

УДК 621.923

**ФЕРРОАБРАЗИВНЫЙ ПОРОШОК ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ
НА ОСНОВЕ АМОРФНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ***д-р техн. наук, проф. Л.М. АКУЛОВИЧ, канд. техн. наук, доц. Л.Е. СЕРГЕЕВ, В.Е. БАБИЧ
(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)*

Развитие машиностроения и решения связанных с этим проблем как общего, так и частного порядка требуют использования системного подхода с целью получения требуемого уровня показателей качества производственного процесса. В настоящее время ведутся работы, направленные на создание новых видов материалов для твердотельной электроники, медицинской и аэрокосмической промышленности, восстановления деталей машин.

Одной из важнейших задач, стоящих перед машиностроительной отраслью аграрно-промышленного комплекса (АПК), является создание принципиально новых машин и оборудования для обеспечения качественно новой технологии производства с целью роста производительности труда.

В последнее время широкое распространение в машиностроении получили такие процессы изготовления деталей машин, как порошковая металлургия, точное литье и др. Одновременно интенсивно продолжают развиваться методы обработки материалов резанием, имеющие ряд преимуществ перед другими способами формообразования поверхностей. В некоторых случаях эти методы могут быть единственными, обеспечивающими изготовление сложнопрофильных деталей.

Повышение производительности труда и улучшение качества изделий – это трудная технологическая задача, решение которой приводит к росту конкурентоспособности отечественных предприятий. Она достигается путем комплексной механизации и автоматизации производства, создания инструментальных материалов, применения высокоэффективных методов обработки, использования новых конструкций режущего инструмента.

Развитие машиностроительной отрасли АПК и решение связанных с этим проблем требует наличия материалов с отличающимися от традиционных физико-механическими характеристиками. К ним относятся нержавеющие, композиционные, керамические, титановые сплавы и т.д. Финишная обработка таких материалов имеет определенные трудности из-за высокой твердости и вязкости, что приводит к снижению стойкости инструмента, ухудшению качества продукции, падению производительности. Поэтому задачу интенсификации производства следует решать путем создания принципиально новых методов механической обработки, основанных на ином характере взаимодействия инструмента с поверхностью детали.

Финишная обработка деталей занимает до 40 % в общей доле трудоемкости механической обработки [1]. Поэтому одной из первостепенных задач, стоящих перед технологией машиностроения, как в отрасли научного обеспечения, так и промышленного производства является снижение этой доли путем интенсификации традиционных и разработкой новых высокоэффективных методов [2]. Однако каждому из них соответствует определенный набор «узких мест», что уменьшает эффективность использования указанных выше методов для получения заданных качественных и эксплуатационных показателей. Как известно, производительность любого процесса механической обработки находится на «лезвии инструмента». Поэтому введение в рабочую зону концентрированного потока энергии в виде электрических разрядов, магнитного, плазменного или теплового воздействия позволяет интенсифицировать удаление требуемого слоя материала. Реализация наложения этого концентрированного потока представляет собой определенную научно-техническую проблему, решение которой позволяет повысить технико-экономические показатели процесса. Примером может служить магнитно-абразивная обработка (МАО) [3 – 6]. В настоящее время достигнуто решение такой задачи, как применение МАО для наружных и внутренних конических поверхностей, деталей сферической формы, плоских поверхностей с целью получения их высокой светоотражательной способности, зубчатых колес. Вместе с тем общее решение требует интеграции составляющих элементов процесса МАО для получения полноты картины явлений, происходящих в системе СПИД данного процесса. Один из этапов исследований заключается в создании высокоэффективного инструмента, характеризующегося не только ростом его магнитных и режущих свойств, но и решением экологической проблемы, крайне актуальной в настоящий период. Например, магнитная проницаемость (μ) разработанных ранее сред в виде ферроабразивного порошка (ФАП) и смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) находится в пределах 8...20 мкГ/м, в то время как у пермаллоя она составляет

100...120 мкГ/м, что указывает на потенциальные возможности MAO. Следовательно, существующие способы получения ФАП характеризуются определенными трудностями, решение которых требует либо дальнейшего их усовершенствования, либо создания качественно новых типов. Исследование данной проблемы позволит резко повысить показатели μ , что обеспечит при ныне используемых величинах силы тока рост магнитной индукции в 1,3...1,5 раза. Давление рабочей среды (ФАП + СОТС) в этом случае может достигнуть 4...6 МПа, что сопоставимо с обработкой методами хонингования, суперфиниширования и чистового шлифования.

