

Оценка диссипативных свойств СОЖ в условиях трения и резания

д.т.н. А. А. Рыжкин, к.т.н. К. Г. Шучев, к.т.н. М. М. Алиев, В. В. Гусев

Характер процессов, протекающих на контактных поверхностях лезвийного режущего инструмента (РИ) при взаимодействии с материалом заготовки, в значительной мере зависит от состава и типа применяемой смазывающей охлаждающей жидкости (СОЖ), способа ее подвода в зону резания, режима и кинематических особенностей обработки и других факторов.

Путем надлежащего выбора основы СОЖ (вода, минеральное масло и т. п.) и состава присадок с необходимым комплексом физико-химических свойств можно управлять важнейшими выходными характеристиками процессов трения и изнашивания — интенсивностью изнашивания РИ и качеством поверхностного слоя обрабатываемых деталей.

Реализация этого направления требует дальнейшего изучения физических механизмов влияния активных внешних сред на процессы, протекающие в контактной зоне, и характеристик износостойкости РИ, в частности лезвийного твердосплавного.

Основные известные [1–15] физико-химические механизмы воздействия СОЖ на контактные процессы и износ инструментальных материалов (ИМ) при резании в подавляющем большинстве сводятся к моделям, основанным на смазочно-охлаждающих, диспергирующих и моющих свойствах СОЖ, а также на способности ее компонентов вступать в химическое и физическое взаимодействие с активированными поверхностями контактирующих тел и образовывать гидродинамические, адсорбционные и химические смазочные пленки, способные выдерживать значительные нагрузки и существенно снижать интенсивность изнашивания РИ.

Применение полимерных присадок обеспечивает повышение смазывающего действия СОЖ благодаря деструкции полимера и взаимодействию продуктов его разложения с поверхностью контакта в трибосопрежении. Установлено [8], что применение полимеросодержащих СОЖ существенно снижает коэффициент трения в температурном

интервале, соответствующем протеканию процесса деструкции полимерной присадки.

В ряде исследований [6–8] эффективность полимеросодержащих СОЖ связывается с процессом адсорбции, облегчающим диспергирование и пластическое деформирование твердых тел. Диспергирующее действие СОЖ основано на реализации эффекта Ребиндера.

Адсорбция и хемосорбция поверхностно-активных веществ на металле влияют на выход дислокаций на поверхность трения, что вызывает локализацию пластической деформации в тонком поверхностном слое и облегчает его разрушение. Однако при резании металлов этот механизм влияния СОЖ нельзя считать очевидным, так как возможно образование оксидных пленок, блокирующих проявление эффекта Ребиндера.

Следует отметить также, что если в узлах трения машин смазывающее действие жидких сред не вызывает сомнений, то при резании металлов такой механизм действия СОЖ далеко не очевиден, так как в условиях пластического контакта ее доступ к поверхности трения затруднен.

Относительно использования в СОЖ нанокластеров металлов (меди, молибдена) существует теоретически обоснованная точка зрения на влияние нанокластеров меди в условиях гидродинамического трения. Показано [12 и 13], что динамическая вязкость жидкости, содержащей асимметричные частицы, в ламинарном потоке уменьшается, из-за чего скорость потока и сила трения падают.

Однако не исключено, что в процессе трения при наличии жидкости, модифицированной нанокластерами высокотеплопроводной меди, большую роль играют тепловые эффекты, связанные с прямым и косвенным влиянием этой уникальной композиции на теплообразование, теплоотвод и тепловое состояние изнашивающихся тел.

Обобщая изложенные в литературе точки зрения [6–13 и др.] на физическую природу влияния СОЖ как смазочной среды, можно сделать вывод

о том, что это влияние на процесс трения при резании проявляется только в краевых зонах контакта РИ со стружкой и заготовкой. На остальных участках контакта более вероятно влияние окислительного действия окружающей среды (воздуха) на трение и изнашивание ИМ.

Оценка охлаждающего эффекта СОЖ в условиях резания

Сложные механо-физико-химические процессы, протекающие в контактной зоне при изнашивании ИМ и инициированные высокими температурами, обуславливают возникновение и проявление дополнительных источников теплоты, порождаемых пластическими деформациями и фазовыми превращениями.

