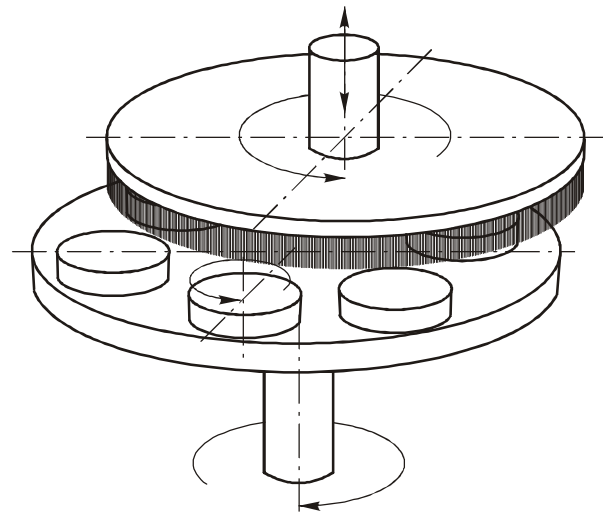
После алмазного шлифования пластин их режущие кромки имеют малый радиус округления, пилообразную форму и сколы (рис. 12, а). При резании это приводит к снижению стойкости инструмента. Поэтому далее пластины полируют, например, на щеточно-полировальных станках фирмы *Gerber* (Германия) (рис. 13, а), у которых полировальные щетки совершают сложное планетарное движение (рис. 13, б). При этом в качестве щетины (ворса) используют конский волос, рисовую ботву, волокна агавы или др., а абразивного материала – алмазную пасту (например, фирмы *Diastar*) зернистостью 7/5. В результате достигается стабильная форма режущих кромок с плавным переходом от передней поверхности к задней, снижается шероховатость поверхности пластин (см. рис. 12, б).

После полирования пластины протирают этиловым спиртом и направляют на мойку. Чаще всего для этой цели используют ультразвуковые ванны. В дно такой ванны заделана диафрагма, соединенная с магнитострикционным или пьезоэлектрическим преобразователем. Колебания от ультразвукового

генератора через преобразователь передаются диафрагме, а от нее – мощному раствору. Очищающее действие ультразвуковых колебаний основано на явлении кавитации жидкости.



а)



б)

Рис. 13. Щеточно-полировальный станок модели *BP-MX* фирмы *Gerber*:

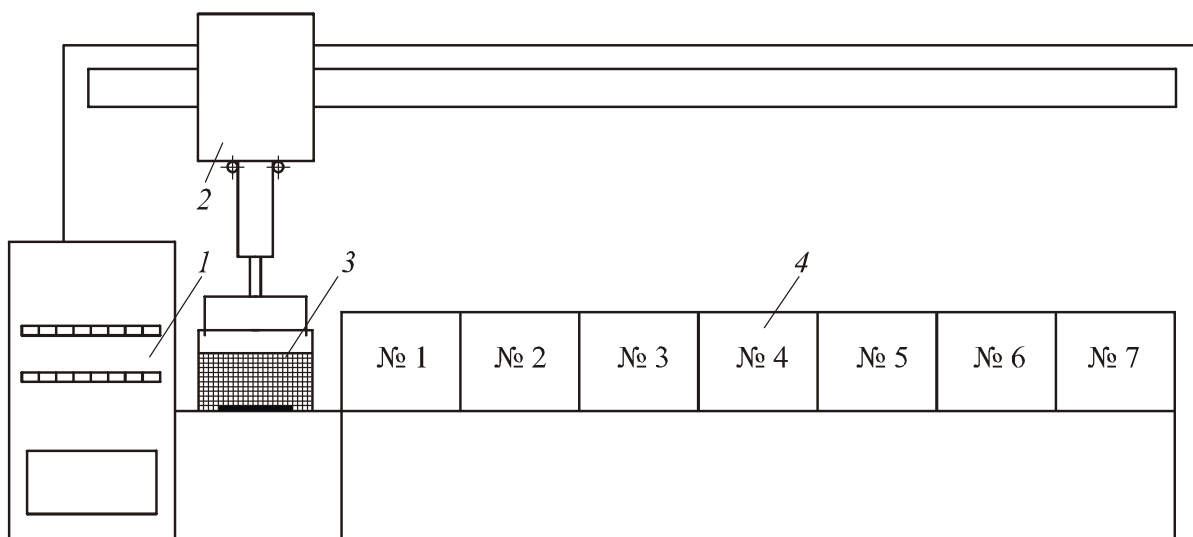
а – общий вид; *б* – схема полирования

При распространении ультразвуковых волн в моющем растворе появляются области сжатия и разрежения. Когда при разрежении жидкость не выдерживает созданного ультразвукового напряжения и силы, действующие на молекулы, начинают превышать силы межмолекулярного сцепления, то жидкость разрывается. В местах разрывов возникают мельчайшие пузырьки, наполненные парами жидкости и растворенных в ней газов. Захлопываясь, эти пузырьки оказывают микроударное воздействие на загрязненную поверхность и очищают ее.

