

УДК 621.923

Л. М. АКУЛОВИЧ, Л. Е. СЕРГЕЕВ, Е. В. СЕНЧУРОВ

### СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО НА ОСНОВЕ СУЛЬФОГРУПП ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Белорусский государственный аграрный технический университет

(Поступила в редакцию 09.12.2014)

Свойства алюминиевых сплавов, такие как коррозионная и химическая стойкость, малая по сравнению с черными металлами плотность в сочетании с достоинствами технологии их получения и последующей обработки, обусловили широкое применение деталей из алюминиевых сплавов в машино- и приборостроении, медицине и т. д. Однако при обработке резанием алюминиевых сплавов в зоне резания возникает высокая температура и снижается модуль упругости, что приводит к повышению податливости технологической системы и соответственно к деформационным отклонениям профиля детали. В результате создаются технологические проблемы при абразивной обработке заготовок из алюминиевых сплавов и, прежде всего, в обеспечении геометрических показателей точности поверхностей, заданных рабочим чертежом детали.

Частичное решение данных проблем в технологии машиностроения нашло отражение в использовании смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), которые выполняют важную функцию при обработке резанием. Правильный подбор СОТС играет важную роль в комплексе технологических мероприятий по обеспечению качества поверхностей деталей и повышению производительности обработки. Например, использование при финишных методах обработки водных и масляных эмульсий приводит к быстрому засаливанию режущего контура инструмента, потере производительности процесса и даже полному прекращению размерного съема материала.

Одним из высокоэффективных способов финишной обработки алюминиевых сплавов является магнитно-абразивная обработка (МАО), главная особенность которой состоит в управляемом характере взаимодействия инструмента и обрабатываемой поверхности детали (рис. 1) [1–3]. Процесс съема материала протекает при наличии в рабочем зазоре ферроабразивного порошка

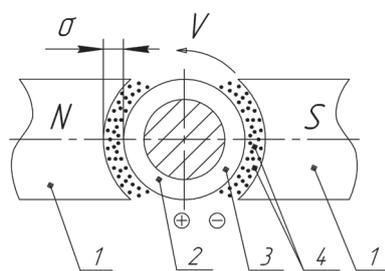


Рис. 1. Схема магнитно-абразивной обработки: 1 – полюсные наконечники; 2 – обрабатываемая заготовка; 3 – ферромагнитная оправка; 4 – ферроабразивный порошок;  $\sigma$  – рабочий зазор;  $V$  – скорость вращения заготовки

(ФАП), который является основным компонентом системы, обладающей магнитными и абразивными свойствами. Указанные свойства обусловлены определенным типом связи между составляющими ФАП, образуемой при реализации различных технологий их получения (механический способ, керметная технология, литье) [4, 5]. Морфология такого порошка обусловлена его производством и условиями формирования (рис. 2). Указанные свойства в сочетании с нивелированием размера рабочего зазора между полюсными наконечниками электромагнитов и обрабатываемой поверхностью позволяют обходиться без создания дорогостоящего абразивного инструмента.

Алюминиевые сплавы, относящиеся к немагнитным материалам, имеют ряд особенностей при МАО, обусловленных отсутствием сил магнитного поля между поверхностью изделия и частицами порошка. Притяжение режущих частиц обеспечивается

