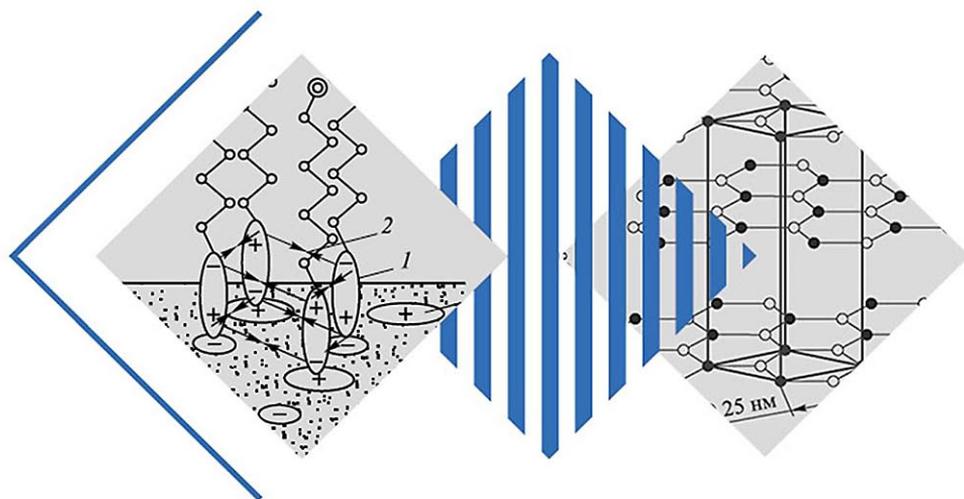


Д.В. Виноградов

# ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ



УДК 621.91(075.8)  
ББК 30.61  
В49

Издание доступно в электронном виде на портале *ebooks.bmstu.ru*  
по адресу: <http://ebooks.bmstu.press/catalog/52/book1816.html>

Факультет «Машиностроительные технологии»  
Кафедра «Инструментальная техника и технологии»

*Рекомендовано Редакционно-издательским советом  
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

**Виноградов, Д. В.**

В49 Основные виды смазочно-охлаждающих технологических средств, применяемых при резании металлов : учебное пособие / Д. В. Виноградов. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — 96 с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4894-4

Представлены классификация и обозначения смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), используемых при обработке резанием металлов. Рассмотрены функциональные и эксплуатационные свойства, состав, области применения основных видов СОТС (жидких, твердых, газообразных и пластичных). Особое внимание уделено водным и масляным смазочно-охлаждающим жидкостям. Даны рекомендации по выбору СОТС.

Для студентов, обучающихся по специальности «Проектирование технологических машин и комплексов» и другим технологическим специальностям. Может быть полезно технологам и иным инженерно-техническим работникам машиностроительных предприятий.

УДК 621.91(075.8)  
ББК 30.61

*Учебное издание*

**Виноградов Дмитрий Вячеславович**

## **Основные виды смазочно-охлаждающих технологических средств, применяемых при резании металлов**

Редактор *С.А. Виноградова* Художник *Я.М. Асинкритова* Корректор *Н.А. Фетисова*  
Компьютерная графика *Т.Ю. Кутузовой*  
Компьютерная верстка *Ю.В. Калиничевой, Н.Ф. Бердавцевой*

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать 30.04.2018. Тираж 100 экз. Формат 70×100/16.

Усл. печ. л. 7,8. Изд. № 324-2017. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1. [press@bmstu.ru](mailto:press@bmstu.ru)  
[www.baumanpress.ru](http://www.baumanpress.ru)

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана. 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
[baumanprint@gmail.com](mailto:baumanprint@gmail.com)

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018  
© Оформление. Издательство  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

