

В.М.Зайцев

СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ И ВЫБОР
НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА СМАЗКИ-ОХЛАЖДЕНИЯ
ПРИ РЕЗАНИИ ЖАРОПРОЧНЫХ И ДРУГИХ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Производственный опыт и исследования, проведенные в ряде научно-исследовательских организаций, в том числе в нашем институте, показывают, что жаропрочные и другие конструкционные материалы со специальными свойствами обладают значительно худшей обрабатываемостью, чем материалы общего назначения с такой же прочностью и твердостью. В наших исследованиях установлено, что обработка резанием указанных материалов на режимах, рекомендованных нормативами для материалов общего назначения, имеет по сравнению с ними следующие особенности:

1. Более интенсивный, часто катастрофический износ рабочих поверхностей, особенно передней, как быстрорежущих, так и твердосплавных инструментов; преобладание адгезионно-диффузионного износа при одновременном и более интенсивном воздействии абразивного износа. Это объясняется большей пластичностью, меньшей в 2-3 раза теплопроводностью, насыщенностью структуры зернами повышенной твердости (карбиды, нитриды, бориды, интерметаллиды и др.), в ряде случаев значительно большим химическим сродством по отношению к инструментальным материалам, особенно титановых сталей и сплавов по отношению к твердым сплавам группы "ТК".

Анализ тенденции изменения механических, теплофизических и химических свойств специальных конструкционных материалов показывает, что свойства эти все больше сближаются со свойствами инструментальных материалов, а в ряде случаев и превосходят их.

2. Более хаотичный характер схода очень прочной, сильно нагретой стружки в виде полосы или спирали с большим шагом и малой кривизной при токарной обработке; забивание стружечных канавок приварившимися частицами стружки (иногда целыми участками); заедание инструментов; "засаливание" абразивных инструментов, приводящее к прижогам, трещинам и другим дефектам обработанной поверхности.

3. Превышение в отдельных случаях уровня сил резания и температур рабочих поверхностей инструмента, обработанной поверхности и стружки в 1,5 - 2 раза.

4. Более широкий диапазон изменения деформации стружки, сопровождающейся в некоторых случаях "отрицательной" усадкой; большая глубина и степень наклепа приповерхностного слоя; наличие в большинстве случаев больших остаточных напряжений растяжения (исключение составляют некоторые случаи обработки титановых сплавов).

5. Более интенсивный процесс наростообразования со сдвигом зоны максимальной высоты нароста в сторону более высоких температур (700-750°C вместо 450-550°C).

6. Наличие вибраций при обработке деталей нормальной жесткости в более широком диапазоне изменения параметров режима резания.

7. Большая высота остаточных гребешков.

Указанные особенности снижают производительность обработки в 2-3 и более раза, а в ряде случаев делают ее вообще невозможной. За последние 15-20 лет учеными и практиками были предложены и исследованы различные способы улучшения обрабатываемости: повышение эксплуатационных характеристик режущих инструментов за счет внедрения новых инструментальных материалов; совершенствование геометрии и качества заточки инструментов, применение специальной термохимической обработки и покрытий рабочих поверхностей инструментов; подогрев и глубокое охлаждение заготовок; введение в зону резания электрического тока и магнитного поля; сообщение инструменту вынужденных колебаний; новые составы смазки-охлаждения (несколько сот) и способы их применения (более десятка), позволившие в отдельных случаях увеличить стойкость инструментов в 5-8 раз и значительно улучшить качество обработанной поверхности. Опыт показывает, что вследствие все большего сближения механических, теплофизических свойств обрабатываемых и инструментальных материалов, в значительной мере исчерпанной возможности улучшения геометрии и качества заточки инструментов, невозможности или ограниченности применения некоторых из выше указанных мероприятий в производственных условиях наиболее простым, дешевым, универсальным и перспективным средством интенсификации процесса резания и улучшения качества обработанной поверхности пока остается применение надлежащей смазки-охлаждения.