В очистке участвуют также пузырьки, не связанные с кавитационными явлениями. При образовании ультразвукового поля они приходят в колебательное состояние и также способствуют удалению загрязнений, проникая в зазоры между загрязнениями и поверхностью пластин.



а)



б)

Рис. 14. Автоматическая ультразвуковая моечная машина модели CR50/VI MBT 50 HD фирмы FinnSonic: а – общий вид; б – схема работы

(1 – пульт управления; 2 – транспортная система;
3 – приспособление для загрузки СМП; 4 – ванны)

Для мойки СМП применяют ультразвуковые моечные машины, в частности, в крупносерийном производстве машины серии *CR* фирмы *Finn Sonic* (Финляндия), производительностью 30000 пластин/смену. Они представляют собой комплект из семи ультразвуковых и промывочных ванн из коррозионно-стойкой стали, выполненных в одном корпусе (рис. 14).

Пластины загружают в специальные поддоны, а затем в корзины транспортера. Перенос корзин в ванны осуществляется автоматически в следующей последовательности: 1–3–4–5–2–3–5–6–7 (пластины после полирования) и 4–5–2–3–5–6–7 (чистые пластины) (рис. 14, б).

В качестве моющих растворов в этих ваннах применяют высокощелочной (Кависан-Карбон *S*), слабощелочной (Кависан-Ультра) и кислотный (Кависан-Карбон) растворы, а также высокоочищенную от примесей ионов деионизированную воду (табл.).

Состав ванн ультразвуковой моечной машины модели *CR50/VI MBT 50HD* фирмы *Finn Sonic*

№ ванны	Моющие растворы фирмы <i>Finn Sonic</i>	Концентрация, %	Температура, °С	Время обработки, с
1	Кависан-Карбон <i>S</i> (pH13)	6,5	80	300
2	Кависан-Ультра (pH9)	5,0	60	120
3	Деионизированная вода	--	20	50
4	Кависан-Карбон (pH<2)	10,0	55	90
5	Деионизированная вода	--	20	50
6	Свежая деионизированная вода	--	20	50
7	Сушка горячим воздухом	--	80...110	260

Для достижения максимального эффекта очистки в этой машине используют совокупность следующих методов воздействия на загрязнения: ультразвук, барботаж, струи в объеме жидкости (джакузи).

После мойки, если не требуется нанесение износостойкого покрытия, пластины маркируют, указывая марку твердого сплава, форморазмер изделия, товарный знак предприятия-изготовителя. Маркировку наносят, как правило, лазерным способом, например, гравером/маркером модели *LDesigner F2* фирмы Атеко (Россия), оснащенным твердотельным иттербиевым волоконным лазером (рис. 15). В этом случае формирование изображения производится как за счет отклонения лазерного луча оптическими сканерами, так и за счет перемещения пластин координатным столом с помощью системы ЧПУ. Это позволяет в автоматическом режиме с высокой производительностью обрабатывать большое количество пластин. Используемый в гравере/маркере программный продукт *LDesigner* позволяет работать с графическими редакторами AutoCAD, CorelDraw и др.



Рис. 15. Общий вид твердотельного волоконного лазерного гравера/маркера модели *LDesigner F2*

После маркировки пластины упаковывают в пластмассовые пеналы, а затем в коробки из гофрированного картона.

Библиографический список

1. Панов В.С., Чувиллин А.М., Фальковский В.А. Технология и свойства спекания твердых сплавов и изделий из них. –М.:МИСИС, 2004. – 463 с.

2. Кипарисов С.С., Падалко О.В. Оборудование предприятий порошковой металлургии. –М.:Металлургия, 1988. –448 с.
3. Либенсон Г.А. Производство порошковых изделий. –М.:Металлургия, 1990. –240 с.
4. Фальковский В.А., Клячко Л.Н. Твердые сплавы. –М.:Издательский дом «Руда и металлы», 2005. –416 с.
5. Кривонос Г.А., Зверев А.Д., Максимов Л.Ю. Процессы и оборудование для газостатической обработки. –М.:Металлургия, 1994. –301 с.
6. ХаеТ Г.Л., Гах В.М., Громаков К.Г. и др. Сборный твердосплавный инструмент / под общ. ред. Г.Л. ХаеТа. –М.:Машиностроение, 1989. – 256 с.
7. Васин С.А., Хлудов С.Я. Проектирование сменных многогранных пластин. Методологические принципы. – М.:Машиностроение, 2006. – 352 с.
8. Палей М.М., Дибнер Л.Г., Флид М.Д. Технология шлифования и заточки режущего инструмента. –М.:Машиностроение, 1988. –288 с.
9. Грачев С.И. Повышение адгезионной связи износостойких покрытий с твердосплавным инструментом за счет оптимизации процесса подготовки поверхностей: дисс. на соискание степени канд. техн. наук. –М.:МГТУ Станкин, 2003. – 156 с.