

Министерство образования, науки и молодежи Республики Крым
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Республики Крым
«Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова»

ЗИЙНЕДИНОВ ЭНВЕР ИСМАИЛОВИЧ

Номинация: технические науки

**МОДЕРНИЗАЦИЯ МАСЛЯНЫХ СОТС ДЛЯ ОБРАБОТКИ
ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ**

Научная работа для участия
в конкурсе на соискание премии
Республики Крым «За научные
достижения в сфере приоритетных
направлений развития Крыма»
обучающегося второго курса
магистратуры факультета
инженерно-технологического

Симферополь – 2023

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ МАСЛЯНЫХ СОТС С НГМП.....	5
1.1 Анализ используемости наноглинистых минералов в промышленности в триботехнологических целях.....	5
1.2 Теоретические предпосылки к использованию НГМП для повышения триботехнологических качеств в масляных СОТС	9
1.3. Триботехнологические особенности применения наноглинистых минеральных присадок к масляным СОТС	19
ГЛАВА 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕНТОНИТОВОЙ ПРИСАДКИ В ТРАНСМИССИОННОМ МОТОРНОМ МАСЛАХ.....	28
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	30
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	31

ВВЕДЕНИЕ

Повышение требований к качеству машиностроительной продукции и смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) и снижение затрат на их производство, предопределяет необходимость переоснащения предприятий оборудованием и технологиями, которые обладают высокой степенью надежности и стабильности. Наиболее важной составляющей машиностроительного производства является режущий инструмент, который обеспечивает максимальную производительность обработки и требуемое качество изготовления изделий.

Повышение стойкости инструмента из быстрорежущих сталей достигается в основном двумя путями:

- занижением режимов резания, ведущих одновременно к снижению производительности;
- снижением температуры и улучшением триботехнологической обстановки в зоне резания под действием смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) [1].

Несмотря на ряд технологических решений по составу и применению последних, ресурс режущего инструмента, особенно сверл, продолжает оставаться достаточно низким.

Современные СОТС представляют собой многокомпонентные среды [2, 3, 4] на основе минерального масла, которые направлены на улучшение процесса резания. Они обладают хорошими смазочными свойствами, но имеют низкую охлаждающую способность, высокую стоимость и испаряемость [2]. Поэтому в настоящее время, ввиду негативного влияния СОТС на минеральной основе на экологию, все больше и больше склоняются к использованию СОТС растительного происхождения. Однако такие СОТС имеют большую стоимость, поэтому необходимо их использовать как можно минимально, сохранив при этом технологический эффект. Как правило, они подаются в зону резания, в основном в чистом виде, без каких-либо присадок, что делает их малоэффективным при теплоотводе от режущих кромок сверла.

Поэтому в настоящее время, ввиду негативного влияния СОТС на минеральной основе на экологию, все больше и больше склоняются к использованию СОТС растительного происхождения. Однако такие СОТС имеют большую стоимость, поэтому необходимо их использовать как можно минимально, сохранив при этом технологический эффект. Как правило, они подаются в зону резания, в основном в чистом виде, без каких-либо присадок, что делает их малоэффективным при теплоотводе от режущих кромок сверла.

По нашей оценке использование наноглинистых минеральных присадок (НГМП) к масляным СОТС открывает перспективу существенного улучшения физико-химической обстановки в зоне резания, повышения ресурсных показателей осевого быстрорежущего инструмента и требует качественно новые исследования по составу масляно-бентонитовой композиции и условиям ее применения.

Цель проекта – провести анализ возможности использования наноглинистых минералов в промышленности и при эксплуатации автомобильного транспорта.

Задачи проекта:

- изучить триботехнологические особенности применения наноглинистых минеральных присадок к масляным СОТС
- провести сравнительный анализ наноглинистых минералов и диоксида молибдена как присадки к моторному маслу

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ МАСЛЯНЫХ СОТС С НГМП

1.1 Анализ используемости наноглинистых минералов в промышленности в триботехнологических целях

Наноглинистые минералы получили широкое распространение в виде бентонитовых глин. Само название «бентонит» происходит от крупного месторождения бентонитовых глин «форт Бентон» расположенный в США в штате Вайоминг в конце XIX столетия и впервые использованное в обороте слово В.К. Найтом [4]. Но намного раньше в 30-х годах в г.Монтмориллон во Франции впервые было обнаружено природный минерал монтмориллонит ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$), который является основным составляющим бентонитов, что связывает с его названием [94]. Такие минералы обладают почти теми же свойствами, которые присущи наноразмерным частицам.

Месторождения бентонитов широко распространены по всему миру, например, Армения, Азербайджан, Венгрия, Грузия, Италия, Россия, Румыния, Сирия, США, Туркменистан, Узбекистан, Украина, Япония и ряд других стран [4]. Бентонитовые глины содержатся и в недрах Крыма.

Бентонит является важным полезным ископаемым и широко применяется в различных отраслях промышленности [5-8]:

- в пищевой промышленности, бентонит используется как пищевая добавка;
- в виноделии, как осветлитель сусла;
- в литейном производстве, для изготовления литейных форм;
- при производстве керамики, как основной материал;
- при изготовлении недорогих строительных пластмассовых изделий, как добавка, что повышает их огнестойкость;
- для приготовления бурового раствора, в геологии;
- используется как гидроизолятор в составах различных красок;

– используется при гидростроительстве (бентонит в ограниченном увлажненном жидкости образует гель, который препятствует ее проницаемости).

Добыча бентонитовых глин в мире составляет около 10 млн. тонн в год, что говорит о его широком использовании.

Бентонит в природе встречается в свободном виде в различных минералогических составах (таблица 3.1) и различными физическими и химическими свойствами.

Бентонит – порода, состоящая в основном из смектитов, в группу которых входит несколько минералов: монтмориллонит, бейделлит, нонтронит и др. менее распространенные [8].

Таблица 3.1

Химический минеральный состав бентонита [9], %
(на примере Крымского бентонита)

SiO ₂	49,5-51,0	CaO	2,0-3,2
Al ₂ O ₃	15,2-16,3	Na ₂ O + K ₂ O	0,3-0,5
MgO	3,8-4,0	H ₂ O	21,3-24
Fe ₂ O ₃	1,5-2,8	CO ₂	0,3-0,6

В последние годы бентонит в различных составах в основном используется в качестве присадок к различным составам.

Основная положительная сторона бентонита – его низкая стоимость и большие запасы в недрах, что и привлекает внимание ученых различных стран. Бентонит обладает и другими очень важными свойствами, такими как смазывающее действие и возможность накапливать в своей структуре молекулы воды.

По своим свойствам бентонит при гидратации увеличивает свой объем (разбухает) до 15 раз. Это свойство бентонита позволяет использовать его в различных отраслях промышленности.

По образованию микропор в слоистых глинистых минералах выделяют три группы [10, 11]: первая группа – слоистые силикаты с жесткой структурной ячейкой (например, гидрослюда), слоистые силикаты с расширяющейся структурной ячейкой (например, монтмориллонит (что в дальнейшем нас и будет интересовать) и слоисто-ленточные силикаты (например, сепиолит).

Монтмориллонит обладает переменными толщинами пор от 0,1 до 0,8 нм [11]. Известно, что бентониты имеют способность поглощать вещества белковой природы, что используется при осветлении вин и соков. Такое важное свойство бентонитовых глин используются при очистке сточных вод, производстве различных красителей [12] и поглощении ПАВ неионной структуры в газовой промышленности [13]

Еще одно немаловажное свойство глин выявилось в 1986 г. после катастрофы на Чернобыльской АЭС. При эвакуации местных жителей бентонитовые глины Черкасского месторождения использовались как дезактиватор при обработке различной техники, одежды, обуви, строительных материалов в виде суспензии 3-6% и водной пасты 11-16%. Так, применяемые растворы на основе бентонита показали лучшую дезактивацию одежды по удалению радионуклидов по сравнению со стандартными растворами более чем в 2 раза. Таким образом, бентонитовые глины позволяют решить еще одну проблему по выведению радионуклидов из радиоактивных отходов, которые выбрасываются в окружающую среду.

Можно сказать, что дальнейшее развитие в области металлообрабатывающих технологий невозможно без качественно новых исследований выполненных на наноуровне с применением наноглинистых минералов.

В настоящее время требуется техническое переоснащение машиностроительных предприятий и применение новых технологий с целью обеспечения снижения затрат на производство изделий и повышение качества выпускаемой продукции.