ISBN 978-5-7038-4894-4

## Оглавление

Предисловие.....	3
Введение.....	5
<b>I. Классификация и обозначение смазочно-охлаждающих технологических средств</b> .....	<b>6</b>
Классификация смазочно-охлаждающих технологических средств.....	6
Агрегатное состояние.....	6
Физико-химические особенности дисперсной среды.....	8
Физико-химические особенности дисперсной фазы.....	9
Размер частиц дисперсной фазы.....	9
Однородность частиц дисперсной фазы.....	11
Свойства и количество присадок.....	12
Вязкость.....	13
Обозначение современных видов смазочно-охлаждающих технологических средств.....	18
Вопросы для самостоятельного контроля.....	23
<b>II. Жидкие смазочно-охлаждающие технологические средства</b> .....	<b>24</b>
Масляные смазочно-охлаждающие жидкости.....	24
Минеральные масла.....	26
Синтетические масла.....	28
Биологические масла.....	31
Жирные кислоты.....	33
Присадки.....	36
Водные смазочно-охлаждающие жидкости.....	46
Растворы электролитов.....	47
Синтетические смазочно-охлаждающие жидкости.....	48
Полусинтетические смазочно-охлаждающие жидкости.....	49
Эмульсии (масляные эмульсии).....	50
Полимеросодержащие смазочно-охлаждающие жидкости.....	63
Расплавы.....	63
Быстроиспаряющиеся вещества.....	65
Жидкие газы.....	65
Быстроиспаряющиеся жидкости.....	67
Вопросы для самостоятельного контроля.....	67
<b>III. Твердые смазочно-охлаждающие технологические средства</b> .....	<b>68</b>
Материалы с ламеллярной структурой.....	69
Твердые органические соединения.....	70
Полимерные материалы.....	71
Металлические пленочные покрытия.....	71
Износостойкие покрытия.....	72
Вопросы для самостоятельного контроля.....	73
<b>IV. Пластичные смазочно-охлаждающие технологические средства (консистентные смазки)</b> .....	<b>74</b>
Вопросы для самостоятельного контроля.....	77

---

<b>V. Пасты</b> .....	78
Вопросы для самостоятельного контроля .....	78
<b>VI. Газообразные смазочно-охлаждающие технологические средства</b> .....	79
Активные газообразные смазочно-охлаждающие технологические средства .....	80
Защитные газообразные смазочно-охлаждающие технологические средства .....	82
Вопросы для самостоятельного контроля .....	82
<b>VII. Применение основных видов смазочно-охлаждающих технологических средств</b> .....	83
Вопросы для самостоятельного контроля .....	87
Литература .....	88
Приложение. Ответы на вопросы для самостоятельного контроля.....	89

## **I. Классификация и обозначение смазочно-охлаждающих технологических средств**

Для правильного определения области применения СОТС надо отнести к одной из известных групп, сформированных на основе анализа всего ассортимента современных марок СОТС. Это позволит использовать рекомендации по применению СОТС данной группы. Разделение на группы выполняется в соответствии с выбранными критериями (классификационными признаками), которые должны помочь инженеру «автоматически» отнести СОТС к той или иной группе.

На современной классификации СОТС основываются принципы и правила их обозначения, что дает возможность однозначно определить любое смазочно-охлаждающее технологическое средство.

### **Классификация смазочно-охлаждающих технологических средств**

Современные СОТС отличаются большим разнообразием веществ, входящих в их состав, и рецептур изготовления, что ведет к широкому спектру физико-химических свойств. Классификация основных видов СОТС, применяемых при резании металлов, представлена на рис. 2.

СОТС принято классифицировать по следующим признакам: агрегатное состояние, физико-химические особенности дисперсной среды и дисперсной фазы, размер частиц и однородность дисперсной фазы, свойства и количество присадок, вязкость.

#### *Агрегатное состояние*

По агрегатному состоянию различают жидкие, твердые, газообразные и пластичные СОТС.

Агрегатное состояние вещества (от лат. *aggrego* — присоединяю) — состояние одного и того же вещества в определенном интервале температур и давлений, характеризующееся неизменными качественными свойствами, например способностью (твердое тело) или неспособностью (жидкость, газ, плазма) сохранять объем и форму, или наличием дальнего и ближнего порядка (твердое тело), отсутствием порядков (жидкость), или наличием ближнего и отсутствием дальнего порядка (аморфное тело).

Обычно выделяют три агрегатных состояния (твердое тело, жидкость, газ), но пластичные СОТС имеют свойства, настолько отличающиеся от свойств твердых тел, жидкости и газа, что традиционно их выделяют в отдельную группу и полагают, что пластичные СОТС являются аморфными телами.

Агрегатное состояние влияет на смазочное, охлаждающее, защитное и другие функциональные свойства, а также на эксплуатационные свойства

