

УДК 621.91

Хаєт Л. Г., Гах В. М., Остополец В. И.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВИБРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

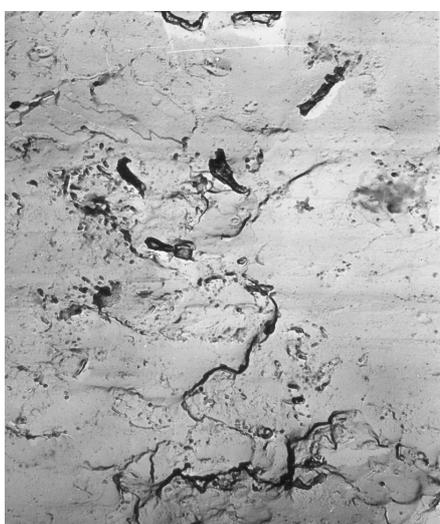
Анализ отечественных и зарубежных источников научно-технической литературы по виброабразивной обработке свидетельствует, что основным механизмом формирования микрорельефа поверхности при обработке сталей и других пластичных материалов является резание-царапание и макропластическое деформирование [1]. Информация по закономерностям обработки малопластичных материалов с иными механизмами образования поверхностного слоя малочисленны, фрагментарны и противоречивы. Например, исследования, проведенные в диапазоне увеличения оптического микроскопа, показали, что при обработке таких малопластичных материалов, как металлокерамические твердые сплавы риски царапины и следы макропластических деформаций не обнаружены, шероховатость шлифованной поверхности уменьшается, форма микрорельефа поверхности соответствует удалению материала путем выбивания отдельных зерен карбидов и их агрегатов, и в меньшей степени – разрушению наиболее крупных зерен карбидов [2, 3]. Анализ микрошлифов показал, что виброабразивная обработка не вносит каких-либо структурных изменений в твердый сплав [4]. Таким образом, в основе обработки твердых сплавов, видимо, лежат хрупкие явления, что требует проведения дальнейших исследований.

Целью настоящей работы является электронномикроскопическое исследование механизма формирования поверхностного слоя твердых сплавов при их виброабразивной обработке.

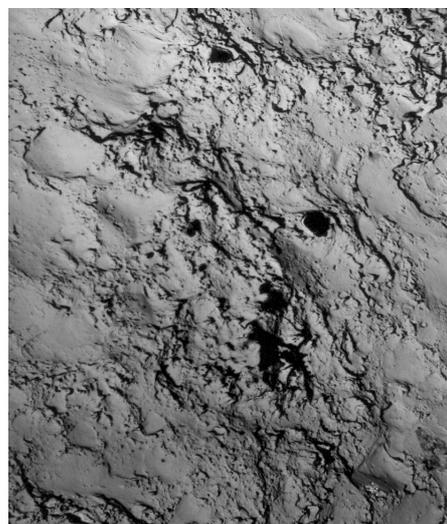
Количественные электронномикроскопические исследования выполняли после операций с различной жесткостью технологической системы: жесткая схема обработки при шлифовании, упругая – при абразивной отделке и свободная схема – при виброабразивной обработке. Для раскрытия механизма обработки необходимо установить способ удаления материала (хрупкое разрушение, удаление переддеформированных частиц, резание), дисперсность удаляемых частиц (фрагменты зерен, карбидные зерна, агрегаты зерен), соотношение хрупкого и пластического разрушений, анизотропию рельефа, наличие и форму дефектов поверхности.