Первоначальным этапом в использовании ФАП для процесса MAO являлось применение чугуновой стружки и т.п. [3]. Магнитные свойства таких материалов находились в высоких пределах, но режущая способность ввиду полного отсутствия абразивного компонента была низкой. Создание композиционных материалов путем СВС-метода, механического перемешивания, литья и т.п. приводит к уменьшению диапазона магнитной проницаемости и росту указанной выше режущей способности. Однако содержание абразивного компонента достигает 85 % от всего объема композиционного ФАП, как например, для порошка Ж15КТ, что приводит к повышению магнитного сопротивления рабочей среды и, соответственно, либо к потерям магнитного потока Φ , либо к его утечкам. Это связано с тем, что данный поток стремится осуществить свое протекание по энергетически выгодному участку магнитной цепи. Поэтому одним из перспективных направлений создания ФАП как однородных, но одновременно с высокой степенью магнитных и режущих свойств является использование аморфных металлических сплавов [7]. Данные сплавы не имеют кристаллического строения, и технология их получения связана со сверхскоростной закалкой из жидкого или газообразного состояния в твердое. Следствием такой аморфной структуры являются нетрадиционные для подобных кристаллических сплавов магнитные, механические и коррозионные свойства. Например, наряду с таким уровнем коэрцитивной силы, который относится к магнитомягким материалам, диапазон гистерезисных потерь намного ниже, чем у кристаллических сплавов. Также данные материалы обладают удовлетворительной механической твердостью и пределом прочности при растяжении. Следует указать на хороший показатель коэффициента теплового расширения, что позволяет осуществлять сохранение режущих свойств в течение продолжительного периода контактирования инструмента и поверхности детали.

Традиционно размерность зерен ФАП, используемая в процессе MAO, в зависимости от вида обработки находится в пределах 63...630 мкм и более. Склонность же к образованию аморфного металлического сплава определяется кинетикой процесса зарождения или кинетикой ранних стадий роста кристаллов, и поскольку скорость закалки ($\sim 10^6$ К/с) протекает быстро, то теплота конденсации эффективно отводится только на данный момент через тонкую пленку. Поэтому полностью аморфные металлические расплавы представляют собой фольгу толщиной 10...40 мкм, полученную методом сплиттинга или спиннингования, или ленту той же толщины, полученную путем непрерывной разливки расплава. Также давление кристаллизации должно быть обеспечено отводом теплоты через вещество, которое характеризуется низкой теплопроводностью и теплообменом образца с охлаждающей средой посредством теплопроводности и конвекции. Отсюда возникает ограничение размеров образцов, и исходным материалом для создания ФАП является лента, полученная путем закалки из расплава.

Исследовался аморфный сплав на основе Fe – P – C – Si – Al – Mo, после вакуумного переплава шихты соответствующего состава спиннингованием на поверхность диска – кристаллизатора, выполненного из меди. Для плавления сплава применялся тигель из кварца; избыточное давление производилось аргоном в пределах 0,3...0,6 МПа. Скорость охлаждения ленты составляла $6 \cdot 10^5$ °С/с. Толщина полученной ленты по отношению к ее ширине в мкм равнялась 30:500. Измельчение ленты производилось на шаровой мельнице до получения порошка с размерами частиц 10...20 мкм. Форма этих частиц в случае измельченного порошка представляет собой неправильные многогранники (рис. 1, а).

В качестве оборудования использовался станок СФТ 2.150.00.00.000; образцами служили заготовки из стали ШХ-15 ГОСТ 801-78, 58...62 HRC₃, меди МЗ ГОСТ 859-78, алюминиевого сплава Д16 ГОСТ 4784-74. В качестве базового ФАП применялся Ж15КТ ТУ 6-09-03-483-81 (рис. 1, б), размер зерна (Δ) составлял 100/315 мкм, СОТС-СинМА-1 ТУ 38.590 11 76-91, 5 %-ный водный раствор.

Параметры и режимы MAO:

- магнитная индукция (B), $B = 1$ Тл;
- величина рабочего зазора (δ), $\delta = 1$ мм;
- скорость резания (V_p), $V_p = 1,5$ м/с;
- скорость осцилляции (V_o), $V_o = 0,1$ м/с;
- время обработки (t), $t = 60$ с;
- коэффициент заполнения рабочего зазора (K_3), $K_3 = 1$;
- амплитуда осцилляции (A), $A = 1$ мм.

Исходная шероховатость (R_{a1}) всех образцов до обработки методом MAO составляла 1...1,6 мкм. Выходными показателями являлись: достигаемая шероховатость ($R_a = 2$ мкм) и величина удельного массового съема материала (Q , мг).

Измерение шероховатости производилось на профилографе-профилометре 252-Калибр, массового съема – на весах аналитических ВЛА с точностью до 0,1 мг.

Степень очистки поверхности образцов оценивалась органолептическим способом визуально.