Необходимо отметить, что мощным средством отвода теплоты из зоны контакта при трении и резании являются жидкие и газообразные среды, которые вследствие увеличения коэффициента теплоотдачи при принудительной конвекции снижают поверхностную и объемную температуру.

Достаточно много исследований [1–20] посвящено применению и научному обоснованию эффективности новых составов СОЖ. Вместе с тем нельзя игнорировать действие объемного теплового источника в слое СОЖ при наличии в ней нанокластеров меди [13] или полимеров [3 и 4].

Практикой металлообработки установлено, что стойкость РИ повышается при использовании любых СОЖ как на масляной, так и на водной основе, снижающих температуру резания [6, 8–11, 14, 15, 17 и 18], однако эффективность их применения различна.

К числу наилучших СОЖ эмульсионного типа относятся полимеросодержащие. По механизму действия на процесс изнашивания РИ они отличаются от обычных СОЖ тем, что к традиционному смазочному или охлаждающему эффекту добавляется эффект, обусловленный наличием дополнительного источника теплоотвода, связанного с деструкцией полимера и влиянием активных продуктов деструкции на контактные процессы [5, 17–19].

Эффекты деструкционных превращений в компонентах СОЖ авторы изучали с помощью дифференциально-термического и термогравиметрического методов анализа на установке Дериватограф-1500 Q. Эти методы основаны на одновременном измерении энтальпии, потери массы

реагирующей системы (испытуемого вещества) и скорости изменения этой массы в зависимости от температуры.

Наряду с СОЖ марок Аквол-14 и Аквол-11, представляющими собой композиции на основе полиалкиленгликолей с присадками, исследовали СОЖ марок МХО-64а и ДВСЛ, содержащие полимерные присадки.

При определенных температурах на дериватограммах были обнаружены изменения энтальпии, по площади которых можно оценивать тепловые эффекты для различных стадий термической деструкции СОЖ. Уменьшение энтальпии обусловлено протекающими эндотермическими реакциями.

По термограммам выявлено [5 и 7], что синтетические СОЖ Аквол-14 и Аквол-11 имеют не более одного-двух пиков изменения энтальпии; для полимеросодержащей СОЖ ДВСЛ зафиксировано пять экзотермических и четыре эндотермических пика.

Полимеросодержащие СОЖ более устойчивы к термоокислительной деструкции, чем синтетические; поэтому эндотермические эффекты в них проявляются при более высоких температурах (430–560 °С, 650–700 °С, 745–785 °С и 820–880 °С), характерных для изнашивания РИ в условиях резания.

Продукты деструкции латекса оказывают специфическое теплофизическое воздействие на тепловое состояние зоны резания (трения). При стойких испытаниях твердосплавных резцов с СОЖ ДВСЛ на их поверхностях вблизи вершины было отмечено образование полимерной пленки толщиной до 0,3–0,5 мм [3].

Эта пленка, во-первых, улучшает конвективный теплообмен с окружающей средой (воздухом) и, во-вторых, будучи продуктом полимеризации и деструкции полимера, формирует в результате эндотермической реакции дополнительный источник теплопоглощения, отводящий теплоту от контактных площадок. Кроме того, не исключено (несмотря на пластический контакт) попадание СОЖ на контактные площадки и протекание эндотермической реакции, обусловленной деструкцией, а также непосредственное действие объемного источника теплопоглощения.

Рассмотрим физическую модель тяжелонагруженной пары трения (рис. 1). В ней неподвижное недеформируемое тело I (РИ) с гладкой контактной поверхностью находится в непрерывном скольз-

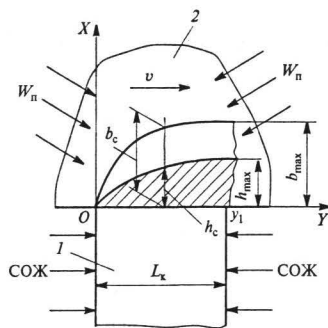


Рис. 1. Модель пары трения

шем пластическом контакте с недеформируемым полупространством 2 (заготовкой), перемещающимся с постоянной скоростью v (скоростью резания).

Источником тепловыделения является пластически деформируемый слой материала заготовки, толщина которого $h = 0$ в точке O начала контактного взаимодействия (центре системы координат XOY) и затем, непрерывно увеличиваясь, достигает максимального значения $h_{\max}$ в точке y_1 конца контактного взаимодействия.