К сожалению, вопросам изучения возможностей смазки-охлаждения, разработке теоретических основ их совершенствования и рационального применения не уделяется достаточного внимания.

Выбор составов и способов применения смазки-охлаждения до сих пор осуществляется на основании прямых, очень трудоемких исследований влияния смазки-охлаждения на интересующий исследователя показатель обрабатываемости. Номенклатура испытуемых составов часто носит случайный характер и может не содержать наиболее эффективного.

В нашем институте уже около двадцати лет с разной интенсивностью ведутся исследования влияния различных составов и способов смазки-охлаждения на обрабатываемость жаропрочных, нержавеющих и титановых сталей и сплавов. Исследованиями охвачена широкая гамма обрабатываемых и инструментальных материалов, большинство операций резания металлов лезвийным и абразивным инструментом, жидкие и газообразные среды и большинство способов их применения. В ходе исследований изучалось влияние различных условий смазки-охлаждения на износ инструмента, силы и температуру резания, усадку и структуру стружки, наростообразование, параметры качества обработанной поверхности: шероховатость, наклеп и остаточные напряжения. В исследованиях установлено, что эффект применения смазки-охлаждения зависит от степени соответствия возможностей (свойств) ее поставленной задаче. При неудачном выборе состава смазки-охлаждения и способа подвода ее результат может оказаться даже отрицательным. Составы и способы применения смазки-охлаждения, способствующие расширению зоны нормального износа, могут оказать неблагоприятное влияние на качество обработанной поверхности. Среды и способы, эффективные при непрерывном резании, в ряде случаев оказали неблагоприятное влияние при прерывистом резании. Так, например, при точении стали IX18N9T, 3X13, 30XГCNA, ЭИ654 и сплава ЭП4375 на тяжелых режимах резания лучший результат по стойкости был при охлаждении обычной эмульсией, подаваемой из сопла диаметром 0,7 - 0,8 мм при давлении в подводящей системе 10-15 атм. Стойкость резцов при этом увеличилась по сравнению с резанием всухую при обработке сталей IX18N9T, 3X13 и сплава ЭИ437Б примерно в 4-6 раз и сталей 30XГCNA и ЭИ654 - в 1,5 - 2,5 раза. (см. табл. I и 2). Однако при этом виде охлаждения при обработке стали IX18N9T имеет место самая большая высота остаточных гребешков (см. рис. I).

Минимальная высота остаточных неровностей имела место при применении 5% эмульсии с добавкой 2% сульфифрезола.

При торцевом фрезеровании применение высоконапорного охлаждения оказало вредное влияние на стойкость, которая по сравнению с резанием всухую снизилась примерно на 30% (см.табл.3)

Таблица 1

Стойкость инструмента в зависимости от состава охлаждающей среды и способа ее подвода при обработке сталей IX18H9T, ЗХ13, ЭИ654, ЗОХГСНА и сплава ЭИ437Б. Резцы ВК8. Сечение среза $F = t \times S = 2 \times 0,31 \text{ мм}^2$

№ п/п	Вид охлаждения	Расход, л/минуту	Обрабатываемые материалы				
			IX18H9T	ЗХ13	ЭИ654	ЭИ437Б	ЗОХГСНА
1	Всухую		13	2,5	10	2,5	7,0
2	CO ₂	40	62	8	22	3,5	15,5
3	O ₂	40	10,5	6,5	22,5	2,5	12,5
4	10% эмульсия	10	38	13	11	3	11
5	Тоже под дав.10-15 атм.	0,8	80	15	23	9,5	12
6	5% эм +2% с.ф.	10	52	14,5	14	3,5	11,5
7	Износ по э.п.мм		0,6	0,55	0,6	0,6	0,6
8	Скорость резания, м/мин		120	180	60	40	150

Таблица 2

Влияние способа применения СОТС на стойкость при точении стали IX18H9T и сплава ЭИ437Б