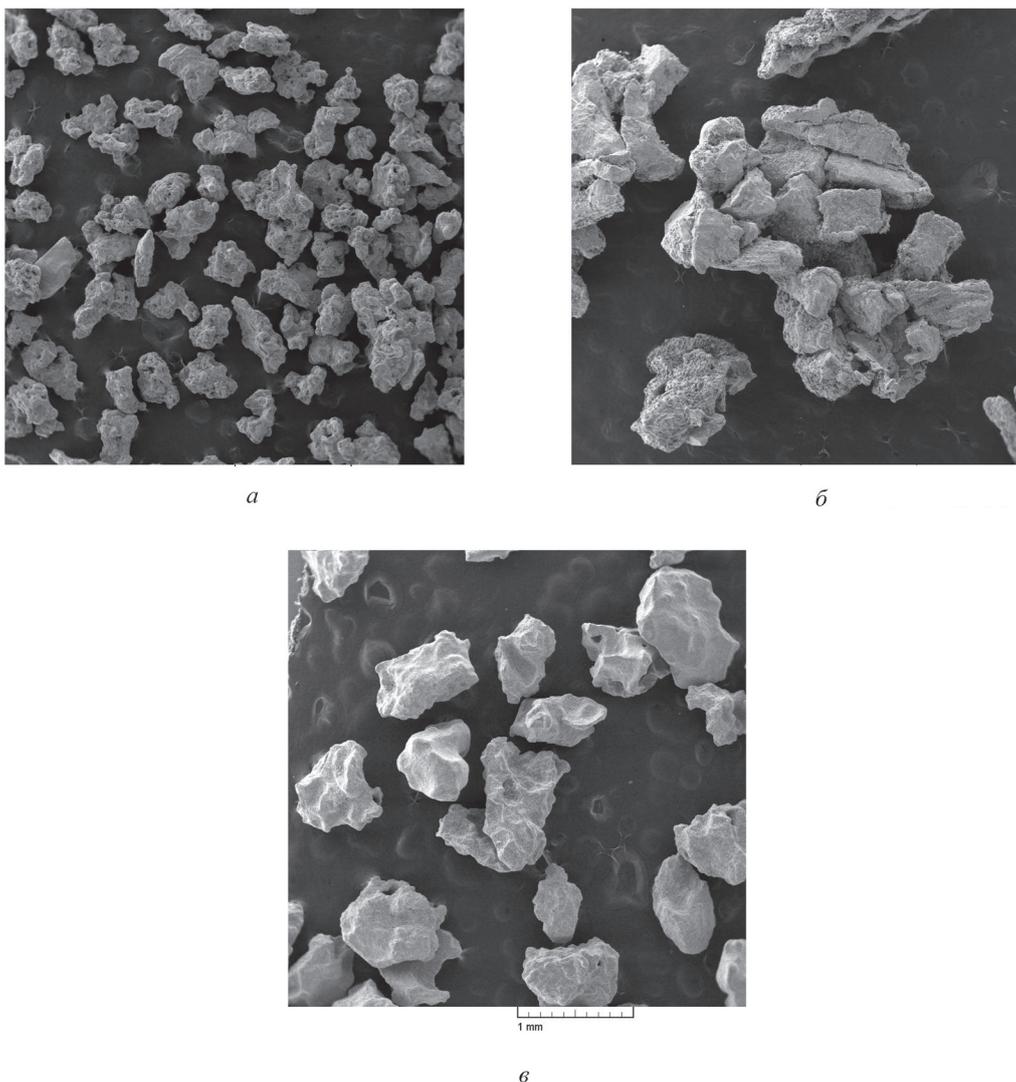


Рис. 2. Морфология ферроабразивных порошков: *а* – Ферабраз-310; *б* – МАП АСМ; *в* – Ж15КТ

только за счет внешнего магнитного поля, создаваемого электромагнитной системой (рис. 3). Для обеспечения требуемой производительности обработки используют различные методы, как, например, восстановление исходной плотности режущей щетки введением в рабочую зону добавочных ферромагнитных тел [6].

Установлено, что имеются определенные интервалы режимов обработки, при которых процесс съема металла значительно снижается или прекращается. Изменение производительности обработки в данном случае может быть объяснено теорией структурной приспособляемости металлов (СП), разработанной Б. И. Костецким [7]. Согласно теории СП, при нагружении в тонких поверхностных слоях протекает пластическая деформация, ориентированная относительно направления перемещения твердых тел, в результате поверхностный слой изменяет свои свойства и переходит в активированное состояние. Взаимодействие поверхности металла с внешней средой путем адсорбционного, диффузионного или химического взаимодействия способствует переходу ее из термодинамически неустойчивого состояния в пассивное состояние. Данные изменения в поверхностных слоях приводят к образованию новой фазы, так называемых вторичных структур, которые становятся объектом разрушения при последующей эксплуатации.

