

Капиллярный механизм смазочного действия водомасляных микроэмульсий в условиях лезвийного резания

В.В. Марков, В.А. Годлевский, доктора техн. наук, Е.В. Киселева, ассист.

Предложена механико-вероятностная модель, позволяющая качественно объяснить эффективность мелкодисперсных эмульсий в формировании граничного смазочного слоя на этапе проникновения. Раскрывается роль поверхностных явлений при уменьшении размера частиц смазочно-охлаждающих технологических средств.

Ключевые слова: дисперсность, микрокапиллярная теория, поверхностная энергия.

Capillary Mechanism of Lubricant Action of Water oil Microemulsions in Edge Cutting Conditions

V.V. Markov, Doctor of Engineering, V.A. Godlevskiy, Doctor of Engineering, E.V. Kiseleva, Assistant

The authors offer the mechanical-probabilistic model, which allows to explain efficiency of small disperse emulsions in formation of a boundary lubricant layer qualitatively on the penetration stage. The article shows the role of the superficial phenomena in reducing the particles size of technological lubrication-cooling means.

Key words: dispersion, the micro capillary theory, superficial energy.

Известно, что приготовление водоземulsionных смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) с использованием интенсивного диспергирования существенно повышает триботехнические характеристики этого смазочного материала при операциях лезвийного резания.

Возможности влияния способа и интенсивности перемешивания компонентов на этапе приготовления СОТС в достаточной мере не реализованы на практике, в особенности это касается гетерогенных композиций, таких как эмульсии и суспензии. Результатами работ в этом направлении могут быть снижение себестоимости, повышение производительности обработки, повышение качества обработанных поверхностей, снижение энергозатрат.

Кроме того, исследование процессов, происходящих в жидкой смазочной среде, на этапах приготовления СОТС и собственно в процессе резания дает возможность выявить фундаментальные закономерности механизмов смазочного и противоизносного действия внешней среды в процессах обработки резанием.

Предполагается, что объяснение этих результатов можно найти в области механохимии, однако детальный механизм этого явления до сих пор не вполне ясен. Анализ специфики возможных моделей смазочного действия микродисперсных эмульсий показывает, что возможно проявление следующих эффектов:

1) влияние размера частиц на механическую кинетику проникновения дисперсной фазы в контактную зону;

2) воздействие избытка поверхностной энергии дисперсной системы на ее теплофизические характеристики;

3) изменение химической кинетики процесса образования адсорбционного граничного смазочного слоя.

Неисключено, что все три перечисленных выше механизма действуют в реальном процессе резания. Рассмотрим ниже наиболее простой механизм, который может быть объяснен в рамках микрокапиллярной модели контакта между стружкой и инструментом [2]. Проникающая способность является одной из основных характеристик СОТС. От того, насколько близко к зоне контакта проникнет смазка, зависит эффективность используемой смазочной композиции.

Каналом проникновения смазки на границу раздела «стружка-инструмент» является динамическая сеть межповерхностных капилляров. При этом капиллярный поток смазки, движущийся по границе раздела между передней поверхностью инструмента и стружкой от зоны отрыва стружки к режущей кромке, является наиболее триботехнически значимым.

Единичный капилляр можно представить в виде цилиндра, один конец которого закрыт. Такой капилляр имеет характерные размеры r и l . Если длина капилляра l не является доминирующим фактором, то его радиус r может ограничивать размеры проникающих в капилляр дисперсных частиц, входящих в состав СОТС. Наличие крупных частиц снижает вероятность эффективного заполнения капиллярной сети трибоактивной фазой. Покажем, как принципиально отличается характер проникновения в капиллярную сеть эмульсионных СОТС при различных соотношениях размера частиц масляной фазы R и радиуса капилляра r .

Случай 1. Крупные частицы ($R \gg r$).

Пусть в какой-то момент времени контактная зона имеет N_k капилляров, у каждого из которых открытый конец обращен в сторону смазочной среды. Поскольку частицы масляной фазы крупные, часть капилляров будут заполнены исключительно масляной фазой, а оставшаяся

их часть – только лишь водой (рис. 1, а). Пропорция между этими частями будет соответствовать концентрации c масла в воде. Поскольку трибоактивный компонент будет действовать только в N_k -с капилляров, коэффициент сопротивления сдвигу в такой капиллярной системе будет пропорционален числу капилляров, заполненных маслом, и это будет отражено в величине кажущегося коэффициента трения стружки по передней поверхности.

Случай 2. Мелкие частицы ($R \ll r$).

