

Р.М. Стрельчук, канд. техн. наук, Харьков, Украина
Ш. К. Джха, канд. техн. наук, Нью Дели, Индия

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ НАНОСТРУКТУРНЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Представлено результати досліджень продуктивності обробки при різних умовах алмазно-іскрового шліфування наноструктурних твердих сплавів. Визначено оптимальні умови, що забезпечують найбільшу продуктивність обробки.

Представлены результаты исследований производительности обработки при различных условиях алмазно-искрового шлифования наноструктурных твердых сплавов. Определены оптимальные условия, обеспечивающие наибольшую производительность обработки.

The results of the research process performance under different conditions of diamond-spark grinding nanostructured hard alloys. The optimum conditions for maximum productivity.

В современной металлообрабатывающей промышленности широко используются твердые сплавы на основе карбида вольфрама WC, которые позволяют реализовывать высокопроизводительную механическую обработку резанием труднообрабатываемых материалов. Повышение качества твердых сплавов в развитых странах решается путем создания новых наноструктурных твердых сплавов.

Как известно, в состав традиционных твердых сплавов входит кобальтовая связка, которая связывает зерна WC и позволяет уплотнить материал при сравнительно низких температурах. Однако кобальтовая связка снижает твердость сплава – параметр, который в значительной мере определяет износостойкость материалов. Обычно материалы WC–Co получают механическим перемешиванием соответствующих порошков с последующим холодным прессованием и спеканием. Наиболее сложным этапом этой технологии является механическое перемешивание ультрадисперсных порошков WC и Co. Степень однородности механического перемешивания не позволяет получать в конечном спеченном продукте зерна размером меньше 300 нм [1].

Кроме того в технологии получения традиционных твердых сплавов используются порошки карбида вольфрама с размером частиц 1-5 мкм, для чего исходный порошок подвергается длительному, интенсивному измельчению в течении 48-96 часов. Вместе с тем, все более широкое

применение находят наноразмерные порошки карбида вольфрама. Использование наноразмерных порошков тугоплавких соединений с размером зерна менее доли микрона в ряде случаев дает возможность достичь высоких показателей твердости и прочности твердых сплавов [2, 3]. Поэтому способы получения тугоплавких соединений из наноразмерных зерен WC преобретают существенное значение для повышения качества и износостойкости твердых сплавов.

По одному из таких способов создан новый сплав на основе наноразмерных зерен монокарбида вольфрама (ВолКар) [4]. Разработанный инструментальный материал показал высокую твердость и износостойкость, сопоставимую с инструментальными материалами на основе кубического нитрида бора. Особенность способа получения сплава «ВолКар» состоит в том, что при изготовлении режущих пластин из наноразмерных зерен монокарбида вольфрама WC отпадает необходимость использования при спекании специальных связующих материалов. Исключается также такая важная и ответственная технологическая операция, как перемешивание смесей порошков. Возможность спекания наноразмерных зерен с помощью электрического тока без связующих добавок значительно сокращает технологический цикл изготовления пластин и препятствует возникновению источников образования трещин и пор. Быстрый подъем температуры в процессе горячего прессования ограничивает рост зерен.

Вследствие специфических физико-механических свойств, прежде всего, высокой твердости, низкой теплопроводности и размера зерен, рассматриваемый инструментальный материал обладает низкой обрабатываемостью, а традиционные методы алмазно-абразивной обработки не обеспечивают качественного шлифования и необходимой производительности. Поэтому выявление рациональных условий шлифования нового инструментального сплава «ВолКар» представляется целесообразным.

Как известно, шлифование твердых сплавов производится с введением дополнительной энергии в зону резания, т. е. при алмазно-искровом шлифовании (АИШ).

В процессе работы использовались наноструктурные твердосплавные пластины «ВолКар», представляющие собой геометрическую фигуру типа диска диаметром 20 мм и толщиной 5 мм. Для проведения экспериментальных исследований пластинам придавалась форма квадрата с размером 14×14 мм.

Исследовалось влияние режимов резания – нормального давления (P_n), скорости резания (V) и характеристик алмазного круга – зернистости (Z), концентрации (K).

