

УДК 621.9

И.Л. Лаптев, В.М. Тихонов

ТЕХНОЛОГИЯ И АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ПОДАЧИ ВОДОСМЕШИВАЕМЫХ СОЖ В МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены вопросы приготовления эмульсионных СОЖ как сложных коллоидных систем. Приведен анализ технологического оборудования для приготовления. Сформулированы основные требования к технологии и оборудованию для приготовления СОЖ, предложен вариант автоматизированной технологической системы приготовления и подачи СОЖ.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающие жидкости, металлообработка, технология, система приготовления.

Водосмешиваемые смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) в современном машиностроительном производстве являются основным средством охлаждения и смазки зоны резания.

Водосмешиваемые СОЖ структурно представляют собой сложные коллоидные (дисперсные) системы, основной коллоидно-химической характеристикой которых является дисперсность. Эти системы гетерогенны, состоят из двух и более фаз: дисперсной фазы и дисперсионной среды, имеющих жидкое агрегатное состояние. Упрощенная структура водосмешиваемых СОЖ (эмульсий «масло в воде») в общем случае представляет собой дисперсию компонентов масляной фазы, состоящей из молекул органических масел и окруженных молекулами поверхностно-активных веществ (ПАВ), в воде. Синтетические СОЖ по своей структуре ближе к химическим растворам (рис. 1), полусинтетические жидкости имеют промежуточную (или смешанную) структуру.

Водосмешиваемые СОЖ соответствуют основным закономерностям поведения коллоидных систем, и, следовательно, накопленный опыт приготовления подобных систем, наряду с опытом действующих в металлообработке систем приготовления СОЖ, должен быть использован при разработке и внедрении технологии и средств оснащения систем приготовления с учетом особенностей функционирования коллоидной системы при воздействии высоких температур и давлений в процессе резания металлов.

Приготовление эмульсий в коллоидной химии можно представить как результат двух конкурирующих процессов - диспергирования и коалесценции. Теоретически процесс диспергирования не изучался так глубоко, как кинетика коалесценции. Внутрифазовое диспергирование – «быстрый» процесс по сравнению с коалесценцией, протекающей минуты, часы и даже месяцы. Получение метастабильных эмульсий с формированием большого числа капель дисперсной фазы в дисперсионной среде (процесс диспергирования) может осуществляться двумя методами: выращивание капель требуемых размеров из центра каплеобразования и дробление больших капель под действием внешней нагрузки.

На практике приготовление водосмешиваемых СОЖ осуществляется методом дробления в два этапа: дозирование компонентов и их предварительное смешивание с получением грубодисперсной эмульсии, а затем ее диспергирование до получения капель масляной фазы требуемых размеров. Чем меньше размер капель масляной фазы, тем выше качество эмульсии (седиментационная устойчивость, проникающая способность). Минимальный размер получаемых капель, чаще всего, определяется техническими возможностями диспергатора).

Для предварительного перемешивания компонентов эмульсионных СОЖ используют механическое перемешивание и перемешивание сжатым воздухом (барботирование). Однако при этом образуется грубодисперсная седиментационно - неустойчивая эмульсия. В процессе приготовления некоторые тяжелые нефтепродукты, входящие в состав эмульсии, практиче-

ски не эмульгируют, образуя вспененную воздухонепроницаемую "шапку", которая создает (при отсутствии периодического барботирования) благоприятные условия для развития анаэробных бактерий, что резко сокращает срок службы СОЖ, особенно в летнее время.