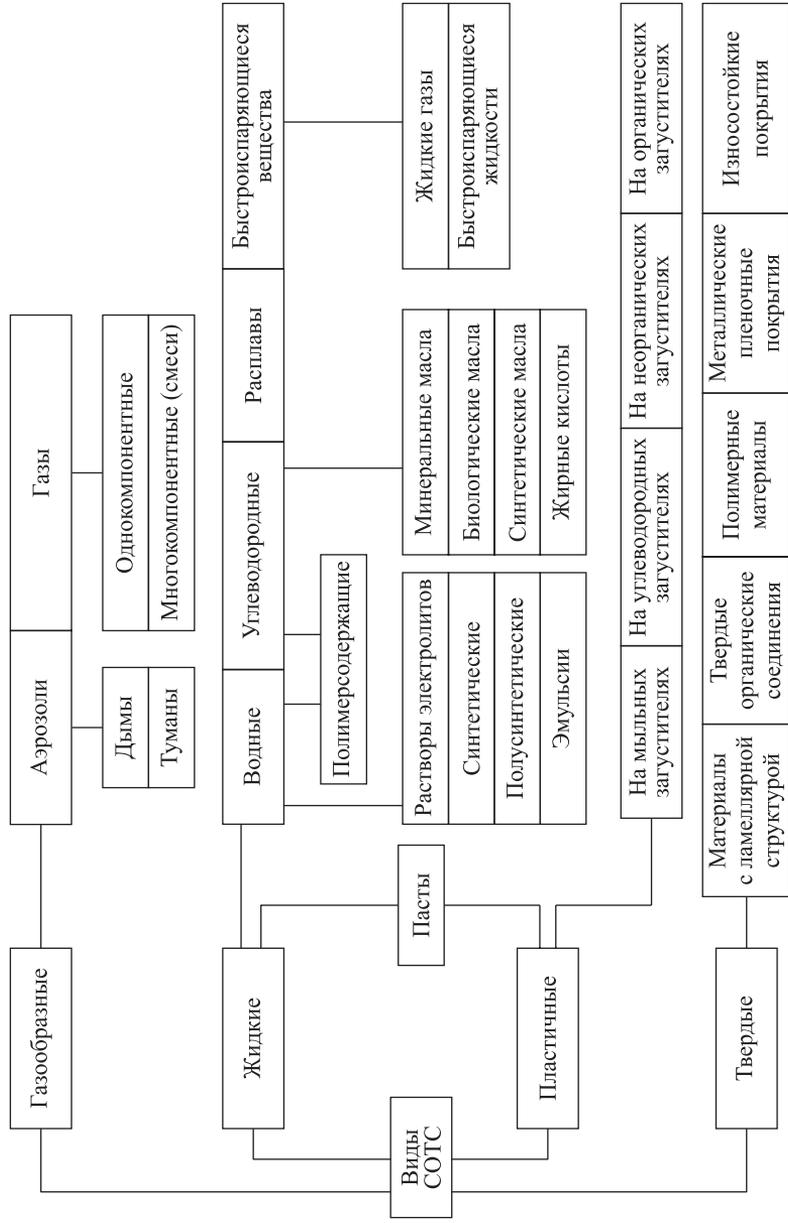


Рис. 2. Классификация современных СОТС, применяемых при резании

СОТС. Например: СОТС с разным агрегатным состоянием требуют различных способов и оборудования для подачи их в зону резания; жидкие, твердые и газообразные СОТС оказывают разное охлаждающее действие.

Вещества в «чистом» виде используют в качестве СОТС чрезвычайно редко, в подавляющем большинстве случаев в одно вещество добавляют другие, улучшающие свойства СОТС. Агрегатное состояние веществ играет важную роль при приготовлении смесей. Результаты смешивания дисперсной среды и нерастворимой дисперсной фазы с разным агрегатным состоянием показаны в табл. 1.

Таблица 1

### Классификация дисперсных систем

Дисперсная среда	Дисперсная фаза		
	Твердое тело	Жидкость	Газ
Твердое тело	Твердый золь (сплав, бетон)	Твердая эмульсия, капиллярная система (грунт, почва)	Твердая пена, пористое тело (поролон, пемза, пенопласт)
Жидкость	Коллоидный раствор, суспензия	Лиозоль, эмульсия (молоко, майонез)	Пена, газовая эмульсия
Газ	Твердофазный аэрозоль (дым, смог, пыль)	Жидкофазный аэрозоль (туман, облака)	Коллоидная система невозможна

Золь (от лат. *solutio* — раствор) — высокодисперсная коллоидная система (коллоидный раствор) с дисперсной средой, в объеме которой распределена другая (дисперсная) фаза в виде капелек жидкости, пузырьков газа или мелких твердых частиц размером 1...100 нм.

В зависимости от вида дисперсной среды золи бывают твердыми, аэрозолями (газообразная дисперсная среда) и лиозолями (жидкая дисперсная среда). Примером аэрозоля на основе жидкости является туман — взвесь капель воды в воздухе; твердофазного аэрозоля — дым или пыль.