Производительность обработки изучалась с применением методики многофакторного планирования экспериментов, позволяющей описать процесс в виде уравнений регрессии, т. е. получить математические модели производительности обработки. При этом необходимо знать область изменения независимых переменных, соответствующую наилучшему

значению изучаемой производительности обработки, что дает возможность правильно выбрать интервалы варьирования факторов, т. е. определить наиболее рациональный диапазон условий практического применения режимов резания и характеристик алмазных кругов.

Коэффициенты полинома (уравнения регрессии) рассчитывались по стандартной программе MS Excel «Многофакторный регрессионный анализ». После расчетов коэффициентов получено следующее уравнение регрессии для производительности обработки (1):

$$\begin{aligned} y_Q = & 486,68 + 92,40x_1 + 54,25x_2 - 73,16x_3 + 80,35x_4 + \\ & + 17,94x_1x_2 - 14,16x_1x_3 + 13,16x_1x_4 - 37,73x_2x_3 + \\ & + 23,85x_2x_4 - 59,83x_3x_4 - 28,17x_1^2 - 106,22x_2^2 + \\ & + 41,33x_3^2 + 66,48x_4^2. \end{aligned} \quad (1)$$

После проведения канонических преобразований анализ поверхностей отклика осуществляли с помощью двумерного сечения. Для анализа влияния отдельных факторов на показатель производительности обработки строились однофакторные зависимости.

На рис. 1 показано двумерное сечение поверхности отклика $Q - f(P_n, V)$. Характер расположения линий равного отклика позволяет оценить влияние нормального давления и скорости резания на производительность обработки. Увеличение нормального давления и скорости резания приводит к росту производительности обработки. Причем, повышение нормального давления приводит к более глубокому внедрению алмазных зерен в обрабатываемый материал, т.е. увеличивается толщина среза, а рост скорости резания способствует увеличению числа встреч алмазных зерен с обрабатываемым материалом и лучшей самозатачиваемости кругов. Кривые равного отклика производительности обработки в зависимости от нормального давления и скорости резания позволяют выбирать различные сочетания режимов шлифования, обеспечивающих соответствующую производительность обработки. Например, одинаковая производительность обработки может быть достигнута при шлифовании с режимами $P_n = 1,2$ МПа, $V = 35$ м/с и $P_n = 2,0$ МПа, $V = 15$ м/с. Это подтверждает, что при алмазно-искровом шлифовании количественный фактор оказывает существенное влияние на съем материала.

При алмазно-искровом шлифовании традиционных твердых сплавов, например ВК6, увеличение скорости резания однозначно приводит к росту производительности обработки. Однако, как видно из однофакторной зависимости (рис. 2) наибольшая производительность обработки при шлифовании твердого сплава из наноразмерных зерен монокарбида

вольфрама «ВолКар» получена при скорости резания $V = 25$ м/с. Это связано, очевидно, с более высокой твердостью нового сплава «ВолКар» по сравнению с обычным твердым сплавом ВК6. При увеличении скорости резания свыше $V = 25$ м/с алмазные зерна не успевают внедряться в наноструктурный твердый сплав «ВолКар» и таким образом, нивелируется эффект увеличения числа встреч алмазных зерен.

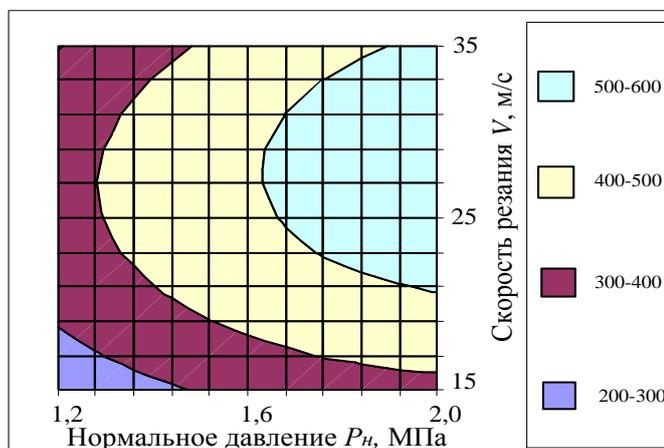


Рис. 1 Двумерное сечение поверхности отклика $Q - f(P_n, V)$: $Z = 100/80$; $K = 4$