Параметр шероховатости Ra пластин формы SNUN-120412 из твердого сплава Т5К10 после шлифования кругом из карбида кремния составлял 0,55 мкм, алмазного шлифования – 0,15 мкм, доводки порошком карбида бора – 0,13 мкм, полирования алмазной пастой – 0,01 мкм, после виброабразивной обработки – соответственно 0,31; 0,09; 0,09 и 0,05 мкм, изменения размеров не зафиксированы. При исследовании поверхности на электронном микроскопе УЭМВ-100В различали поверхность хрупкого разрушения (скола), поверхность резания-царапания, пластически деформированную, термически измененную и гладкую поверхности, а также элементы, не связанные с типом микрорельефа – поры, вырывы, трещины, границы и поверхности карбидных зерен. Для определения количественных характеристик структуры пользовались средневзвешенными величинами: установили долю поверхности реплики, для которой характерен сфотографированный рельеф, и рассчитывали структурные параметры с учетом доли поверхности с указанным рельефом (табл. 1). При шлифовании кругом карбида кремния ведущим процессом является резание-царапание после ППД (рис. 1). Основной и промежуточный шаги относительно велики, промежуточные риски выражены слабо, что свидетельствует о слаборазвитом контуре зерен карбида кремния. Значительная часть поверхности деформирована и покрыта трещинами, связанными с элементами

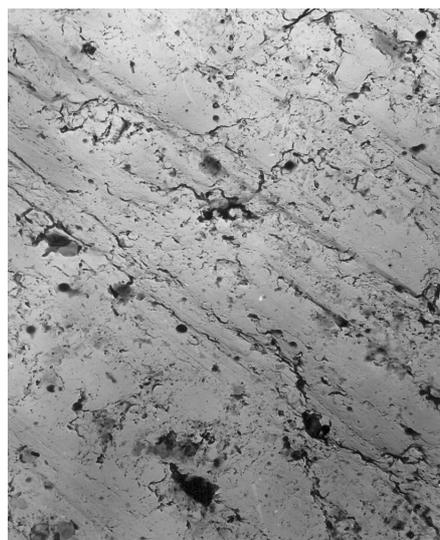
структуры – границами зерен. Большие размеры элементов рельефа, небольшая их плотность, выраженность элементов структуры – границ карбидных зерен, их когерентность с трещинами и вырывами, неразвитость рельефа поверхности зерен, ровные границы вырывов говорят об отсутствии процесса дробления карбидных зерен. О более высокой режущей способности алмазного круга свидетельствует вдвое большая поверхность, покрытая рисками-царапинами, их меньший основной и промежуточный шаг. Выраженность промежуточных рисок, наличие следов, перпендикулярных рискам, говорят о развитом контуре алмазных зерен. Меньшие размеры трещин, большая их плотность, связанность со следами ППД говорит о том, что они являются результатом локального перенаклепа поверхности, а не хрупкого разрушения. Отсутствие элементов структуры, дисперсность трещин и вырывов, отсутствие трещин большого углового интервала, извилистые границы вырывов свидетельствуют о дроблении зерен при алмазном шлифовании.



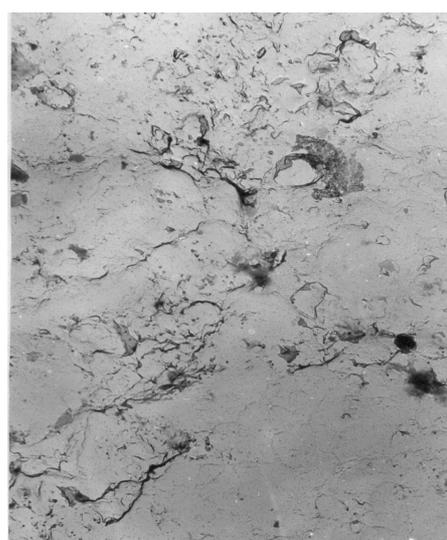
а



б



в



г

Рис. 1. Влияние виброабразивной обработки на микрорельеф поверхности после шлифования ($\times 5000$) (ВМ40С, Т5К10, ПТ 15×15 , $f = 46$ Гц, $A = 0,6$ мм, $\tau = 120$ мин):

а, б – шлифование карбидом кремния; в, г – шлифование алмазом; а, в – до виброобработки; в, г – после виброобработки