Резцы ВК8. Сечение среза $F = t \times S = 2 \times 0,28 \text{ мм}^2$

№ п/п	Обрабатываемый материал	С п о с о б ы				
		Всухую	Полив	Распыл	Под давлением	Масляный туман
1	IX18H9T	19	59	45/29	78/55	25/29
2	ЭИ437Б (V = 30 м/мин)	12	17	17/15	37/17	16/13

Т а б л и ц а 3

Влияние состава и способа применения СОТС на стойкость торцовых фрез Р18 ($D=115$ мм, $Z=6$) при обработке сплава ЭИ437Б. Режим резания: $t=30$ мм, $B=2$ мм, $S_z=0,13$ мм/зуб, $V=10$ м/мин.

Всухую	7% эмульсия			7% эм +2% с.ф.	17% эм+2% с.ф. +2% CCl_4	масляный туман
	Полив	Распыл	Под давлением			
116	118	180	81	205	230	137

В то же время применение 5% эмульсии, активированной двумя процентами сульфорезола и двумя процентами четыреххлористого углерода, подаваемой обычным поливом, способствовало увеличению стойкости фрез примерно в два раза. Несколько меньшее увеличение стойкости фрез наблюдалось при охлаждении 10% эмульсией, распыленной в струе воздуха, подаваемого под давлением 2-2,5 атм.

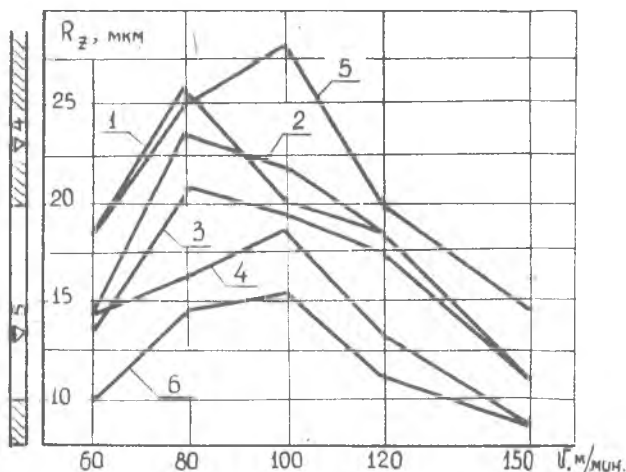


Рис.1. влияние СОТС на стойкость при точении стали 1Х18Н9Т. Резцы БКВ ($\gamma=10^\circ$; $\varphi=45^\circ$; $\varphi_1=15^\circ$; $\alpha=10^\circ$; $\tau=1$ мм). Сечение среза $t \times S = 2 \times 0,4$ мм²; $h_3=0,6$ мм: 1-всухую; 2- CO_2 ; 3-0,2; 4-10% эмульсия, обычный полив; 5-10% эмул. под дав. 10-15 атм; 6-5% эмул. +2% сульфорезол. обычный полив

В исследованиях влияния скорости резания ($V = 6-14$ м/мин) и смазки-охлаждения (7% эмульсия и эта же эмульсия с добавкой 2% сульфозфреззола) на остаточные напряжения при торцевом фрезеровании сплава ЭИ437Б однозубой фрезой Р9К5 ($\gamma = 5^\circ$, $\alpha = 15^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 10^\circ$, $\lambda = 5^\circ$) было установлено, что при резании всухую в непосредственной близости к обработанной поверхности - на глубине 20 мкм и менее - формируются осевые остаточные напряжения растяжения, достигающие величины $\sigma_o = 35$ кгс/мм² и более. Характер их распределения по глубине существенным образом зависит от скорости резания. Применение 7% эмульсии, подаваемой обычным поливом, позволило снизить напряжения растяжения до 15 кг/мм², а охлаждение этой же эмульсией в распыленном состоянии способствовало даже появлению напряжений сжатия $\sigma_o = -20$ кгс/мм². В то же время при цилиндрическом фрезеровании этого же сплава применение смазки-охлаждения во всех случаях способствовало увеличению тангенциальных остаточных напряжений.