Как указывают авторы [8], варьируя такими характеристиками, как режимы обработки и состав СОТС, возможно осуществить изменение уровня износа трущихся тел в ту или иную сторо-

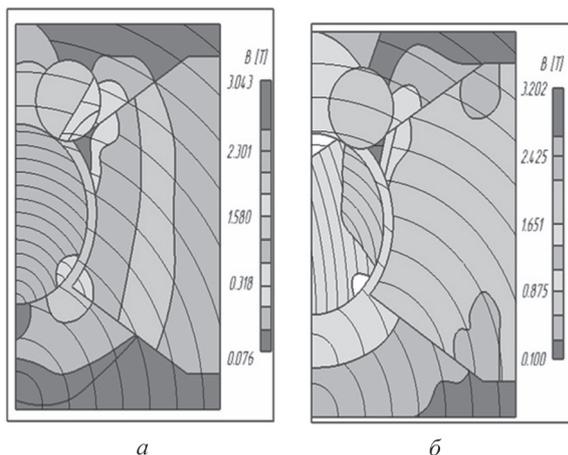


Рис. 3. Линии магнитного потока: *a* – в случае ферромагнитной заготовки; *b* – в случае немагнитной заготовки

если Al и создает химическое соединение  $Al_3C_2$ , то оно отличается от карбидов металлов переходной группы типа Ti, V, Cr, Ta, поскольку образуется за счет ковалентной связи и не характеризуется металлическими свойствами. Обладая «рыхлой» структурой, соединение  $Al_3C_2$  достаточно легко вымывается СОТС из рабочей зоны при соответствующих термодинамических условиях процесса MAO. Не принимающий участия в данной химической реакции остаточный углерод в виде графита гетеродиффундирует на ювенильные поверхности, образуемые в процессе обработки, но за счет последующего съема материала удаляется со стружкой. Таким образом, согласно [9], представлена картина взаимодействия ФАП с обрабатываемой поверхностью, однако она не является полной, поскольку при израсходованном запасе остаточного углерода в рабочем зазоре потемнение поверхностного слоя продолжается.

Объяснением данной причины перманентности потемнения алюминиевых сплавов является наличие в ФАП Ж15КТ железа, которое по сравнению с углеродом практически не растворяется в алюминии, так как известно, что при эвтектической температуре  $655\text{ }^\circ\text{C}$  его растворимость в алюминии не превышает 0,03 % [10]. Поэтому формируемая в процессе обработки структура эвтектики состоит из Al и темных включений  $Al_3Fe$ , более устойчивых к вымыванию из зоны резания по причине активного внедрения в поверхностный слой. Следовательно, для устранения данного эффекта необходимо провести коалесценцию получаемой эвтектики (образование избыточной фазы FeS и ее укрупнение), поскольку любое количество серы или ее соединений образует сульфид железа, инертный по отношению к алюминию и практически в нем не растворимый. Это позволяет эффективно выводить сульфид железа из рабочей зоны в виде шлама, обеспечивая высокую светоотражательную способность обработанной поверхности.

Известны составы СОТС (мас.%), которые нашли наибольшее применение при финишных методах обработки, например: нитрит натрия – 0,5–1,5; триэтаноламин – 3–12; триэтаноламиновое мыло олеиновой кислоты – 0,5–1,0; моноалкиловый эфир полиэтиленгликоля на основе первичных жирных спиртов фракции  $C_{10}$ – $C_{16}$  – 20–40 и остальное вода [11]. Данный состав характеризуется образованием шлама на поверхности детали, расслоением концентрата при хранении и нестабильностью свойств при длительной эксплуатации. Поэтому задачей повышения эффективности процесса MAO алюминиевых сплавов является разработка и создание СОТС, обеспечивающих рост качества и производительности изготовления деталей машин, требуемый уровень физико-химических характеристик при хранении, эксплуатации и утилизации данного комплексного соединения. Проведенные исследования [12] показали, что эффективными аналогами вышеуказанных СОТС служат отечественные продукты на основе сульфогрупп и их производных. Самим группам, в том числе и их фрагментам, присуща высокая солюбилизующая способность, что обеспечивает необходимые показатели смачивающего и моющего действия, стабильность концентратов и растворов и возможность приготовления в жесткой воде (4–6 мг·экв./л).

Установлено, что вторичные структуры имеют ультрадисперсное строение, метастабильны и являются твердыми растворами или химическими соединениями металлов и активных компонентов среды.