Особенно актуальны исследования нанотехнологии при механообработке металлов, что позволит получить новую информацию о процессах происходящих в зоне резания и разработки достоверных моделей процесса резания, определить пути повышения эффективности процессов, получения качественно обработанных поверхностей деталей.

Примером практической нанотехнологии являются получение различных наноматериалов для микроэлектроники и медицины. Применение нанотехнологии в обработке металлов резанием не нашло в настоящее время широкого применения и требуют дальнейшего изучения.

Анализ работ проведенных в последние годы свидетельствует о высокой перспективности исследований в области нанокompозитных материалов. Для создания качественно новых СОТС привлекательно использование слоистых наночастиц бентонита, толщиной до 100 нм.

Современные СОТС представляют собой [4] однородные или многокомпонентные технологические среды, свойства которых направлены на оптимизацию процесса резания.

При разработке новых масляных композиций с улучшенными свойствами используют присадки различного назначения, в основном моющие и дисперсирующие, а возможность повышения триботехнологических свойств масляных СОТС путем использования наночастиц во вводимых присадках остается без внимания.

Очевидно, что бентониты по своим свойствам являются экологически чистым материалом, в виду широкого распространены на территории России и в частности в Крыму, имеет меньшую стоимость, по сравнению с другими минералами, что делает его привлекательным для дальнейшего изучения и применения.

1.2 Теоретические предпосылки к использованию НГМП для повышения триботехнологических качеств в масляных СОТС

Использование масел минерального, синтетического и растительного происхождения в качестве СОТС, при механической обработке труднообрабатываемых материалов, имея преимущества по смазывающим качествам существенно уступает водоземulsionным СОТС по охлаждающей способности. Поэтому исследования направленные на разработку новых методов активации СОТС на масляной основе, в направлении повышения их триботехнологических качеств, остаются актуальными.

В работе [14] впервые была показана возможность значительного повышения теплоотводящей способности масляных СОТС, путем применения эндотермических присадок в виде кристаллогидратов. Последнее имеют ряд положительных качеств по сравнению с другими видами активации СОТС, и в работе [14] сделан значительный шаг на пути создания масляных экологобезопасных СОТС, обладающих эндотермическим эффектом. Однако применение кристаллогидратов имеют и усложняющие стороны, что привело к пересмотру существующих и поиску новых эндотермических присадок к масляным СОТС.

Проведя эксперименты на масляных СОТС с присадками к ним кристаллогидрата было выявлено, что последние, при высоких температурах теряют свою структуру, и могут налипать на инструмент и оборудование. Во избежание этого явления, нами предложены НГМП, которые могут проявить тот же эндотермический эффект, и при этом улучшается и триботехническая обстановка в зоне резания.

Применение наноглинистых минералов – бентонитов известно и в других областях техники, например при бурении твердых и высокотвердых грунтов и пород, но там он применяется только как смазка. Нами же предлагается наноглинистые минералы использовать как присадку к масляным СОТС, предпочтительно к растительным маслам, что позволяет одновременно улучшить

экологическую безопасность СОТС, существенно повысить ее теплоотводящую способность за счет эндотермического эффекта, и перейти на применение техники минимальной смазки (так называемой ТМС), что так же сказывается на экологичности предлагаемой СОТС.

В работе [15] была апробирована гипотеза о том, что одним из возможных вариантов управляемого термодинамического воздействия на ситуацию в зоне резания может быть использование в качестве присадочного материала к масляным СОТС природных наноглинистых минералов. Применение такой композиции в качестве СОТС открывает перспективу существенного улучшения триботехнической обстановки в зоне резания труднообрабатываемых материалов.

Теплофизические параметры бентонитов следующие: теплопроводность – 1,3 Вт/м., теплоемкость – 0,85 Дж/г·К, плотность 2200...2800 кг/м³, толщина минеральных листов порядка 1,0 нм, а линейные размеры листов составляют 50...150 нм. Твердость по минералогической шкале – 1 [16-18].

Кристаллические решетки бентонитов имеют отрицательный заряд, который легко нейтрализуется положительно заряженными катионами самого минерала. В результате вокруг всех наноглинистых частиц формируется электростатическое поле. Влиятельность поверхностного электростатического поля на свое окружение многократно усиливается благодаря тому, что наноглинистые минералы обладают наноразмерностью и чешуйчатым формам, а это в свою очередь определяет огромные величины их удельной поверхности, измеряемой десятками и сотнями квадратных метров на 1 г минерала.

Следует подчеркнуть, что наноструктуры обладают особыми свойствами, которые присущи только нанослоям, нанокристаллам и наночастицам. Эти особые свойства связаны с так называемым размерным эффектом. На рисунке 1.1 приведены электронные снимки [19] бентонита под микроскопом, где отчетливо наблюдаются чешуйки в виде листовых слоев разных размеров и форм.

Стремление к равновесному состоянию чешуйчатых поверхностей наноглинистых минералов, как правило, в природе, удовлетворяется электростатическим притяжением к нему воды.

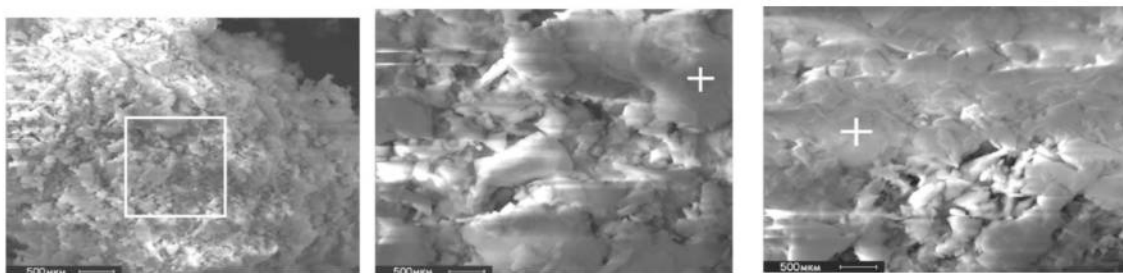


Рисунок 1.1 Электронные фотографии природного бентонита под микроскопом [19].

Вода обладает хорошо выраженной полярностью своей молекулы, имеющей с одной стороны положительный заряд от спаренных катионов водорода (H^+ , H^+), с другой – двоякий заряд отрицательно заряженного кислорода (O^{2-}). Этим обусловлен эффект адсорбции, при котором молекула воды в одном случае притягивается своим положительным полюсом (H^+ , H^+) к отрицательному иону наноглины (например, к кислороду), в другом – отрицательным (O^{2-}) – к положительному (например, к кремнию, алюминию или железу).

Под действием электростатического притяжения вода стремится сконцентрироваться у межфазовой границы. Таким образом, образуется двойной электростатический слой, в котором первый – слой зарядов наноглинистой минеральной частицы (твердой фазы), второй – жидкой фазы воды. Эти силы электрического и адсорбционного притяжения двух фаз имеют определенную энергию. Разрушение сорбционного слоя возможно лишь при приложении внешней энергии, превышающей энергию притяжения между ионами поверхности раздела фаз, т.е. при повышении температуры, когда энергия теплового движения молекул превышает силы сцепления.

При формировании на поверхности наноглинистой минеральной частицы граничного слоя воды выделяется теплота смачивания, которая зависит от типа минерала, рода обменных ионов и может колебаться для первого (внутреннего) адсорбционного слоя от 5 до 35 кДж/моль, для второго – 1,5-15 кДж/моль, а для третьего и четвертого слоя – от 0 до 4 кДж/моль [20]. При завершении

формирования первого адсорбционного слоя воды выделяется 55-75% всей интегральной теплоты адсорбционного смачивания.

Естественно, что разрушение адсорбционных слоев идет при поглощении подобных количеств теплоты. Чем выше теплота смачивания наноглинистой минеральной частицы, тем больше потребуется внешней теплоты при разрушении адсорбционного слоя. К этому следует добавить энергию испарения оторванной от поверхности адсорбированной воды, составляющей около 43 кДж/моль. В итоге общая энергия на десорбцию воды при стандартных условиях (298 К и $1 \cdot 10^5$ Па) может составлять в зависимости от типа минеральной фазы в пределах 50-90 кДж/моль. Для сравнения теплосмачивания, то есть теплообменный потенциал, свободной воды составляет в стандартных условиях – 75,31 Дж/моль.