Кроме деформируемого слоя, выделим в теле 2 тепловой пограничный слой, толщина b которого (эффективная глубина проникновения теплоты) изменяется аналогично толщине h деформируемого слоя, т. е. от нуля до $b_{\max}$.

Для упрощения расчетных соотношений переменные по длине контакта значения h и b будем считать постоянными, равными их средним значениям h_c и b_c по длине L_k контакта:

$$h_c = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} h(t) dt = \frac{2}{3} h_{\max}; \quad b_c = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} b(t) dt = \frac{2}{3} b_{\max},$$

где $\tau = L_k/v$ — полное время контактного взаимодействия; t — текущее время.

На тело 1 (ИМ) действует СОЖ, а на тело 2 (обрабатываемый материал — ОМ) — объемный источник тепловыделения W_2 , обусловленный пластической деформацией слоя h , а также объемный источник теплопоглощения с объемной мощностью W_n (далее — источник W_n). При этом $W_2 = W_t \exp(-K_2 x)$, где W_t — объемная мощность; $K_2 = (h_0 - h_d)(1 - y/C)^{-1}$ — коэффициент локали-

зации теплового потока [1 и 16]; h_0 и h_d — толщина пластически деформируемого слоя соответственно у вершины реза и в конце пластического контакта; x и y — текущие координаты; $C < C$; $C \leq L_k$.

Математическая формулировка задачи теплопроводности для тела 2 (стационарный режим) имеет вид уравнения

$$\frac{\partial T_2(x, t)}{\partial t} = a_2 \frac{\partial^2 T_2(x, t)}{\partial x^2} + \frac{W_t}{c_2 \rho_2} \exp(-K_2 x) - \frac{W_n}{c_2 \rho_2} \quad (1)$$

с граничными условиями

$$T_2(x, 0) = 0; \quad T_2(0, t) = T_k; \quad \partial T_2(\infty, t)/\partial x = 0; \quad (2)$$

здесь T_2 — температура тела 2 (ОМ), °С; $a_2 = \lambda_2/(c_2 \rho_2)$ — коэффициент теплопроводности ОМ, м²/с; λ_2 — коэффициент теплопроводности ОМ, Вт/(м·°С); $c_2 \rho_2$ — объемная теплоемкость ОМ, Дж/(м³·°С); (c_2 — удельная теплоемкость; ρ_2 — плотность); T_k — температура контактной поверхности, °С; $0 \leq x \leq \infty$; t — в с; W_t и W_n — в Вт/м³.

Применив к дифференциальному уравнению (1) прямое преобразование Лапласа, получаем уравнение для изображения функции. Решение этого уравнения с граничными условиями (2) относительно изображения функции приведено в работе [21]. Применив затем к указанному решению обратное преобразование Лапласа, находим оригинал функции:

$$T_2(x, t) = T_k \operatorname{erfc} A - [W_n t / (c_2 \rho_2)] (1 - 4t^2 \operatorname{erfc} A) + [W_t / (K_2^2 \lambda_2)] \operatorname{erfc} A - \exp(-K_2 x) + 0,5 \exp(B_t^2 - K_2 x) \operatorname{erfc}(B_t - A) - 0,5 \exp(B_t^2 + K_2 x) \operatorname{erfc}(A + B_t), \quad (3)$$

где $A = x/(2\sqrt{a_2 t})$; $B_t = K_2 \sqrt{a_2 t}$.

Зависимость (3) описывает температурное поле в теле 2 приближенно, так как параметры W_t и K_2 , изменяющиеся по длине контакта, заменены усредненными постоянными величинами.

Тепловой поток в теле 2, переменный по длине контакта, равен

$$q_2(0, t) = -\lambda_2 \frac{\partial T_2(0, t)}{\partial x} = \frac{\lambda_2 T_k}{\sqrt{\pi a_2 t}} + 2 W_n \sqrt{\frac{a_2 t}{\pi}} + \frac{W_t}{K_2} [\exp B_t^2 \operatorname{erfc} B_t - 1].$$

Усредненное значение теплового потока на длине контакта при $x = 0$

$$q_{c2} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} q_2(0, t) dt = \frac{2\lambda_2 T_k}{\sqrt{\pi a_2 \tau}} + W_n \sqrt{\frac{a_2}{\pi \tau}} + \frac{W_t}{K_2^2 a_2 \tau} \left[\exp B_t^2 \operatorname{erfc} B_t - 1 + \frac{2B_t}{\sqrt{\pi}} - B_t^2 \right],$$

где $B_t = K_2 \sqrt{a_2 t}$.