Действие различных сред имеет избирательный характер. Среды, наиболее эффективные при обработке какого-то материала, могут быть неэффективными по отношению к другим. Из рассмотрения табл. I следует, что при точении сталей IX18H9T и ЗХ13 наиболее эффективной из числа исследованных является 5% эмульсия с добавкой 2% сульфозфреззола. Применительно к стали ЭИ654 наиболее эффективными являются углекислота и кислород, в то время, как применение кислорода при точении стали IX18H9T способствует увеличению износа и т.д. Влияние различных составов СОТС на износ инструментов и шероховатость обработанной поверхности с увеличением скорости резания снижается и при некотором ее значении нивелируется (см. рис. I, 2). Из приведенных примеров вытекают два вывода:

1. СОТС оказывают многостороннее влияние на процесс резания и показатели обрабатываемости, являются мощным и далеко не исчерпанным резервом интенсификации процесса резания и улучшения качества обработанной поверхности.

2. Применение СОТС в условиях, не соответствующих их свойствам, бесполезно и может дать даже отрицательный результат.

Выбор из числа имеющихся или разработка нового состава и способа применения СОТС является очень трудной задачей, решение которой предполагает четкое знание главной задачи механической операции и условий ее выполнения, предварительное изучение особен-

ностей процесса резания без смазки-охлаждения: характера процесса (непрерывный, прерывистый, с ударами и т.д.) наличия и интенсивности наростообразования, уровня сил и температуры резания, пре-

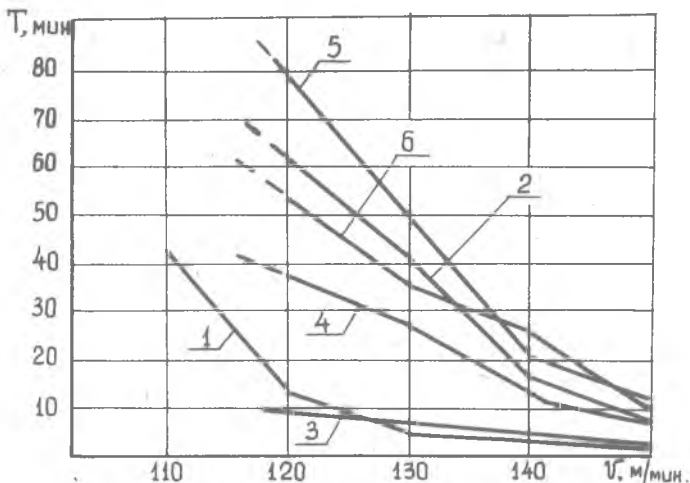


Рис. 2. Влияние СОТС на шероховатость при точении стали IX18N9T. Резцы ВК8 ($\gamma = 10^{\circ}$; $\alpha = 10^{\circ}$; $\psi = 45^{\circ}$; $\varphi_1 = 15^{\circ}$; $\tau = 1$ мм). Сечение среза $t \times s = 2 \times 0,31$ мм²; $h_3 \leq 0,1$ мм: 1 - Всухую; 2 - CO₂; 3 - O₂; 4 - 10% эмульсия, обычный полив; 5 - 10% эмульсия под давлением 10-15 атм.; 6 - 5% эмульсия + 2% сульфидная эмульсия, обычный полив

обладающего вида износа; механических, теплофизических и химических свойств, а также структуры обрабатываемого и инструментального материалов, их адгезионной и диффузионной активности по отношению друг к другу и т.д. В результате такого анализа должны быть установлены главная и дополнительные причины, препятствующие или затрудняющие выполнение задач операции без применения смазки-охлаждения, составлен план устранения или уменьшения вредного влияния указанных причин, установлены главное и вспомогательное действия, которые должен произвести искомый состав смазки-охлаждения.

Исходя из главного и вспомогательного действий, устанавливаются механические, теплофизические, химические и другие свойства искомого состава и техническая характеристика способа введения его в зону резания.