В данном случае в каждый капилляр обязательно попадут и масло и водная фаза. Поскольку для адсорбции масляной фазы ее необходимо немного, чтобы покрыть всю поверхность, то граничный смазочный слой будет образован масляной фазой в каждом капилляре (рис. 1, б).

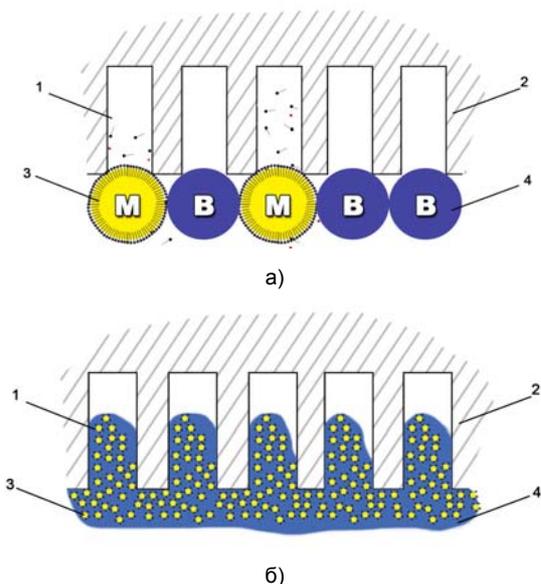


Рис. 1. Механизм проникновения эмульсии: а – диаметр масляной фазы больше диаметра капилляра; б – диаметр масляной фазы меньше диаметра капилляра; 1 – единственный капилляр; 2 – сеть капилляров между поверхностью стружки и передней поверхностью инструмента; 3 – масляная фаза; 4 – водная фаза

Согласно нашей гипотезе, сопротивление сдвигу будет находиться в прямой зависимости от следующих факторов:

$$\Psi = f(N_k; C; d; r), \quad (1)$$

где Ψ – коэффициент сопротивления сдвигу; N_k – количество открытых капилляров на межфазной границе в данный момент времени; c – концентрация масляной фазы; d – дисперсность частиц; r – радиус капилляра.

Рассмотрим энергетический аспект изучаемой нами проблемы. В гетерогенных системах одна из фаз представляет собой сравнительно крупные частицы, поверхность раздела фаз невелика. В таких системах поверхностные явления практически не проявляются. По мере уменьшения размеров частиц вещества одной из фаз возрастает абсолютная величина поверхности раздела и поверхностные свойства приобре-

тают все большее значение. Поверхностные явления связаны с наличием избыточной энергии у поверхности раздела фаз.

Дисперсность D масляной фазы в СОТС линейно связана с удельной поверхностью $S_{уд}$ для шарообразных частиц, m^{-1} :

$$S_{уд} = nS_0 = \frac{4\pi r^2}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{3}{r} \quad (2)$$

где n – число частиц; S_0 – поверхность каждой частицы.

Фактором интенсивности при определении поверхностной энергии является поверхностное натяжение. Для гетерогенной системы полное изменение внутренней энергии (изобарно-изотермный потенциал Гиббса) будет записываться следующим образом [4]:

$$dU = TdS - pdV + \sigma ds + \sum_i \mu_i dn_i + \varphi dq, \quad (3)$$

где dU – изменение внутренней энергии; T – температура; dS – изменение энтропии; p – давление; dV – изменение объема; σ – поверхностное натяжение; ds – изменение площади поверхности; μ_i – химический потенциал компонента i ; dn_i – изменение количества вещества компонентов; φ – электрический потенциал; dq – изменение заряда. При постоянных S , V , n_i и q имеем

$$\sigma = \left(\frac{dU}{ds} \right)_{S, V, n_i, q}, \quad (4)$$

т.е. поверхностное натяжение есть частная производная от внутренней энергии по площади поверхности раздела фаз при постоянных энтропии, объеме, количестве вещества и заряде.

Допустим, что размер частиц крупнодисперсной эмульсии составляет 100 мкм, а мелкодисперсной 1 мкм (что примерно соответствует нашим экспериментальным данным). Поверхностное натяжение на границе «масло–вода» составляет $0,0336 \text{ Дж/м}^2$. Тогда будет происходить изменение поверхностной энергии, связанной с совершением работы против сил внутреннего давления (рис. 2).

Эта запасенная энергия влияет на физико-химическую кинетику многоступенчатого смазочного процесса, описанного в микрокапиллярной модели смазочного действия СОТС.