Согласно трехслойной модели строения гидратной оболочки, например, элементарных пластинчатых частиц слоистых силикатов, граничный слой воды толщиной 8-10 нм состоит из двух частей: более прочно связанного адсорбционного и анизотропно-доменного слоев. Ряд авторов [17-19] также выделяют непосредственно прилегающую к гидрофильной поверхности более прочно связанную часть граничного слоя. Толщина внутренней части граничного слоя в трехслойной модели принимается в пределах первых нанометров. Наличие внутренней и внешней частей граничного слоя объясняется резкими различиями в структурах адсорбционно (внутренняя часть) и осмотически связанной (внешняя часть граничного слоя) воды. Первая подчинена характеру контактной поверхности и гидратационным характеристикам ее активных центров. Вторая - взаимодействиям между диполями молекул воды. Переход от слоя адсорбционно связанной воды к слою осмотически связанной воды осуществляется через промежуточный (внешняя часть граничного слоя) переходный слой конечной толщины (2-7 нм).

Вблизи поверхности, независимо от ее кривизны, структура водородных связей искажается таким образом, что система приобретает ориентационную упорядоченность. Плоскости молекул воды расположены преимущественно параллельно ограничивающей поверхности в данной точке. Для пленки воды у

поверхности с активными центрами значения средних по толщине ориентационных характеристик согласуется с данными для пленок со свободными границами.

Более детальный анализ показывает, что отличия в ориентационной упорядоченности молекул проявляются только в пределах первого монослоя у поверхности – там, где молекулы жидкости могут образовывать водородные связи с активными центрами. Установлено отличие граничного слоя от объемной жидкости по растворяющей способности, температуре замерзания, теплопроводности, энтальпии.

На близких расстояниях (5-10 молекулярных диаметров) структурирование может возникать за счет ион-дипольного и диполь-дипольного взаимодействия (высокоэнергетического). Структурирование на больших расстояниях (до сотен молекулярных диаметров) может протекать на основе кооперативных низкоэнергетических взаимодействий.

Толщина граничного слоя увеличивается с ростом pH в пределах 6-16 нм в интервале pH 5-6.

Теплоемкость (C_v) объемной фазы воды (модель Раулинсона) составляет 50,6 Дж/моль·град, свободной пленки – 82,8, пленка у поверхности с активными центрами – 71,5 Дж/моль·град, вода в цилиндрических порах – 90,3 Дж/моль·град. Стандартная теплоемкость воды при постоянном объеме (C_v) = 67,0 Дж/моль·град.

Условный сравнительный энергетический расчет теплообменной способности адсорбированной и свободной воды показал следующие результаты:

Условная форма частицы – шарообразная.

Расчет ведется на 1 см³ дисперсионной среды. 1 см³ = 10²¹ нм. Размер частицы (диаметр) – 1 мкм = 1000 нм = 10⁻⁷ см. R = 500 нм. Площадь поверхности одного шара – $S = 4\pi R^2 = 4 \cdot 3,14 \cdot 500^2 = 3,14 \cdot 10^6$ нм. Объем одного шара – $V = 4/3\pi R^3 = 523 \cdot 10^6$ нм³.

Количество шаров в 1 см³ объема в кубической упаковке – 10²¹ нм³:
523 · 10⁶ нм³ = 10¹² шаров.

Суммарный объем шаров в 1см^3 дисперсной фазы: $523 \cdot 10^6 \text{ нм} \cdot 10^{12}$ шаров
 $= 5,23 \cdot 10^{20} \text{ нм}^3 = 0,523 \text{ см}^3$. Условная дисперсионная среда с 10% шаров в объеме
 $1 \text{ см}^3 = 10^{11}$ шаров.

Объем водной фазы в 1см^3 за вычетом $1,53 \cdot 10^{12}$ шаров ($0,1 \text{ см}^3$) = $0,9 \text{ см}^3$.

Масса свободной воды в 1см^3 при плотности 1г/см^3 : $0,9477 \text{ см}^3 \cdot 1\text{г} = 0,9\text{г}$.

Количество молей свободной воды в 1см^3 за вычетом $1,53 \cdot 10^{12}$ шаров: $0,9 \text{ г}$:
 $18 = 0,05$ молей.

Суммарная поверхность 10% шаров: $0,785 \cdot 10^6 \text{ нм}^2 \cdot 1,53 \cdot 10^{12} = 1,2 \cdot 10^{18} \text{ нм}^2 =$
 $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$.

Усредненная толщина граничного адсорбционного слоя воды: = 5 нм .

Суммарный объем граничного слоя $1,53 \cdot 10^{12}$ шаров: $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2 \cdot 5 =$
 $6,0 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3 = 0,006 \text{ см}^3$.

Плотность водной фазы в граничном слое = $1,3 \text{ г/см}^3$.

Масса водной фазы в граничном слое: $0,006 \text{ см}^3 \cdot 1,3 = 0,0078 \text{ г}$.

Суммарное количество молей воды в граничном слое: $0,0078 \text{ г} : 18\text{г} =$
 $0,00043$ моль.

Условно принимаемая энергия десорбции воды с поверхности –
 30 кДж/моль .

Условно принимаемая теплоемкость C_V ВОДЫ в граничном слое =
 $77 \text{ Дж/моль} \cdot \text{град}$.

Теплоемкость C_V свободной воды в расчете на 1 град = 67 Дж/моль .

Суммарная энергия десорбции воды граничного слоя: $30 \text{ кДж/моль} \cdot 0,00043$
моль = $13,0 \text{ Дж}$.

Суммарная теплоемкость свободной воды в 1см^3 с вычетом $1,53 \cdot 10^{12}$
шаров: $67 \text{ Дж/моль} \cdot 0,05$ молей = $3,35 \text{ Дж}$.

Из расчета следует, что для дисперсной среды объемом 1см^3 , содержащей
 $1,53 \cdot 10^{12}$ шаровых частиц диаметром $0,5 \text{ мкм}$, граничный слой адсорбированной
воды объемом $0,006 \text{ см}^3$ имеет почти в три раза больший теплообменный
потенциал в сравнении со свободной водой $0,9\text{см}^3$. А относительное соотношение
теплообменного потенциала при равенстве молей достигает $1512:1$.

Следовательно, увеличивая мольную долю адсорбированной воды в системе за счет увеличения доли дисперсных частиц и снижения их размеров, можно увеличивать теплообменный потенциал системы. Этому же будет способствовать повышенная пористость твердых частиц и неровность их поверхности.

Таким образом, наноглинистые минералы за счет удаления молекул воды из ее структуры способны поглощать большое количество теплоты, при этом оторвавшаяся молекула воды остается в системе и при понижении температуры вновь возвращается в ее структуру, что является одной из особенностей наноглинистых минералов. То есть молекула воды высвободившееся из структуры наноглинистой минеральной частицы превращается в пар и остается, в нашем случае, в масляной среде СОТС. Так как масло не может взаимодействовать с водой, то после снижения температуры, например при выходе СОТС из зоны резания, пар сконденсируется и обратно возвратится в структуру минерала, восстановив его охлаждающие свойства.

Описанная нами схема работает по аналогии с гидратацией-дегидратацией кристаллогидратов, как это показано в работе [21]. Например, в кристаллогидратах вода находится в кристаллической решетке соли, и для отрыва первой молекулы воды требуется больше энергетических затрат, по сравнению с бентонитами. По сравнению с кристаллогидратами наноглинистые минералы проявляют эффект дегидратации намного активнее.

На основе вышесказанного, особое значение обретает адсорбционный слой воды на поверхности наноглинистого минерала, представленный в структурной форме на рис. 1.2.

По предложенной выше схеме, при нагревании адсорбционного слоя воды на наноглинистой минеральной частицы до температуры 80-100 °С, наиболее слабые молекулярные связи начнут обрываться первыми, что вызовет первый эффект дегидратации. Затем по мере нарастания температуры до 100-200 °С молекулярные связи со средней связью начнут обрываться вторыми, а при достижении температуры более 200 °С молекулярные связи с более прочной связью оборвутся следующими и т.д. образуя ступенчатый эффект дегидратации.