После этого проводятся сравнительные исследования 2,3 составов, наиболее близких по своим свойствам к установленным, и делается окончательный выбор. Наиболее трудным и в целом ряде случаев пока невозможным этапом предварительного поиска является последний из-за отсутствия количественных не только теоретических, но и экспериментальных данных о связи между функциональными и механическими, теплофизическими и химическими свойствами смазочно-охлаждающих средств, состоящих из одного вещества, не говоря уже о многокомпонентных средствах. Поиск таких связей применительно к условиям резания металлов, по существу, только начинается. Методики оценки отдельных функциональных свойств различных сред, существующие в общей теории трения и износа, в теории теплопередач, гидрогазодинамике и химии, к условиям резания металлов неприменимы или применимы в ограниченных пределах из-за большой специфики и разнообразия условий резания металлов. Многостороннее влияние на процесс резания и явления, его сопровождающие, СОТС оказывают, производя охлаждающее, смазывающее, пластифицирующее, заградительное и другие действия, которые зависят от их механических, теплофизических, химических и других свойств и от условий их проявления. Все многообразие конкретных задач, которые могут быть решены с помощью СОТС можно условно объединить в три группы:

1. Устранение заедания, заклинивания, налипания, имеющих место при умеренных температурах.

2. Расширение по времени диапазона нормального износа при заданном режиме резания или сохранение его при увеличении параметров режима, или, наконец, снижение катастрофического темпа износа до нормального.

3. Выполнение требований точности и качества обрабатываемой детали (поверхности).

Решение задач первой группы предполагает снижение интенсивности процесса схватывания с помощью СОТС, обладающих хорошими противозадирными свойствами.

Решение задач второй группы связано с регулированием темпа объемного износа, величина которого определяется интенсивностью

одновременно протекающих абразивного, адгезионного, диффузионного и других видов износа, а также наличием и устойчивостью нароста. Рассмотрим пути решения задач этой группы. В зависимости от условий резания преобладает какой-то один вид износа. Поэтому искомый способ смазки-охлаждения в первую очередь должен обладать способностью оказывать соответствующее действие на факторы, повышающие и понижающие интенсивность именно этого преобладающего износа.

Производственный опыт и многочисленные исследования, в том числе наши, показывают, что интенсификация режимов резания сопровождается повышением удельных нагрузок и температуры в зоне контакта, увеличением доли пластического контакта, усилением адгезионного и диффузионного износов, достигающих часто критической интенсивности. Поэтому наибольший интерес представляет изыскание способа смазки-охлаждения, позволяющего уменьшить темп роста адгезионного и диффузионного износов. Интенсивность адгезионного износа можно уменьшить снижением температуры и преднамеренным "загрязнением" контактных поверхностей адсорбционными пленками физического или химического происхождения, обладающими высокой прочностью и термостойкостью. Опыт показывает, что более эффективными являются химические пленки (например, соединения хлора, фосфора, серы и др.). Установлено, что жидкости на масляной основе, в том числе поверхностно и химически активные, слабее уменьшают адгезию, чем жидкости на водной основе [1].

Диффузионный износ может быть уменьшен снижением температуры в зонах контакта, уменьшением фактической площади контакта ювенильных поверхностей за счет покрытия их пленками, затрудняющими протекание диффузионных процессов. Расчеты показывают, что снижение температуры в зоне контакта на 10-15% уменьшает коэффициент диффузии в 2-3 раза. Температура контактных поверхностей может быть снижена уменьшением суммарной работы резания с помощью сред, обладающих высокими пластифицирующими и смазочными свойствами, а также за счет интенсивного отвода тепла из зоны контакта с помощью сред, обладающих высокой охлаждающей способностью. Такое решение вопроса возможно при непрерывном, спокойном характере процесса резания. При циклическом, ударном резании снижение температуры контакта должно производиться за счет уменьшения работы резания, особенно при работе твердосплавным инструментом. Это возможно при использовании составов и способов применения СОТС, обеспечивающих максимальное пласти-

