

УДК 621.921

В. И. Лавриненко, д-р техн. наук, Киев, Украина,
В.Ю. Солод, канд. техн. наук, Днепродзержинск, Украина

К ВОПРОСУ О ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ДЕЙСТВИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ КРУГАМИ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

В даній статті розглядаються питання із застосування мастильно-охолоджувальних технологічних середовищ стосовно процесів абразивної обробки шліфувальним інструментом з НТМ. Наведені відомості по явищам, що супроводжують застосування технологічних середовищ, показані їх дії та функції при застосуванні в процесах абразивної обробки.

В данной статье рассматриваются вопросы использования смазочно-охлаждающих технологических сред применительно к процессам абразивной обработки шлифовальным инструментом из СТМ. Приведены сведения по явлениям, сопровождающим применение технологических сред, показаны их действия и функции при использовании в процессах абразивной обработки.

This article focuses on the effective use of lubrication-cooling technological environments as applied to the processes of abrasive machining with the grinding tool made of extra-hard materials. The article provides the information on the effects of the technological environments usage and describes their operational properties and functions in the abrasive machining processes.

Технологические среды (ТС) при абразивной обработке должны обладать рядом функций: охлаждающей, смазывающей, моющей и др. В условиях шлифования кругами из синтетических алмазов и кубонита наибольшее влияние на процесс шлифования оказывают смазывающая и моющая способность ТС. При шлифовании алмазными кругами большее внимание уделяется смазывающей способности, а кубонитовыми – моющей способности. В других равных условиях охлаждающие способности ТС должны быть более высокими при шлифовании алмазными кругами [1]. Обратим внимание на то, что подача смазывающе-охлаждающей жидкости в зону шлифования не оказывает влияния на контактную температуру при шлифовании. Вследствие высоких давлений, возникающих в зоне контакта алмаза с металлом, жидкость не попадает в эту зону и ее охлаждающее действие происходит после прохождения режущего зерна, что в целом снижает только среднюю температуру шлифования [2]. Все это и определяет функциональное действие ТС при абразивной обработке кругами из СТМ. Рассмотрим далее эти функции. **Охлаждающая функция технологических сред.** Охлаждающий эффект внешней среды состоит в отборе, через конвективный теплообмен, тепла, образующегося при пластическом деформировании и трении. Скорость

нагревания в очаге деформации и контакте «абразивное зерно – обрабатываемый материал» является достаточно большой (около $2 \cdot 10^7 \text{ град/с}$) в связи с чем, отбор тепла из этой зоны путем выноса его частичками внешней среды является практически невозможным. Поэтому охлаждающий эффект имеет место только за пределами мгновенной зоны контакта [3].

Охлаждающая функция ТС связана с количеством теплоты, которое может быть отведено от режущего инструмента, и определяется коэффициентом теплообмена, который в значительной степени зависит от теплофизических и скоростных характеристик среды [4]. Пути интенсификации охлаждения [5]:

- использование в качестве ТС жидкостей, имеющих наиболее высокую теплопроводность, теплоемкость и плотность;
- использование ТС с наименьшей кинематической вязкостью;
- увеличение скорости относительного перемещения потока ТС и охлаждаемого объекта.

На прямые охлаждающие характеристики ТС оказывает влияние не только ее теплоемкость и теплопроводность, а и способность ТС к смачиванию и парообразованию, поскольку при высоких скоростях резания и температурах жидкость может не входить в непосредственный контакт с поверхностью инструмента из-за низкой смачиваемости или образования паровой подушки. Снижение температуры при резании достигается преимущественно за счет активного теплоотвода с незапятнанной стружкой поверхностей инструмента, примыкающих к зоне резания. Увеличение интенсивности отвода тепла от стружки оказывает меньшее влияние на температуру в зоне резания из-за кратковременного контакта стружки с инструментом. Для лучшего отбора тепла от инструмента в нем образуют внутренние полости, содержащие воду, фреон или металлы, имеющие низкую температуру плавления и высокую теплоемкость [6]. Одним из вариантов такого решения, разработанного нами, является использование эффекта предварительного водопоглощения рабочим слоем кругов из СТМ, что позволяет до 2-х раз повысить износостойкость кругов [7].

Среди методов интенсификации теплоотдачи через ТС по мнению авторов [8] наиболее эффективными являются те, которые могут воздействовать на пристенную турбулентность. Напомним, что турбулентный режим движения жидкости происходит в том случае, когда поток жидкости имеет определенную неупорядоченность и при этом число Рейнольдса Re является большим за 2000 [9]. К способам воздействия на пристенную турбулентность относится наложение на двигающийся поток ультразвуковых колебаний. Связано это с тем, что кинетическая энергия турбулентного движения является малой в сравнении с кинетической энергией усредненного течения, поэтому воздействие на пристенную турбулентность обычно требует

небольших (в сравнении с воздействием на течение в целом) энергетических затрат. Интенсификация теплоотдачи за счет наложения на поток жидкости периодических колебаний (ультразвуковых) позволяет до 1,25 раза повысить такую теплоотдачу. Так, при плоском шлифовании стали 40X снижение контактной температуры за счет теплоотвода без наложения ультразвука составило 7%, а с наложением ультразвука – 12%. Для стали 95X18 это снижение составило 3 и 7% соответственно [8].

