

УДК 621.9.026

Д.У. Абдулгасис, ст. преподаватель, канд. техн. наук,

Э.Д. Умеров, аспирант,

У.А. Абдулгасис, профессор, д-р техн. наук

Республиканское высшее учебное заведение «Крымский инженерно-педагогический университет»,
ул. Севастопольская, пер. Учебный, 8, г. Симферополь

ervin777@yandex.ru

ПРЕДПОСЫЛКИ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭНЕРГОЕМКИХ ЭНДОТЕРМИЧЕСКИХ ПРИСАДОК К МАСЛЯНЫМ СОТС В ВИДЕ НАНОГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ

В статье показана возможность применения бентонитов как теплопоглощающий компонент СОТС. Предложена структурная форма адсорбционного слоя воды на поверхности бентонита и механизм проявления эффекта дегидратации.

Ключевые слова: масляные СОТС, резание металлов, эндотермический эффект, бентонит

Постановка проблемы. Использование масел минерального, синтетического и растительного происхождения в качестве смазочно-охлаждающих технологических сред (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 теплоотводящей способности остаются актуальными.

Анализ литературы. В работе [1] 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 [1] сделан значительный шаг на пути создания масляных экологически безопасных СОТС, обладающих эндотермическим эффектом. Однако применение кристаллогидратов имеют и усложняющие стороны, что привело к пересмотру существующих и поиску новых эндотермических присадок к масляным СОТС. В работе [2] выдвинута 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 и триботехнической обстановки в зоне резания труднообрабатываемых материалов.

В работах [2, 3] описаны результаты экспериментов по применению наноглинистых минеральных присадок (НГМП) к масляной основе СОТС на фрезерном станке с ЧПУ, марки «МАНО МН 600Е» (Германия), который был оснащен системой подачи СОТС в зону резания техникой минимальной смазки MiniCool фирмы «NOGA» (Израиль). Применение НГМП к масляной СОТС, в процессе сверления титанового сплава ВТ22 способствовало снижению осевой силы P_0 и крутящего момента $M_{кр}$, способствовало повышению стойкости быстрорежущего инструмента и уменьшению шероховатости обработанной поверхности. Положительное влияние НГМП сказывается и на формировании стружки. Она обретает форму короткой винтовой спирали и развернутой ленты.

Цель статьи – показать предпосылки к возможности использования НГМП для управляемого термодинамического воздействия на ситуацию в зоне резания.

Основное содержание работы. Наноглинистые минералы широко используются в различных отраслях промышленности. Самый распространенный из них – бентонит, применяется при производстве керамики, раствора для буровых работ, используется в гидростроительстве для тампонажных целей и даже находит применение в пищевой промышленности [4-5].

Бентониты являются экологически безопасным материалом и при этом имеют низкую стоимость. Их месторождения распространены по всему миру и залегают на территории Украины в достаточно большом количестве, в том числе и в Крыму [6].

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 [4].

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 приведены электронные снимки [7] бентонита под микроскопом, где отчетливо наблюдается чешуйки в виде листовых слоев разных размеров и форм.

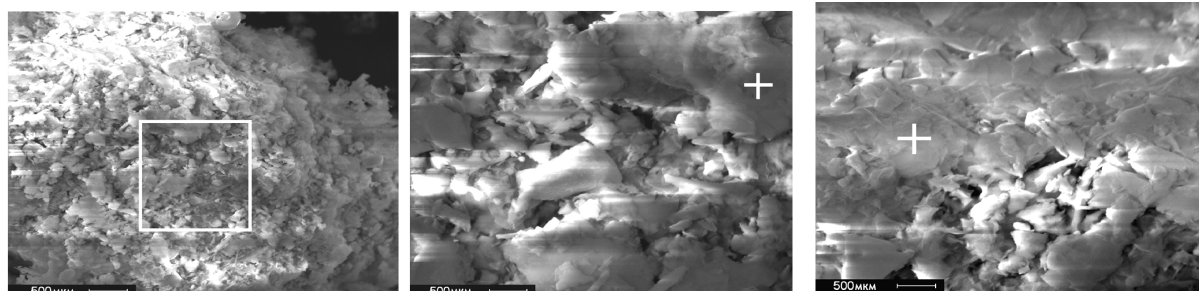


Рисунок 1 – Электронные фотографии природного бентонита под микроскопом [7]

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

Вода обладает хорошо выраженной полярностью своей молекулы, имеющей с одной стороны положительный заряд от спаренных катионов водорода (H^+ , H^+), с другой – двоекратный 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 [8]. 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 теплоемкость, то есть теплообменный потенциал, свободной воды составляет в стандартных условиях – 75,31 Дж/моль.