Для неподвижного тела 1 (ИМ) уравнение теплопроводности и граничные условия запишем также для стационарного режима:

$$a_1 \frac{d^2 T_1(x)}{dx^2} - \frac{\alpha_1}{c_1 \rho_1 l} T_1(x) = 0; \quad (4)$$

$$0 \leq x \leq \infty; \quad T_1(0) = T_k; \quad T_1(\infty) = 0;$$

здесь a_1 , α_1 , c_1 и ρ_1 — коэффициент теплопроводности, коэффициент теплоотдачи, удельная теплоемкость и плотность ИМ; T_1 — температура тела 1; $l = F/P$ — отношение площади поперечного сечения режущей пластины к периметру.

При указанных граничных условиях решение уравнения (4) имеет вид $T_1(x) = T_k \exp(-m_1 x)$, где $m_1 = \sqrt{Bi/l} = \sqrt{\alpha_1 P / (\lambda_1 F)}$; Bi — критерий Био; λ_1 — коэффициент теплопроводности ИМ.

Тепловой поток на площадке контакта, направленный в тело 1, равен $q_1(0) = -\lambda_1 dT_1(0)/dx = \lambda_1 m_1 T_k$. Для определения температуры T_k на поверхности контакта используем уравнение энергетического баланса пары трения в виде [16] $q_0 = q_1(0) + \frac{c_2 \rho_2}{\tau} \int_0^{\tau} T_2(x, t) dx$, где q_0 — удельная мощность трения.

Преимущества такого подхода для определения температуры поверхности трения по сравнению с широко применяемым граничным условием 2-го рода обоснованы в работе [16].

После преобразований получаем следующее выражение для средней поверхностной температуры контакта:

$$T_k = \frac{W_t}{\tau K_2^2 a_2} \left(B_t^2 + 1 - \frac{2B_t}{\sqrt{\pi}} - \exp B_t^2 \operatorname{erfc} B_t \right) - 0,75 W_n \sqrt{a_2 \tau} \frac{1}{\lambda_1 m_1 + 2\lambda_2 / \sqrt{\pi a_2 \tau}}. \quad (5)$$

В предельном случае, когда коэффициент локализации теплового источника $K_2 \rightarrow \infty$ и $W_t K_2 = q_0 = \text{const}$, т. е. тепловыделение происходит на поверхности контакта, зависимость (5) упрощается:

$$T_k = \frac{q_0 - 0,75 W_n \sqrt{a_2 \tau}}{\lambda_1 m_1 + 1,13 \lambda_2 / \sqrt{a_2 \tau}}, \quad (6)$$

где $q_0 = \tau v$; τ_k — касательные напряжения в зоне контакта, усредненные для участков пластического и упругого контакта.

Расчеты по формуле (6) для случая обработки резанием с применением эмульсии ДВСЛ дают $T_k = 860$ °С, что практически совпадает с экспериментально установленным значением $T_k = 830$ °С.

При действии источника теплопоглощения его объемную плотность с учетом конвективного теплообмена с окружающей средой на свободных поверхностях РИ можно определить по закону Ньютона: $W_n = (\alpha_0 P_n / F_n) [T(x, \tau) - T_{\text{окр}}]$, где α_0 — коэффициент теплоотдачи СОЖ; P_n и F_n — периметр и площадь действия источников; $T(x, \tau)$ — распределение температур по координате X в зависимости от времени τ ; $T_{\text{окр}}$ — температура окружающей среды.

При расчетах по формулам (5) и (6) значение W_n принято отрицательным, так как по условиям задачи соответствующий источник считаем эндотермическим.

