

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ НА НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ

*Зеленогурский университет
Зелена Гура, Польша*

Использование смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) весьма существенно влияет на основные показатели процесса резания. Однако, в настоящее время имеет место тенденция сокращения использования СОЖ, что связано как с технологическими, так и с экологическими требованиями. Эксплуатация технологических систем в условиях использования СОЖ ставит перед производством ряд серьезных проблем [1]:

компоненты СОЖ не должны оказывать отрицательного воздействия на здоровье производственного персонала и на окружающую среду;

в ходе эксплуатации СОЖ не должны образовываться загрязнения на поверхностях станка, в том числе на защитных щитах и обзорных окнах;

СОЖ в процессе резания должна расходоваться экономно, обеспечивая смазывающее и охлаждающее действия; для этого, в частности используются подача СОЖ через каналы в теле инструментов или через специально разработанные сопла;

в ходе работы оборудования необходим непрерывный контроль СОЖ как с точки зрения ее эксплуатационных свойств, так с точки зрения потерь в системе охлаждения и снижения эффективности ее работы.

Согласно [3], потери могут достигать до 30% общего годового расхода СОЖ, что чревато значительными финансовыми расходами. Согласно данным [2 – 4], в автомобильной промышленности Германии стоимость эксплуатации СОЖ (доставка, непосредственное использование, восстановление и утилизация) составляют от 7 до 17% общих производственных затрат. При этом стоимость используемых режущих инструментов равна 2 – 4%.

Исключить проблемы, связанные с использованием СОЖ, можно в случае резания всухую либо с минимальным расходом технологической среды (англ. MQL – minimum quantity lubrication). В случае, когда „чистого” резания всухую реализовать не удастся, возможной альтернативой является минимализация условий смазывания и охлаждения зоны резания, т.е. ведение в эту зону как можно меньшего количества СОЖ. Расход СОЖ в этом случае составляет менее 50 г/ч [5], т.е. инструмент, деталь и стружка остаются практически сухими. Активные составляющие технологической среды транспортируются в зону резания в струе сжатого воздуха (т.н. масляный или эмульсионный туман). В настоящее время резание всухую и в условиях MQL используются все более широко.

Обработка в условиях MQL не снижает периодов стойкости режущего инструмента [6], поскольку обеспечивает лучшие условия смазывания и охлаждения контактных поверхностей „лезвие – стружка – обрабатываемая деталь”. Присутствие на поверхностях контакта активных составляющих, входящих в состав микрокапель эмульсии, может изменять основные показатели процесса резания.

Исследовались параметры процесса резания при точении низкоуглеродистой (0,07...0,16% C) стали R35 (PN-89/H-84023/07). Сталь имеет твердость 125 HB, временное сопротивление 350 МПа, предел текучести 235 МПа, относительное удлинение 25%. Структура стали ферритно-перлитная. Исследовалось продольное точение вала токарным резцом из твердого сплава P25 со сменной квадратной пластиной SNUN120408. Главный угол резца в плане 70°, главный передний угол равен -7°, главный задний угол 7°, радиус округления режущей кромки 0,01 мм.

Сравнивались условия обработки всухую и с охлаждением зоны резания эмульсионным туманом. Последний генерировался в приспособлении, имеющем сопла для регулирования расхода сжатого воздуха и эмульсии. В качестве эмульсии использовался водный раствор эмульсола OPORTET RG-2 с концентрацией 4%. Давление воздуха 0,2 МПа. Исследования проводились в диапазоне скоростей резания 80...450 м/мин, подач 0,1...0,5 мм/об, расходов эмульсии 1,5...3,5 г/мин и сжатого воздуха 4,5...7 м3/ч. Давление сжатого воздуха 0,2 МПа. Глубина резания 1 мм.

В качестве исходных параметров для выполнения дальнейших расчетов принимались толщина стружки a_s и ширина стружки b_s . Зная эти величины, можно рассчитать коэффициент утолщения стружки K_a и угол сдвига по формуле, предложенной Н.Н.Зоревым [6]:

$$\operatorname{tg}\Phi = \frac{\cos\gamma + 0,05K_a}{0,9K_a - \sin\gamma},$$

где γ – передний угол.

Ниже представлены результаты расчета некоторых показателей процесса резания согласно методике, предложенной в [7], на основе баланса механической и тепловой энергии.

Силу трения и нормальную силу на передней поверхности можно рассчитать, как

$$F_{\Pi} = \tau_c a_c b_c \left(\frac{\cos\gamma + \sin\gamma}{\operatorname{tg}\Phi} - \cos\gamma + \sin\gamma \right); N_{\Pi} = \tau_c a_c b_c \left(\frac{\cos\gamma - \sin\gamma}{\operatorname{tg}\Phi} + \cos\gamma + \sin\gamma \right),$$

где τ_c – сопротивление обрабатываемого материала пластическому сдвигу;

ас, бс – толщина и ширина среза.

Результирующая сила на передней поверхности равна

$$R = \sqrt{N_{\Pi}^2 + F_{\Pi}^2}.$$

Значения сил, действующих на передней поверхности, в зависимости от условий обработки приведены на рис. 1. Легко заметить, что применение эмульсионного тумана позволяет снизить силы резания на 15 – 25% по сравнению с обработкой всухую.