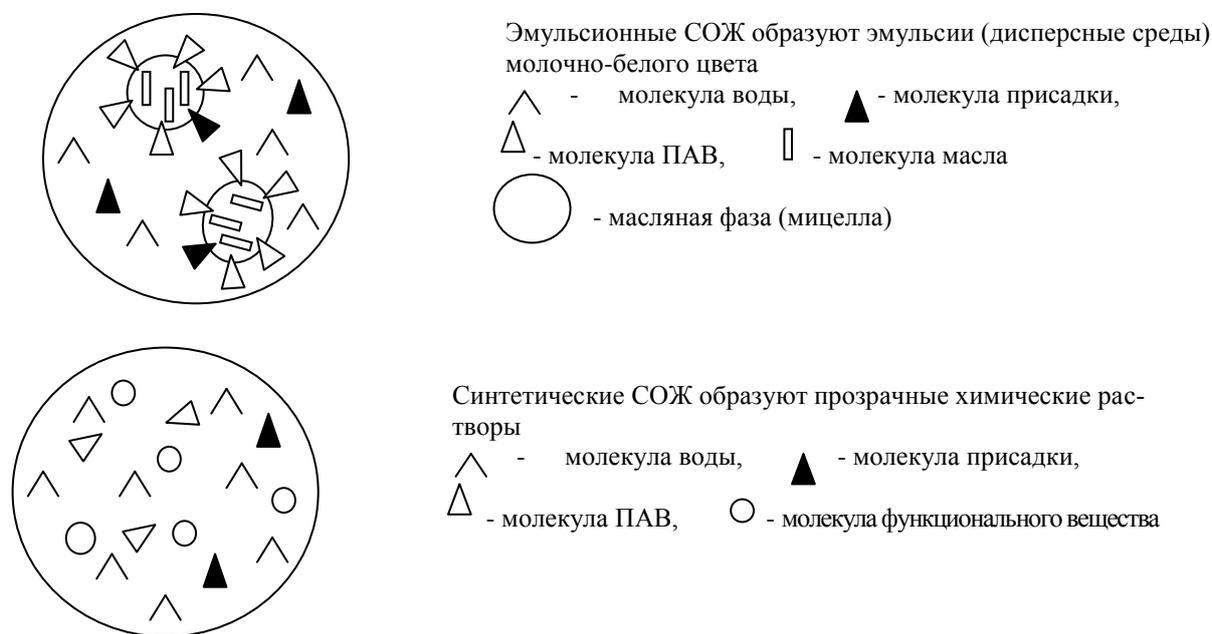


Рис. 1. Структура водосмешиваемых СОЖ

Более качественное диспергирование обеспечивается средствами технологического оснащения (СТО) с наложением низко- и высокочастотных колебаний. К ним относятся ультразвуковые свистки, пьезоэлектрические и гидродинамические генераторы различных конструкций. Однако в производственных условиях применение известных конструкций гидродинамических смесителей вызывает ряд трудностей, обусловленных образованием застойных зон в смесительных емкостях и наличием механических примесей в поставляемых эмульсиях. Из-за этого происходят частые отказы генераторов различных типов, особенно с подвижными элементами и узкими проходными сечениями.

Для приготовления СОЖ может использоваться ряд диспергаторов непрерывного действия: гидродинамические смесители, работающие на основе создания акустических колебаний пульсирующего между ротором и статором потока жидкости; проточно-кавитационные смесители; гомогенизаторы, использующие высокое давление (до 35 МПа) для продавливания диспергируемой среды через малые отверстия; роторные аппараты с модуляцией потока.

При реализации этих методов имеются большие трудности в дозировании компонентов эмульсий, в автоматизации работы системы приготовления, в обеспечении этой системы целым рядом специальных насосов.

Общие недостатки устройств для приготовления, выявленные в результате обобщения теоретических и производственных данных:

- возможность дестабилизации эмульсии при выполнении диспергирования в баке приготовления, при хранении готовой СОЖ в баке раздающем, при наличии застойных зон в проточных диспергаторах;
- дополнительные затраты энергии и операционного времени при многократном цикле прохождения эмульсии через диспергирующее устройство;
- необходимость предварительного дозирования и смешивания составных компонентов эмульсии перед подачей в диспергатор;

- использование дополнительных устройств (насосов) для подачи в диспергатор компонентов или предварительно смешанной эмульсии и для подачи эмульсии к металлорежущему оборудованию.

Эти недостатки затрудняют использование в производстве имеющиеся конструкторские решения и вызывают необходимость использования оригинальных решений.

В результате анализа теоретических исследований в области приготовления дисперсных систем сформирован комплекс физико-химических факторов, влияющих на образование эмульсии.

1. Качество и количество эмульгатора, способ введения эмульгатора в эмульсию. Данный фактор закладывается в процессе разработки и производства концентрата. В промышленных условиях, когда для приготовления СОЖ используется готовый концентрат, этот фактор может не рассматриваться.

2. Способ введения дисперсной фазы. Исследования показывают лучшие результаты эмульгирования (размер частиц, разброс дисперсности) при введении масляной фазы в водную среду.