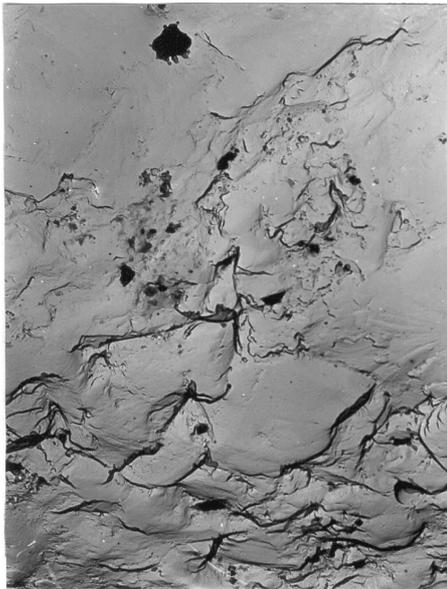
Таблица 1

Влияние технологии обработки твердого сплава на характеристики микрорельефа

Характеристики поверхности		Технология обработки твердых сплавов							
		Шлифовка карбидом кремния	Шлифовка алмазом	Доводка карбидом бора	Полировка алмазом	Шлифовка карбидом кремния + ВО	Шлифовка алмазом + ВО	Доводка карбидом бора + ВО	Полировка алмазом + ВО
Поверхность хрупкого разрушения	доля поверхности	0,05	0	0,05	0	0	0	0,05	0
	ширина трещины, мкм	0,14	–	0,07	–	–	–	0,07	–
	шаг трещины, мкм	0,8	–	0,5	–	–	–	0,5	–
	рельеф площадок	свежая, тени границам площадок	–	свежая, тени границам, лучи ⊥ границам, выход дислокации	–	–	–	деформирована	–
Поверхность – царапания	доля поверхности	0,45	0,85	0	0,05	0	0,05	0	0
	шаг основной, мкм	2,2	1,7	–	0,07	–	–	–	–
	шаг промежуточ., мкм	нечеткие, 1,0	четкие, 0,14	–	нет	–	–	–	–
	нормальные следы	нет	есть	–	нет	–	–	–	–
Пластич. деформированная поверхность	доля направленной деформации	0,1	0	0	0	1,0	0,45	0,7	1,0
	доля ненаправленной деформации	0,3	0,15	0,95	0	0	0,5	0,2	0
Вырывы	форма вырыва	изотропные и вытянутые, округлые с ровной границей	изотропные округлые с извилистой границей	изотропные округлые с извилистой границей	нет	изотропные округлые с извилистой границей			
	размер вырыва, мкм	0,3	0,2	0,4	0,6	0,3	0,3	0,2	0,2
	плотность, шт на снимке	8	10	10	5	10	8	20	12
	связанность с другими элементами	мелкие часто связаны с рисками, крупные – с трещинами	с трещинами, реже на рисках со следами ППД	с трещинами, реже на рисках со следами ППД	нет	часто с трещинами, часто системы	иногда со следами ППД, иногда с трещинами	часто со следами ППД, часто системы	с трещинами, со следами ППД, есть системы