Эти расчеты показывают, что $W_n = (0,001 \div 0,01) W_t$, поэтому прямое влияние источника теплопоглощения на T_k и $T_1(x)$ несущественно. Вместе с тем пока невозможно точно оценить теплопоглощение, обусловленное деструкцией полимера. Для этого необходимо на основании изменения энтальпии при нагреве оценить энергетические затраты на процесс деструкции. По данным экспериментальных исследований авторов, эффект воздействия полимерсодержащих СОЖ может быть связан с резким увеличением коэффициента теплоотдачи при вынужденной конвекции.

(Окончание следует)

Список литературы

1. Рыжкин А. А. Теплофизические процессы при изнашивании инструментальных режущих материалов. — Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2005. — 311 с.
2. Рыжкин А. А., Шуцев К. Г., Алиев М. М. Оценка охлаждающего эффекта внешних сред в условиях трения и резания металлов // Современные проблемы машиноведения и высоких

технологий: Труды междунар. науч.-техн. конф. — Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2005. — Т. 1. — С. 218—223.

3. Ryshkin A. A., Aliev M. M. Thermodynamic aspect of the influence of the lubricant-cooling mediums with amortization of the sintered-hard alloys // Problemy eksploatacii: Proc. 4th Int. Symp. "Tribology in mining and steel works". — Crakow, 1994. — Vol. 10. — P. 272—280.

4. Рыжкин А. А., Алиев М. М. Влияние СОТС на процессы самоорганизации в тяжело нагруженных трибосистемах // Сб. трудов V междунар. науч.-техн. конф. по динамике технологических систем. — Ростов-на-Дону: ДГТУ, 1997. — Т. 2. — С. 45—47.

5. Алиев М. М., Моисеев В. Г. Термический анализ СОЖ на полимерной основе // Надежность и эффективность станочных и инструментальных систем: Сб. науч. трудов. — Ростов-на-Дону: ДГТУ, 1998. — С. 156—161.

6. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под ред. С. Г. Энтелеса, Э. М. Берлинера. — М.: Машиностроение, 1995. — 496 с.

7. Чулок А. И., Лобанцова В. С. Термический анализ эффективности действия СОЖ. — М.: ВНИИТЭМР, 1988. — 40 с.

8. Сошко А. И. Полимерсодержащие смазочно-охлаждающие жидкости. — Львов: Каменяр, 1986. — 62 с.

9. Латышев В. Н. Повышение эффективности СОТС. — М.: Машиностроение, 1985. — 65 с.

10. Латышев В. Н. Физико-химические основы действия СОТС при резании металлов // СТИН. — 2002. — № 4. — С. 13—16.

11. Кабалдин Ю. Г., Олейников А. И., Бурков А. А. Синергетика эволюции структур и солитонные механизмы трения, износа и смазки при резании // Вестник машиностроения. — 2000. — № 1. — С. 34—41.

12. Кужаров А. С., Ахвердиев К. С., Кравчик К., Кужаров А. А. Молекулярные механизмы самоорганизации при трении. Ч. 1: Исследование самоорганизации в гидродинамическом режиме трения // Трение и износ. — 2001. — Т. 22. — № 1. — С. 84—91.

13. Кужаров А. А., Рыжкин А. А., Назаренко Д. В. Разработка способа получения и исследование возможности использования нанометрических кластеров меди для улучшения триботехнических свойств СОТС // Новые технологии управления движением технических объектов: Материалы 2-й междунар. науч.-техн. конф. — Новочеркасск: ЮРГТУ, 1999. — Т. 2. — С. 151—152.

14. Резников А. Н. Теплообмен при резании и охлаждение режущих инструментов. — М.: Машгиз, 1963. — 200 с.

15. Резников А. Н. Теплофизика резания. — М.: Машиностроение, 1969. — 288 с.

16. Рыжкин А. А., Шучев К. Г. Влияние теплообмена с окружающей средой в локальной приконтактной зоне на термодиссипативную способность тяжело нагруженной пары трения // Вестник ДГТУ. — 2001. — Т. 1. — № 2 (8) — С. 35—40.

17. Рыжкин А. А., Моисеев В. Г., Алиев М. М., Науменко И. Н. Сравнительные исследования полимерсодержащих СОТС при резании конструкционных сталей // Надежность инструментальных и станочных систем: Межвуз. сб. науч. трудов. — Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1991. — С. 74—79.