3. Время эмульгирования. Установлено, что продолжение перемешивания сверх оптимального времени мало улучшает качество эмульсий. Например, при ультразвуковом эмульгировании средние размеры капель уменьшаются очень быстро в течение нескольких секунд и постепенно достигают предельного значения (рис.2). Таким образом, если время перемешивания больше оптимального, то затраты мощности оказываются невыгодными. Аналогичные результаты (например, приготовление прерывистым встряхиванием в пробирке - рис. 3) показывают все методы приготовления.

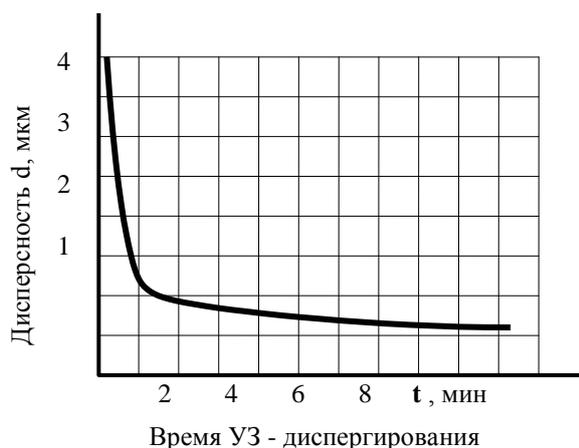


Рис. 2. Влияние времени диспергирования на размер капель масляной фазы

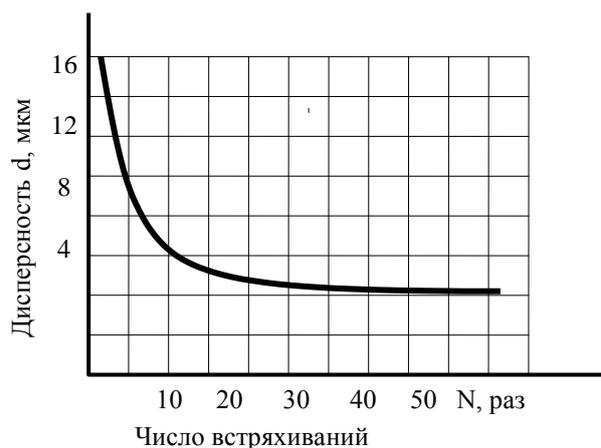


Рис. 3. Влияние числа встряхиваний на размер капель масляной фазы

4. Интенсивность перемешивания. Влияние данного параметра достаточно подробно изучено для пропеллерных мешалок. При неизменных физико-химических характеристиках смешиваемых жидкостей и той же самой аппаратуре лучшие результаты получены для более быстрого перемешивания. Одним из наиболее перспективных направлений является применение интенсификации турбулентного перемешивания с наложением на обычные процессы смешивания кавитационно-кумулятивного воздействия. Эффект воздействия от схлопывания кавитационных пузырьков и образования микровихрей позволяет получать высокую (вплоть до молекулярного уровня) однородность обрабатываемых сред.

Для реализации современной технологии приготовления сформирован комплекс требований к технологическому процессу и средствам оснащения приготовления водосмешиваемых СОЖ:

1. Отсутствие промежуточных баков для приготовления или хранения готовой СОЖ,

являющихся источником биопоражения, отсутствие застойных зон (камер) в диспергирующих устройствах.

2. Прямоточность (без повторяющихся операций и многоступенчатой обработки) процесса перемешивания и диспергирования СОЖ.

3. Комплексное (при сочетании различных способов) воздействие на дисперсную фазу и дисперсионную среду.

4. Возможность автоматизации процесса, защита технологического процесса приготовления от неквалифицированного вмешательства.

5. Отсутствие непосредственного контакта работника с ингредиентами СОЖ - санитарно-гигиеническое требование.

6. Возможность концентрации технологических операций и переходов приготовления и подачи СОЖ в единице оборудования.

7. Высокая степень гибкости оборудования - минимальное время переналадки оборудования при изменении требований к составу и характеристикам используемой СОЖ.

В результате направленного поиска метода диспергирования, во-первых, соответствующего перспективному принципу интенсификации турбулентного трения с высокой степенью кавитации и, во-вторых, с возможностью сочетания процесса диспергирования с напорной подачей приготовленной СОЖ предлагается схема диспергатора (гомогенизатора), базирующегося на принципе работы лабиринтно-винтовых насосов и импеллеров.