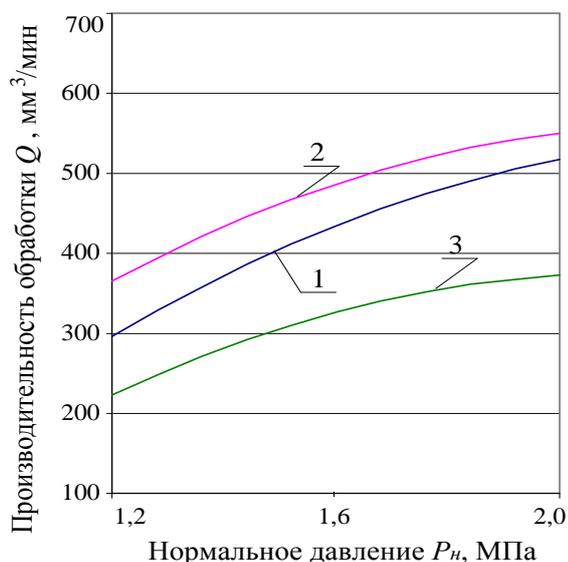


Рис. 2 Влияние P_n на Q : $Z = 100/80$, $K = 4$;
1 – $V = 35$ м/с, 2 – $V = 25$ м/с, 3 – $V = 15$ м/с

При обычном алмазном шлифовании сплава «ВолКар» с увеличением нормального давления и скорости резания производительность обработки резко снижается, т. к. не обеспечивается высокая режущая способность кругов, а при алмазно-искровом шлифовании (АИШ) высокая режущая

способность кругов обеспечивается из-за эрозионного воздействия разрядов на связку.

Влияние характеристики алмазных кругов на производительность обработки имеет сложный характер (рис. 3), что связано с несколько иным соотношением производительности и износа кругов, чем при изменении нормального давления и скорости резания. Например, увеличение зернистости от 50/40 мкм до 160/125 для кругов всех концентраций приводит к снижению производительности обработки (рис. 4).

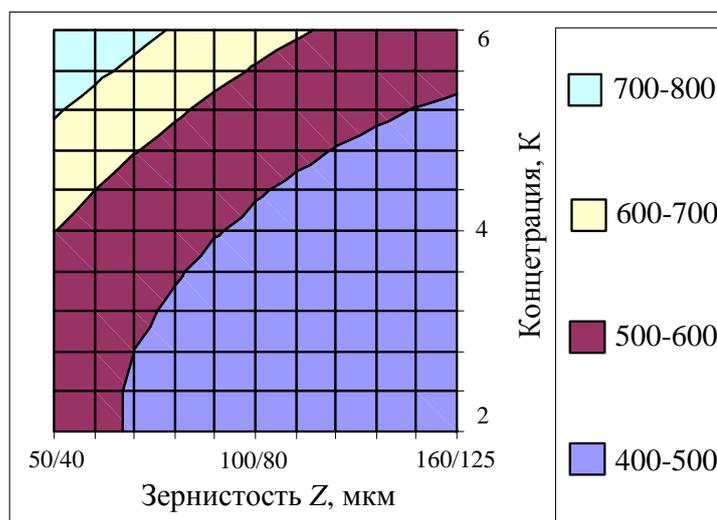


Рис. 3 Двумерные сечения поверхности отклика $Q - f(Z, K)$: $P_H = 1,6$ МПа; $V = 25$ м/с

При этом для кругов с концентрацией 2 увеличение зернистости от 50/40 мкм до 160/125 мкм дает незначительное изменение производительности обработки. Это связано, прежде всего, с постоянным минимальным числом встреч алмазных зерен с обрабатываемым материалом. Для кругов с концентрацией 4 увеличение зернистости от 50/40 мкм до 160/125 мкм приводит к небольшому снижению производительности обработки, т. к. уменьшается число встреч алмазных зерен с обрабатываемым материалом. И, наконец, для кругов с концентрацией 6 наблюдается существенное снижение производительности обработки, что связано со значительным уменьшением числа встреч алмазных зерен с обрабатываемым материалом.