Обратим внимание, что интенсификация теплоотдачи в зоне шлифования на 20% является эквивалентной повышению затрат на подачу ТС в 7 раз, а повышение теплоотдачи на 40% является эквивалентным более чем 30-кратному увеличению расхода ТС. Учитывая это, компенсация интенсивного теплообразования за счет экстенсивного повышения расхода ТС является малоэффективной [8].

Охлаждающая функция при кратковременном и прерывистом контакте не успевает проявиться и не оказывает влияние на контактную температуру. При удлинении контакта роль охлаждения увеличивается [10]. Наиболее эффективную охлаждающее действие обеспечивают растворы разных солей в воде, удельная теплоемкость которой составляет $4,187 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$, а теплопроводность $0,5815 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$. Для масел – удельная теплоемкость составляет $1,884 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$, а теплопроводность $0,14 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$ [10].

Далее укажем свойства охлаждающих сред.

Воздух – как охлаждающая технологическая среда. Свойства [4]: при температуре 20 °C: плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$ – 1,205; теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$ – 0,025; теплоемкость, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ – 1,004; вязкость $\nu \cdot 10^3$, $\text{м}^2/\text{час}$ – 54,3; при температуре –40 °C: плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$ – 1,515; теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$ – 0,021; теплоемкость, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ – 1,013; вязкость $\nu \cdot 10^3$, $\text{м}^2/\text{час}$ – 36,0.

Вода (H_2O) – как охлаждающая технологическая среда и основа водных ТС. Свойства – плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$ – 998,2; теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$ – 0,598; теплоемкость, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ – 4,182; вязкость $\nu \cdot 10^3$, $\text{м}^2/\text{час}$ – 3,6 [4]; электропроводность, $\text{Ом} \cdot \text{м}$ – 10^{-4} [11]. Водородный показатель (pH) для всех применяемых на практике концентрациях водных ТС должен составлять 9,0–9,5, что связано с требованиями безвредности для кожи человека [12].

Свойства солей, входящих в водные растворы охлаждающих сред:

Аммоний бром (NH_4Br) – плотность, $\cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ – 2,40; стандартная молярная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K})$ – 88,7; растворимость в воде при 20 °C, $\text{г}/100\text{г}$ – 74,2; температура возгонки, °C – 394 [13].

Аммоний фосфат ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) – плотность, $\cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ – 1,77; стандартная молярная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K})$ – 187; растворимость в воде при 20 °C, $\text{г}/100\text{г}$ – 75,4; температура разложения, °C – 218 [13].

Аммоний хлор (NH_4Cl) – плотность, $\cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ – 1,53; стандартная молярная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K})$ – 84,1; растворимость в воде при 20 °C, $\text{г}/100\text{г}$ – 37,2; температура возгонки, °C – 338 [13]. Установлено,

что при полировании стекла инструментом со связанным абразивом (CeO_2) введением в состав связки инструмента солей NH_4Cl производительность полирования повышается, а хемосорбция усиливается в 1,5 раза [14].

Натрий тетраборнокислый ($Na_2B_4O_7$) – плотность, $\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – 1,73; растворимость в воде при 20 °С, $г/100г$ – 5,0 [13]. При превышении ПДК в ТС работники страдают хронической экземой, может наблюдаться облысение [15].

Нитрат калия (KNO_3) – плотность, $\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – 2,11; стандартная молярная теплоемкость, $Дж/(моль \cdot К)$ – 96,27; растворимость в воде при 20 °С, $г/100г$ – 31,6; температура плавления, °С – 334 [13].

Нитрат натрия ($NaNO_3$) – плотность, $\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – 2,26; стандартная молярная теплоемкость, $Дж/(моль \cdot К)$ – 93,05; растворимость в воде при 20 °С, $г/100г$ – 87,6; температура плавления, °С – 307 [13]. Обращено внимание на то, что в организме соли нитрата могут переходить в нитриты [15].

Нитрат никеля ($Ni(NO_3)_2$) – плотность, $\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – 2,04; стандартная молярная теплоемкость, $Дж/(моль \cdot К)$ – 454,4; температура плавления, °С – 56,7 [13].

Нитрат хрома ($Cr(NO_3)_3$) – стандартная молярная теплоемкость, $Дж/(моль \cdot К)$ – 96,27; растворимость в воде при 20 °С, $г/100г$ – 31,6; температура плавления, °С – 37 [13].

Нитрит натрия ($NaNO_2$) – плотность, $\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – 2,17; растворимость в воде при 20 °С, $г/100г$ – 84,5; температура плавления, °С – 271 [13]. Имеет ПДК – 0,05 мг/м³. Вызывает расширение сосудов вследствие пареза сосудисто-двигательного центра, а также образования в крови метгемоглобина. Работники, имевшие контакт с ТС, содержащими 3% $NaNO_2$, жаловались на слабость, быструю утомляемость, головные боли, плохой аппетит и сон, тянущие боли в конечностях и суставах [15]. Рекомендовано содержание в технологических жидкостях – не более 0,2 масс. %.