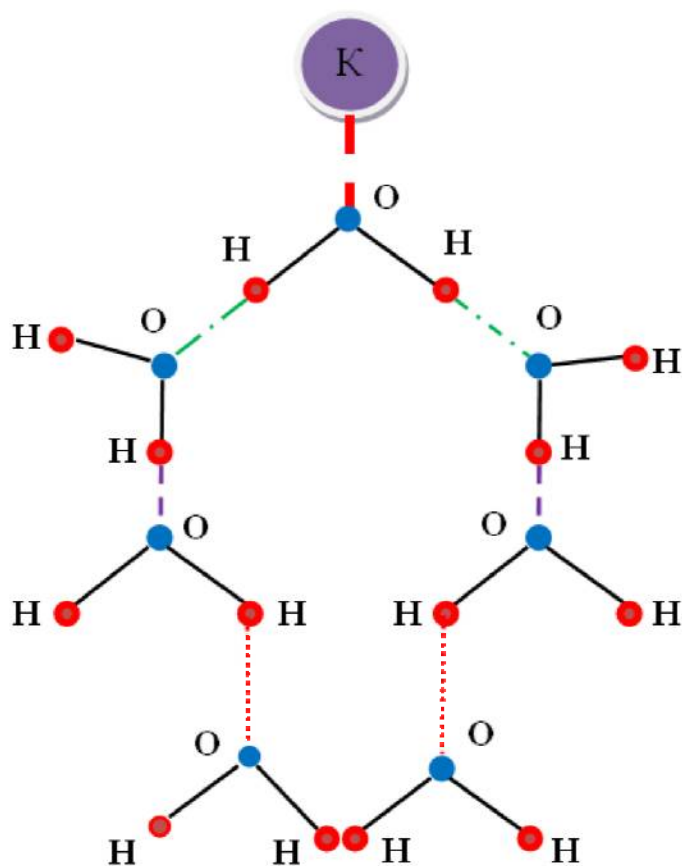






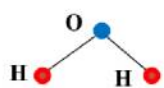


Рисунок 1.2. Структурная форма адсорбционного слоя воды на поверхности бентонита (на примере с семью молекулами воды)

-  – катион металла на поверхности бентонита (железо, магний, алюминий, калий, натрий, и др.);
-  – межмолекулярная связь молекулы воды со слабой связью, которая при нагревании (80-100 °) отрывается первой;
-  – межмолекулярная связь молекулы воды со средней связью, которая при нагревании (100-200 °) отрывается второй;
-  – межмолекулярная связь молекулы воды с более прочной связью, которая при нагревании (более 200 °) отрывается следующей;
-  – электростатическая связь, которая входит в гидроксильную группу;
-  – молекулярная связь молекул водорода с молекулой кислорода;



– структурное положение молекулы воды на активной поверхности бентонита

Таким образом, НГМП могут быть использованы и как теплопоглощающий компонент СОТС по аналогии с кристаллогидратами, как это показано в работе [22]. Но в отличие от последних, НГМП значительно более термически и химически устойчивы, что исключает возможность их пригара на поверхности режущего инструмента при экстремальных температурах.

Еще одним подтверждением того, что бентонит в описанных выше условиях будет проявляться эндотермический эффект является, предлагаемый нами, достаточно легко исполнимый эксперимент. Навеска бентонита предварительно просушивается, до стабилизации ее массы в течении 10 мин. Высушенная навеска бентонита ступенчато насыщается влагой до уровня достижения пастообразного состояния и определяется ее масса. Затем начинается обратный процесс – нагрев навески. По количеству теплоты требуемой до полной высушки навески до исходного состояния по весу можно судить о ее теплопоглощающей способности.

Остановим внимание на возможности повторного либо многократного использования масляной СОТС с НГМП. В этом случае решающее значение обретает способность рассматриваемой присадки вновь поглощать воду после нагрева до рабочих температур СОТС в зоне резания.

Обращаясь к работе [23] можно утверждать, что режим предыдущего нагрева может существенно изменить водопоглощающие свойства НГМП. Приведем краткую методику и некоторые результаты из этой работы. К экспериментируемой навеске бентонита добавлялась вода до доведения ее до пастообразного состояния, после чего навеска ступенчато высушивалась, выдерживая последовательно температуры 200, 300, 400, 500, 600, 800 и 900 °С.

После каждой ступени сушки навеску, после 10 минутной стабилизации температуры, регидрировали. На рис. 1.3 представлены результаты этих экспериментов.

Из рис. 1.3 можно сделать вывод о том, что при нагреве бентонита до температуры 200 °С он сохраняет свои свойства регидратации на 61%. Наиболее ощутимое падение регидратационной способности бентонита наблюдается после обжига при 500 °С (показано серым цветом), при этом бентонит регидратируется, то есть сохраняет нужные для нас свойства только на 37%. Такой температурный порог вполне удовлетворяет возможность его использования в составе СОТС, т.к. красностойкость быстрореза составляет 500 °С. При дальнейшем нагревании до 800–900 °С бентонит почти полностью теряет свои регидратирующие свойства, а следовательно становится непригодным при повторном использовании в СОТС с НГМП.

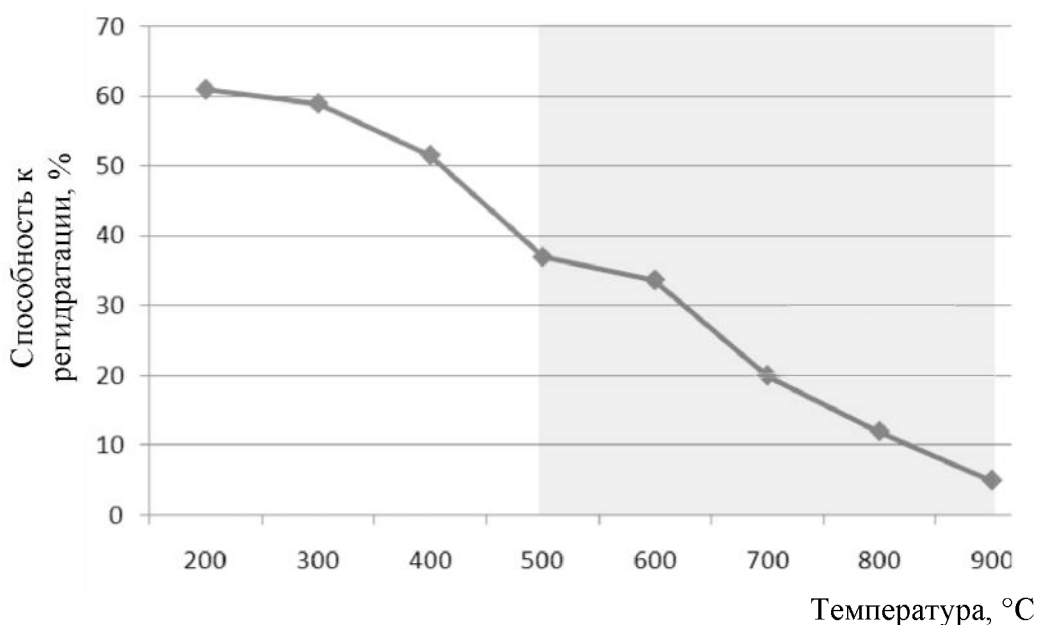


Рисунок. 1.3. Зависимость способности бентонита к регидратации от температуры предыдущего нагрева [23].

На основании изложенного можно сказать, что при перегреве бентонита его свойства ухудшаются. Температурным ограничением нагрева можно считать 500 °С.

Таким образом, с точки зрения пригодности наноглинистых минералов как присадок к масляным СОТС для осуществления теплоотвода из зоны резания, они характеризуются относительно высокой теплотой смачивания, которая в

совокупности с теплотой испарения требует для ее отрыва от поверхности НГМП более высокого энергетического воздействия на адсорбированную воду, чем в моножидкой системе.

При попадании СОТС с НГМП в зону пониженных температур, разрушенный граничный адсорбционный слой автоматически восстанавливается, выделяя в окружающую среду долю энергии, адекватную полученной при контакте с нагретой поверхностью инструмента. Последняя будет конвективно распределяться в объеме СОТС и выводится из системы в окружающую среду.

1.3. Триботехнологические особенности применения наноглинистых минеральных присадок к масляным СОТС

Как уже упоминалось выше, эффективность применения СОТС, достигается за счет охлаждающего, смазывающего, моющего, защитного воздействия на инструмент и заготовку, и диспергирующего воздействия на стружку. Хотя все эти явления происходят практически одновременно, интенсивность каждой из них зависит от условий резания. Поэтому при выборе СОТС целесообразно определять какое из перечисленных действий превалирует – именно его и необходимо усиливать.

Выполнение большинства операций лезвийной обработки конструкционных материалов требует приоритетности смазочного и охлаждающего действий СОТС, тогда как технологические средства, обладающие высоким охлаждающим действием, например вода, имеют низкую смазывающую способность. Такое несовпадение направленности важнейших функций СОТС принуждает к поиску композиций, которые улучшая смазывающие свойства, существенно повышали бы при этом и охлаждающее действие СОТС.

Одним из возможных путей одновременного улучшения триботехнологических свойств масляных СОТС, с целью снижения энергетических затрат на процесс резания и повышение стойкости инструмента

из быстрорежущих сталей, усматривается использование НГМП с описанными выше свойствами. Но на это свойство не фокусируется в литературе внимание отечественных специалистов по обработке конструкционных материалов резанием, тогда как эксперименты показывают, что НГМП к масляным СОТС проявляют положительные результаты.