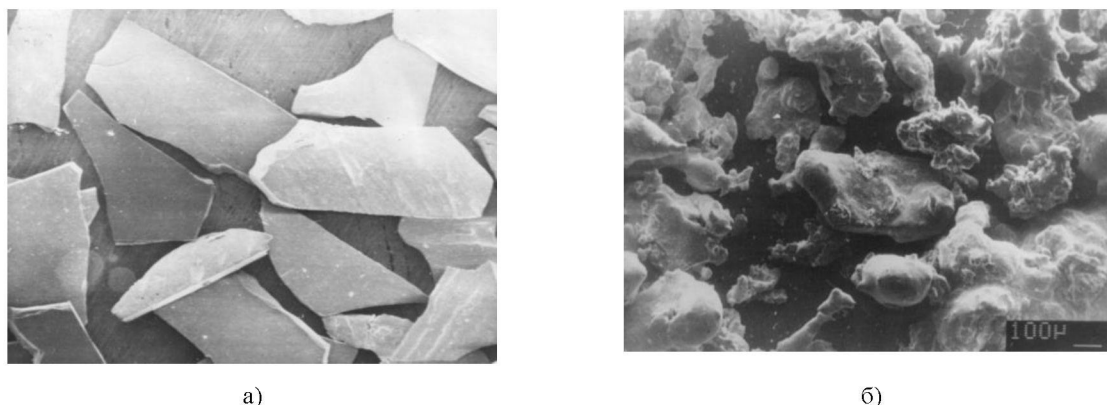


Рис. 1. Зерна ферроабразивного порошка на основе аморфных сплавов (а); зерна ферроабразивного порошка Ж15КТ (б)

Анализ полученных результатов показывает, что абразивная способность ФАП на основе аморфных металлических сплавов имеет пониженные показатели в сравнении с Ж15КТ для легированной стали ШХ-15. Это объясняется меньшими по значению величинами физико-механических характеристик типа твердости, что присуще абразивным материалам, а также снижением их размерности. Кроме того известно, что аморфные металлические сплавы являются метастабильными по отношению к термической обработке и при возникновении внешних напряжений происходит формирование потока полос сдвига или, иначе говоря, совокупности микропор, распределенных вдоль плоскости сдвига [8]. Это обусловлено увеличенными в сравнении с кристаллическими сплавами расстояниями между центрами кристаллизации, что соответственно приводит к более слабому взаимодействию между зернами. Поэтому, несмотря на достаточные показатели по производительности и качеству MAO цветных металлов, одним из путей интенсификации этих ФАП являются необходимость создания отсутствия полос сдвига и рост твердости. Таким путем служит соответствующий отжиг ленты либо самого порошка. В данном случае ввиду крайне малых размеров зерен ФАП на основе аморфного кристаллического сплава и отсутствия сведений о необходимом термическом интервале стабильности такой конденсированной системы, не имеющей дальнего порядка, отжиг производился для ленты при температуре 250 °С в течение 20 минут. Следующей процедурой было идентичное ранее произведенному измельчение.

Полученные данные показывают, что размерность зерен ФАП находится в тех же пределах, что и не отожженных. При проведении исследований с ФАП, результаты которых представлены в таблице, на основе отожженной ленты для процесса MAO при параметрах и режимах, аналогичных предшествующим, установлено, что производительность съема цветных металлов увеличилась в среднем на 30 % в сравнении с неотожженными, в отношении стали ШХ-15 – на 20 %.

Обрабатываемость материалов различными видами ФАП

Вид ФАП	Обрабатываемый материал	Достигаемая шероховатость, R_{a2} , мкм	Величина массового съема, Q , мг
Порошок на основе аморфного металлического сплава	МЗ	0,08	250
	Д16	0,1	260
	ШХ15	1,2	180
Ж15КТ	МЗ	0,11	340
	Д16	0,12	290
	ШХ15	0,07	540

Шероховатость поверхности всех видов материалов после применения данного порошка также снизилась на 40...50 %, что указывает на правильный подход в решении этой задачи.

Одной из нерешенных проблем остается отсутствие необходимого диапазона размерности ФАП (63...630 мкм), оно обусловлено, как указывалось ранее, соответствующими технологиями расплава, что не позволяет обеспечить получение таких характеристик.

Установлено, что реализация возможности придания ФАП на основе аморфного кристаллического сплава достаточной твердости и уменьшения ярко выраженных площадок текучести материала путем изотермического отжига приводит к созданию нового порошка для MAO с требуемыми магнитными, режущими и экологическими характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суслов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.
2. Топоров М.И. О возможности выполнения в России решения Киотской конференции // Технология машиностроения. – 2005. – № 2. – С. 52 – 61.
3. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущего инструмента. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
4. Hou Zhen Bing; Komanduri R. Magnetic field assisted finishing of ceramics // Journal of Tribology, Transactions of the ASME. – 1998. – V. 120, № 4. – P. 645 – 651.
5. Baron Yu.M., Ko Sung-Lim, Repnikova E. Experimental Verification of Deburring by Magnetic Abrasive Finishing Method // Proc. of the 2nd Asia-Pacific Forum on Precision Surface Finishing and Deburring Technology. – Seoul, Korea, 2002. – P. 166 – 178.
6. Study on Partical-Brush in Magnetic Field Assisted Machining – Finishing Characteristics of Grooves / H. Kawakubo, K. Tsuchiya, U. Satoh, T. Yamazaki, K. Miki, Y. Tezuka // Proc. International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21 Century – LEM21. – Niigata, Japan, Nov. 3 – 6, 2003. – P. 385 – 390.
7. Люборский Ф.Е. Аморфные металлические сплавы. – М.: Металлургия, 1987. – 528 с.
8. Глезер А.М., Молотилев Б.В. Структура и механические свойства аморфных сплавов. – М.: Металлургия, 1992. – 396 с.