Сода (Na_2CO_3) – плотность, $\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – 2,53; стандартная молярная теплоемкость, $Дж/(моль \cdot К)$ – 109,2; растворимость в воде, $г/100г$ – 21,8 [13].

Сульфозфрезол – плотность, $кг/м^3$ – 900,1; теплопроводность, $Вт/(м \cdot К)$ – 0,119; теплоемкость, $кДж/(кг \cdot К)$ – 1,842; вязкость $\nu \cdot 10^3$, $м^2/час$ – 337,0 [4].

Четыреххлористый углерод (CCl_4) – плотность, $кг/м^3$ – 1594,9; теплопроводность, $Вт/(м \cdot К)$ – 0,101; теплоемкость, $кДж/(кг \cdot К)$ – 0,531; вязкость $\nu \cdot 10^3$, $м^2/час$ – 2,19 [4].

Смазывающее действие технологических сред. Смазывающее действие состоит в том, что контактная зона СТМ, связки круга и обрабатываемого материала вступает во взаимодействие с кислородом воздуха и компонентами ТС. Причем пары воды и поверхностно-активные вещества, входящие в состав ТС, активируют процессы окисления, а образующиеся оксидные пленки, усиливают химическое взаимодействие контактных поверхностей с компонентами ТС. Наряду с образованием

хемосорбционных и химических пленок могут образовываться и пленки физического адсорбированных компонентов ТС. Последние преимущественно размещаются на хемосорбционных и химических пленках. Смазывающее действие многослойных пленок является наиболее влиятельным [1].

Обратим внимание на то, что граничная смазка – вид смазывания, обусловленный действием адсорбционно или химически связанной с поверхностью трения пленки, толщина которой колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен ангстрем и сопротивление сдвига которой выше, чем для жидких пленок гидродинамической смазки. В механизме действия граничной смазки можно выделить [6]:

✓ хемосорбцию активных соединений с образованием на ювенильных поверхностях граничной пленки; хемосорбция приводит к пассивации этих поверхностей вследствие чего последние не имеют возможности войти в адгезионный контакт друг с другом и образовывать металлические связи (мостики сваривания); пассивация снижает усталостно-адгезионное и диффузионное изнашивание;

✓ появление между двумя металлическими поверхностями слоя с более низким, чем у металла сопротивлением сдвигу, что переводит процесс трения в область пластического контакта при значительно более низком нормальном нагружении и снижает коэффициент трения во столько раз, на сколько напряжение сдвига пленки меньше напряжения сдвига более мягкого металла пары;

✓ релаксацию напряжений сдвига на границе между пленками или в самой пленке, которая снижает непосредственное влияние на поверхностные слои металлической пары и уменьшает вероятность усталостного разрушения и изнашивания поверхности.

Пассивация ювенильной поверхности может рассматриваться как частный случай граничной смазки с толщиной пленки, не превышающей нескольких десятков ангстрем. Основной эффект пассивации – избежать образования металлических связей между контактирующими поверхностями. Пассивация происходит вследствие реакции активных компонентов физико-химической плазмы с непрерывно образующимися в процессе резания ювенильными поверхностями. Пассивация задерживает, хотя и не предупреждает, усталостно-адгезионное изнашивание и полностью приостанавливает диффузионное изнашивание [6].

Укажем, что галогенсодержащие соединения обладают способностью снижать износ трущихся пар, что объясняется образованием на ювенильных поверхностях металлов изолирующей пленки галогенида металла. В работе [16] выявлено, что такие соединения можно вводить в абразивный круг и шлифовать без использования ТС, а именно – $NaCl$, $MgCl_2$, $MnCl_2$, $ZnCl_2$, $CdCl_2$, $CoCl_2$, NaF , MnF_2 , CdF_2 , CuF .

Обратим внимание, что такой подход используется для импрегнирования абразивных кругов. При этом, в качестве импрегнаторов используют графит, дисульфид молибдена, стеарин, парафин, формальдегидные смолы, теллур, спермацет, ланолин, воск, серу и др. Использование этих импрегнаторов снижает усилие резания, увеличивает удельную производительность и стойкость круга, а также повышает скорость охлаждения абразивных зерен. При использовании соединений серы на поверхностях абразивных зерен образуются защитные пленки сульфидов FeS или сульфатов $FeSO_4$ железа. Следует указать, что защитные пленки сохраняются только до температур 300–400 °С. При более высоких температурах сульфат железа термически неустоек и разлагается на Fe_2O_3 , SO_2 и SO_3 и, тем самым, не выполняет защитные и антифрикционные функции. Антифрикционные функции сульфида железа значительно хуже, чем у $FeSO_4$, поскольку их коэффициенты трения составляют соответственно – 0,4 и 0,02 [17].