Таким образом, наноглинистые минералы за счет удаления молекул воды с 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 высвободившаяся 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, вода в виде пара 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 [1]. 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 рисунке 2.

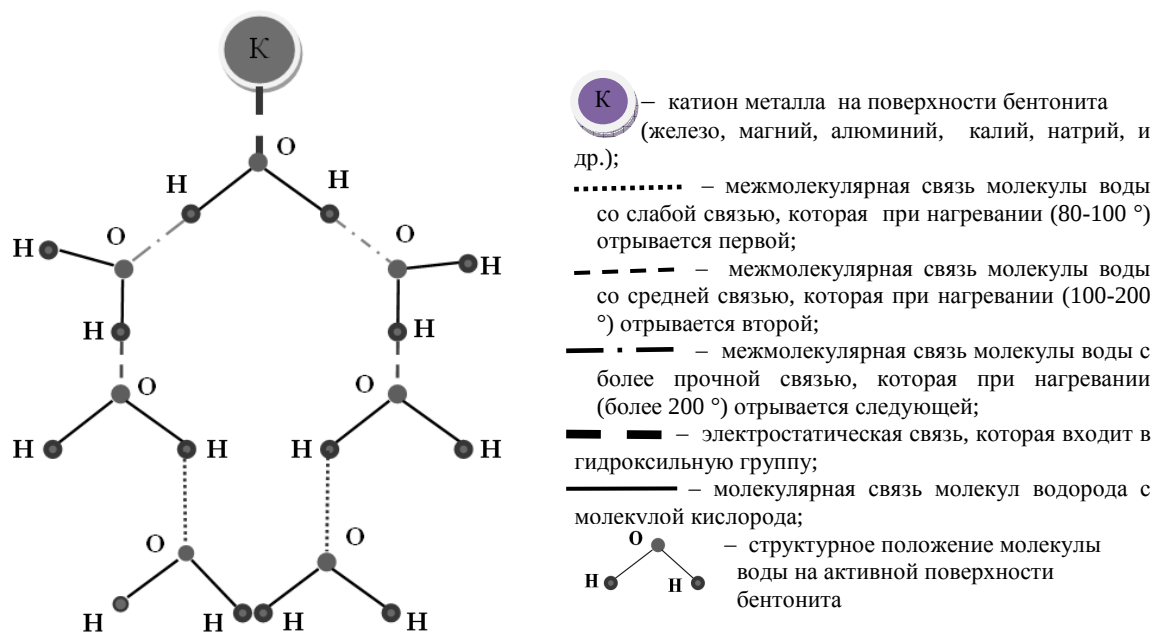


Рисунок 2 – Структурная форма адсорбционного слоя воды на поверхности бентонита (на примере с семью молекулами воды)

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.

Таким образом, бентониты могут быть использованы как теплопоглощающий компонент СОТС по аналогии с кристаллогидратами, как это показано в работе [1]. Но в отличие от последних, бентониты значительно более термически и химически устойчивы, что исключает возможность их пригара на поверхности режущего инструмента при экстремальных температурах.

Для доказательства того, что бентониты могут проявить эндотермический эффект по аналогии с кристаллогидратами, на рисунке 3 представлена дериватограмма бентонита, приведенная в работе [9].

Конечно же, процесс дегидратации бентонитов будет зависеть от месторождения и от минералогических особенностей, но при этом большого отличия между собой не будет.

Из дериватограммы видно, что при температуре 100–150 °С происходит первый эндотермический эффект – удаление адсорбированной и межпакетной воды. Завершающий эндотермический эффект протекает при температуре 500–650 °С с удалением гидроксильной группы. Температурный диапазон, при котором происходит эндотермический эффект, вполне подходит для применения НГМП при обработке труднообрабатываемых металлов (например, при сверлении), где температура при использовании быстрорежущего инструмента в зоне резания составляет [10] около 270 °С.

При необходимости, температурный разрыв между первым и завершающим эндотермическими эффектами можно заполнить эндотермическими эффектами других минералов либо кристаллогидратов.

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 течение 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.