Характеристики поверхности		Технология обработки твердых сплавов							
		Шлифовка карбидом кремния	Шлифовка алмазом	Доводка карбидом бора	Полировка алмазом	Шлифовка карбидом кремния + ВО	Шлифовка алмазом + ВО	Доводка карбидом Бора + ВО	Полировка алмазом + ВО
Трещины	форма трещины	ломанные, в широком диапазоне, ровные и извилистые	ломанные, в узком диапазоне, ровные и извилистые	ломанные, в широком и узком диапазоне, ровные	нет	плавные и ломанные, в узком диапазоне, извилистые	плавные и ломанные, в узком диапазоне, извилистые	плавные и ломанные, в узком диапазоне, извилистые	плавные и ломанные, в узком диапазоне, извилистые
	ширина трещины, мкм	0,07	0,03	0,03	нет	0,03	0,03	0,03	0,03
	длина трещины, мкм	1,0	0,7	0,9	–	0,9	0,7	0,3	0,4
	общая длина, мкм	8	16	12	–	16	10	4	6
	направление трещины	разнонаправленные	разнонаправленные	разнонаправленные	–	есть преимущ. направление	разнонаправленные	разнонаправленные	разнонаправленные
	связанность с другими элементами	есть рискам, есть почти ⊥ рискам, часто по границам зерен, есть системы	есть рискам, есть почти ⊥ рискам, везде следы ППД, есть системы	мелкие со следами ППД, круглые – с границами зерен систем нет	–	со следами ППД, с границами зерен, систем нет	со следами ППД, с границами зерен, редкие системы	с вырывами, со следами ППД, систем нет	с вырывами, со следами ППД, систем нет
Зерна	форма зерна	изотропная, округлая – угловатая с ровной границей	–	изотропная, округлая – угловатая, с ровн. границей	–	изотропная, круглая – угловатая, с ровн. границей	изотропная, округлая – угловатая, с ровн. границей	изотропная, округлая – угловатая, с ровн. границей	изотропная, округлая – угловатая, с ровн. границей
	размер зерна, мкм	2,0 (агрегаты неразличимые)	–	2,0 (есть агрегаты)	–	2,0 (есть агрегаты)	2,0 (есть агрегаты)	2,0 (есть агрегаты)	2,0 (есть агрегаты)
	рельеф поверхности	тени, ямки	–	тени, ямки, строчки, микротрещины	тени, ямки, строчки, системы	тени, ямки	тени, ямки	ямки	тени, ямки
Доля термически измененной поверхности		0,1	0	0	0	0	0	0,05	0
Доля гладкой поверхности		0	0	0	0,95	0	0	0,07	0
Поры, плотность, шт. на снимок		10	10	10	10	10	10	10	10

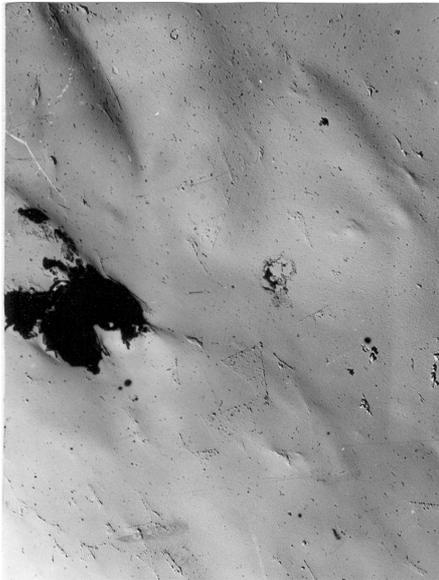
Поверхність после доводки пластически деформирована (рис. 2). Упругая схема обработки в сочетании с недостаточной твердостью абразива привели к отсутствию заметных рисок-царапин. Дробление зерен при доводке выражено меньше, чем после алмазного шлифования. Полирование обеспечивает гладкую поверхность с незначительными следами рисок весьма малого шага и глубины и небольшим числом крупных вырывов. Видимо, мелкие вырывы и другие неглубокие дефекты при полировании «залечиваются».



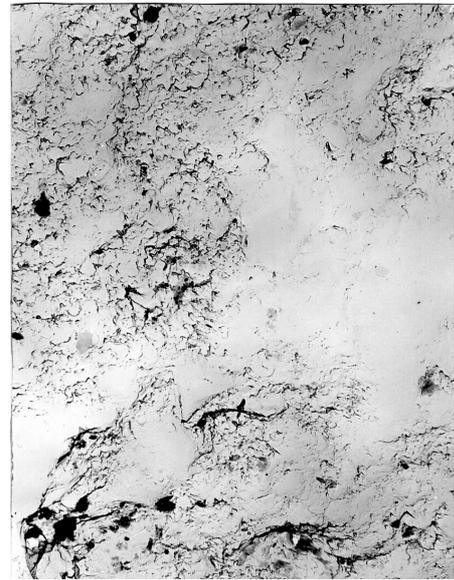
а



б



в



г

Рис. 2. Влияние виброабразивной обработки на микрорельеф поверхности после отделки ($\times 5000$) (см. рис. 1):