Представляет интерес сравнительная оценка производительности обработки при шлифовании сплава «ВолКар» в различных условиях. Так, например, обычное шлифование алмазным кругом на связке М1-01 (12А2-45° АС6 100/80-4) в условиях $P_H = 1,6$ МПа, $V = 25$ м/с обеспечивает производительность $Q = 274,6$ мм³/мин (за 10 минут работы), а алмазно-искровое шлифование в аналогичных условиях — $Q = 483,5$ мм³/мин. При шлифовании кругом на бакелитовой связке 12А2-45° АС4 100/80 Б1-01-4 в оптимальных условиях производительность $Q = 198,5$ мм³/мин ($P_H = 0,8$

МПа, $V = 30$ м/с). Производительность алмазно-искрового шлифования в оптимальных условиях ($P_n = 2,0$ МПа, $V = 25$ м/с) равна $542,4$ мм³/мин при на порядок меньшей удельной себестоимости обработки. Таким образом, алмазно-искровое шлифование сплава «ВолКар» в 1,5 ... 2,0 раза производительнее обычного алмазного шлифования кругами на связке М1-01 и в 2,0 ... 2,5 раз производительнее, чем шлифование кругами на связке Б1-01.

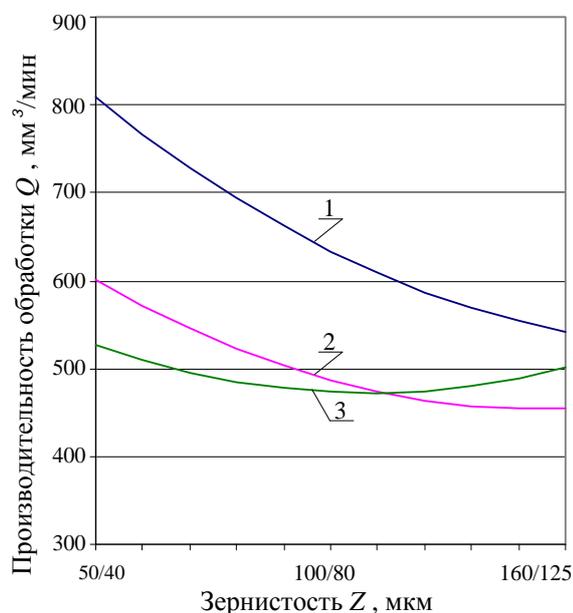


Рис. 4 Влияние Z на Q : $P_n = 1,6$ МПа, $V = 25$ м/с;

1 – $K = 6$, 2 – $K = 4$, 3 – $K = 2$

Найденные закономерности изменения производительности обработки позволяют выбирать рациональные режимы и характеристики кругов в различных условиях алмазно-искрового шлифования наноструктурных твердых сплавов. Установлены следующие условия АИШ, обеспечивающие наибольшую производительность процесса: $P_n = 2,0$ МПа, $V = 25$ м/с, $Z = 50/40$, $K = 6$.

Список литературы : 1. Александровский С.В., Донг Вон Ли, Гопиенко В.Г. Новые структуры получения тугоплавких соединений. М.:ГУП «Руда и металлы», 2001. 128 с. 2. Андриевский Р.А. Свойства нанокристаллических тугоплавких соединений (Обзор) // Порошковая металлургия. 1993. №11/12. с. 85-91. 3. Аттестация твердых сплавов, полученных с использованием нанокристаллического порошка карбида вольфрама WC / А.С. Курлов, Н.И. Борисенко, В.А. Молдавер и др. // XVII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: Тез. докл. Казань, 2003. Ч.3. Материалы и нанотехнологии. с. 358. 4. United States Patent № 6,617,271 В1 МКИ С04 В35/36. Tungsten carbide cutting tool materials / Gevorkian E., Kramer M., Kodash V. – Заявл.08.09.2003;Опубл.17.03.2005 – 14р.