

УДК 621.923

**СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО НА ОСНОВЕ НЕОНОЛА  
ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

*д-р техн. наук, проф. Л.М. АКУЛОВИЧ,  
канд. техн. наук, доц. Л.Е. СЕРГЕЕВ, В.Е. БАБИЧ, Е.В. СЕНЧУРОВ  
(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)*

Рассмотрены проблемы финишной обработки поверхностей деталей из алюминиевых сплавов с использованием смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) на основе поверхностно-активных веществ. Результаты проведенных исследований показали, что новый вид смазочно-охлаждающего технологического средства тройной организации, включающего производные синтетических жирных кислот, оксиэтилированные нонилфенолы (неонол), воду, отличающегося молекулярным строением от двухкомпонентных, обладает большей трибологической эффективностью, чем каждый из этих компонентов в отдельности. Установлена и обоснована рецептура и разработана технология приготовления состава смазочно-охлаждающего технологического средства для финишной обработки деталей из алюминиевых сплавов путем введения неонола как присадки. Анализ испытаний показал, что применение предлагаемого состава смазочно-охлаждающего технологического средства по сравнению с СинМА-1 обеспечивает увеличение производительности процесса магнитно-абразивной обработки в 1,5...1,6 раза и снижение шероховатости в 1,5...2 раза.

Структура адсорбционных слоев, образующихся при использовании СОТС во время финишной обработки, играет определяющую роль в процессе резания материалов. Одним из подходов к изменению структуры данных слоев, является применение неионогенных компонентов совместно с другими, например, с анионоактивными. Продукт неонол по общему определению относится к *n*-мерным простым эфирам на основе пространственно-затрудненного фенола, вследствие чего не подвергается предварительной очистке или фракционированию.

Поскольку технические оксиэтилированные вещества по таким свойствам, как диспергирующая способность, пенообразование, поверхностная активность не отличаются от очищенных, их использование в различных СОТС не требует очистки и является экономически выгодным. Получаемые из нефтехимического сырья синтетические жирные кислоты (СЖК), как правило, представляют собой смеси монокарбоновых кислот нормального и изотермического строения с некоторым числом атомов углерода при наличии примесей дикарбоновых соединений и полиэфирными молекулами неионогенных оксиэтилированных поверхностно-активных веществ (ПАВ). Аналогичная структура СЖК и неонола приводит к их сходному поведению в водном растворе. Как видно из изотерм поверхностного натяжения исследуемых продуктов (рис. 1) все они являются типичными ПАВ [1].

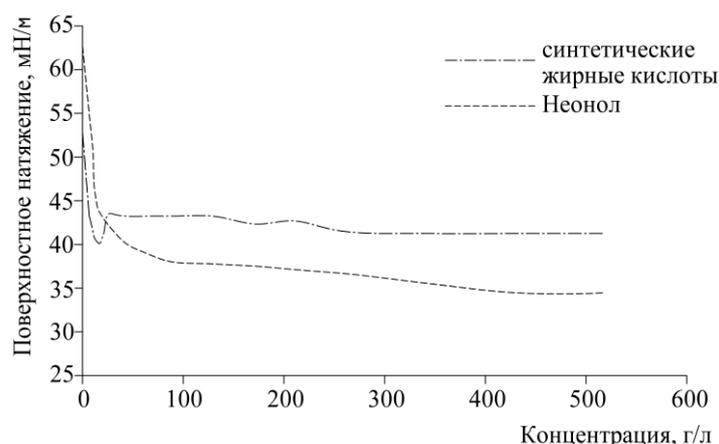


Рис. 1. Изотермы поверхностного натяжения неонола и СЖК

Благодаря высокой эффективности, экологичности и простоте ввода в рецептуры смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) оксиэтилированные нонилфенолы являются широко используемыми неионогенными поверхностно-активными веществами. Спектр их применения достаточно широк: текстильная и консервная промышленности, производство пластмасс, металлообработка и т.д.