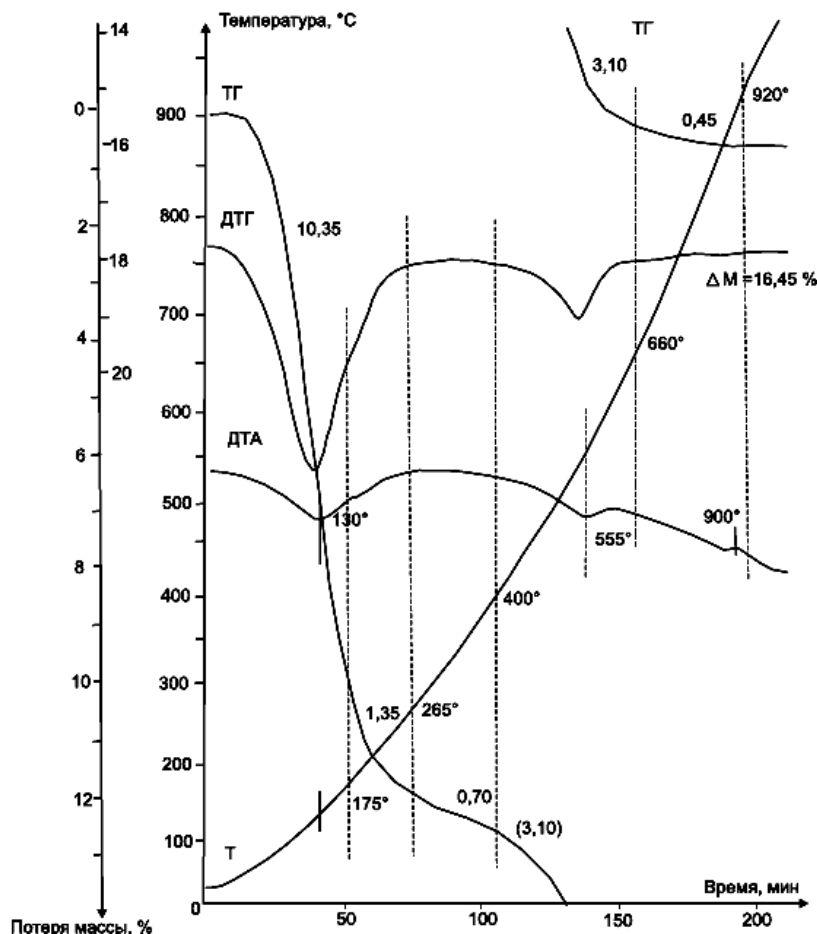


Рисунок 3 – Дериватограмма дегидратации бентонита [9]:

Т – текущая температура реактора дериватографа в процессе эксперимента;

ДТГ – изменение массы навески; ДТА – изменение энтальпии (теплосодержания) минерала

Обращаясь к работе [9] 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 °C.

После каждой ступени сушки навеску, после 10 минутной стабилизации температуры, регидрировали. На рисунке 4 представлены результаты этих экспериментов.

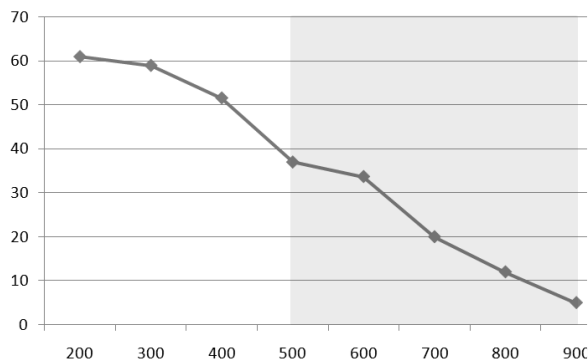


Рисунок 4 – Зависимость способности бентонита к регидратации от температуры предыдущего нагрева [9]

Из рисунка 4 можно сделать вывод о том, что при нагреве бентонита до температуры 200 °C он сохраняет своих свойства регидратации на 61%. Наиболее ошутимое падение регидратационной способности бентонита наблюдается после обжига при 500 °C (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.

На основании изложенного можно сказать, что при перегреве бентонита его свойства ухудшаются. Температурным ограничением нагрева можно считать 500 °С, а приемлемым температурным оптимумом срабатывания эндотермического эффекта НГМП в масляной СОТС является 200 °С.

Выводы. С точки зрения пригодности наноглинистых минералов как присадок к масляным СОТС для осуществления теплоотвода из зоны резания, рассмотренные наноглинистые частицы, в частности бентониты характеризуются следующими свойствами:

- относительно высокая теплота смачивания, которая в совокупности с теплотой испарения требует для ее отрыва от поверхности НГМП более высокое энергетическое воздействие на адсорбированную воду, чем в монокристаллической системе;

- наличие электростатического притяжения между диполями адсорбированной воды и ионов кристаллической решетки бентонита, дополнительно увеличивает уровень энергии, необходимой для разрыва сил электростатического взаимодействия;

- водная фаза граничного слоя обладает более высокой теплоемкостью в сравнении с объемной водой;

- после съема избыточной теплоты в высокотемпературной зоне наноглинистая минеральная частица способна отдавать избыточную теплоту путем теплоотдачи в более холодной зоне и возвращаться в исходное состояние, то есть регидрироваться.