Результаты экспериментов приведенные в работах [22-24] свидетельствуют о том, что СОТС меняет тепловую обстановку в зоне резания, забирая 50-80% образующегося тепла, а температура в зоне резания понижается при этом всего на 3-12%. Эксперименты, приведенные нами на примере процесса сверления [24] показывают, что предлагаемая НГМП к масляным СОТС существенно повышает стойкость инструмента, снижает энергозатраты на его привод, повышается и качество обработки.

Исследования проведенные в работе [25] показывают, что СОТС, обладающие малой смазывающей способностью и высоким охлаждающим действием, несущественно уменьшают температуру нагрева обрабатываемой поверхности, а технологические среды с высокой смазывающей и низкой охлаждающей способностью (например масла) – уменьшают. Это обстоятельство и остановило предварительный выбор субстанции экспериментальной СОТС в виде масла.

Выбор разновидности масляной субстанции СОТС, по ее происхождению, производился по критической (максимальной) температуре, при которой сохраняются работоспособность. У растительных масел и животных жиров критическая температура составляет 130 °С. Хлорсодержащие присадки могут повысить критическую температуру до 500 °С, а серосодержащие присадки до 900 °С [25].

Выбор вида операции для экспериментальной оценки создаваемой СОТС осуществлен нами по силовому воздействию и условиям контакта инструмента и заготовки. В порядке возрастания трудности обработки, и следовательно, востребованности смазывающих свойств СОТС, считают [26] целесообразным располагать операции в следующем порядке: шлифование, зенкерование,

строгание, точение, растачивание, сверление, фрезерование, развертывание, зубонарезание, резбонарезание. Если брать во внимание осложненность проникновения СОТС в зону резания, где требуется усиливать смазывающее действие, на первое место из этого ряда выдвигаются операции сверления и глубокого сверления.

Усиление триботехнологических свойств СОТС особенно требуется при обработке заготовок из низкотеплопроводных и труднообрабатываемых материалов, при резании которых затрудняется доступ СОТС к контактным поверхностям.

Рассмотрим случай, когда применяется традиционное СОТС без присадок при обработке заготовок из труднообрабатываемых материалов. При подаче такой СОТС в зону резания, происходит ее выдавливание вследствие высоких удельных нагрузок на лезвие РИ и происходит схватывание рабочей поверхности РИ с заготовкой. Таким образом, начинает преобладать сухое резание между рабочей поверхностью РИ и деталью (рис. 1.4).

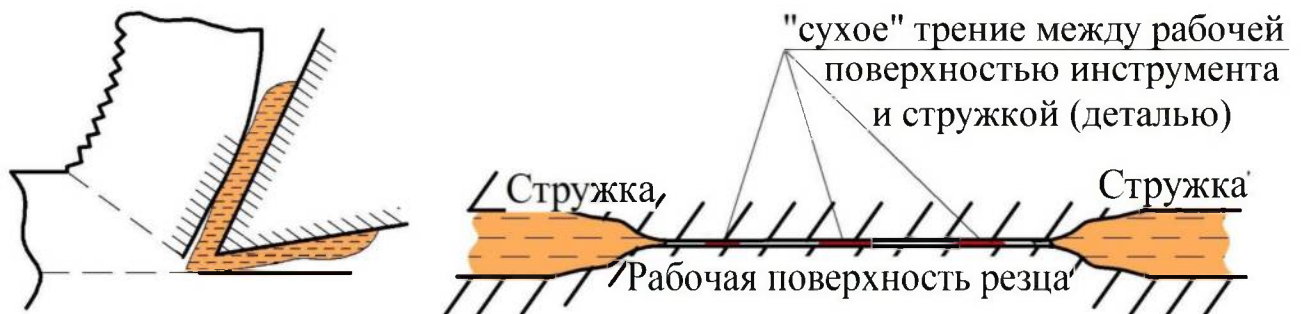


Рис. 1.4. Подача традиционное СОТС в зону резания.

Следует отметить что, в современных моторных маслах стали использовать модификаторы трения, позволяющие снизить коэффициент трения между трущимися деталями. К наиболее известным модификаторам трения относят графит и дисульфид молибдена [27]. Их использование затруднительно, поскольку эти присадки нерастворимы в масле. Они могут быть только диспергированы в масле в виде микрочастиц. Это в свою очередь требует

введения в масло дополнительных дисперсантов и стабилизаторов дисперсии. Однако и эти меры не позволяют использовать такие масла в течении длительного времени.

Уникальные свойства дисульфида молибдена объясняются структурой его кристаллической решетки. Связи между ее слоями так же как у графита относительно слабы, это допускает возможность сдвига даже при малых напряжениях, что и обуславливает низкий коэффициент трения [28].

В работе [28] также отмечается, что изготовление порошков дисульфида молибдена, его стабилизация в объеме масла, очень трудоемкий и сложный процесс, возможный только на крупных производствах, имеющих высококвалифицированный персонал и высокоточную аппаратуру.

Рассмотрим случай применения СОТС с присадкой дисульфида молибдена при обработке заготовок из труднообрабатываемых материалов (рис. 1.5). Такая СОТС попадая в зону резания не позволяет схватыванию РИ и заготовки и ее выдавливанию, тем самым улучшая триботехнологическую обстановку в зоне резания. Это достигается за счет трения слоев дисульфида молибдена между собой, которые и препятствуют их схватыванию. Однако трение между слоями осуществляется в сухую.

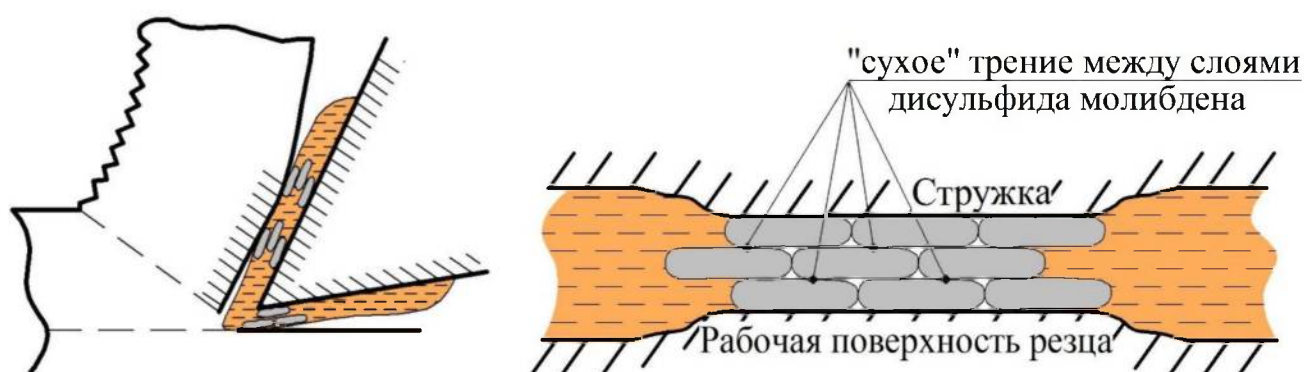


Рис. 1.5. Подача СОТС с присадкой дисульфида молибдена в зону резания.

Использование же НГМП вместо известных модификаторов трения, в виде графита или дисульфида молибдена, применительно к масляным СОТС снимает ряд существенных проблем:

1. Наноглинистые минералы – достаточно широко распространенные природные полезные ископаемые, в том числе и в недрах Крыма, дают им огромное преимущество по себестоимости. Они добываются карьерным способом и не требуют производства с высококвалифицированным персоналом и высокоточным оборудованием.

2. При некоторой внешней схожести кристаллических решеток дисульфида молибдена и бентонитов, возможность сдвига слоев первых происходит «в сухую», а у НГМП может происходить в сопровождении гидрорасклинивания, т.е. в условиях жидкостного трения, что и отражается в итоге на коэффициенте трения, т.е. на триботехнологических свойствах.

3. Необходимость в дисперсантах и стабилизаторах дисперсии при присадке дисульфида молибдена к моторным маслам, из-за несоизмеримо большей их продолжительности работы до замены, при использовании НГМП к масляным СОТС, подаваемых в зону резания по ТМС снимает такую необходимость.