Неонолы представляют собой техническую смесь полиэтиленгликолевых эфиров моноалкилдиолов следующего состава  $C_9H_{19}C_6H_4O(C_2H_4O)_nH$ , где  $C_9H_{19}$  – алкильный радикал изононил, присоединенный к динолу преимущественно в пара-положении к гидроксильной группе,  $n$  – усредненное число молей окиси этилена, присоединенное к одному молю алкилдиолов. Высокая поверхностная активность и моющая способность при низком удельном расходе и температуре замерзания ( $-25\text{ }^\circ\text{C}$ ) позволяют обеспечить многофункциональность применения этого композиционного материала. Также известно, что смеси неонола используются как индивидуально, так и в сочетании с кислотными соединениями в виде нефтеотмывающих ПАВ и дегазаторов емкостей в процессе их очистки приготовленными 3...5 % водными растворами. Данный продукт выпускается в соответствии с ТУ 2458-002-72795637-05 и имеет санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.01.03.245.П.047417.11.05 от 15.11.2005 г.

Рассмотрим влияние СОТС на процесс обработки резанием алюминиевых сплавов на примере одной из финишных операций в отрасли машиностроения, которой является магнитно-абразивная обработка (МАО) [2 – 4]. Ее особенностью служит возможность регулирования жесткостью инструмента, производящего размерный и массовый съем материала путем создания рабочей среды в виде ферромагнитной «щетки» с подвижно-координированными зёрнами, состоящей из ферромагнитного абразивного порошка (ФАП) и СОТС (рис. 2).

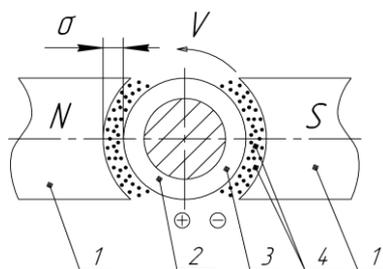


Рис. 2. Схема магнитно-абразивной обработки:

- 1 – полюсные наконечники; 2 – обрабатываемая заготовка; 3 – ферромагнитная оправка;  
4 – ферроабразивный порошок;  $\sigma$  – рабочий зазор;  $V$  – скорость вращения заготовки

Связкой для такого инструмента является энергия электромагнитного поля. Традиционно в качестве агентов СОТС используются ПАВ на основе СЖК. Высокий уровень моющих и смазывающих способностей этих веществ обеспечивает необходимые выходные качественные показатели поверхностного слоя деталей машин, однако, их режущая способность составляет более низкую величину в сравнении с эмульсолами. Это связано с тем, что наличие в зоне резания СОТС на основе эмульсола приводит к росту динамической и кинематической вязкости рабочей среды, в результате чего повышается коэффициент трения и уменьшается степень подвижности зёрен ферромагнитной «щетки». Однако стойкость инструмента ввиду его засаливания в данном случае резко падает в отличие от использования ПАВ. Такая ситуация носит негативный характер, поскольку МАО цветных металлов, в частности алюминиевых, как и в целом их механическая обработка, кроме указанных, имеет ряд других затруднений. Среди них следует выделить одну из основных проблем – вторичную диссипативную гетерогенность, в соответствии с которой в процессе трения контактирующих тел (обрабатываемый материал – инструмент) реализуется явление структурной приспособляемости. В результате осуществления этого явления все виды взаимодействия данных тел типа деформационно-адгезионных процессов, рассеивания энергии при ее переходе от зоны трения в объем материала локализуются в образующихся на их рабочих поверхностях тонкопленочных объемно-вторичных структурах (ВС) [5].

Вышеуказанные структуры выполняют защитные функции, ограничивая распространение взаимодействия внутри трущихся тел и снижая интенсивность данного взаимодействия в соответствии с принципом Ла Шателье – Брауна. Столь резкие изменения строения и структуры тонкого поверхностного слоя и в том числе ВС обусловлены исходным несовершенством структуры поверхности из-за общего искажения атомно-кристаллического строения металла.