а, б – доводка карбидом бора; а, в – до виброобработки; в, г – полирование алмазом; б, г – после виброобработки

Поверхность после виброабразивной обработки с предшествующим шлифованием карбидом кремния полностью деформирована. Увеличение размеров вырыва говорит об устранении некоторой части неглубоких мелких шлифовочных вырывов, а неизменность их плотности – об образовании новых – большего размера, тем более что перед виброобработкой вырывы имели в основном ровные, а после нее – извилистые границы. Кроме того, после виброабразивной обработки появились отсутствовавшие ранее системы вырывов. Трещины после виброабразивной обработки стали вдвое тоньше, суммарная их длина увеличилась тоже вдвое. То, что они, как правило, связаны со следами ППД, а также имеют преимущественное направление, близкое к направлению ППД, свидетельствует о том, что их происхождение иное – не в результате разрушений, а как следствие перенаклепа. После виброабразивной обработки четче выявляются элементы структуры – различаются агрегаты зерен, точнее определяются форма и размер зерна. После виброабразивной обработки с предшествующим алмазным шлифованием удалось различить следы рисок-царапин, что объяснимо с учетом их большей площади после алмазного шлифования. Четко выявляются отсутствовавшие ранее элементы структуры.

После виброабразивной обработки с предшествовавшей доводкой поверхность деформирована. Следы предшествовавшей обработки полностью удалены. Вырывы стали мельче, плотность их возросла, они часто образуют системы, то есть характеризуют виброабразивную обработку. Трещины стали короче и реже. Виброобработка после полирования дает рельеф, близкий к предыдущему. Вся поверхность деформирована, покрыта большим количеством мелких вырывов, часто образующих системы, имеется небольшое количество мелких трещин.

Таким образом, при всех видах обработки имеются микропластические деформации. Дисперсность удаляемых частиц определяется, в основном, твердостью абразива. При виброобработке, полировании и шлифовании карбидом кремния диспергирование карбидных зерен отсутствует, оно выражено лишь при алмазном шлифовании и, частично, при доводке. При доводке и, особенно, полировании, степень пластической деформации кобальта достаточна для «залечивания» дефектов поверхности, в частности, мелких вырывов. При доводке, и особенно полировании, степень пластической деформации карбидных зерен обуславливает наличие следов выхода дислокаций, систем дислокаций, а также микротрещины. При абразивной обработке характерным элементом рельефа являются трещины, то есть отделение частиц происходит вследствие циклической тангенциальной ППД (растягивающие тангенциальные напряжения вызывают трещинообразование, а затем удаляются неблагоприятно ориентированные зерна и их агрегаты).

При виброабразивной обработке характерный элемент рельефа – вырывы, то есть отделение частиц происходит вследствие циклической нормальной ППД (трещины носят не линейный, а локальный характер и развиваются быстрее). При шлифовании рельеф существенно анизотропен (вдоль и поперек направления шлифования), в отдельных случаях – изотропен. Для практического использования рекомендуется алмазное шлифование или доводка с последующей виброабразивной обработкой, что обеспечивает высокое качество поверхности и достаточную производительность.

При виброабразивной обработке таких малопластичных материалов, как твердые сплавы, реализуются только микропластические, но не макропластические деформации, как при виброобработке пластичных металлов [1]. Это подтверждается тем, что следы пластической деформации обнаружены при увеличении $\times 5000$, но не найдены при увеличении $\times 1600$.