Учитывая весьма высокую удельную поверхность адсорбционной поверхности наноглинистых минералов с вышеотмеченными аномальными теплофизическими свойствами, можно рассчитывать на их более высокую теплообменную способность в качестве эндотермической присадки к масляным СОТС.

Наноглинистые минералы листовой структуры, окруженные гидратной оболочкой адсорбированной воды или другой полярной жидкостью (например, этиленгликолем или др.), при контакте с высокотемпературной поверхностью будут поглощать тепловую энергию, которая расходуется на разрыв сил электростатического взаимодействия между жидкостью и твердой фазой в объеме граничного слоя. Следовательно для этого требуется более высокая энергия, чем при обычной теплоотдаче от твердого к жидкому. Процесс теплоотвода (съема тепловой энергии) в этом случае будет значительно выше.

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 выводиться из системы в окружающую среду.

Для подтверждения сделанных выводов и определения наиболее оптимальных условий использования теплообменного потенциала гидратной оболочки считаем необходимым в дополнение к уже проведенным экспериментам провести расчетное моделирование процесса.

Библиографический список использованной литературы

1. Абдулгасис Д.У. Підвищення ефективності процесу свердління за рахунок використання масляних СОТС з ендотермічними властивостями: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти / Д.У. Абдулгасис. – Севастополь, 2013. – 20 с.
2. Абдулгасис Д.У. Экспериментальные исследования эффективности масляной СОТС с присадкой наноглинистых минералов листовой структуры / Д.У. Абдулгасис, Э.Д. Умеров, Э.Э. Ягьяев, С.Р. Меметов, У.А. Абдулгасис // Резание и инструмент в технологических системах: междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – Вып. 83. – 313 с. С.3-9.
3. Абдулгасис Д.У. Повышение эффективности масляных СОТС при сверлении титановых сплавов применением наноглинистых минеральных присадок / Д.У. Абдулгасис, Э.Д. Умеров, Э.Э. Ягьяев, С.Р. Меметов, У.А. Абдулгасис // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Вып. 40, Технические науки. – Симферополь: НИЦ КИПУ, 2013. – С. 49-54.
4. Соколов В.Н. Глинистые породы и их свойства / В.Н. Соколов // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6. – № 9. – С. 59-65.
5. Кульчитский Л.И. Физико-химические основы формирования свойств глинистых пород / Л.И. Кульчитский, О.Г. Урусьянов. – М: Недра, 1981. – 253 с.
6. Полканов Ю.А. Минералы Крыма: науч.-попул. очерк / Ю.А. Полканов. – Симферополь: Таврия, 1989. – 160 с.

7. Кононенко С.А. Технологические основы модифицирования бентонита Тарасовского месторождения для формовочных смесей: автореф. дисс... канд. техн. наук: спец. 05.17.01 «Технология неорганических веществ» / С.А. Кононенко. – Новочеркасск, 2009. – 20 с.

8. Чураев Н.В. Физико-химия процессов массопереноса в пористых телах / Н.В. Чураев. – М.: Химия, 1990. – 272 с.

9. Горюшкин В.В. Технологические свойства бентонитов палеоцена Воронежской антеклизы и возможности их изменения / В.В. Горюшкин // Вестник Воронежского университета. Геология. — 2005. — № 1. – С. 166–177.

10. Ящерицын П.Н. Теория резания: учеб. / П.И. Ящерицын, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2006. – 512 с.

Поступила в редакцию 24.01.2014 г.

Абдулгасіс Д.У., Умеров Е.Д., Абдулгасіс У.А. Передумови до використання енергоємних ендотермічних присадок до масляним МОТС у вигляді наногліністих мінералів

У статті показана можливість застосування бентонітів як теплопоглинальних компонент МОТС. Запропоновано структурну форму адсорбційного шару води на поверхні бентоніту і механізм прояви ефекту дегідратації.

Ключові слова: масляні МОТС, різання металів, ендотермічний ефект, бентоніт

Abdulgazis D.U., Umerov E.D., Abdulgazis D.U. Prerequisites to use energy intensive endothermic additives for oil coolants as nanoclays minerals

The article shows the possibility of using bentonite as a heat absorbing component CLTT. The structural shape of the adsorption layer on the surface of water and bentonite mechanism manifestation of the effect of dehydration.

Keywords: oil coolants, cutting metals, endothermic effect, bentonite.