Частицы дисперсной фазы лиозоля вместе с окружающей их сольватной оболочкой из молекул (ионов) дисперсной среды называют мицеллами. К лиозолям относятся мицеллярные растворы различных типов, водные растворы биополимеров, органо- и гидрозолы металлов, синтетические латексы.

Золи занимают промежуточное положение между истинными растворами и грубодисперсными системами (суспензиями, эмульсиями). Золи диффундируют медленнее, чем неорганические соли, обладают эффектом светорассеяния (эффект Тиндаля). В противоположность гелям, в золях частицы дисперсной фазы не связаны в пространственную структуру, а свободно участвуют в броуновском движении.

### Физико-химические особенности дисперсной среды

Дисперсной средой называют то вещество, которого в смеси веществ больше. Она у каждого вида СОТС одна. По физико-химическим особенностям дисперсной среды СОТС разного агрегатного состояния можно разделить следующим образом (см. рис. 2):

- жидкие — на углеводородные (масляные), водные, расплавы, жидкие газы;
- газообразные — на аэрозоли, газы;
- твердые — на материалы со слоистой структурой, твердые органические вещества, металлические, полимерные и износостойкие покрытия.

Свойства дисперсной среды целиком переходят на СОТС, приготовленные на ее основе. Это относится как к полезным, так и к вредным свойствам. Например, при использовании масляной дисперсной среды СОТС будет иметь хорошие смазочные свойства и высокую пожароопасность. Газообразная дисперсная среда не позволяет добиться интенсивного охлаждения, но обеспечивает хорошее проникновение активных компонентов в зону резания.

### ***Физико-химические особенности дисперсной фазы***

Вещество, которого в смеси меньше, называют дисперсной фазой. Дисперсных фаз в СОТС может быть несколько, одна из которых является доминирующей (например, у аэрозоля доминирующей является газообразная фаза). Дисперсная фаза может быть растворима или нерастворима в дисперсной среде. В первом случае образуются растворы, во втором — дисперсные системы (см. табл. 1). Иллюстрацией разделения СОТС по физико-химическим особенностям дисперсной фазы могут быть пластичные СОТС, классифицируемые по свойствам загустителя на мыльные, углеводородные, неорганические и органические.

Вещества, добавляемые в дисперсную среду, называют присадками. Основное назначение присадок — уменьшить отрицательные свойства дисперсной среды и увеличить положительные. Так, добавление в масляную эмульсию ингибиторов коррозии снижает коррозионное воздействие воды дисперсной среды на металлические части оборудования и заготовки.

Кроме того, присадки могут добавляться для стабилизации дисперсной среды. Примером такого действия присадок может служить стабилизация капель масла в воде при добавлении эмульгаторов в смесь нерастворимых друг в друге жидкостей, а также защита СОТС от микробиологического заражения бактерицидами.

### ***Размер частиц дисперсной фазы***

Свойства смеси веществ сильно зависят от размеров частиц дисперсной фазы. По этому показателю выделяют четыре вида дисперсности: ионную, молекулярную, коллоидную и грубую. Размеры частиц, характерные для каждого вида дисперсности, и примеры дисперсных сред приведены в табл. 2.

При образовании раствора молекулы дисперсной среды взаимодействуют с атомами (молекулами) диспергируемого вещества. Если сила взаимодействия между молекулами среды и растворяемого вещества больше, чем между молекулами растворяемого вещества, то его молекулы отрываются от своих соседей и перемещаются в объем среды. В истинных растворах распределенное вещество находится в среде (растворителе) в виде ионов,

в молекулярных растворах — в виде молекул, в коллоидных системах — в виде конгломерата молекул, мицелл и т. д., в грубых системах — в виде кусочков дисперсного вещества, которые находятся во взвешенном состоянии.

Таблица 2

**Классификация дисперсных систем по размеру частиц дисперсной фазы**

Вид дисперсности	Размер частиц дисперсной фазы, м	Вид системы	Примеры
Ионная	До $10^{-9}$	Истинный раствор	Истинные растворы неорганических солей, оснований и кислот в воде
Молекулярная	$10^{-9} \dots 10^{-8}$	Молекулярный раствор	Дисперсия ПАВ* или олигомеров, синтетические водные СОЖ
Коллоидная	$10^{-8} \dots 10^{-7}$	Коллоидный раствор (система), золь, эмульсия, суспензия	Дисперсия высокомолекулярных веществ и полимеров в жидких и пластичных средах, полусинтетические водные СОЖ
Грубая	Более $10^{-7}$	Эмульсия, суспензия, пена, паста	Масляные эмульсии

\* ПАВ — поверхностно-активные вещества.