18. Рыжкин А. А., Алиев М. М. Исследование влияния технологических сред на контактные процессы в тяжело нагруженных трибосистемах при резании материалов // Вопросы вибрационной технологии: Межвуз. сб. науч. статей. — Ростов-на-Дону: ДГТУ, 1999. — С. 179—184.

19. Рыжкин А. А., Алиев М. М. Влияние внешней среды (СОТС) на динамические характеристики процесса резания // Безыносность: Межвуз. сб. науч. трудов. — Ростов-на-Дону: ДГТУ, 1998. — Вып. 5. — С. 185—190.

20. Рыжкин А. А., Моисеев В. Г., Алиев М. М. Теплофизический подход к оценке влияния полимерсодержащих СОТС на процесс резания // Новые высокопроизводительные конструкции режущего инструмента и оснастки в машиностроении: Материалы науч.-техн. семинара. — Л.: ЛДНТП, 1990. — С. 67—68.

21. Лыков А. В. Теория теплопроводности. — М.: Высш. шк., 1967. — 599 с.

“Библиотека Машиностроителя”
www.lib-bkm.ru

Оценка диссипативных свойств СОЖ в условиях трения и резания*

д.т.н. А. А. Рыжкин, к.т.н. К. Г. Шучев, к.т.н. М. М. Алиев, В. В. Гусев

Анализом температурных полей в твердом сплаве установлено, что объемный источник теплотопоглощения W_n изменяет максимальную температуру поверхности контакта, если его мощность достигает $(0,005—0,1) W_T$. Однако в реальных условиях трения при резании $W_n \leq (0,001—0,01) W_T$, и поэтому

источник теплотопоглощения не может существенно влиять на изменение максимальной температуры поверхности контакта. Тем не менее, от этого источника существенно зависит распределение объемных температур в элементах пары трения.

Как видно из рис. 2, действие объемного источника теплотопоглощения (применение полимерсодержащей СОЖ) на тело 1 (ИМ) снижает поверхностную и

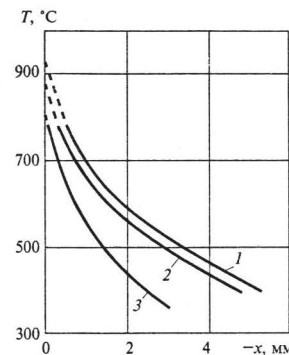


Рис. 2. Влияние объемного источника теплотопоглощения на распределение температур T в твердом сплаве Ti5K6 при точении стали 45 ($v = 210$ м/мин; $L_k = 1$ мм): 1 — без охлаждения (свободный конвективный теплообмен с окружающей средой — воздухом); 2 — использование СОЖ с $W_n = 0,001 W_T$ и коэффициентом теплоотдачи $\alpha_0 = 5000$ Вт/(м²·°C); 3 — использование СОЖ на основе полимерной присадки ДВСЛ ($W_n = 0,05 W_T$; $\alpha_0 = 30000$ Вт/(м²·°C) (x — текущая координата; см. рис. 1)

объемную температуру и повышает температурный градиент в поверхностных слоях ИМ. Степень этого влияния зависит от мощности источника теплотопоглощения (от скорости деструкции полимера).

При сравнительной оценке влияния различных масляных, водоэмульсионных и синтетических СОЖ на стойкость РИ при точении конструкционных сталей наилучшие результаты показали водоэмульсионные полимерсодержащие СОЖ МХО-64а и ДВСЛ на базе латексной присадки СКС 65ГП. Эти СОЖ не только повышают стойкость РИ в 1,5—3 раза, но и способствуют снижению шероховатости обработанной поверхности на 0,5—1 класс.

В процессе сравнительных испытаний полимерсодержащих СОЖ наблюдались также газовыделение при резании, появление стекловидной пленки на рабочих поверхностях РИ при прекращении резания и снижение содержания полимерного компонента в составе СОЖ. Это позволяет предположить, что влияние водоэмульсионных полимерсодержащих СОЖ на контактные процессы в зоне трения и резания реализуется по качественно новому механизму.

Проявления такого механизма особенно заметны при использовании СОЖ с повышенным содержанием полимера. При экспериментальных ис-

следованиях установлен существенный перепад температуры вблизи зоны резания при использовании полимерсодержащей СОЖ (на 210—250 °C больше, чем при использовании обычных СОЖ на водной основе).