фицирующее и смазывающее действие. Создать универсальные СОТС, обладающие по сравнению с другими одновременно наилучшими пластифицирующими, смазочными и охлаждающими свойствами, принципиально невозможно из-за прямо противоположного влияния их механических, теплофизических, химических и других свойств на функциональные свойства. Однако СОТС, обладающие наилучшим одним из указанных действий и достаточно сильными другими свойствами, создать можно. При этом суммарный эффект будет выше, чем у любой другой среды, обладающей самым сильным, но только одним свойством.

Рассмотрим возможные пути повышения охлаждающего действия СОТС и способов их применения.

Как известно, охлаждающая (телопоглащающая) способность веществ зависит от их теплофизических свойств (теплопроводности, теплоемкости, удельного веса, вязкости, теплоты парообразования и др.). Надежных количественных зависимостей, определяющих степень влияния каждого из них, пока нет.

Качественную оценку охлаждающих свойств потока жидкости или газа, обтекающего твердое тело, можно осуществить с помощью коэффициента теплоотдачи, величина которого для случаев охлаждения облучным поливом или струйным способом под давлением ≤ 15 атм в подводной системе может быть определена из экспериментальной зависимости

$$\alpha = 0,21 K_u \frac{\lambda^{0,62} \gamma^{0,62} C_p^{0,38} \tau V_{gn}^{0,62} q_v}{\mu^{0,24} \rho^{0,38}}, \quad (1)$$

где $\lambda, \gamma, C_p, \mu, \tau$ - соответственно коэффициент теплопроводности, удельный вес, удельная теплоемкость, коэффициент динамической вязкости и теплота парообразования среды;

V_{gn} - действительная скорость потока в момент встречи с охлаждаемой поверхностью;

K_u - коэффициент, учитывающий изменение теплофизических свойств жидкости или газа в зоне соприкосновения по сравнению с таковыми на значительном расстоянии от нее;

ℓ_0 - величина характерного размера охлаждаемого участка.

$$V_{gn} = V_n K_g \quad (2)$$

Здесь V_n - скорость потока на выходе из насадка;
 K_g - коэффициент, учитывающий падение скорости в зависимости от изменения расстояния до охлаждаемой поверхности и угла атаки β ;
 $K_g = 1$ - при некотором критическом расстоянии и угле атаки $\beta = 0^\circ$.
 q - расход жидкости.

Существует критическое значение, до которого увеличение расхода способствует росту охлаждающей способности. Дальнейшее увеличение расхода на охлаждающую способность не влияет. Анализ зависимости (I) показывает, что лучшими охлаждающими свойствами должны обладать жидкости на водной основе. Это подтверждено многочисленными экспериментами в том числе и нашими (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Теплофизические свойства некоторых СОЖ при $\theta^0 = 20^\circ\text{C}$

№ п/п	Виды СОЖ	$\lambda \times 10^{-3}$ кал см.сек $^\circ\text{C}$	Ср. кал 2°C	γ , г/см 3	$\nu \times 10^2$, см 2 /сек
1	Эмульсия 5%	1,03	0,965	0,995	1,229
2	Эмульсия 10%	0,825	0,884	0,991	1,433
3	Веретен.масло	0,303	0,438	0,876	45
4	Сульфозфрезол	0,286	0,382	0,9	93,7
5	Четыреххлористый углерод		0,13	1,59	0,61
6	Керосин		0,448	0,8	2,2
7	Сода 1% нитр. натр, 0,3%	1,4	1,03	0,001	1,105
8	Хлор.бар. 5% Нитр,натр.0,2%	0,8	1,0	1,003	0,601

Лучшим способом подвода в этом смысле является струйное высоконапорное охлаждение. По нашим данным при давлении в системе подвода жидкости $P = 10-15$ атм., жидкость через сопло с диаметром отверстия $0,7 - 0,8$ мм выбрасывается со скоростью, примерно в $30-40$ раз более высокой, чем при обычном поливе. Это увеличивает коэффициент теплоотдачи почти в 10 раз, снижает температуру в $1,4 - 1,6$ раза и повышает стойкость в $2-2,5$ раза по сравнению с охлаждением обычным поливом при одновременном уменьшении расхода жидкости в $10-15$ раз.