Схема воздействия на компоненты СОЖ основывается на многократном пересечении элементарных ячеек (рис. 4), образованных разнонаправленными многозаходными нарезками ротора и статора. В процессе относительного перемещения ротора и статора рабочая нагрузка, передаваемая ротором на объем жидкости в микроячейке, складывается из двух составляющих: подающей (перемещение СОЖ вдоль оси ротора) и сдвигающей (перпендикулярно оси основного движения). При этом рабочая нагрузка заставляет смешиваемые жидкости двигаться вдоль оси насоса со скоростью $V_{ж} = Q / F_{пр}$ и совершать движение с окружной скоростью $V = V_{ж} \operatorname{tg} \alpha$. Развертка поверхностей ротора и статора приведена на рис. 5 (Q - расходная характеристика насоса, $F_{пр}$ - площадь проходного сечения, α - угол подъема нарезки ротора).

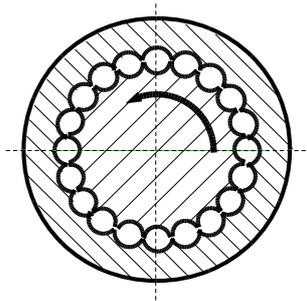


Рис. 4. Торцовое сечение гомогенизатора

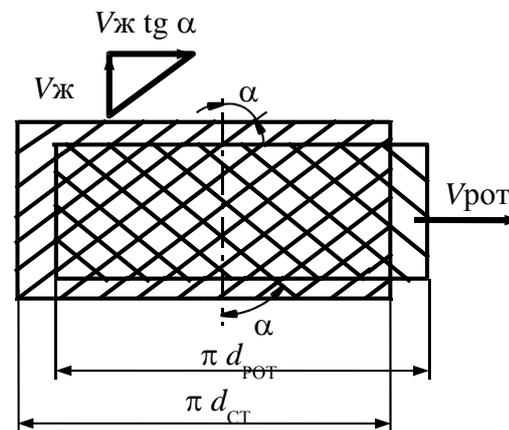


Рис. 5. Развертка поверхностей ротора и статора

Частицы компонентов СОЖ подвергаются комплексу воздействий: перемешиванию за счет множества интенсивных турбулентных течений, образующихся в микрообъемах - ячейках (рис. 6), с высокой степенью кавитации (вплоть до кавитационных микровзрывов), разбиванию за счет переменных по величине и направлению высокочастотных напряжений сдвига и ударных нагрузок при относительной скорости скольжения ротора порядка 20 м/с. В результате указанного воздействия образуется устойчивая коллоидная система с размером частиц эмульгирующей фазы порядка 0,8-1,2 мкм.

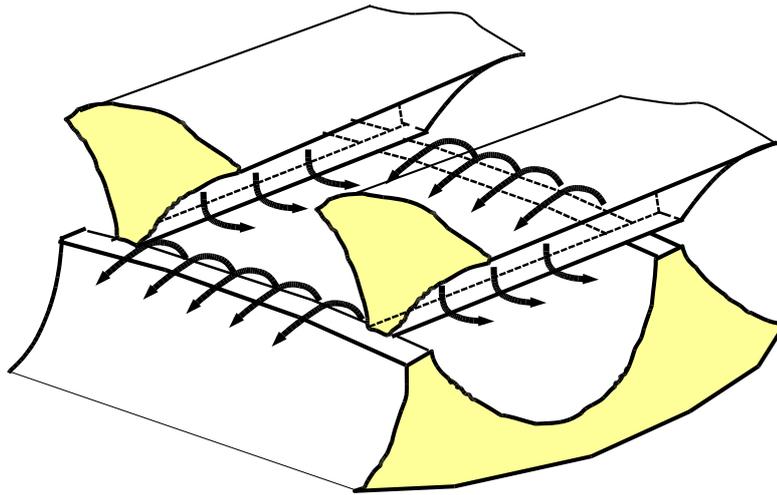


Рис. 6. Образование вихрей в ячейке гомогенизатора

Устройство гомогенизатора обеспечивает выполнение следующих функций:

- получение устойчивых коллоидных систем (типа вода - масло) с размером частиц эмульгирующей фазы менее 0.5–1 мкм;
- получение мелкодисперсных жидкостно-газовых эмульсий;
- всасывание смешиваемых компонентов за счет развиваемого разрежения;
- дозирование поступающих компонентов в потоке;
- смешивание и диспергирование компонентов эмульсии за счет кавитационного и турбулентного воздействий;
- подачу приготовленной эмульсии потребителю под необходимым давлением;
- одновременное выполнение перечисленных операций в момент запроса при прямо-точном движении эмульсии без использования дополнительных устройств и емкостей для приготовления эмульсий;
- отсутствие контактного трения рабочих органов;
- удобство и простоту обслуживания.