Укажем, что дисульфид молибдена может использоваться как добавка к углеродно-водородным ТС. Такие ТС (масла, например, Индустриальное 20, с присадками, сульфозфрезол и др.), легированные дисульфидмолибденовыми препаратами позволяют активно влиять на шлифуемость сталей. Повышение концентрации этих препаратов более 5% нецелесообразно, поскольку ухудшаются санитарно-гигиенические условия труда и только незначительно улучшаются показатели шлифования. Эффект от применения мелкоизмельченного дисульфида молибдена в масле более высок, чем в эмульсиях. Масла, имеющие более высокую проникающую и смазывающую способность, обеспечивают более активное транспортирование частичек Mo_2S в зону резания. Вследствие этого антифрикционные свойства среды значительно повышаются [18].

Кислород в процессах резания является важным фактором изменения триботехнических характеристик контактных поверхностей. Оксидные слои, возникающие под действием кислорода или его соединений на контактных поверхностях, в значительной мере снижают трение. Чем более высокой является химическая активность металла к кислороду тем наблюдается больший эффект снижения. Так, коэффициент трения стружки по передней поверхности инструмента при резании имеет значение для ювенильных поверхностей – 0,8–6,0, а для окисленных поверхностей – 0,4–0,8. Принудительный обдув зоны резания кислородом снижает составляющие усилия резания. Одним из вариантов является использование 0,5% раствора перекиси водорода в воде или ионизированного воздуха [19].

При шлифовании часто используются водные растворы ТС, приготовленные на основе солей щелочных металлов (растворы электролитов). Высокие температуры шлифования не исключают возможность одновременного присутствия в зоне обработки, как насыщенных соляных растворов, так и оксидов щелочных металлов. Достаток

кислорода воздуха, водной среды и продуктов термического разложения элементов ТС оказывает содействие быстрому окислению поверхности металла. При прочих равных условиях, отдельные элементы, находящиеся в составе обрабатываемого материала, по возрастающему сродству к кислороду, расположены в определенном ряду, в котором наиболее активными легирующими элементами по отношению к железу являются алюминий, титан, кремний, ванадий, марганец, углерод и др. Поэтому, на обрабатываемой поверхности железоуглеродистых сплавов кроме оксидов железа могут одновременно находиться и другие оксиды, количество которых может оказаться значительно больше, чем оксидов железа. Особенно интенсивно окисляются железоуглеродистые сплавы, в химическом составе которых присутствуют ванадий и вольфрам. Росту продуктов окисления содействуют не только высокие температуры в зоне резания шлифовальным кругом, но и накопление на обрабатываемой поверхности электрических зарядов с положительным потенциалом относительно массы станка, возникающих от действия абразивных зерен на метал (термоэлектрический эффект). В этом случае возникают условия для прохождения электрохимических реакций анодного растворения на всей обрабатываемой поверхности [20].

В работе [3] показана роль смазывающего действия, состоящая в том, что вследствие взаимодействия компонентов среды с трущимися металлическими поверхностями, на последних образуются более или менее сложные вещества, имеющие такие свойства, при появлении которых интенсивность непосредственного взаимодействия поверхностей приглушается или полностью устраняется. На разных участках поверхностей возникают и могут наслаиваться одна на другую разные по природе пленки. Наиболее значительным в смазывающем эффекте является участие кислорода, как компонента внешней среды. Смазывающее действие влажного воздуха возрастает при его распылении. Усиливает действие кислорода минеральные масла, поскольку они поставляют кислород в зону обработки, поскольку некоторые углеводородные соединения способны растворять кислород в количестве до 50%. При распылении масел активизируются процессы образования продуктов их окисления, которые легко отдают атомарный кислород металлической поверхности. Роль кислородсодержащих соединений возрастает по мере повышения скорости резания. В случае применения масел в качестве смазок важное значение имеют три факторы: окислительная активность газовой среды и его влажность, окисленность углеводородных соединений, условия переноса молекулярного кислорода в зону трения. Для повышения смазывающего действия в масла вводят добавки, чаще органические, содержащие химически активные элементы: серу, хлор, фосфор, йод и др., выделяющиеся преимущественно в зонах контакта при термическом разложении добавок. Механизм смазывающего

действия добавок основан на их способности образовывать в зонах контакта твердые смазывающие слои из соответствующих неорганических солей металлов, и, тем самым, химически модифицируется поверхность. Для расширения возможностей ТС используют комбинированные добавки, содержащие серу, хлор и фосфор одновременно [3].

Основное действие смазывающего эффекта ТС – уменьшение схватывания, задира, фрикционного нагрева и сил трения при перемещении стружки и обрабатываемого металла по передним и задним поверхностям инструмента. Смазывающее действие ТС осуществляется за счет [6]:

- ✓ снижения реакционной способности ювенильных поверхностей, образующихся в процессе резания;
- ✓ образования граничной пленки, защищающей поверхность материалов инструмента и детали от механической и физико-химической деструкции;
- ✓ снижения поверхностной энергии обрабатываемого металла;
- ✓ снижения предела текучести на сдвиг поверхностного слоя (эффект Ребиндера);
- ✓ снижения длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента и снижения силы трения;
- ✓ создания расклинивающего давления в микротрещинах и избежания сваривания их краев.

