

## Т Э Х Н І Ч Н Ы Я   Н А В У К І

УДК 621.778:621.91

*М. И. Зубрицкий, И. И. Злотников***ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СМАЗКИ  
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ**

*Изучено влияние поверхностно-активных веществ на физико-химические и эксплуатационные параметры эмульсии рапсового масла в мыльном растворе при использовании последней в качестве технологической смазки при волочении медной проволоки. Процесс волочения смоделирован на лабораторной машине трения типа «нить-диск». Найден оптимальный состав технологической смазки, обеспечивающий низкий, стабильный коэффициент трения и высокое качество поверхности получаемой проволоки.*

**Введение**

Процесс волочения является одним из методов обработки металлов давлением и заключается в том, что заготовка одинакового поперечного сечения протягивается через отверстие постепенно уменьшающегося сечения, причем сечение этого отверстия меньше поперечного сечения исходной заготовки. Применяемые при волочении **технологические смазки (ТС)** выполняют несколько функций, важнейшей из которых является уменьшение сил внешнего трения на контактирующих поверхностях в зоне деформации. Другая очень важная функция ТС – уменьшение износа волок. Для этого смазка должна предотвращать налипание металла на поверхность волок. При непрерывном процессе волочения происходит разогрев волочильного инструмента и деформируемого металла, поэтому ТС должна играть роль охлаждающей среды [1]. В этом плане наиболее эффективными являются водные и водомасляные эмульсии. Кроме того, воздействие ТС на деформируемый металл приводит к увеличению его пластичности в тонком поверхностном слое, практически не снижая предела упругости (пластифицирующее действие) [2]. Это очевидно влияет на чистоту поверхности обрабатываемого металла и изменяет ее микрорельеф. Дополнительно ТС должна обеспечивать смыв с поверхности волок и деформируемого металла частиц изнашивания и других загрязнений. Это обеспечивается при использовании ТС на основе мыльных растворов.

При волочении медной проволоки в настоящее время наиболее широко применяются смазки на водной основе, представляющие собой раствор мыла, содержащий в виде эмульсии минеральное или растительное масло [1], [3]. Повысить эффективность действия таких ТС и, соответственно, качество получаемой продукции позволяют различные функциональные добавки, вводимые в смазку. В частности введение в смазку **поверхностно-активных веществ (ПАВ)** позволяет значительно повысить стабильность водных ТС, снизить коэффициент трения, увеличить их проникающую и смазывающую способность [4].

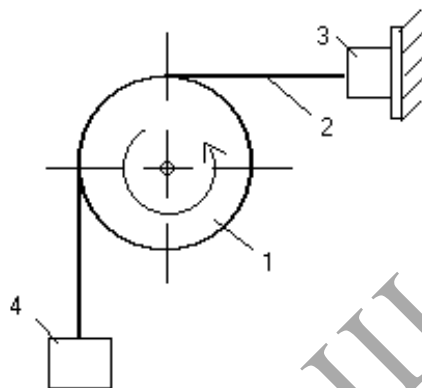
**Целью данного исследования** явилось изучение влияния ПАВ различного химического строения на физико-химические и эксплуатационные параметры эмульсии рапсового масла в мыльном водном растворе при использовании последней в качестве смазки для волочения медной проволоки.

**Материалы и методы исследования.** В качестве ПАВ использовали промышленно выпускаемые препараты – «Синтанол ДС-10» (полиэтиленгликолевый эфир высших жирных спиртов), «ОП-7» (оксипропилированный алкилфенол), «Эмульфор» (триэтаноламинавая соль олеиновой кислоты) и натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ). Исследуемые ПАВ в количестве 0,05–0,2 мас.% вводили в стандартную базовую ТС, предназначенную для среднего волочения медной проволоки и содержащую, мас.%: хозяйственное 60%-ное мыло – 1,2; рапсовое масло – 1,8 и воду – до 100 [1].

Эмульсію получали путем последовательного разведения мыла, ПАВ, а затем рапсового масла в горячей (60–80° С) воде с использованием механического перемешивания с помощью высокоскоростной лопастной лабораторной мешалки.

Стабильность полученных эмульсий определяли по времени, через которое на поверхности жидкости начинали появляться первые признаки выделяющегося рапсового масла.

Для определения эффективности использования ПАВ в составе ТС при волочении медного провода была использована специально изготовленная лабораторная установка (машина трения), работающая по схеме «диск-нить», схема которой представлена на рисунок 1. Данная установка позволяет в лабораторных условиях моделировать процессы, происходящие в зоне контакта проволоки и фильеры.