Динамика структурных изменений, представляющих собой совокупность перехода материала в качественно иное состояние, связана с его максимальным упрочнением и оптимальной ориентацией зёрен. Поскольку прочность и плотность ВС характеризуются высоким уровнем сопротивления процессу резания, то требуется обеспечить наложение в рабочей зоне каких-либо дополнительных источников охлаждения, нагрева, изменения режимов обработки и т.п. для преодоления процесса протекания и образования ВС. Проведенные исследования показывают, что одним из вариантов данного решения служит структурирование системы ПАВ и создание нового вида СОТС не как бинарной, а более сложной, тройной организации, включающей производные СЖК, неонол и воду. Это обусловлено тем, что согласно [6],

смеси двух ПАВ, отличающиеся молекулярным строением (ионогенное в соединении с неионогенным), обладают большей трибологической эффективностью, чем каждый из этих компонентов, применяемых в отдельности. Объяснение связано, как указывалось ранее, с особенностями молекулярной структуры формируемого граничного слоя.

Площадь, необходимая для адсорбции молекулы ПАВ на поверхности, является мерой ее гидрофильности. Гидрофильные ПАВ образуют подвижную пленку, в которой молекулы находятся на большем поверхностном расстоянии, чем у гидрофобных ПАВ. Повышенное значение молекулярной площади такого продукта как неонол характеризуется высокой степенью гидрофильности и способностью связывать молекулы воды с большей эффективностью, чем, например, у других производных СЖК. Состав адсорбционных слоев в растворах смешанных анионоактивных и неионогенных ПАВ не идентичен полностью составу смеси и зависит от такого свойства ПАВ, как критическая концентрация мицеллообразования (ККМ). Наличие неанола снижает ККМ, но увеличивает поверхностное натяжение и, следовательно, вязкость адсорбционных слоев, что обеспечивает их стабильность и, определенным образом, имеет сходство с применением эмульсии. Фракция ПАВ, к которой относится неонол, обладая более низким показателем гомологического ряда ( $C_9-C_{13}$ ), характеризуется ростом диспергирующей способности при сохранении комплекса положительных свойств соединения. Следовательно, использование фракции неанола типа  $C_9-C_{13}$ , представляющего собой прозрачные маслянистые жидкости в отличие от других мазеобразных или твердых продуктов (фракции  $C_{16}$  и выше), позволяет при наличии синергетизма свойств не двойной, а более сложной тройной системы, обеспечить требуемую степень ее адсорбционной насыщенности. Таким образом, это объясняется повышенной гидрофильностью неионогенных ПАВ, каким является неонол, и малой эффективностью их ассоциации с молекулами анионоактивного компонента производных СЖК. Увеличение содержания связанной воды приводит к росту вязкости тройной системы, однако, ее уровень представляет собой оптимальную величину из-за такого содержания фракций производных СЖК, которое положительно сказывается на процессе финишной обработки алюминиевых сплавов. Адсорбционные свойства неанола, в отличие, например, от замещенных диоксановых спиртов, характеризуются большей в 3...5 раза длиной молекул при равных поверхностном натяжении, поверхностной активности и молекулярной площади (табл. 1). Это делает их крайне выгодным продуктом при создании композиций для финишной обработки с образованием требуемой эмульгирующей способностью и повышением диспергирующих свойств, что гарантирует высокое качество и производительность при финишной обработке алюминиевых сплавов.

Таблица 1

Адсорбционные свойства простых эфиров [1]

Исследуемый продукт	Молекулярная площадь, мм <sup>2</sup>	Длина молекулы, мм
Диоксанный спирт (1 сорт)	0,84	0,55
Диоксанный спирт (высший сорт)	1,07	0,43
Парафинат калия	0,68	0,53
Неонол	0,42	2,36

В результате этого была установлена рецептура и разработана технология приготовления состава СОТС путем введения неанола как присадки с определенным массовым содержанием и соединением компонентов. Обоснованием использования такого рода тройного состава служит проявление синергетизма режущей способности МАО алюминиевых сплавов. В таблице 2 представлены физико-механические свойства известного и предлагаемых составов СОТС.