Смазывающие свойства углеводородов, входящих в состав минеральных масел, повышаются с увеличением их молекулярного веса, и, тем самым, вязкости. Смазывающее действие ТС состоит в снижении трения между инструментом и деталью за счет образования на обрабатываемой поверхности защитных пленок. Пленки представляют собой продукты химических реакций между компонентами ТС и обрабатываемым металлом. Известно, что химические реакции проходят преимущественно между атомами, имеющими малую, и атомами, имеющими большую, энергию ионизации валентных электронов, например, между элементами I и VII групп периодической системы элементов Д.И.Менделеева. Поскольку металлы имеют малую энергию ионизации, то они будут преимущественно вступать в реакцию с теми ТС, энергия ионизации которых является большой [21].

Укажем свойства некоторых углеводородных ТС:

Керосин – плотность, кг/м^3 – 800; теплопроводность, $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ – 0,146; теплоемкость, $\text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ – 1,875; вязкость $\nu \cdot 10^3$, $\text{м}^2/\text{час}$ – 7,92 [4]; кинематическая вязкость, сст – 2,2; поверхностное натяжение, дин/см – 22,4 [22].

Масло Индустриальное 20 – плотность, кг/м^3 – 875,6; теплопроводность, $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ – 0,126; теплоемкость, $\text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ – 1,833; вязкость $\nu \cdot 10^3$, $\text{м}^2/\text{час}$ – 162,0 [4].

Обратим внимание, что в целом, применительно к процессам обработки, смазывающее действие ТС проявляется в снижении силы резания и, соответственно, мощности теплообразования в зоне обработки [8].

Смачивающая, проникающая и мощная способность технологических сред. Степень смачивания жидкостью поверхности твердого тела оценивают по поверхностному натяжению жидкости на границе раздела фаз твердое тело – жидкость и по краевому углу смачивания. Хорошее смачивание обеспечивается при низких значениях поверхностного натяжения и небольших углах. Разные случаи смачивания можно поделить на две группы: смачивание под действием молекулярных сил (физическое или обратное смачивание) и смачивание с преимуществом сил химического взаимодействия (химическое смачивание). При химическом смачивании угол смачивания с возрастанием температуры резко снижается [23]. Смачивающая способность определяет проникающую способность ТС. Проникающая способность ТС играет значительную роль в условиях продолжительного контакта, например при упругом контакте, и зависит от степени растекания жидкости по поверхности контактирующего с ТС твердого тела и смачивания этой поверхности [10].

На проникающие свойства ТС оказывают влияние размеры молекул, атомов, ионов и их подвижность. Высокую проникающую способность имеют анионы галогенов (йода, фтора, хлора). С уменьшением угла смачивания и с повышением скорости растекания жидкости по поверхности твердого тела снижается как работа диспергирования, так и сила резания. Чем большей является зернистость абразива, тем меньше развита поверхность, тем меньшей является его площадь и меньше количество жидкости, адсорбируемой на ней [23].

Смачивающая и проникающая способность ТС определяют наличие у них реологического эффекта. Большинство жидкостей, используемых в качестве ТС, относятся к классу неньютоновских упруго-вязких сред, а потому их эффективные (неньютоновские) вязкости являются функциями напряжений и скоростей деформации сдвига. При резании эффективная вязкость по мере ее перемещения к режущей кромке растет из-за повышения скорости деформации сдвига и увеличения гидростатического давления. Разделение трущихся поверхностей за счет реологических эффектов в местах, куда ТС попадает, снижает силы трения и, как следствие, снижает разогрев и изнашивание инструмента. Жидкости, существующие при посредственных нагрузках как ньютоновские, в экстремальных условиях могут преобразоваться в неньютоновские и функционировать по реологическому механизму [23].

Важным фактором описанных выше эффектов, является растворимость солей, входящих в состав ТС. Обратим внимание, что все соли азотной кислоты растворимы в воде. Все нитриты растворимы в воде. Большинство

карбонатов являются нерастворимыми в воде, за исключением карбонатов щелочных металлов и аммония. Большинство фосфатов нерастворимы в воде, за исключением солей щелочных металлов.

Моющее действие представляет собой способность ТС предотвращать налипание и обволакивание зерен СТМ и связки круга частичками сошлифованного материала и очищать связку круга от отходов шлифования [1, 3]. Моющее действие ТС определяется степенью очистки обрабатываемой детали и инструмента от шлама. Требования к моющей способности ТС возрастают со снижением зернистости абразивного инструмента, поскольку уменьшается расстояние между зернами. Чем меньше частицы шлама, тем плотнее они удерживаются (особенно на поверхности связки) и ухудшают тем самым процесс обработки. Эффективное моющее действие имеют поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые хорошо смачивают, адсорбируются на границе раздела твердое тело – жидкость, и снижают поверхностное натяжение жидкости на границе раздела фаз. Образующиеся пленки уменьшают адгезию шлама к поверхности инструмента и детали.

Обратим внимание на некоторые особенности экологического использования ТС с солями и ПАВ [15].

