

УДК 621.921

**В. И. Лавриненко, В. Н. Ткач, Б. В. Сытник,  
О. О. Пасичный** (г. Киев)

### **Технологические аспекты изменения структурной ориентации рабочего слоя кругов из СТМ**

*Рассмотрен вопрос о важности учета структурной ориентации рабочего слоя шлифовальных кругов из сверхтвердых материалов. Показаны технологические приемы, используемые при прессовании и спекании рабочего слоя кругов, при которых возможно осуществить изменение структурной ориентации такого слоя.*

**Ключевые слова:** структура рабочего слоя, структурная ориентация рабочего слоя, регулярность структуры, Фурье-анализ изображения поверхности, изменение угла ориентации структуры.

**Актуальность проблемы.** Современная металлообработка требует применения шлифовальных инструментов гарантированной износостойкости и устойчивой режущей способности. Одним из определяющих условий достижения этого является регулярность структуры рабочего слоя шлифовального инструмента — ее изотропность или, например, направленная анизотропность. Вопрос этот является достаточно сложным и требует разнонаправленных подходов, что связано с особенностью структуры рабочего слоя шлифовального инструмента, а именно — с наличием связки с функциональным наполнителем и резко отличающегося по структуре абразивного наполнителя — самих зерен из сверхтвердых материалов (СТМ).

В литературе было обращено внимание [1, 2] на то, что в реальных кругах из СТМ, получаемых по стандартной технологии спекания и прессования, уже существует некоторая ориентация как самого рабочего слоя, так и зерен шлифпорошков СТМ. Было показано для такого случая, что и ориентация самого рабочего слоя, и ориентация зерен в нем стремятся к углу наклона  $45^\circ$ , т. е. уже существует некоторая структурная ориентация, которая, как показано в [3], влияет на напряженное состояние в системе зерно—связка. Указанную выше структурную ориентацию с точки зрения работоспособности кругов желательно изменять в необходимом разработчикам направлении. Этот вопрос наиболее актуален для шлифовальных кругов и требует конкретных решений и рекомендаций, поскольку такой инструмент работает в различных условиях, например, шлифование кромкой, торцом или периферией круга. Отсутствие таких сведений не позволяет управлять параметрами процесса обработки, найденными в результате обоснованного выбора характеристик кругов с учетом структурной ориентации их рабочего слоя. Некоторые попытки по ее изменению были сделаны, например в [1], однако кардинального решения не было найдено.

Цель работы состояла в рассмотрении возможности изменения структурной ориентации рабочего слоя шлифовальных кругов из СТМ в зависимости от технологии изготовления слоя.

© В. И. ЛАВРИНЕНКО, В. Н. ТКАЧ, Б. В. СЫТНИК, О. О. ПАСИЧНЫЙ, 2008

**Методика исследования.** Состояние алмазно-абразивных композитов, используемых для изготовления рабочего слоя шлифовальных кругов, характеризуется определенными показателями их структуры, которая формируется при прессовании и спекании. В процессе разработки таких композитов важно оценить влияние условий прессования и спекания, для чего введены в качестве основных:

— показатели Фурье-анализа изображения поверхности сечения композитов, которая характеризует как анизотропию, так и ориентацию структуры рабочего слоя;

— содержание мелких объектов на поверхности среза композита;

— шаг структуры композита.

В работе эти показатели оценивали с помощью изображений, полученных методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на электронном микроскопе-микроанализаторе BS-340. Для исследования образцов рабочего слоя готовили шлифы в плоскости среза вдоль усилия прессования. Угол ориентации структуры измеряли в нормальной к вектору действия этого усилия плоскости.

**Основные результаты работы и их обсуждение.** Процесс формирования рабочего слоя круга может быть исследован на образце, подвергнутом одноосному сжатию в процессе прессования. Такой образец в исходном виде изотропен, так как принимаем, что его содержимое в виде связующего и шлифовального порошка из сверхтвердых материалов (алмазов или КНБ) хорошо перемешано. Определение “композиционный материал” это допускает [4]. Рассмотрим, как будет проходить формирование структуры такого образца при его деформации в процессе прессования и спекания и что будет происходить с зёрнами СТМ, форма которых наилучшим образом может быть описана эллипсоидом вращения.

Известно, что при плоском напряженном состоянии изотропного тела предельный контур прочности (текучести) имеет оси симметрии, наклоненные к осям координат под углом  $45^\circ$  и проходящие через их начало [4]. Кроме того, согласно энергетической теории прочности Губера-Мизеса-Генки условия текучести представляют собой уравнение второго порядка. В пространстве главных нормальных напряжений предельная поверхность зерна изображается эллипсоидом вращения, имеющим ось вращения, равнонаклоненную к осям координат. При плоском напряженном состоянии предельный контур зерна изображается эллипсом, симметричным относительно осей, проходящих через начало координат и наклоненных к осям координат под углом  $45^\circ$  [4].