При виброобработке сталей пластическое деформирование и передеформирование, полидеформационное разрушение доминируют над микрорезанием-царапанием, которое

происходит лишь при наличии достаточного внедрения абразивного зерна в поверхность обрабатываемого изделия [5–6]. С учетом малой пластичности твердых сплавов в нашем случае вклад микрорезания можно считать несущественным. При уменьшении амплитуды от 2,5 до 1,5 мм плотность обработочных следов падала вдвое. При обработке твердых сплавов применяют амплитуды 0,5...0,9 мм, что также не способствует осуществлению микрорезания. После виброабразивной обработки в диапазоне увеличений оптического и электронного микроскопа не было обнаружено рисок и царапин, в то время как при обработке металлов риски составляют 30 % обработочных следов.

Абразивные явления при виброабразивной обработке твердых сплавов наполнителями КЗ, Э, ПТ, П, ЦМ-332, фарфором не выражены. Различие радиуса округления, шероховатости плоскостей и кромок при обработке оксидом алюминия и карбидом кремния несущественно, хотя разница их микротвердостей (20 и 29 ГПа) при абразивном износе должна была бы сказаться на этих показателях. В то же время различие твердости связки (от М до ЧТ) приводит к изменению этих показателей в 3,0...3,5 раза [7–8].

На заключительной фазе виброобработки округление кромки линейно возрастает, а обработка плоскостей практически прекращается, что необъяснимо, если последняя носит абразивный характер. Обрабатываемость кромок твердосплавных изделий в несколько раз сильнее менялась при изменении размера зерна, чем механических свойств, что объяснимо при хрупком разрушении и противоречит механизму абразивного изнашивания. На профилограммах виброобработанных поверхностей угол впадин профиля значительно больше, чем на шлифованных и соответствует профилю не рисок, как при шлифовании, а кратеров.

ВЫВОДЫ

При заданных условиях виброабразивной обработки твердых сплавов риски-царапины, а также следы макропластических деформаций не обнаружены; обработочные следы представляют собой кратеры; разрушение карбидных зерен выражено слабо и лишь при большой длительности обработки; основным механизмом съема материала является хрупкое межзеренное разрушение, которому сопутствуют микропластические деформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабичев А. П. *Вибрационная обработка деталей* / А. П. Бабичев. – М. : Машиностроение, 1974. – 136 с. : ил.
2. *Сборный твердосплавный инструмент* / Г. Л. Хаеи, В. М. Гах, К. Г. Громаков. – М. : Машиностроение, 1991. – 256 с. : ил.
3. Лошак М. Г. *Прочность и долговечность твердых сплавов* / М. Г. Лошак. – Киев : Наукрва думка, 1984. – 232 с. : ил.
4. Чапорова И. Н. *Исследование изменений в структуре поверхностного слоя вольфрамкобальтовых сплавов после вибрационной объемной обработки* / И. Н. Чапорова, А. В. Вараксина, А. М. Чувиллин // *Твердые сплавы*. – Вып. 12. – М. : Металлургия, 1973. – С. 59–64.
5. Бабичев А. П. *Формирование микрорельефа поверхности при виброгалтовке. Прогрессивные методы отделочной обработки деталей машин* / А. П. Бабичев, Б. Б. Ходош. – Ростов-на-Дону : НИИТМ, 1968. – С. 95–103.
6. Бабичев А. П. *Изучение микротопографии и механизма формирования поверхности при вибрационной обработке* / А. П. Бабичев, Ю. М. Самодумский // *Известия Северо-Кавк. научного центра высшей школы, серия техн. наук*. – Ростов-на-Дону : Высшая школа, 1974. – № 2. – С. 16–28.
7. Гах В. М. *Оптимизация характеристик среды для виброабразивной обработки твердосплавных пластин* / В. М. Гах // *Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем : в 2-х т.* – Краматорск : ДГМА, 1997. – Т. 2. – С. 106–114.
8. Гах В. М. *Кинетика изменения шероховатости поверхностей лезвия при виброабразивной обработке твердосплавных пластин* / В. М. Гах, Л. Г. Хаеи // *Сборник научных статей*. – Вып. 3. – Краматорск ДГМА, 1996. – С. 296–305.