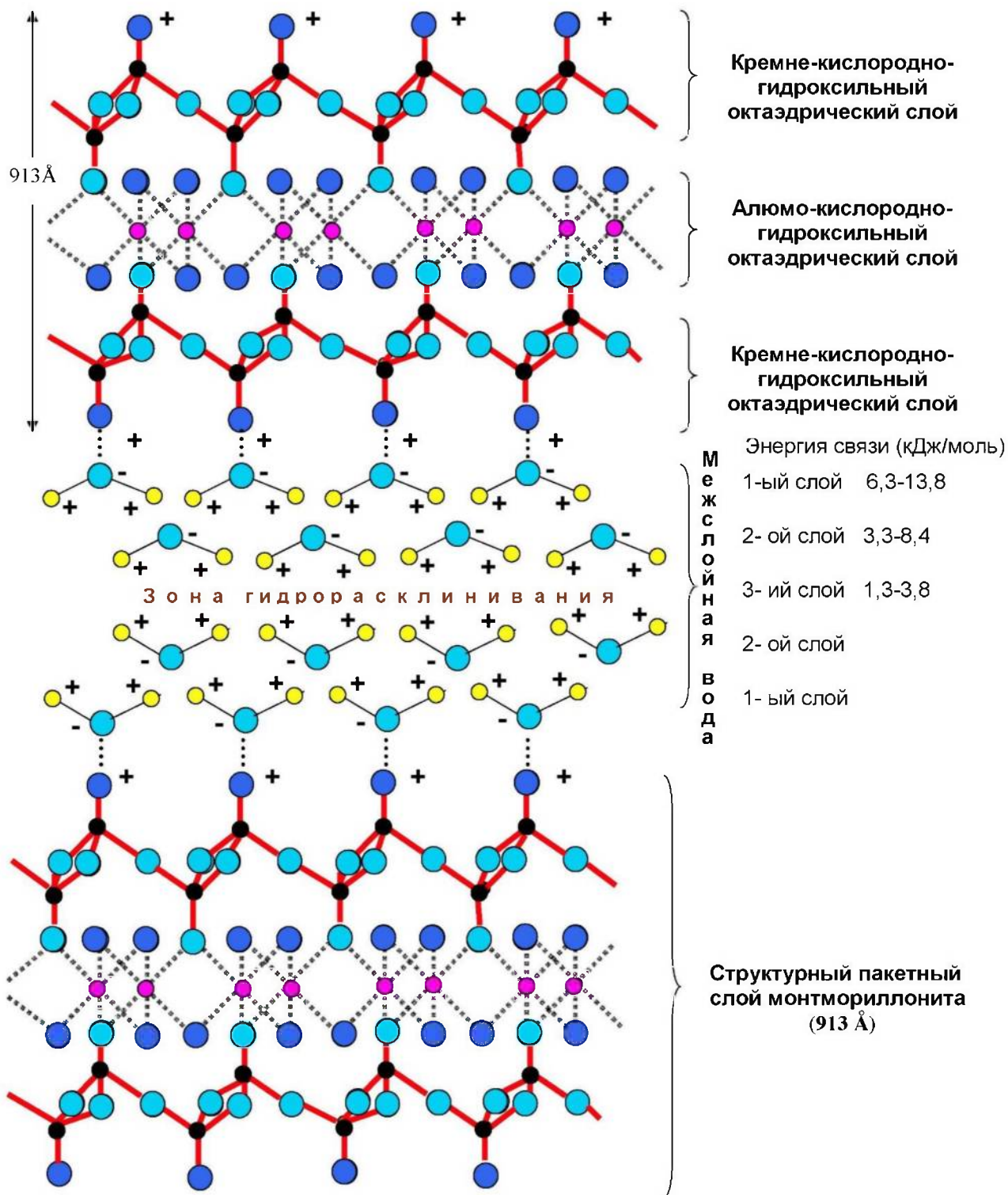
Для того, чтобы показать какие термодинамические преобразования могут происходить с наноглинистыми минеральными присадками в масляной СОТС в процессе лезвийной обработки конструкционных материалов, рассмотрим их поведение в процессе гидратации и дегидратации.

Одним из наиболее известных и доступных наноглинистых минералов, пригодных для использования в качестве присадки к масляным СОТС, с целью получения одновременно высокого охлаждающего действия с одновременным улучшением триботехнологических свойств может быть бентонит – природный нетоксичный и термохимически стойкий наноглинистый минерал, имеющий свойство разбухать при гидратации до 14-16 раз.

Основной составляющей бентонитов является минерал монтмориллонит (70%) – нанодисперсный, слоистый алюмосиликат, с упрощенной химической формулой



Главной его особенностью является трехслойное кристаллическое строение, состоящее из двух внешних слоев кремнекислородных тетраэдров, обращенных вершинами друг к другу, между которыми расположен слой алюмогидроксильных октаэдров (рисунок 1.6).



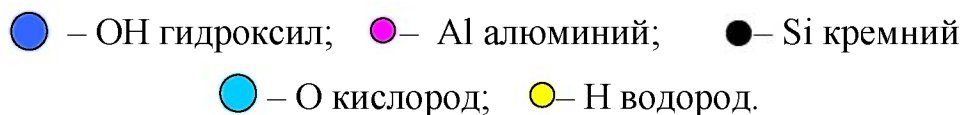


Рисунок 1.6. Структурная схема физико-химического взаимодействия монтмориллонита с водой.

Минеральные частицы монтмориллонита, в естественном природном состоянии, занимают лишь часть объема (55-68%), остальную часть объема составляют поры, заполненные водой и небольшим количеством воздуха (2%). Кристаллическая решетка всех минералов в упрощенном виде состоит из трех слоев, которые образуют пакет (см. рисунок 1.4). Пакет является наименьшей структурной составляющей наноминералов.

Толщина пакета составляет 0,001-0,01 мкм, остальные размеры не превышают 0,3 мкм, а расстояние между пакетами при набухании увеличивается с 0,94 до 2,14 нм (рисунок 1.7). Толщина таких трехслойных пакетов в 100-300 раз меньше их ширины. Благодаря этому слоистые пакеты монтмориллонита обладают очень большой удельной площадью поверхности (до 215 м²/г) при незначительной массе.

Трехслойный пакет в целом имеет отрицательный заряд. Поскольку обе поверхности пакета заряжены отрицательно, между ними действуют отталкивающие силы, облегчающие расклинивающий эффект воды [29].

Связь между структурными слоями (пакетами) монтмориллонита осуществляется за счет молекулярных сил и катионов, находящихся на внешней поверхности пакета. Однако эта связь достаточно слаба чтобы противостоять сорбции (гидратации) на них молекул воды, поэтому структура монтмориллонита обладает свойством набухания. Вследствие этого межпакетное расстояние в структуре монтмориллонита может изменяться в больших пределах в зависимости от влажности (количества воды) и состава межслоевого комплекса.

Указанная особенность монтмориллонита увеличиваться в объеме при введении в систему воды, чрезвычайно важна для использования его

эндотермических и триботехнологических возможностей. Наиболее высокой набухающей способностью обладает чистый монтмориллонит.