Согласно теории текучести в структуре композита, хотя и равномерной, но содержащей не круглые, а эллипсоидные зёрна СТМ, в процессе прессования и спекания должен повышаться показатель анизотропии и формироваться определенная ориентация рабочего слоя. Эта ориентация будет вызвана пространственным разворотом зерен вдоль линий текучести, т. е. направления действия касательных напряжений. Исходя из изложенного выше и работы [4], можно предположить, что наклон зерен должен быть близким к углу  $45^\circ$ .

Для оценки структуры в качестве основных использованы показатели анизотропии и ориентации рабочего слоя, которые оценивали двумерным Фурье-спектром изображения поверхности шлифа (рис. 1) по методике, разработанной в Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины.

Установлено (рис. 2), что при стандартных условиях формирования рабочего слоя кругов на полимерных связках показатель ориентации слоя равен примерно  $45$  (или  $45 + \pi/2$ ) градусам [5].

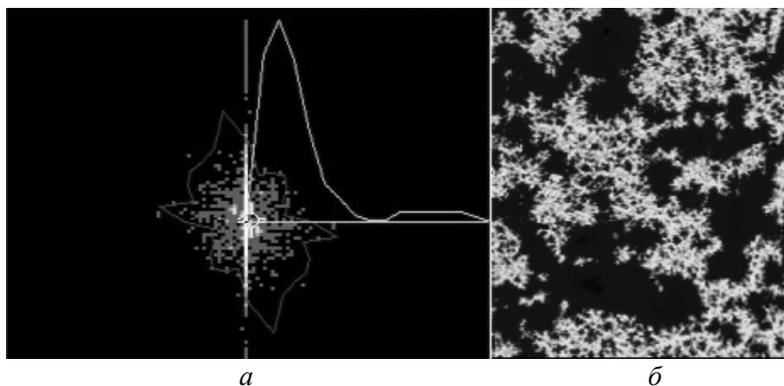


Рис. 1. Типичный двумерный Фурье-спектр (а) и исходное изображение (б) поверхности шлифа композита: анизотропия — 61 %; количество мелких объектов — 8 %; шаг структуры — 5, 6 мкм.

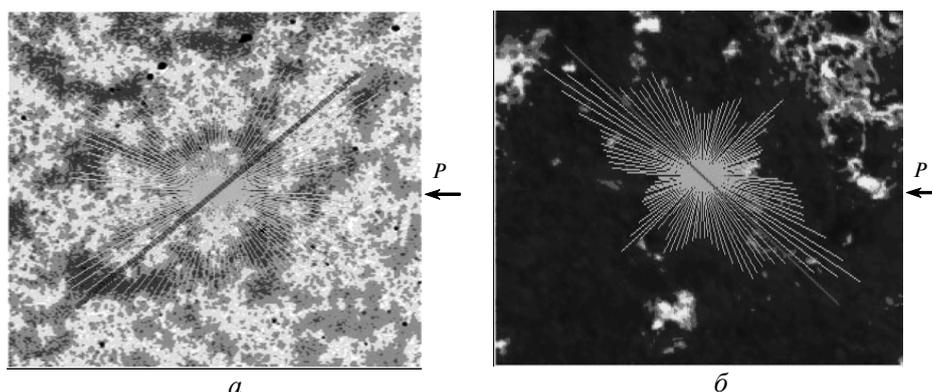


Рис. 2. Анизотропия и ориентация рабочего слоя композита на металлической M2-01 (а) и металлополимерной B2-01-1 (б) связке в плоскости его сечения вдоль вектора действия усилия прессования при стандартных условиях формирования слоя: анизотропия — 3,3 (а) и 17,3 (б) %; ориентация — 44 (а) и 135 (б) град.

Приведенные результаты исследования, по мнению авторов, являются подтверждением ранее высказанных предположений, и важно то, что значения углов ориентации и наклона зерен [6] для стандартных условий прессования и спекания рабочего слоя совпадают не только между собой, но и с ожидаемым углом, который, согласно теории прочности, представляет собой угол направления действия касательных напряжений в рассматриваемом образце.

Поскольку авторами было высказано предположение о том, что при стандартных условиях прессования и спекания основную роль в формировании структурной ориентации играют напряжения сжатия, то для изменения угла ориентации в нужном направлении, например, от  $45$  к  $90^\circ$ , логично было бы предположить, что для этого необходимо усилить влияние растягивающих напряжений и снизить влияние напряжений сжатия. Для реализации такого предположения было применено предварительное послойное брикетирование

образцов композита, в связи с чем в процессе прессования и спекания за счет послойного движения шихты в стороны в брикете наряду с напряжениями сжатия возникли еще и напряжения растяжения. Такая технология позволяет достичь угла ориентации структуры рабочего слоя, который будет суммой двух углов —  $45$  и  $45^\circ/2$ , т. е.  $67,5^\circ$ . Проверка гипотезы подтвердила эти предположения (рис. 3, *a* и таблица). Повторные измерения ориентации структуры в других точках образца, кроме  $66^\circ$ , дали значение углов в  $76$  и  $61^\circ$ , т. е. средний угол оценки ориентации структуры составил  $67,7^\circ$ .