Таблица 2

Физико-механические свойства известного (СинМА-1) и разработанных составов (1, 2, 3)

Показатель	Составы СОТС			
	СинМА-1	1	2	3
Вязкость кинематическая при 50 °С, сСт	40,51	39,60	41,26	42,11
рН 3 %-ного раствора	8,7	9,0	8,3	8,5
Склонность к пенообразованию, см <sup>3</sup>	490	530	510	500
Устойчивость пены, см <sup>3</sup>	150	110	210	180
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,09	1,04	1,10	1,12

Поскольку непосредственно динамичность граничного слоя исследовать не представляется возможным, то интенсификацию размерного и массового съема алюминиевых сплавов можно связать через ассоциативные показатели с ростом кинематической вязкости и плотности тройной системы СОТС. Рост кинематической вязкости приводит к сдвигу концентрационной зависимости гелеобразования СОТС и соответственно к увеличению коэффициента трения и уменьшению степени подвижности зерен ФАП. Вместе с тем сохранение высокой моющей способности тройного состава в отличие от эмульсолов обеспечивает уменьшение засаливания инструмента, а стабильность и устойчивость пенообразования способствует удалению продуктов износа из зоны обработки.

Исследования известного и разрабатываемых составов СОТС выполнялись на установке СФТ 2.150.00.00.000 при следующих параметрах и режимах MAO: магнитная индукция ( $B$ ) 1,1 Т; скорость резания ( $V_p$ ) 2,5 м/с; скорость осцилляции ( $V_o$ ) 0,12 м/с; амплитуда осцилляции ( $A$ ) 1 мм; величина рабочего зазора ( $\delta$ ) 1 мм; время обработки ( $t$ ) 45 с; ферроабразивный порошок (ФАП) – Ж15КТ ТУ 6-03-09-483-81, зернистость ФАП  $\Delta = 200 \dots 315$  мкм.

В качестве образцов использовались втулки из алюминиевых сплавов АМг6 и Д16 ГОСТ 4784-97, размеры  $D \times d \times L = 36 \times 32 \times 32$  мм, которые крепились на ферромагнитной оправке. Исходная шероховатость поверхности образца  $Ra_1 = 1,25 \dots 1,6$  мкм.

В процессе проведения исследований оценивался массовый съем материала ( $\Delta G$ , мг) и достигаемая шероховатость поверхности ( $Ra_2$ , мкм). Определение массы образцов производилось на весах аналитических ВЛА –200 м с точностью до  $\pm 0,001$  г. Исследование шероховатости поверхности образцов выполнялось 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. Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты магнитно-абразивной обработки алюминиевых сплавов

Составы СОТС	Обрабатываемый материал			
	АМг6		Д16	
	$\Delta G$ , мг	$Ra$ , мкм	$\Delta G$ , мг	$Ra$ , мкм
СинМА-1	40,0	0,36	47,0	0,43
1	43,0	0,37	49,0	0,34
2	50,0	0,22	62,0	0,27
3	45,0	0,41	52,0	0,38

Анализ данных таблицы 3 показывает, что применение варианта СОТС № 2, представленного в таблице 3, обеспечивает увеличение производительности процесса MAO в 1,5...1,6 раза и снижение шероховатости в 1,5...2,0 раза.

**Заключение.** На основе применения системного подхода и проведенных исследований по разработке нового вида СОТС для финишной обработки алюминиевых сплавов определена рецептура его приготовления и установлено повышение производительности процесса резания, обусловленной проявлением синергетизма режущей способности MAO алюминиевых сплавов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Структурная организация адсорбционных слоев анион-активных ПАВ в присутствии n-мерных простых эфиров / О.Р. Тухтаркина [и др.] // Структура и динамика молекулярных систем, Яльчик, 2001. сб. ст. VIII всерос. конф. – Йошкар-Ола-Уфа-Казань-Москва, 2002. – Ч.1. – С. 105 – 106.
2. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущего инструмента / Ю.М. Барон. – Л.: Машиностроение, 1986. – 236 с.
3. Сакулевич, Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки / Ф.Ю. Сакулевич. – Минск: Наука и техника, 1981. – 327 с.
4. Скворчевский, Н.Я. Эффективность магнитно-абразивной обработки / Н.Я. Скворчевский, Э.Н. Федорович, П.И. Ящерицын. – Минск: Навука і тэхніка, 1991. – 215 с.
5. Бершадский, Н.Я. Структурная термодинамика трибосистем / Н.Я. Бершадский. – Киев: «Знание», 1990. – 254 с.
6. Плетнев, М.Ю. О природе взаимодействия в растворе смесей неионогенных и анионных поверхностно-активных веществ / М.Ю. Плетнев // Коллоидный журнал. – 1987. – № 1. – С. 184 – 187.

Поступила 25.02.2009