Перепад температур увеличивался с возрастанием скорости резания. При этом в области низких и средних скоростей резания ($v = 60\div90$ м/мин) газовыделение практически не наблюдалось; оно возникало только при высоких скоростях резания ($v = 120\div360$ м/мин).

Под воздействием температуры резания на контактных поверхностях РИ латексный компонент полимеризуется. Это сопровождается образованием стекловидной пленки и интенсивным поглощением теплоты резания. Такой процесс наблюдается в области скоростей, при которых средняя температура в зоне резания составляет 400÷450 °C.

При высоких скоростях резания (средняя температура в зоне резания 600÷900 °C) помимо полимеризации происходит активная деструкция твердого продукта полимеризации на газовые составляющие, также протекающая с поглощением теплоты резания. Таким образом, при температуре свыше 500 °C появляется второй канал теплоотвода.

Экспериментальные исследования интенсивности изнашивания РИ проводили на токарно-винторезном станке мод. 1К625 при точении сталей 45, 12Х18Н10Т и 38ХС резцами, оснащенными четырехгранными сменными пластинами из твердого сплава Ti5K6; $v = 60\div400$ м/мин; подача $s = 0,39$ мм/об; глубина резания $t_p = 1$ мм; путь резания 1000 м.

В качестве объектов исследования использовали следующие СОЖ, подаваемые в зону резания поливом (расход 8—10 л/мин): 5 %-ную эмульсию ЭГТ; 6 %-ную эмульсию Аквол-14; 5 %-ную эмульсию Аквалол-1; 7 %-ную эмульсию МХО-64а; 7—10 %-ную эмульсию дивинилстирольного латекса СКС-65ГП марки Б.

Результаты сравнительных исследований интенсивности I_h изнашивания РИ в зависимости от скорости резания при постоянных значениях толщины срезаемого слоя и пути резания представлены в табл. 1. Зависимость $I_h = f(v)$ носит экстремальный характер. Активное воздействие полимерсодержащих СОЖ на зону резания приводит к снижению интенсивности изнашивания РИ из твердого сплава Ti5K6 и смещает оптимальную (т. е. обеспечивающую наименьшую температуру) скорость резания в область высоких значений.

* Окончание. Начало см. в № 9 за 2008 г.

Таблица 1

v , м/мин	Интенсивность изнашивания $I_h \cdot 10^{-8}$ при использовании СОЖ			
	Без охл.	Аквол-14	МХО-64а	ДВСЛ
180	1,85	1,37	0,49	1,56
240	2,83	2,49	1,39	1,27
300	4,98	4,67	3,75	1,21
360	—	—	6,15	4,13
400	—	—	9,32	6,82

Примечание. Точение стали 45; ИМ — твердый сплав Т15К6; $s = 0,39$ мм/об; $t_p = 1$ мм.

Анализ результатов экспериментов выявил области, в которых полимерная присадка наиболее эффективна, т. е. усиливает охлаждающую способность СОЖ и обеспечивает максимальное снижение интенсивности изнашивания РИ.

Установлено, что при обработке сталей 12Х18Н10Т и 38ХС с низкой скоростью резания ($v = 40 \div 80$ м/мин) целесообразно применять традиционные СОЖ типа Укринол-1, Аквал-1, ЭГТ, поскольку они обладают наименьшей термической стабильностью [температурный интервал разложения присадки ($\Delta T = 163 \div 252$ °С)¹ ниже, чем у полимерных присадок].

При обработке тех же материалов со средними скоростями ($v = 70 \div 120$ м/мин) следует использовать СОЖ на основе трибоактивных присадок (Аквол-14, Карбамол С-2М) с $\Delta T = 410 \div 500$ °С.

В области высоких скоростей резания ($v = 120 \div 300$ м/мин) на операциях точения указанных материалов наиболее эффективны СОЖ МХО-64а и 10 %-ная водная эмульсия ДВСЛ. Они позволяют снизить интенсивность изнашивания твердосплавного РИ в 1,5–2 раза, а также объемную температуру.