Среды с ионной и молекулярной дисперсностью можно рассматривать как гомогенные (однородные) системы, состоящие практически из одной фазы. Частицы дисперсной фазы в таких средах невозможно обнаружить оптическими методами, они не разделяются под действием силы тяжести. Эти среды прозрачные.

Среды с коллоидной и грубой дисперсностью являются гетерогенными (неоднородными), в них можно выделить границу раздела фаз и конкретизировать агрегатное состояние дисперсной фазы.

Прозрачность дисперсной среды на основе воды определяется размером частиц распределенной фазы: в прозрачной смеси размер капель 0,05 мкм, в молочной — около 2 мкм.

На первый взгляд, эмульсии и суспензии кажутся однородными, но в микроскопе можно обнаружить отдельные частицы (капельки жидкости, крупинки твердого тела, газовые пузырьки), которые плавают в чистом растворителе. Поэтому грубо-дисперсные системы мутные и свет не пропускают. Коллоидные частицы представляют собой агрегаты, скопления молекул (атомов), состоящие из нескольких тысяч молекул. Но все эти агрегаты настолько малы, что оптический микроскоп не позволяет увидеть отдельную коллоидную частицу.

Размер частиц дисперсной фазы играет важную роль при проникновении СОТС в зону резания — чем меньше размер частиц, тем дальше они проникают в зону резания и тем лучше осуществляется смазочное, защитное, режущее и пластифицирующее действия среды. Дисперсность системы характеризуется размером частиц, ее значение обратно размеру частиц.

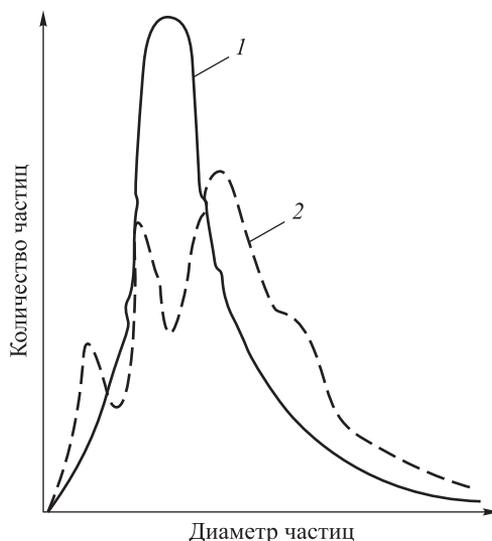
Вид дисперсной системы во многом определяет ее устойчивость. Истинные и молекулярные растворы стабильны, грубодисперсные системы неустойчивы (может выпадать осадок или происходить расслоение СОТС) и требуют дополнительных мер по стабилизации при их хранении и транспортировании. Коллоидные системы занимают промежуточное положение.

### **Однородность частиц дисперсной фазы**

Системы с частицами дисперсной фазы одинакового размера называют монодисперсными, а неодинакового — полидисперсными. На практике трудно добиться полной однородности дисперсной системы. Распределение по размерам частиц, обнаруживаемых в среде, показано на рис. 3. Монодисперсные среды образуют распределение с одним пиком, полидисперсные — с несколькими.

Однородность частиц зависит от природы дисперсной фазы и среды и от способа перемешивания (диспергирования).

Существующие в настоящее время СОТС, как правило, полидисперсны, что приводит к тому, что они могут иметь широкий спектр свойств, обусловленный наличием в их составе частиц разного размера. Это расширяет область применения СОТС, но несколько снижает эффективность использования на конкретной операции. Например, при обработке осевыми инструментами (сверлами, развертками) наличие в водной эмульсии капелек масла разного размера приводит к уменьшению проникновения масла в зону резания, но улучшает смазывание ленточек инструментов крупными каплями масла.



**Рис. 3.** Распределение частиц дисперсной фазы по размерам для монодисперсных (1) и полидисперсных (2) СОТС

Примером дисперсной системы с водой в качестве дисперсной среды может служить молоко. Основными дисперсными фазами молока являются жир, белок и молочный сахар. Жир в воде не растворяется и находится в виде эмульсии, при отстаивании молока постепенно поднимается вверх — образуются сливки. Основной молочный белок — казеиноген, содержится в виде коллоидной смеси и самопроизвольно не выделяется, но легко осаждается при подкислении молока (например, уксусом или продуктами жизнедеятельности молочнокислых бактерий при прокисании молока), образуя творог. Молочный сахар растворяется в воде и выделяется лишь при ее испарении.