Выше уже упоминалось, что снижение темпа износа может быть получено также с помощью СОТС, обладающих повышенными пластифицирующими и смазывающими свойствами

Общепринятой методики и критериев оценки смазочной способности СОТС применительно к условиям резания пока нет. Однако на основании производственного опыта применения СОТС при резании металлов, результатов многочисленных [1,2] в том числе и наших, исследований влияния различных составов СОТС на процесс резания и граничного трения можно считать установленным, что лучшие смазывающие свойства имеют поверхностные пленки, обладающие высокой механической прочностью на сжатие, низким сопротивлением сдвигу и высокой температурой плавления. Такие свойства характерны для пленок из материалов, обладающих слоистой структурой (графит, дисульфиды и диселениды Mo , W , Nb и др.). Коэффициент трения уменьшается, если образовавшиеся пленки будут обладать меньшей прочностью, чем металлы, за счет которых они образовались. К таким относятся галогениды тяжелых металлов (Fe , Co , Ni , W , Mo , Cu , Pb и др.), входящие в состав органических соединений. Смазочные пленки, обладающие необходимыми физическими и химическими свойствами, эффективны только при достаточной их толщине (от нескольких до $400-500$ молекулярных слоев). Так, окисные пленки Mo , Ni , Nb , Cu должны иметь толщину, равную $1 - 1,2$ мкм, а для $Ta - 0,2$ мкм. При меньшей их толщине смазочные свойства не проявляются. На формирование указанных пленок требуется определенное время и возможность проникновения в зону контакта веществ, при взаимодействии с которыми формируются смазочные пленки. Время на формирование или восстановление разрушенных пленок должно быть меньше возможного, обусловленного скоростью относительного скольжения, которое при скоростях резания $20-200$ м/мин составляет $10^{-2}-10^{-4}$ сек.

Проникающая способность веществ значительно повышается, когда они находятся в мелкораспыленном, парообразном состоянии. Этим обстоятельством в значительной мере объясняется высокий износоснижающий эффект потока из смеси воздуха и мелкораспыленных жидкостей при фрезеровании, строгании и подобных им операциях резания, особенно при обработке твердосплавным инструментом.

Приведенные соображения по предварительной оценке вероятного действия СОТС, по нашему мнению, могут значительно сократить время и затраты на отыскание наиболее эффективного состава и способа применения смазки-охлаждения применительно к конкретным условиям резания.

Л и т е р а т у р а

1. Курчик Н.Н., Вайншток В.В., Шехтер Ю.Н. Смазочные материалы для обработки металлов резанием. М., "Химия", 1972.
2. Костецкий Б.И., Натансон М.Э., Бершадский Л.И. Механо-химические процессы при граничном трении. М., "Наука", 1972.

Э.А.Станчук, В.Н.Грипас

ОБРАБОТКА ЖАРОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

В современном машиностроении широко применяются жаропрочные, жаростойкие и другие труднообрабатываемые стали и сплавы, металлообработке которых сопутствуют низкая стойкость режущих инструментов, неудовлетворительное качество обработанной поверхности и др.

Одним из эффективных средств улучшения обрабатываемости этих материалов является применение смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Однако в ряде случаев охлаждение твердосплавных инструментов поливом СОЖ не желательно и даже вредно. Некоторые станки не оснащены системой подачи и соора СОЖ.

В связи с этим актуальной задачей является создание устройств подачи технологических сред в зону резания малыми дозами, а также создание новых сред, производство которых было бы несложным и которые обладали бы стабильностью при хранении,