Алюминий – выявлено, что всасывание солей алюминия желудочно-кишечным трактом является незначительным.

Барий – ядовитость солей бария зависит от степени их растворимости. Сильно токсичны хлорид, нитрат, хлорат, ацетат, карбонат, сульфат.

Бериллий – соединения высокотоксичны.

Бромиды – общее действие является слабым и в производственных условиях острого отравления вызвать не может.

Бура – может способствовать появлению хронической экземы, облысению.

Висмут – профессиональных заболеваний не обнаружено.

Железо – соединения $Fe(II)$ обладают некоторым общим токсическим действием, а соединения $Fe(III)$ менее токсичны. Хлориды железа токсичнее сульфитов.

Кадмий – соединения очень ядовиты.

Кобальт – выявлено, что даже растворимые соли плохо всасываются желудочно-кишечным трактом.

Магний – токсического эффекта не наблюдается вследствие медленного всасывания соединений магния и быстрого выделения.

Марганец – соли марганца сильные яды.

Медь – соединения токсичны, а порошки чистой меди имеют раздражающее действие.

Молибден – неорганические соединения токсичны, а наличие в них меди и цинка усиливает эту токсичность. Молибдаты ядовиты.

Никель – соли никеля вызывают поражение кожи человека с развитием повышенной чувствительности к металлу. Может задерживаться в легких.

Титан – вредны нерастворимые соединения.

Свинец – растворимые соединения ядовиты.

Селен – соединения ядовиты.

Сурьма – соединения токсичны.

Фосфаты – соли фосфорной кислоты малотоксичны.

Хром – ядовиты соединения $Cr(VI)$, токсичны соединения $Cr(III)$.

В окончании тематики данной подглавы обратим внимание на эффект перманентной карбонизации [6], характерный для тех условий, когда резание металлов сопровождается диффузией углерода из слоев материала инструмента в заготовку и стружку при наличии между ними адгезионного контакта. Обнаружено одновременное уменьшение как цементита, так и карбидов легирующих примесей (металлов), входящих в быстрорежущую сталь. Добавки в ТС некоторых органических соединений задерживает процесс диффузионного выноса углерода из поверхностных слоев режущей кромки. А поэтому, вследствие сложных пиролитических преобразований таких присадок, на границе зоны пластического контакта непрерывно образуется углерод в активной форме, который внедряется в поверхностные слои и не только предотвращает их диффузионное изнашивание, но и приводит к их упрочнению из-за возрастания концентрации в них карбидов железа и легирующих примесей.

Таким образом, комплекс проведенных исследований [7] позволил выявить следующие пути достижения позитивных эффектов использования технологических жидкостей при абразивном шлифовании с точки зрения учета изложенных выше эффектов функционального воздействия к выбору составов технологических жидкостей и, при этом:

- ✓ охлаждающее действие достигается:
- введением в состав ТР добавок солей аммония сернокислого;
- использованием фактора предварительного водопоглощения рабочим слоем кругов;
- ✓ смазывающее действие достигается за счет:
- введения в ТР солей, содержащих фосфор (Na_2HPO_4) и серу ($(NH_4)_2SO_4$);
- эффекта электрохимической гетерогенности поверхности связи с использованием фактора предварительного водопоглощения рабочим слоем кругов.
- ✓ моющее действие достигается введением в состав ТР сульфата – $(NH_4)_2SO_4$;

Список использованных источников: 1. Шматов В.Е. Исследование процесса торцового шлифования быстрорежущих сталей кругами из синтетических алмазов и кубонита в различных средах : Автореф. ... канд. техн. наук. – Горький: ГПИ, 1970. – 22 с. 2. Синтетические алмазы в

машиностроении / В.Н.Бакуль, Б.И.Гинзбург, А.А.Сагарда и др. – К.: Наук. думка, 1976. – 351 с.

3. Клущин М.И. Смазочно-охлаждающе-моющее действие внешней среды при заточке режущего инструмента кругами из синтетических алмазов // Синтетические алмазы – ключ к техническому прогрессу. Часть 2. – К.: Наук. думка, 1977. – С. 48–54. **4.** Барсегян Р.О., Даен Э.Д. К вопросу об оценке охлаждающего действия жидких и газовых сред // Вопросы теории действия смазочно-охлаждающих технологических средств в процессах обработки металлов резанием. Сборник 1. – Горький: ГПИ, 1975. – С. 21–26. **5.** Худобин Л.В. Пути совершенствования технологии шлифования. – Саратов: Приволж. кн. изд., 1969. – 213 с. **6.** Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием : Справочник / Под ред. С.Г. Энтелуса, Э.М. Берлинера. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с. **7.** Лаврінченко В.І. Наукові основи шліфування інструментальних матеріалів із спрямованою зміною характеристик контактних поверхонь: Автореф. ... докт. техн. наук. – К.: ІНМ НАН України, 2000. – 35 с.