1 – диск, 2 – медная проволока, 3 – тензодатчик, 4 – груз

**Рисунок 1 – Схема машины трения**

Скорость скольжения при трении задавали путем изменения числа оборотов ролика (в данных экспериментах она составляла 1,6 м/с), нагрузку изменяли в пределах 1–10 Н путем изменения массы груза. Усилие трения измеряли тензометрическим методом. Для расчета коэффициента трения  $f$  использовали формулу Эйлера [5]:

$$T_2 = T_1 \exp(f\alpha),$$

где  $\alpha$  – угол обхвата нитью диска,

$T_1$  – сила натяжения в сбегавшей нити (равна весу груза),

$T_2$  – сила натяжения в набегающей нити (измерялась тензодатчиком).

В нашем случае угол обхвата  $\alpha = \pi/2$ , поэтому расчет вели по формуле:

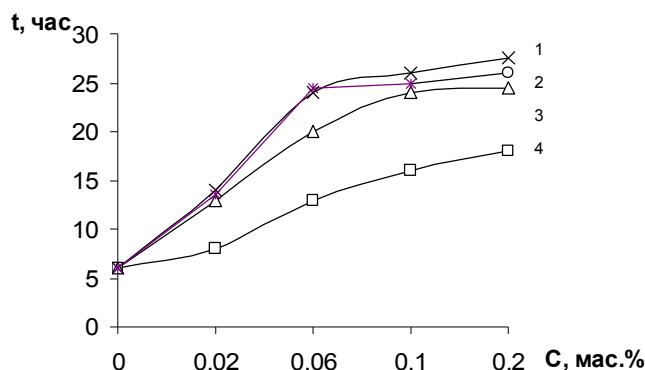
$$f = (2/\pi) \ln(T_2/T_1).$$

В качестве нити использовали проволоку диаметром 1 мм из меди марки М1. В качестве контртела (диска) была использована обойма из твердого сплава ВК6. Подача смазки в зону трения осуществлялась непрерывно капельным методом. Для оценки противозадирных свойств смазки измеряли шероховатость поверхности трения медной проволоки на профилографе «Калибр ВЭИ». Микротвердость медных образцов определяли по стандартной методике на приборе для измерения микротвердости ПМТ-3 при нагрузке 1 Н.

Для определения скорости растекания эмульсии по металлу каплю исследуемой жидкости наносили на поверхность плоского медного образца, промытого ацетоном или гексаном. Капли испытываемых жидкостей на поверхность образца наносили с помощью медицинского шприца с иглой диаметром 0,8 мм со срезанным и со шлифованным торцом. Диаметр капли в процессе растекания измеряли при помощи компаратора МИР-12 с точностью  $\pm 0,01$  мм. Замеры проводили через 1, 5, 10, 20 и 60 минут после нанесения капли.

**Результаты исследования и их обсуждение**

На рисунке 2 показано влияние добавки ПАВ на стабильность исходной мыльно-масляной эмульсии.

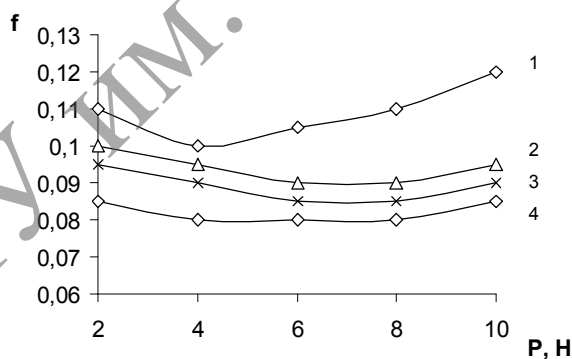


1 – ОП-7, 2 – Эмульфор, 3 – Синтанол ДС-10, 4 – Na-КМЦ

**Рисунок 2 – Влияние концентрации ПАВ на стабильность эмульсий**

Как следует из приведенных на рисунке данных, введение малых добавок ПАВ позволяет повысить стабильность эмульсий более чем в четыре раза и довести ее до 26 часов. При этом наименее эффективна в качестве стабилизирующей добавки оказалась Na-КМЦ и в дальнейших исследованиях она не применялась. На основании полученных данных были определены оптимальные концентрации ПАВ в эмульсии: 0,06–0,15 мас.%. Уменьшение концентрации менее 0,06 мас.% приводит к резкому снижению стабильности эмульсии, а увеличение сверх 0,15 мас.% мало влияет на стабильность, но приводит к необоснованному расходу дорогостоящих реагентов.