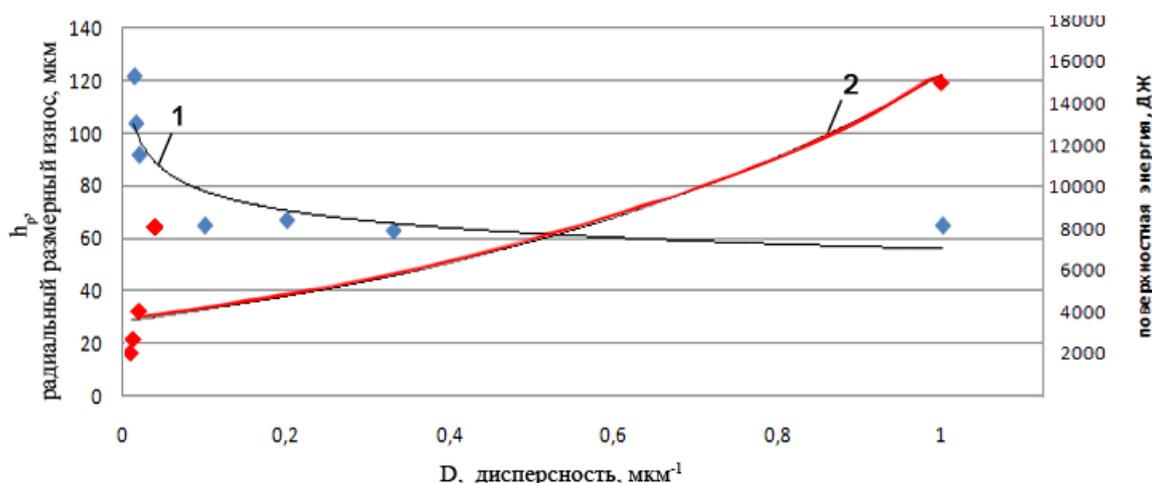


Рис. 2. Корреляция между поверхностной энергией системы и износом инструмента: 1 – зависимость износа инструмента от дисперсности; 2 – зависимость поверхностной энергии от дисперсности эмульсии (точение стали 12Х18Н10Т резами ВК8; режимы резания: скорость резания $v = 270$ м/мин; подача $s = 0,1$ мм/об.; глубина резания $t = 0,5$ мм)

При увеличении межфазной поверхности ускоряются различные физико-химические явления, в том числе облегчается испарение. При быстром испарении больше времени будет оставаться на заполнение капилляра, образование адсорбционного граничного слоя. Согласно данным теоретическим предположениям проведен ряд практических экспериментов. В качестве обрабатываемых материалов применялись нержавеющая сталь 12Х18Н10Т и сталь 45. В качестве инструментального материала использовались резцы ВК8 и Р6М5 соответственно. Применение мелкодисперсной СОТС позволяет существенно снизить износ режущего инструмента. Полученные экспериментальные данные подтверждают, что специальная технология приготовления по получению мелкодисперсных СОТС позволяет до двух раз снизить величину размерного износа для резцов из твердого сплава ВК8 при точении стали 12Х18Н10Т. Сравнение величин износа режущего инструмента по задней поверхности h_3 показывает, что применение активированной СОТС сокращает величину h_3 до трех раз.

В результате исследований величины шероховатости и износа инструмента в исследуемом диапазоне режимов резания выявлено, что

мелкодисперсные СОТС позволяют до 40 % снизить величину размерного износа для резцов Р6М5 при точении стали 45. Сравнение величин износа режущего инструмента по задней поверхности h_3 показывает, что диспергированная СОТС сокращает величину h_3 до двух раз.

Сравнительные результаты измерений шероховатости обработанных поверхностей показали, что диспергированная СОТС позволяет снизить величину шероховатости R_a до 35 %.

Полученные экспериментальные данные и ряд других говорят об эффективном формировании граничного смазочного слоя и подтверждают предложенную теоретическую модель.

Список литературы

1. Чулок А.И., Энтелис С.Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием. – М.: Машиностроение, 1995. – 496с.
2. Проникающая способность СОТС как фактор эффективности процесса обработки резанием / В.А. Годлевский, В.Н. Латышев, А.В. Волков, Л.Н. Маурин / Трение и износ. – 1995. – Т.16. – № 5. – С. 938–949
3. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. – Л.: Химия, 1984. – 146 с.
4. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур. – М.: Наука, 1966. – С. 53–66.

Марков Владимир Викторович,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор кафедры технологии автоматизированного машиностроения,
телефон (4932) 26-97-72.

Годлевский Владимир Александрович,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук профессор кафедры экспериментальной и технической физики,
адрес: 153025, г. Иваново, ул. Ермака, 39,
телефон (4932) 42-30-51,
e-mail: gold@yandex.ru

Киселева Елена Валерьевна,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
ассистент,
e-mail: admin@tes.ispu.ru