8. Киселев Е.С., Ковальногов В.Н. Реализация потенциала функциональных действий СОЖ при механической обработке на основе рационального применения ультразвука // Вестник двигателестроения. – 2007. – № 2. – С. 112–116. **9.** Артамонов Б.А., Волков Ю.С. Анализ моделей процессов электрохимической и электроэрозионной обработки. Часть 1. Модель электрохимической обработки. – М.: ВНИИПИ, 1991. – 170 с. **10.** Penker H.J. Liquidi refrige e da taglio per lavori di rettifica // Rass. Mess. – 1977. – 11, N2. – P. 41. **11.** Справочник металлста. В 5-ти томах. Том 2. Под ред. А.Г.Рохитадта и В.А.Брострема. – М.: Машиностроение, 1976. – 720 с. **12.** Muller Jurgen. Profil festlegen Beurteilungskriterien fur die Quealital wessernischbarer Kuhlsmierstoffe // Maschinenmarkt. – 1987. – 93, N31. – P. 44–45. **13.** Рабинович З.Я. Краткий химический справочник. – Ленинград: Химия, 1978. – 392 с. **14.** Рогов В.В., Апанасенко В.Е., Михновская А.Н. Кинетика химического взаимодействия стекла с технологической средой в процессе полирования // Сверхтвердые материалы. – 1988. – № 4. – С. 53–55. **15.** Вредные вещества в промышленности: Справочник для химиков, инженеров и врачей. Том III. Неорганические и элементоорганические соединения. – Л.: Химия, 1977. – 608 с. **16.** Носенко В.А. Повышение эффективности шлифования адгезионно-активных металлов кругами с наполнителями // Современные проблемы механики и физико-химии процессов резания, абразивной обработки ии поверхностного пластического деформирования: Матер. Межд. науч.-техн. конф., 14-16 мая 2002 г., г. Киев. – К.: АТМ України, 2002. – С. 136–138. **17.** Якимов А.А., Уминский С.М., Дмитриева С.Ю. Влияние импрегнирования кругов на их режущую способность // Авиационно-космическая техника и технология. Тр. Госуд. Аэрокосмического ун. «ХАИ». Вып. 14. – Харьков: ГАУ «ХАИ», 2000. – С. 254–258. **18.** Бударин А.М. Исследование эффективности некоторых технологических средств при шлифовании деталей из высоколегированных и легированных сталей : Автореф. ... канд. техн. наук. – Саратов: СПИ, 1970. – 26 с. **19.** Латышев В.Н., Наумов А.Г. Об эффективности использования кислорода в процессе резания // Резание и инструмент в технологических системах. – 2001. – Вып. 60. – С. 121–127. **20.** Корчак С.Н., Шамин В.Ю. Физико-химическое взаимодействие СОЖ на производительность шлифования // Вопросы теории действия смазочно-охлаждающих технологических средств в процессах обработки металлов резанием: Сборник 2. – Горький: ГПИ, 1975. – С. 50-53. **21.** Кубасов П.У., Кутуев И.Ф., Бухановский В.Г., Баринов В.Е. Влияние смазочных свойств СОЖ на процесс шлифования // Вопросы теории действия смазочно-охлаждающих технологических средств в процессах обработки металлов резанием: Сборник 2. – Горький: ГПИ, 1975. – С. 54–59. **22.** Рутман П.А., Львов В.Н., Сафронов В.Г. Исследование механизма действия маловязких углеводородных жидкостей при хонинговании // Вопросы теории действия смазочно-охлаждающих технологических средств в процессах обработки металлов резанием. Сборник 1. – Горький: ГПИ, 1975. – С. 175–181. **23.** Bowden F.P., Hanwell A.E. Friction and wear of diamond in high vacuum // Nature. – 1964. – 201, N 4926. – P. 1279–1282.

Bibliography (transliterated): 1. Shmatov V.E. Issledovanie processa torcovogo shlifovaniya bystrozeshushhiih stalej krugami iz sinteticheskikh almazov i kubonita v razlichnyh sredah : Avtoref. ... kand. tehn. nauk. – Gor'kij: GPI, 1970. – 22 s. 2. Sinteticheskie almazy v mashinostroenii / V.N.Bakul', B.I.Ginzburg, A.A.Sagarda i dr. – K.: Nauk. dumka, 1976. – 351 s. 3. Klushin M.I. Smazochno-