Дальнейшие исследования были направлены на изучение влияния ПАВ на смазочные свойства ТС. На рисунке 3 приведена зависимость коэффициента трения медной проволоки по сплаву ВК6 от нагрузки с использованием в качестве смазки базовой мыльно-масляной эмульсии, модифицированной различными ПАВ. Содержание ПАВ во всех экспериментах составляло 0,1 мас.%. Коэффициент трения снижается при введении ПАВ, особенно Эмульфора (2), и стабилизируется при изменении нагрузки.



1 – без ПАВ, 2 – Синтанол ДС-10, 3 – ОП-7, 4 – Эмульфор

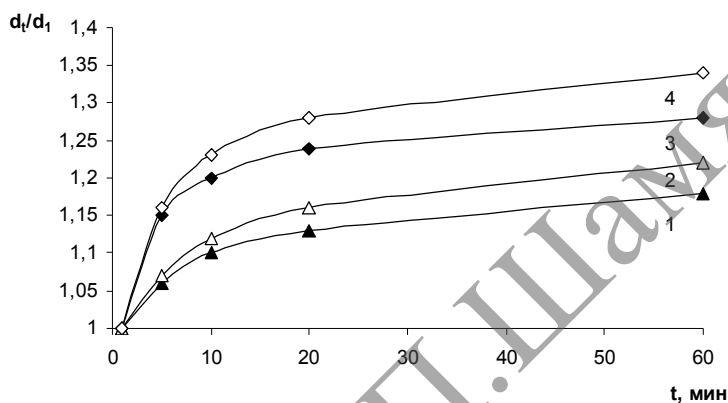
**Рисунок 3 – Коэффициент трения меди по сплаву ВК6 в зависимости от нагрузки и типа ПАВ, используемого в ТС**

Результаты, приведенные на рисунке 3, свидетельствуют о том, что введение ПАВ позволяет заметно снизить коэффициент трения, т. е. улучшить антифрикционные свойства ТС. Наибольший эффект дает применение в качестве ПАВ Эмульфора. Кроме того, введение ПАВ стабилизирует величину коэффициента трения при изменении нагрузки, что особенно важно для процессов волочения, так как нестабильность силы трения в канале фильеры приводит к ухудшению качества поверхности проволоки, непостоянству ее диаметра и даже обрывам. Положительное влияние малых добавок ПАВ на антифрикционные свойства ТС связано, в первую очередь, со способностью ПАВ повышать смачиваемость эмульсией поверхности металла,

что приводит к формированию в зоне контакта трущихся поверхностей разделительного слоя смазки, более прочно связанного с металлическими поверхностями. Кроме того, повышение смачивающей способности должно приводить к увеличению скорости растекания смазки по вновь образующимся поверхностям деформируемого металла, что способствует переходу процесса трения из режима граничного трения в гидродинамический.

Для подтверждения этого предположения были проведены эксперименты по оценке скорости растекания капель исследуемых жидкостей по поверхности металла. Результаты экспериментов представлены на рисунке 4 в виде зависимости безразмерного диаметра пятна растекания, равного  $d_t/d_1$  от времени;  $d_t$  – диаметр капли в момент времени  $t$ . В качестве диаметра сравнения  $d_1$  был принят диаметр пятна, образующегося через 1 минуту после начала опыта.

Как следует из рисунка 4, скорость растекания у мыльно-масляной эмульсии при добавлении Эмульфора примерно в 2 раза выше, чем у эмульсии без ПАВ.

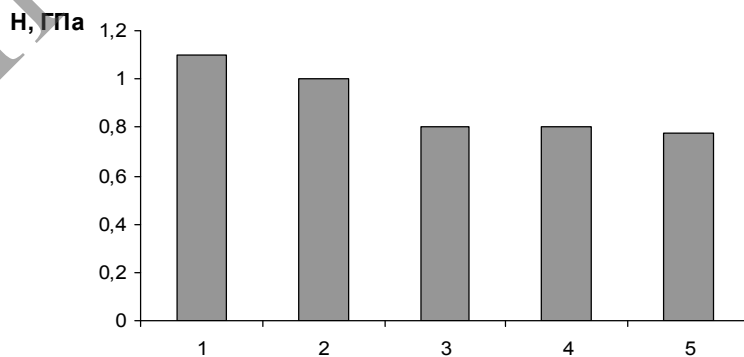


1 – без ПАВ, 2 – Синтанол ДС-10, 3 – ОП-7, 4 – Эмульфор

**Рисунок 4 – Влияние ПАВ на кинетику растекания ТС по поверхности меди в зависимости от типа используемых ПАВ**

Важным показателем любой смазочно-охлаждающей технологической жидкости является ее пластифицирующее действие на поверхность обрабатываемого металла [2], [6]. Оно заключается в том, что при воздействии ТС на деформируемый металл, практически не снижая предела упругости, увеличивается пластичность металла в очень тонком поверхностном слое.