Кроме того, для изделий из алюминиевых сплавов, к которым предъявляются высокие требования к светоотражающей способности, существует проблема потемнения обработанной поверхности при MAO железосодержащими ФАП [9]. Хотя алюминий и его сплавы и относятся к некарбидообразующим элементам, он имеет менее достроенную *d*-электронную полосу по сравнению с железом, так как в Периодической системе элементов Д. И. Менделеева Al расположен левее Fe. Однако, согласно [10], именно такие элементы в сталях образуют карбиды. Поэтому,

Колебание загрязненности составов при обработке, связанной как с качеством технического сырья, так и с многократностью оборота цикла участия в процессе MAO поверхностей алюминиевых деталей, компенсируется широким интервалом pH, равным 8–10. Для решения поставленной задачи требуется создание нового вида СОТС, включающего в себя триэтаноламиновые эфиры синтетических жирных кислот фракции C<sub>7</sub>–C<sub>10</sub>, калиевые мыла олеиновой кислоты, нитрит натрия и воду, в который дополнительно вводится сульфэтоксилат натрия ТУ 6-01-1353–88 (обладает хорошей растворимостью в воде, придает высокую устойчивость водному раствору, имеет высокие пенообразующую и моющую способности). Предложенное сочетание компонентов позволяет получить материал с высокими эксплуатационными характеристиками и меньшими затратами по сравнению с известными аналогами.

Для проведения исследований приготовлены составы концентрата СОТС, физико-механические свойства которых представлены в таблице.

**Физико-механические свойства известного и предлагаемых составов**

Показатель	Состав СОТС			
	прототип [4]	I	II	III
Вязкость кинематическая при 50 °С, сСт	40,51	43,67	45,02	46,83
pH 3%-го раствора	8,7	9,0	8,3	8,5
Склонность к пенообразованию, см <sup>3</sup>	730	670	650	640
Устойчивость пенообразования, см <sup>3</sup>	160	135	160	150
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,09	0,87	0,94	1,00

Экспериментальные исследования известного [4] и предлагаемых составов СОТС проводились при следующих режимах и параметрах процесса MAO: магнитная индукция  $B = 1,0$  Т; скорость резания  $V_p = 2,5$  м/с; скорость осцилляции  $V_o = 0,15$  м/с; амплитуда осцилляции  $A = 1,0$  мм; величина рабочего зазора  $\delta = 1,0$  мм; время обработки  $t = 15–60$  с, ФАП Ж15КТ ТУ 6-03-09-483–81, размерность зерна  $\Delta = 200–315$  мкм.

В качестве образцов использовались втулки из алюминиевых сплавов АМг6 и Д16 ГОСТ 4784–97  $D \times d \times L = 36 \times 32 \times 32$  мм, которые крепились на ферромагнитной оправке. Исходная шероховатость поверхности образца  $Ra_1 = 1,25–1,60$  мм. При проведении исследований оценивались массовый съем материала ( $\Delta G$ , мг) и достигаемая шероховатость поверхности ( $Ra_2$ , мкм). Масса образцов определялась на весах аналитических ВЛА-200 м с точностью до  $\pm 0,001$  г, шероховатость поверхности образцов – на профилографе-профилометре мод. 250 «Калибр» посредством фиксации данных на профилограмме. Значение показателей для данных условий MAO устанавливалось как среднее арифметическое результатов измерений пяти образцов.

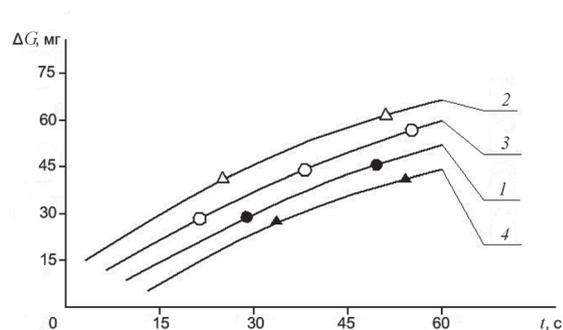


Рис. 4. Производительность обработки методом MAO алюминиевого сплава АМг6: 1, 2, 3 – соответственно составы СОТС I, II, III на основе сульфогрупп; 4 – состав [4]

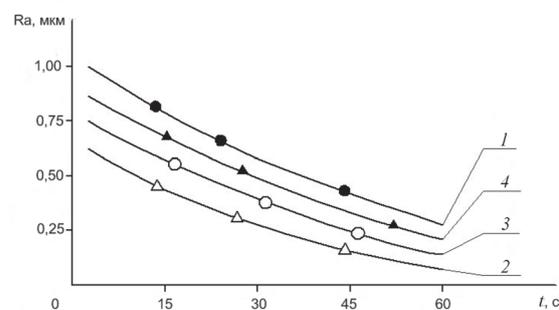


Рис. 5. Шероховатость поверхности после MAO алюминиевого сплава АМг6: 1–4 см. рис. 4