Выходные параметры функционирования гомогенизатора - дисперсность масляной фазы, давление, разрежение, расход - достигаются за счет сочетания следующих управляемых факторов: профиль и размеры нормального сечения канавок; количество заходов нарезки ротора и статора; диаметр рабочих органов; частота вращения ротора; соотношение и абсолютное значение длин напорного и вакуумного участков; радиальный зазор между ротором и статором. Результаты экспериментальных исследований и производственных испытаний позволяют сделать следующие выводы:

- при использовании гомогенизатора в качестве насоса коэффициент полезного действия $KПД = (Q P / N_{эд}) 100\%$, где Q - расход; P - давление; $N_{эд}$ - мощность приводного электродвигателя, составляет порядка 25%, что уступает КПД широко распространенных центробежных и шестеренных насосов. Данный недостаток предопределяет малое использование лабиринтно-винтовых насосов в качестве средств для перекачки жидкостей;
- распространение принципа действия лабиринтно-винтовых насосов в качестве импеллеров связано с возможностью получения высоких давлений при нулевых расходах;
- в режиме гомогенизации приготовление эмульсии с помощью гомогенизатора позволило получить в прямоточном режиме равномерную эмульсию с полным эмульгированием концентрата. Анализ дисперсности показывает, что около 99% масляной фазы распределены в водной среде в виде капель диаметром 0.8–1.2 мкм. Сравнительный анализ достигаемой дисперсности различными устройствами приведен в табл. 1;
- в вакуумном режиме гомогенизатор не уступает по производительности серийно выпускаемым механическим вакуумным насосам.

Таблица 1

Сравнительная характеристика устройств для приготовления СОЖ

Наименование устройства	Способ воздействия	Достижимая дисперсность, мкм	Удельные энергозатраты, кВт ч/м ³
Мешалка механическая	Турбулентное перемешивание	2...8	1,5
Коллоидная мельница		4...7	7
Магнестрикционный ультразвуковой излучатель	Акустическое воздействие	1...3	2
Гомогенизаторы	Сочетание различных способов воздействия	1...3	5,5
Гидродинамический генератор		3...5	1,5
Проточно-кавитационный смеситель		1...2	1
Роторно-пульсационный аппарат		1...2	1,2
Роторный аппарат с модуляцией потока		0.8...1.2	1
Эжекционно-волновой смеситель		1...3	1,5
Многофункциональный гомогенизатор		0.8...1.2	0,3

Конструкция и функциональные возможности позволяют использовать гомогенизатор в качестве устройства для проточного приготовления СОЖ в автоматизированной централизованной системе приготовления и раздачи, а также в качестве насоса (и диспергатора) для подачи СОЖ в зону резания станка

Возможная область применения гомогенизатора, кроме металлообработки, – использование для получения мелкодисперсных эмульсий в химической, пищевой и других отраслях промышленности.

1. Пат. РФ № 2092237. Устройство для подачи эмульсий на водной основе / В.М.Тихонов, И.Л.Лаптев. – М.: Российское агентство по патентам и товарным знакам.

I.L. Laptev, V.M. Tikhonov

TECHNOLOGY AND AUTOMATED SYSTEM FOR WATER-BASED CUTTING EMULSION PRODUCTION AND FLUID SUPPLY IN METALWORKING INDUSTRY

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: Consider preparing emulsion coolant as complex colloidal systems.

Methodology: Analysis of the process equipment, the development of the basic requirements to technology and equipment for cooking and coolant to the cutting zone

Findings: An automated system for providing and preparing the coolant. The system has a competitive advantage over commercially available equipment. Performed laboratory and production testing of the system

Key words: cutting emulsions, metalworking industry, technology, production system.