Сопоставление температурных интервалов термодеструкции СОЖ ДВСЛ с температурными интервалами снижения интенсивности изнашивания твердого сплава Т15К6 при резании стали 45 показало, что тепловые превращения полимерных присадок, связанные с поглощением теплоты (эндотермический эффект), усиливают охлаждающую способность СОЖ. Анализ температурных интервалов термодеструкции полимерной присадки в

СОЖ ДВСЛ позволил выявить области температур, в которых присадка наиболее стабильна.

Термодеструкция полимерной присадки с эндотермическими эффектами происходит в нескольких температурных интервалах: $\Delta T_1 = 430 \div 560$ °С; $\Delta T_2 = 650 \div 700$ °С; $\Delta T_3 = 745 \div 785$ °С; $\Delta T_4 = 820 \div 880$ °С. Наличие эндотермических эффектов указывает на повышение охлаждающей способности СОЖ с полимерной присадкой в тех интервалах температуры, в которых интенсивность изнашивания РИ минимальна.

Применение полимерсодержащих СОЖ значительно снижает объемную температуру в ИМ (табл. 2). Охлаждение зоны резания 10 %-ной эмульсией ДВСЛ при высоких скоростях резания эффективнее, чем охлаждение эмульсией МХО-64а (рис. 3).

Таблица 2

v , м/мин	$T_{об}$, °С при использовании СОЖ					
	Без охл.	ЭГТ	Вода	Аквол-14	МХО-64а	ДВСЛ
60	665	605	550	580	610	660
120	785	720	710	705	660	680
180	910	870	855	860	790	735
240	1000	970	953	1000	875	730
300	1050	1025	1000	1080	965	780
360	1120	1095	1080	1160	1020	830

Примечания: 1. $T_{об}$ — объемная температура.

2. Условия резания: ОМ — сталь 45; ИМ — твердый сплав Т15К6; $s = 0,39$ мм/об; $t_p = 1$ мм; путь резания 1000 м.

3. Использовали воду с антикоррозионными присадками.

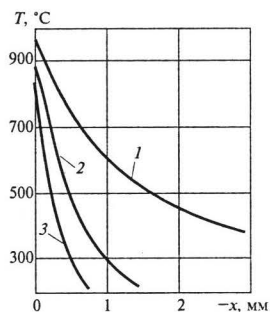


Рис. 3. Влияние СОЖ на распределение температур T в твердом сплаве Т15К6 при точении стали 45 ($v = 180$ м/мин; $s = 0,39$ мм/об; $t_p = 1$ мм): 1 — без охлаждения; 2 — охлаждение водной эмульсией МХО-64а; 3 — охлаждение 10 %-ной эмульсией ДВСЛ (x — текущая координата; см. рис. 1)

Оценка средней температуры резания показала, что при использовании полимерсодержащих и обычных СОЖ температура ниже соответственно на 210–250 °С и на 70–120 °С, чем в отсутствие

охлаждения. Охлаждающий эффект СОЖ заключается в снижении главным образом не поверхностных температур на контактных площадках РИ, а объемных температур, а также в значительном повышении градиентов температуры в РИ и заготовке, что свидетельствует об интенсификации отвода теплоты из зоны резания.

Выводы

1. Анализ интенсивности изнашивания твердосплавного РИ, а также термограмм деструкционных процессов для различных СОЖ показывает, что интенсивность изнашивания снижается благодаря действию объемного источника теплоглобления, обусловленного деструкцией полимерных компонентов СОЖ.

2. Полимерные СОЖ смешают оптимальную скорость резания в зону больших скоростей по сравнению с другими типами СОЖ.

3. Решение тепловой задачи с учетом объемных источников тепловыделения (обусловленного пластическими деформациями) и теплоглобления (обусловленного процессами деструкции компонентов СОЖ) позволило получить аналитические выражения максимальных поверхностных температур и температурных градиентов, что дало возможность оценить вклад каждого из упомянутых тепловых источников в распределение температур.

4. Установлено, что охлаждающее действие источника теплоглобления проявляется косвенным образом через снижение объемных температур и увеличение температурных градиентов.

5. Полученные результаты показывают эффективность применения полимерсодержащих СОЖ, а также необходимость дальнейшей разработки и применения присадок на основе полимеров, способствующих более эффективному отводу теплоты из зоны резания.

¹ Чулок А. И., Лобанова В. С. Термический анализ эффективности действия СОЖ. — М.: ВНИИТЭМР, 1988. — 40 с.