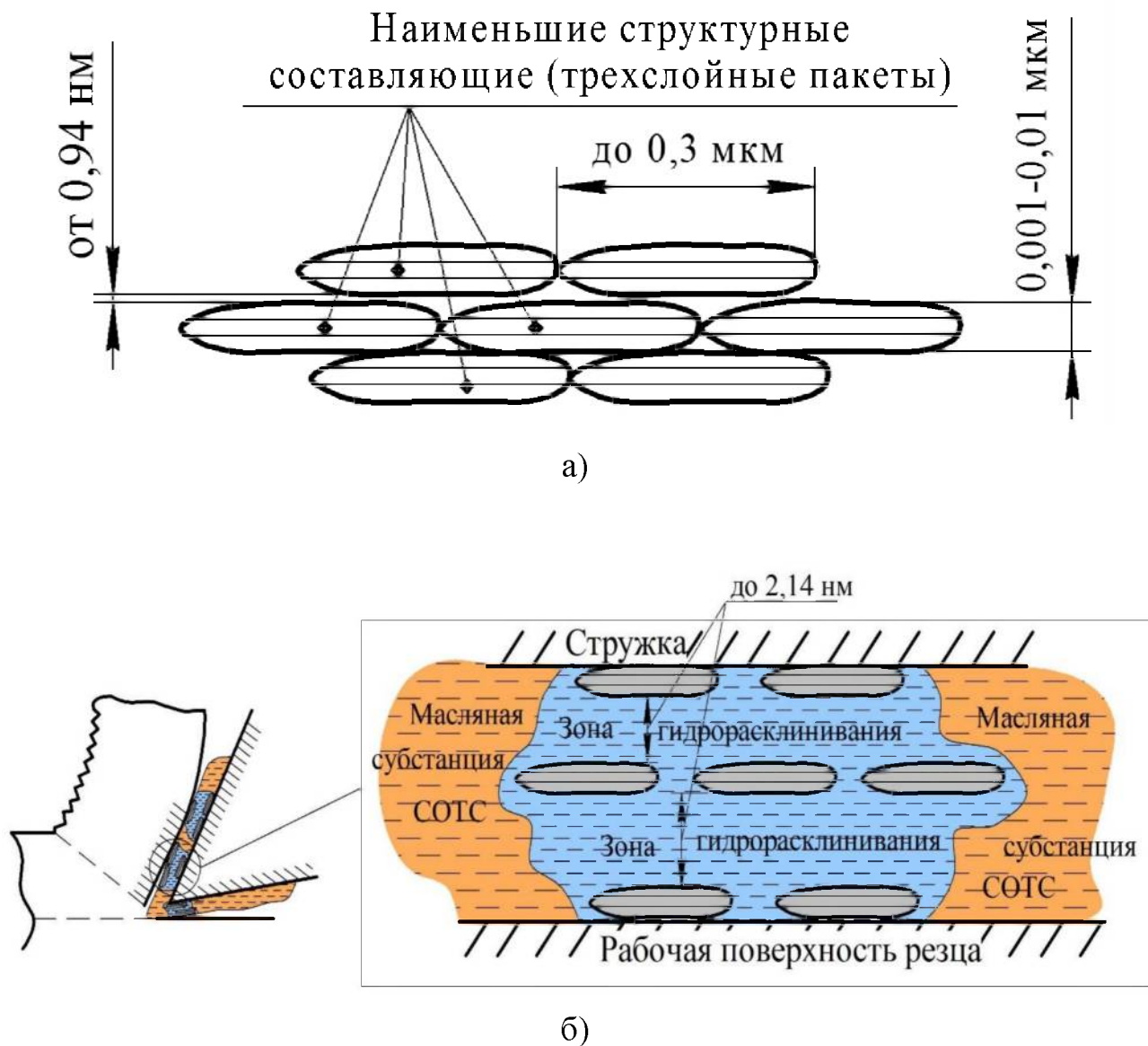


Рисунок 1.7. Субстанция монтмориллонита безводного (а) и с поверхностно сорбированной водой в зоне резания (б).

Описанные выше термодинамические свойства наноглинистых минералов, в частности монтмориллонита, позволяют использовать их в качестве триботехнологической и эндотермической присадки. Для этого, прежде чем

присаживать ее к маслу, необходимо произвести процедуру подготовки, т.е. дозировано гидратировать, создавая между пакетами зоны гидрораслинивания.

Термический анализ свидетельствует [30], что эндотермический (телопоглощающий) эффект у монтмориллонита возникает обычно в интервале температур 50-200 °С с максимумом при 99 °С, что обусловлено удалением адсорбционной и межпакетной воды. Присутствие последней связано с высокой удельной поверхностью слоистых частиц, находящейся обычно в прямой зависимости от разупорядоченности структуры монтмориллонита. Потеря же структурной и кристаллизационной воды, входящей в матрицу монтмориллонита и почти полное разрушение решетки (ее спекание) происходит в пределах от 500 до 600 °С.

Скольжение стружки по передней поверхности инструмента, согласно [31] происходит в условиях граничного трения без существенных вторичных пластических деформаций контактного слоя стружки (резание с малой скоростью в химически активных средах), или «схватывания» с интенсивной пластической деформацией.

Улучшение триботехнологических свойств масляной СОТС при присаживании к нему НГМП можно объяснить тем, что частицы монтмориллонита с поверхностносорбированной между пакетами водой, способны снижать степень проявления сухого трения и схватывания.

Время пребывания СОТС в зоне резания позволяет НГМП проявить одновременно триботехнологические и эндотермические свойства.

Выводы по главе 1.

Предлагается присаживать к масляной субстанции СОТС наноглинистые минералы листовой структуры, проявляющие эндотермический эффект и обладающие лучшими триботехнологическими свойствами, охлаждая зону резания [32].

Предварительное гидратирование НГМП к масляным СОТС позволяет за счет межпакетного скольжения наноминералов формировать в зоне резания

условия, способствующие улучшению триботехнологических свойств масляной СОТС в целом [33].

Теоретически показано в сопровождении каких термодинамических и триботехнологических процессов проявляется положительный эффект применения НГМП к масляным СОТС [34].

ГЛАВА 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕНТОНИТОВОЙ ПРИСАДКИ В ТРАНСМИССИОННОМ МОТОРНОМ МАСЛАХ

Учитывая необходимость решения комплексной проблемы обработки труднообрабатываемых материалов, следует уделить внимание ресурсу и долговечности работы оборудования, на котором производится обработка данных материалов [35].

Учитывая триботехнологические свойства масла с НГМП возникает предложение о внедрении данного состава при обслуживании оборудования для токарной обработки металла [36-42].

Использование же НГМП вместо известных модификаторов трения, в виде графита или дисульфида молибдена, применительно к масляным СОТС снимает ряд существенных проблем:

1. Наноглинистые минералы – достаточно широко распространенные природные полезные ископаемые, в том числе и в недрах Крыма, дают им огромное преимущество по себестоимости. Они добываются карьерным способом и не требуют производства с высококвалифицированным персоналом и высокоточным оборудованием.

2. При некоторой внешней схожести кристаллических решеток дисульфида молибдена и бентонитов, возможность сдвига слоев первых происходит «в сухую», а у НГМП может происходить в сопровождении гидрорасклинивания, т.е. в условиях жидкостного трения, что и отражается в итоге на коэффициенте трения, т.е. на триботехнологических свойствах.

3. Необходимость в дисперсантах и стабилизаторах дисперсии при присадке дисульфида молибдена к моторным маслам, из-за несоизмеримо большей их продолжительности работы до замены, при использовании НГМП к маляным СОТС, подаваемых в зону резания по ТМС снимает такую необходимость.

Наноглинистые минералы за счет удаления молекул воды из ее структуры способны поглощать большое количество теплоты, при этом оторвавшаяся молекула воды остается в системе и при понижении температуры вновь возвращается в ее структуру, что является одной из особенностей наноглинистых минералов. То есть молекула воды высвободившееся из структуры наноглинистой минеральной частицы превращается в пар и остается, в нашем случае, в масляной среде СОТС. Так как масло не может взаимодействовать с водой, то после снижения температуры, например при испарении воды и наноглинистых материалов будет происходить охлаждение деталей и узлов станка, оставшийся пар сконденсируется и обратно возвратится в структуру минерала, восстановив его охлаждающие свойства [42 -47].

Заключение

Исследована возможность использования бентонита в промышленности и при эксплуатации автомобильного транспорта.

Сформулированы преимущества и недостатки использования наноглинистых минералов в качестве присадки к моторным и трансмиссионным маслам. Вследствие сделаны выводы о невозможности использования бентонита в составе моторных масел из-за крупных фракций и возникновения опасности забития системы охлаждения и смазки двигателя наноглинистыми минералами, но данное вещество хорошо подходит для использования в качестве присадки к трансмиссионным маслам из-за своих триботехнологических свойств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Якубов Ч.Ф. Підвищення зносостійкості швидкорізальних інструментів шляхом спрямованої трансформації їх початкових властивостей: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.03.01. «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти» / Ч.Ф. Якубов. – Харків, – 2004. – 20 с.

2. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием : справочник / под ред. С.Г. Энтелиса, Э.М. Берлинера. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.

3. Ошер Р.Н. Производство и применение смазочно-охлаждающих жидкостей (для обработки металлов резанием) / Р.Н. Ошер – М.: 1963. – 226 с.

4. Смазочно-охлаждающие жидкости и их применение при производстве режущего инструмента. Методические рекомендации – М.: ВКИИ инструмент, 1986. – 73 с.

5. DIN 51 385: Schmierstoffe – Kühlschmierstoffe, Begriffe. Berlin: Beuth-Verlag, Juni 1991. – 19 p.

6. Якубов Ч.Ф. Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием / Ч.Ф. Якубов. – Симферополь : ОАО «Симферопольская городская типография», 2008. – 156 с.

7. Латышев В.Н. Исследование механических процессов и эффективности применения смазочных средств при трении и обработке металлов : дис ... докт. техн. наук.: спец. 05.03.01 / В.Н. Латышев. – М. : 1973. – 412 с.