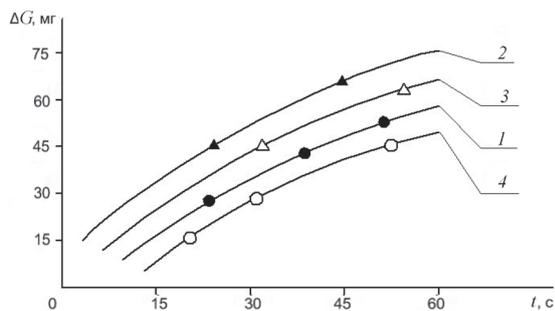


Рис. 6. Производительность обработки методом MAO алюминиевого сплава Д16: 1–4 см. рис. 4

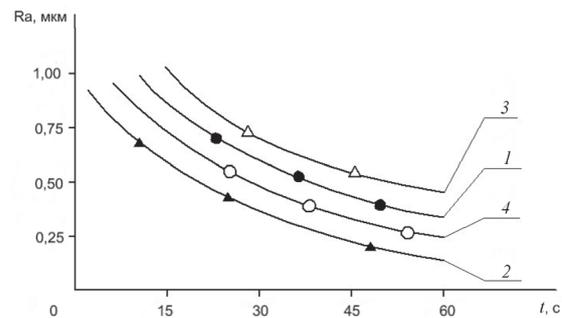


Рис. 7. Шероховатость поверхности после MAO алюминиевого сплава Д16: 1–4 см. рис. 4

Результаты MAO образцов с использованием известного и предлагаемых составов СОТС приведены на рис. 4–7. Как показывает их анализ, применение варианта СОТС состава II обеспечивает увеличение производительности процесса MAO в 1,1–1,35 раза и снижение шероховатости в 1,2–1,4 раза.

### Литература

1. Акулович Л. М., Сергеев Л. Е. Технология и оборудование магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей различного профиля. Мн., 2013.
2. Хомич Н. С. Магнитно-абразивная обработка изделий. Мн., 2006.
3. Fox M, Agrawal K, Shinmura T, Komanduri R. // Annals of CIRP. 1994. Vol. 43/1. С. 43–49.
4. Орлов Ю. Г., Дудецкая Л. Р., Сергеев Л. Е. // Весті НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 1997. № 2. С. 21–26.
5. Оликер В. Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий, М., 1990.
6. Сакулевич Ф. Ю. и др. А. с. 878523 (СССР) // Бюл. изобрет. 1981, № 41.
7. Костецкий Б. И. и др. Механохимические процессы при граничном трении. М., 1972.
8. Ящерцын П. И., Фельдштейн Е. Э., Корниевич М. А. Теория резания. Мн., 2005.
9. Сакулевич Ф. Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. Мн., 1981.
10. Гуляев А. П. Металловедение: Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. М., 1986.
11. А. с. 1162866 (СССР): МПК С 10 М 173/00. Концентрат технологической жидкости для шлифования материалов / М. П. Волков и др. № 3738517/23–04; заявл. 09.01.84; опубл. 23.06.85. Бюл. № 23.
12. Акулович Л. М., Сергеев Л. Е., Лебедев В. Я. Основы магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей. Мн., 2012.

L. M. AKULOVICH, L. E. SERGEEV, E. V. SENCHUROV

### LUBRICATING AND COOLING TECHNOLOGICAL MEANS ON THE BASIS OF SULFONATE GROUPS FOR MAGNETO-ABRASIVE PROCESSING OF ALUMINIUM ALLOYS

#### Summary

The problems arising during magnetic-abrasive machining of parts made of aluminum alloys using known cutting process are investigated. Formulation and composition of the lubricating and cooling technological means for magnetic-abrasive machining of parts made of aluminum alloys by introducing sulfosalicylate sodium are proposed. Analysis of the trials showed that compared to the known composition the use of the proposed composition of the lubricating and cooling technological tools than known compositions provided a improvement of the performance of the process of magnetic-abrasive machining by 1,1–1,35 times and reducing the roughness by 1.2–1.4 times.