Для изучения влияния разрабатываемой ТС на поверхностные свойства металлов проводили определение микротвердости полированных образцов, изготовленных из меди марки М1 после 1 ч выдержки в исследуемой жидкости. Результаты измерения микротвердости поверхности медного образца приведены на рисунке 5.



1 – медь исходная, 2 – эмульсия без ПАВ, 3 – Синтанол ДС-10, 4 – ОП-7, 5 – Эмульфор

**Рисунок 5 – Изменение микротвердости поверхности меди после обработки в эмульсии с различными ПАВ**

Заметное снижение микротвердости меди после обработки в эмульсии, содержащей различные ПАВ, свидетельствует об увеличении ее пластифицирующего действия.

Приведенные выше результаты исследования послужили основой для разработки новой ТС, предназначенной для грубого и среднего «мокрого» волочения медной проволоки. Состав разработанной смазки включает, мас. %: мыло 0,8–2,5; рапсовое масло 1,2–2,5; ПАВ 0,06–0,15 и воду – до 100. Для умягчения технической воды в нее рекомендуется вводить кальцинированную соду в количестве 0,02–0,2 мас. %. На состав смазки подана заявка на получение патента РБ (патентная заявка РБ № 20060902 от 14.09.2006 г.).

Свойства разработанной ТС приведены в таблице. Для сравнения была испытана стандартная ТС, которая использовалась в качестве базовой смазки.

Таблица – Свойства смазок

Показатель	Разработанная	Известная
Коэффициент трения	0,08–0,10	0,10–0,12
Шероховатость поверхности трения меди, мкм	0,32–0,38	0,45–0,50
Стабильность эмульсии через 24 ч	стабильна	расслаивание

Как следует из представленных в таблице данных, новая ТС для волочения медной проволоки обладает более высокими показателями, чем известная. Кроме того, при использовании новой смазки на контртеле (диске) не обнаружено следов налипания меди. Разработанная ТС состоит на 95–97% из воды, не содержит в своем составе токсичных компонентов – экологически- и пожаробезопасна, не требует для проведения утилизации специальных мероприятий и оборудования.

#### Выводы

Моделирование процесса волочения проволоки на машине трения типа «нить-диск» позволяет по величине коэффициента трения оптимизировать составы ТС, что способствует обеспечению высокого качества получаемой проволоки. В частности установлено, что введение ПАВ в эмульсии рапсового масла в мыльном растворе позволило получить ТС для операций грубого и среднего волочения медной проволоки, характеризующуюся высокой стабильностью и обеспечивающую низкий коэффициент трения и высокое качество обрабатываемой поверхности.

**Список обозначений и сокращений.** ТС – технологическая смазка, ПАВ – поверхностно-активное вещество,  $T$  – сила натяжения нити,  $\alpha$  – угол обхвата нитью диска,  $t$  – время,  $C$  – концентрация,  $f$  – коэффициент трения,  $P$  – нагрузка,  $d_t$  – диаметр капли в момент времени  $t$ ,  $d_1$  – диаметр капли через 1 мин,  $H$  – микротвердость.

#### Литература

1. Брабец, В. И. Проволока из тяжелых цветных металлов. Справочник / В. И. Брабец. – М. : Металлургия, 1984. – 296 с.
2. Ребиндер, П. А. Поверхностные явления в твердых телах в процессах из деформации и разрушения / П. А. Ребиндер, Е. Д. Шукин // Успехи физических наук. – 1972. – Т. 108, вып. 1. – С. 3–42.
3. Лоплива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение : справ. / под ред. В. М. Школьников. – М. : Техинформ, 1999. – 596 с.
4. Абрамзон, А. А. Поверхностно-активные вещества / А. А. Абрамзон, Л. П. Зайченко, С. И. Файнгольд. – Л. : Химия, 1988. – 200 с.
5. Беркович, И. И. Исследование фрикционного взаимодействия нити с цилиндрической поверхностью / И. И. Беркович, Б. И. Забродин // Трение и износ. – 1980. – Т. 1. – № 6. – С. 1029–1038.
6. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием / под ред. С. Г. Энгелиса, Э. М. Берлинера. – М. : Машиностроение, 1995. – 524 с.

#### Summary

The drawing process was simulated on the wear machine of disc-fiber type in order to optimize formulations of water-based lubricating compositions.

Поступила в редакцию 27.03.08.