ohlazhdajushhe-mojushhee dejstvie vneshnej sredy pri zatochke rezhushhego instrumenta krugami iz sinteticheskikhalmazov // Sinteticheskie almazы – ključ k tehničeskomu progresu. Chast' 2. – K.: Nauk. dumka, 1977. – S. 48–54. 4. Barsegjan R.O., Daen Je.D. K voprosu ob ocenke ohlazhdajushhego dejstvija zhidkih i gazovyh sred // Voprosy teorii dejstvija smazochno-ohlazhdajushhij tehnologičeskijh sredstv v processah obrabotki metallov rezaniem. Sbornik 1. – Gor'kij: GPI, 1975. – S. 21–26. 5. Hudobin L.V. Puti sovershenstvovanija tehnologii shlifovanii. – Saratov: Privolzh. kn. izd., 1969. – 213 s. 6. Smazochno-ohlazhdajushhie tehnologičeskie sredstva dlja obrabotki metallov rezaniem : Spravochnik / Pod red. S.G.Jentelisa, Je.M.Berlinera. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 352 s. 7. Lavrinenko V.I. Naukovi osnovi shlifuvannija instrumental'nih materialiv iz sprjamovanoju zminuju harakteristik kontaktnih poverhon': Avtoref. ... dokt. tehn. nauk. – K.: INM NAN Ukraini, 2000. – 35 s. 8. Kiselev E.S., Koval'novog V.N. Realizacija potencijal funkcional'nyh dejstvij SOZh pri mehanicheskoj obrabotke na osnove racional'nogo pri-menenija ul'trazvuka // Vestnik dvigatelestroenija. – 2007. – № 2. – S. 112–116. 9. Artamonov B.A., Volkov Ju.S. Analiz modelej processov jelektro-himicheskoj i jelektroerozionnoj obrabotki. Chast' 1. Model' jelektrohimicheskoj obrabotki. – M.: VNIPI, 1991. – 170 s. 10. Penker H.J. Liquidi refrige e da taglio per lavori di rettifica // Rass. Mess. – 1977. – 11, N2. – P. 41. 11. Spravochnik metallista. V 5-ti tomah. Tom 2. Pod red. A.G.Rohshadta i V.A.Brostrema. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 720 s. 12. Muller Jurgen. Profil festlegen Beurteilungskriterien für die Qualitat wes-ernischer Kuhlschmierstoffe // Maschinenmarkt. – 1987. – 93, N31. – R. 44–45. 13. Rabinovich Z.Ja. Kratkij himičeskij spravochnik. – Leningrad: Himija, 1978. – 392 s. 14. Rogov V.V., Apanasenko V.E., Mihnovskaja A.N. Kinetika himičeskogo vzaimodejstvija stekla s tehnologičeskoj sredoj v processe polirovanija // Sverhtverdyje materialy. – 1988. – № 4. – S. 53–55. 15. Vrednye veshhestva v promyshlennosti: Spravochnik dlja himikov, inženerov i vrachej. Tom III. Neorganicheskie i jelementoorganicheskie soedinenija. – L.: Himija, 1977. – 608 s. 16. Nosenko V.A. Povyshenie jeffektivnosti shlifovanija adgezionno-aktivnyh metallov krugami s napolniteljami // Sovremennye problemy mehaniki i fiziko-himii processov rezanija, abrazivnoj obrabotki i poverhnostnogo plasticheskogo deformirovanija: Mater. Mezhd. nauch.-tehn. konf., 14-16 maja 2002 g., g. Kiev. – K.: ATM Ukrainy, 2002. – S. 136–138. 17. Jakimov A.A., Uminskij S.M., Dmitrieva S.Ju. Vlijanie impregirovanija krugov na ih rezhushhuju sposobnost' // Aviacionno-kosmicheskaja tehni-ka i tehnologija. Tr. Gosud. Ajerokosmicheskogo un. «HAU». Vyp. 14. – Har'kov: GAU «HAU», 2000. – S. 254–258. 18. Budarin A.M. Issledovanie jeffektivnosti nekotoryh tehnologičeskijh sredstv pri shlifovanii detalej iz vysokolegirovannyh i legi-rovannyh stalej : Avtoref. ... kand. tehn. nauk. – Saratov: SPI, 1970. – 26 s. 19. Latyšev V.N., Naumov A.G. Ob jeffektivnosti ispol'zovanija kis-loroda v processe rezanija // Rezanie i instrument v tehnologičeskijh sistemah. – 2001. – Vyp. 60. – S. 121–127. 20. Korchak S.N., Shamin V.Ju. Fiziko-himičeskoe vzaimodejstvie SOZh na proizvoditel'nost' shlifovanija // Voprosy teorii dejstvija smazochno-ohlazhdajushhijh tehnologičeskijh sredstv v processah obrabotki metallov rezaniem: Sbornik 2. – Gor'kij: GPI, 1975. – S. 50–53. 21. Kubasov P.U., Kutuev I.F., Buhanovskij V.G., Barinov V.E. Vlijanie smazochnyh svojstv SOZh na process shlifovanija // Voprosy teorii dejstvija smazochno-ohlazhdajushhijh tehnologičeskijh sredstv v processah obrabotki metallov rezaniem: Sbornik 2. – Gor'kij: GPI, 1975. – S. 54–59. 22. Rutman P.A., L'vov V.N., Safronov V.G. Issledovanija mehanizma dejstvija malovjazkijh uglevodorodnyh zhidkostej pri honingovanii // Voprosy teorii dejstvija smazochno-ohlazhdajushhijh tehnologičeskijh sredstv v processah obrabotki metallov rezaniem. Sbornik 1. – Gor'kij: GPI, 1975. – S. 175–181. 23. Bowden F.P., Hanwell A.E. Friction and wear of diamond in high vacuum // Nature. – 1964. – 201, N 4926. – P. 1279–1282.

Поступила в редколлегию 15.05.2015