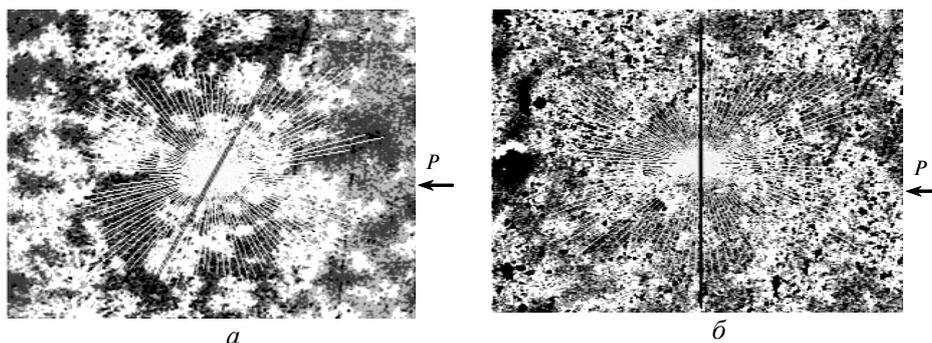


Рис. 3. Анизотропия и ориентация рабочего слоя композита на металлической связке М2-01 в плоскости его сечения вдоль вектора действия усилия прессования при послойном брикетировании (*a*) и при комбинированном формировании слоя (*б*): анизотропия —  $2,4\%$ ; ориентация —  $66$  (*a*) и  $90$  (*б*) град.

### Показатели структуры рабочего слоя композита на связке М2-01 при различных условиях его формирования

Вариант формирования композита		
насыпной	слоистый	комбинированный
Угол ориентации структуры к оси действия усилия прессования		
44—45	61—76	85—90
Средние значения анизотропии двумерного Фурье-спектра, %		
61	53	48
Средние значения анизотропии структуры, %		
4,1	5,0	4,9
Среднее количество мелких объектов в структуре, %		
4	3	29
Шаг структуры, мкм		
5,3	7,0	14,0

Для оценки возможности большего изменения угла ориентации структуры рабочего слоя было сделано предположение, что для этого необходимо соз-

дать в брикете комбинированную ситуацию, когда возникает одновременное движение на растяжение в верхних и нижних слоях брикета и в средней части — насыпной. При этом жесткость переходных границ резко снижена. Ожидаемый угол ориентации —  $90^\circ$ , реальные углы ориентации в разных точках образца (кроме  $90^\circ$ ) —  $85$  и  $92^\circ$  (см. рис. 3, б и таблицу).

Анализ таблицы показывает, что при таком последовательном изменении угла ориентации структуры поведение других показателей несколько отличается. Так, анизотропия структуры во всех трех случаях отличается мало, тогда как анизотропия двумерного Фурье-спектра снижается последовательно с 61 до 48 %. Последовательно изменяется и шаг структуры, существенно возрастающая при комбинированном варианте формирования композита.

Анализ таблицы показывает также, что комбинированный вариант формирования композита по сравнению со слоистым приводит к более существенному изменению структуры брикета. Так, если слоистый вариант отличается от насыпного принципиально только по углу ориентации структуры и среднему значению анизотропии двумерного Фурье-спектра, при комбинированном варианте к этим показателям добавляется еще два принципиальных отличия — резкое (почти на порядок) возрастание количества мелких объектов в структуре и существенное (почти в три раза) повышение шага структуры.

### **Выводы**

Приведенные выше исследования показывают, что с учетом новых подходов к формированию рабочего слоя шлифовальных кругов возможно изменять структурную ориентацию рабочего слоя в необходимом для конкретных шлифовальных кругов направлении и формировать ее в диапазоне углов от  $45$  до  $90^\circ$ . При этом формируются другие показатели структуры композита с существенным изменением шага структуры и количества в ней мелких объектов.

1. Шепелев А. О., Лавриненко В. И., Гонтар О. Г. та ін. Встановлення закономірностей формування двокарасних металополімерних композитів з КНБ за умов їх програмованого спікання та пресування // Резание и инструмент в технологических системах. — 2001. — Вып. 60. — С. 258—261.
2. Лавриненко В. И. Угол направления действия касательных напряжений — ключ к инструменту из СТМ // Сверхтв. материалы. — 2002. — № 2. — С. 71—76.
3. Лавриненко В. И., Кулаковский В. Н. Напряжения, возникающие в зоне контакта зерно—связка с учетом наклона зерен // Там же. — 2002. — № 4. — С. 71—75.
4. Яценко В. Ф. Прочность композиционных материалов. — Київ: Вища школа, 1988. — 191 с.
5. Лавриненко В. И., Ткач В. Н., Сытник Б. В. и др. К вопросу о формировании структурной ориентации в рабочем слое шлифовальных кругов из СТМ // Резание и инструмент в технологических системах. — 2007. — Вып. 73. — С. 147—153.
6. Лавриненко В. И. Пространственное расположение зерен СТМ в абразивсодержащем слое круга // Сверхтв. материалы. — 1997. — № 5. — С. 72—79.

Ин-т сверхтвердых материалов  
им. В. Н. Бакуля НАН Украины

Поступила 13.07.07