8. Латышев В.Н. Повышение эффективности СОТС / В.Н. Латышев. – М. : Машиностроение, 1975. – 88 с.

9. Бердичевский Е.Г. Интенсификация обработки резанием термомеханическими способами и активацией технологических средств. Обзор / Е.Г. Бердичевский. – М. : НИИмаш., 1982. – 56 с.

10. Бердичевский Е.Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов : справочник / Е.Г. Бердичевский. – М. : Машиностроение, 1984. – 224 с.

11. Bowden F.P. The surface temperature of sliding solids. Proc.Roy.Soc. 1967.V.A. 222. – P. 29...40.

12. Ярославцев В.Н. Исследование крутящего момента при сверлении с подачей СОТС под статическим давлением / В.Н. Ярославцев, А.И. Сабельников // Теория трения, износа, смазки и обрабатываемости металлов. Вып. 6 – Чебоксары : ЧувГУ, 1980.– С. 47–51.

13. Худобин Л.В. Влияние физико-химической активации на свойства СОЖ / Л.В. Худобин, В. И. Костельникова, Р.К. Луке // Рукопись представлена журналом «Физико-химическая механика материалов». Деп. в ВИНТИ 10.06.80. № 4439–80 ДЕП.

14. Марков В.В. Повышение эффективности и экологической безопасности лезвийного резания путем применения энергетической активации и оптимизации состава присадок СОТС : дис ... докт. техн. наук : спец. 05.03.01 / В.В. Марков. – Иваново, 2004. – 406 с.

15. Петров В.М. Поверхностно-активные вещества, применяемые в современных СОТС обработки металлов резанием / В.М. Петров, Е.Н. Белецкий, О.В. Говорова, Н.Ю. Сойту / Современные технологии, оборудование и оснастка машиностроительного производства: Сб. научн. тр. – СПб.: Изд. «Инструмент и технологии», 2006. – №24. С. 25 – 237с.

16. Латышев В.Н. О смазочном и химическом действии внешней среды при резании металлов / В.Н. Латышев, А. Г. Наумов // Трение и износ, 2001. Т.22, №3. С. 342-348.

17. Ванин В.С. Влияние CO_2 на диффузионные процессы при трении и резании / В.С. Ванин, А.П. Москалев, Э.А. Станчук // Труды Николаев. политехн. инст. Николаев. 1968. Вып. 27. С. 82-93.

18. Рутман П.А. Исследование влияния электрокапиллярного понижения прочности на процессы микрорезания и абразивной обработки материалов : автореф. дис. ... канд. хим. наук. – М. : МГУ, 1977. – 16 с.

19. Годлевский В.А. Исследование возможности активизации смазочно-охлаждающих жидкостей методом поверхностного электрического заряжения зоны резания : дис. ... канд. техн. наук. – Иваново, 1982. – 250 с.

20. Годлевский В.А. О взаимодействии СОЖ с электрически заряженной поверхностью металла / В.А. Годлевский // Физико-химическая механика процесса трения. – Иваново, 1978. – С. 30–36.

21. А. С. № 210609 СССР, МКИ² В 23 В. Способ охлаждения и смазки распыленными ионизированными жидкостями / Горбунова Е.В., Латышев В.Н., Солодихин А.И. (СССР). – № 1037928/25-8; заявл. 05.04.67 ; опубл. 06.02.68. Бюл. № 6.

22. Подгорков В.В. Влияние электризации распыленных жидкостей на эффективность их действия / В.В. Подгорков // Станки и инструмент, 1966. – № 8. – С. 12–16.

23. Верещагин А.Н. Поляризация молекул / А.Н. Верещагин. – М. : Наука, 1980. – 176 с.

24. Кретинин О.В. Количественная оценка воздействия импульсного давления технологической среды на процесс резания / О.В. Кретинин, А.А. Москвичев // Опыт применения новых смазочно-охлаждающих технологических сред при обработке металлов резанием : тез. докл. Всесоюзн. научно-техн. семинара. – Горький, 1987. – С. 39–40.

25. Худобин Л.В. О возможности активации СОЖ импульсными электрическими полями / Л.В. Худобин, В.Ф. Жданов // Чистовая обработка деталей машин. – Саратов : СПИ, 1980. – С. 49–53.

26. Venkatesh V.C. On a diffusion wear model for high speed tools / V.C. Venkatesh // Trans ASME Journal of Lubrication Technology. – 1978. – V. 100. – № 2. P. 436–411.

27. Сучков Н.Ф. Изучение влияния магнитной активации СОЖ на процесс резания / Н.Ф. Сучков, В.Н. Латышев // Труды Ивановского текстильного института. Вып. 8. – Иваново, 1966. – С. 6–11.

28. Умаров Э.А. Влияние гамма-облучения эмульсола на износ резцов и чистоту обработанной поверхности / Э.А. Умаров, Н.М. Шевердина, Г.И. Якунин // Труды Ташкентского политехн. инст. Вып. 137. Ташкент, 1974. – С. 124–126.

29. Елимзаров А.И. О механизме охлаждающего действия СОЖ / А.И. Елимзаров, Н.Г. Антонова // Обработка металлов резанием с применением СОЖ : материалы научно-техн. семина. – М. : МДНТПД, 1987. – С. 64–69.

30. Кисилев Е.С. Эффективность ультразвуковой техники подачи СОЖ на операции шлифования / Е.С. Кисилев, А.Н. Унянин // Смазочно-охлаждающее технологическое средства при механической обработке заготовок из различных материалов : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Ульяновск, 1993. – С. 67–68.

31. Решетников А. Г. Активация смазочных материалов лазерным излучением / А. Г. Решетников // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении : межвуз. науч. сб. / СГТУ. - Саратов, 2004. – С. 130-132.

32. Абдулгазис Д.У. Повышение эффективности процесса сверления за счет использования масляных СОТС с эндотермическими свойствами. Автореферат на соискание ученой степени канд. техн. наук. Севастополь, 2012. – 20 с.

33. Крымова В.В. Исследование процессов адсорбции ионов Fe_3^+ на бентонитах / Крымова В.В., Щербин Э.А // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». Том 25 (64). 2012. № 4. С. 248-254.

34. Тарасевич Ю. И., Овчаренко Ф. Д. Адсорбция на глинистых минералах. Киев: Наукова думка, 1975, с. 352.

35. Кудин А. В., Берман О. Н. Водоснабжение и сан. техника, 1987, № 1, с. 17.

36. Панасевич А. А. и др. В сб.: Дисперсные минералы Закарпатья и научно-технический прогресс. Ужгород: Изд. Ужгородск. ун-та, 1988, с. 110-120.

37. Технологические свойства новых СОЖ для обработки резанием / под ред. М.И. Клушина. – М.: Машиностроение, 1979. – 192 с.

38. Тимофеев С.М. Исследование влияния смазочно-охлаждающих жидкостей на энергетические соотношения процесса резания материалов: дисс... канд. техн. наук: – Ташкент; К., 1982. – 183 с.

39. Якубов Ф.Я. Структурно-энергетические аспекты упрочнения и повышения стойкости режущего инструмента / Ф.Я. Якубов, В.А. Ким – Симферополь: Крымучпедгиз, 2005. – 300 с.

40. Умеров Э.Д. Экспериментальная оценка результативности присадки наноглинистых минералов слоистой структуры к масляным СОТС / Э.Д. Умеров, Д.У. Абдулгасис, У.А. Абдулгасис // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Вып. 46. Технические науки. – Симферополь: НИЦ КИПУ, 2014. – С. 68-73.

41. Виноградов Д.В. Применение смазочно-охлаждающих технологических средств при резании металлов: учебное пособие по курсу «Инструментообеспечение машиностроительных предприятий» / Д.В. Виноградов. – Ч. 1: Функциональные действия. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 90 с.

42. Бентонит как природный наноминерал. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bestreferat.ru/referat-215301.html/>

43. На–монтмориллонит. – Технический словарь. Том 1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.ai08.org/index.php/term ... xhtml](http://www.ai08.org/index.php/term...xhtml).

44. Структурные формы и подвижность молекулярной воды в монмориллоните [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://chem.kstu.ru/butlerov_comm/rus/home.htm/

46. Рыжкин А.А. Обработка материалов резанием: учебное пособие / А.А. Рыжкин, К.Г. Шучев, М.М. Климов. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. – 411 с.

47. Солоненко В.Г. Повышение работоспособности режущих инструментов / В.Г. Солоненко. – Краснодар, Ростов-на-Дону: Кубанский гос.

технолог. ун-т, Северо-Кавказский отдел Академии проблем качества РФ, 1997. – 223 с.