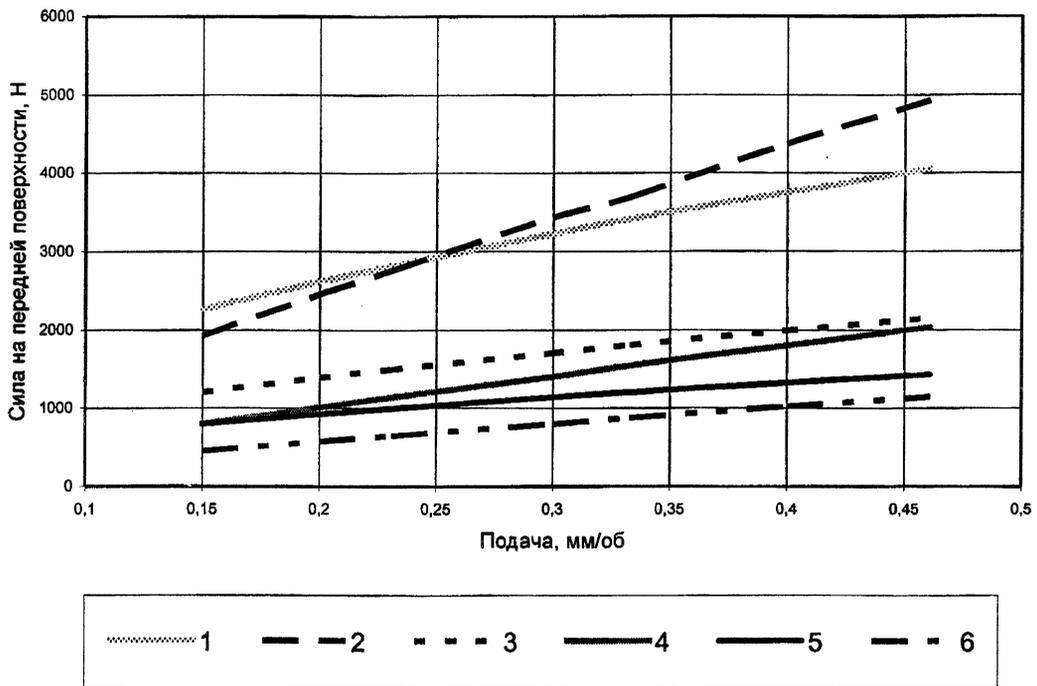


Рис. 1. Влияние условий обработки на силу резания, действующую на передней поверхности:
 1, 2 – $v = 77$ м/мин, 3, 4 – $v = 220$ м/мин, 5, 6 – $v = 435$ м/мин;
 1, 3, 5 – резание всухую, 2, 4, 6 – резание в эмульсионном тумане

Количество теплоты, переходящее в стружку, режущий инструмент и деталь в течение 1 с, равно соответственно

$$Q_c = \frac{\tau_c a_c b_c v}{\text{tg}\Phi} \left[\psi_c n_1 \text{erf} \sqrt{\frac{P \text{tg}\Phi}{4}} + n \text{tg}\Phi \frac{\cos \gamma + \sin \gamma - \text{tg}\Phi (\cos \gamma - \sin \gamma)}{\cos \gamma + \text{tg}\Phi \sin \gamma} \right];$$

$$Q_{\text{н}} = \frac{0,54\tau_c a_c b_c v F^{0,88} \left(\frac{a_c}{b_c}\right)^{0,26} \left(\frac{b}{b_c}\right)^{0,47} \left(\frac{\rho_k}{a_c}\right)^{0,27} \text{erf}^{0,35} \sqrt{\frac{\text{Pe} \text{tg} \Phi}{4}}}{\text{Pe}^{0,615} \sqrt{(1 - \sin \gamma)} (\text{tg} \Phi)^{0,72} \sin^{0,15} \alpha},$$

$$Q_{\text{д}} = \tau_c a_c b_c v \left(\frac{b}{b_c}\right) \left[\frac{0,665 n_2 \text{erf} \sqrt{\frac{\text{Pe} \text{tg} \Phi}{4}}}{\sqrt{\text{Pe} \text{tg} \Phi}} + \frac{0,625 n_3 \left(\frac{\rho_k}{a_c}\right) \sqrt{(\text{tg} \Phi)^3}}{\sin^{0,55} \alpha} \right];$$

где $\text{Pe} = \frac{v a_c c \rho}{\lambda}$ – критерий Пекле; c , ρ , λ – массовая теплоемкость, плотность и коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала; v – скорость резания; ψ , n , n_1 , n_2 , n_3 , F – безразмерные коэффициенты [7]; $\text{erf}(x)$ – интегральная функция ошибок для аргумента x ; ρ_k – радиус округления вершины резца; b – длина активной части режущей кромки [7]; α – задний угол резца.

Общий тепловой поток равен

$$Q = Q_c + Q_{\text{д}} + Q_{\text{н}}.$$

Расчеты показывают, что в рассмотренном диапазоне условий резания в резец отводится всего 1,5...4% общего количества теплоты, а в деталь – 9...17%. Преобладающая доля теплоты уносится стружкой.

Результаты расчетов общего теплового потока приведены на рис. 2. При невысоких скоростях резания использование эмульсионного тумана эффективно только при малых значениях подачи. По мере роста скорости эффективность действия тумана возрастает, и при жестких режимах резания тепловой поток оказывается меньше от 15 до 40% по сравнению с обработкой всухую. Легко оценить, что это оказывает существенное влияние на условия изнашивания и стойкость режущего инструмента.

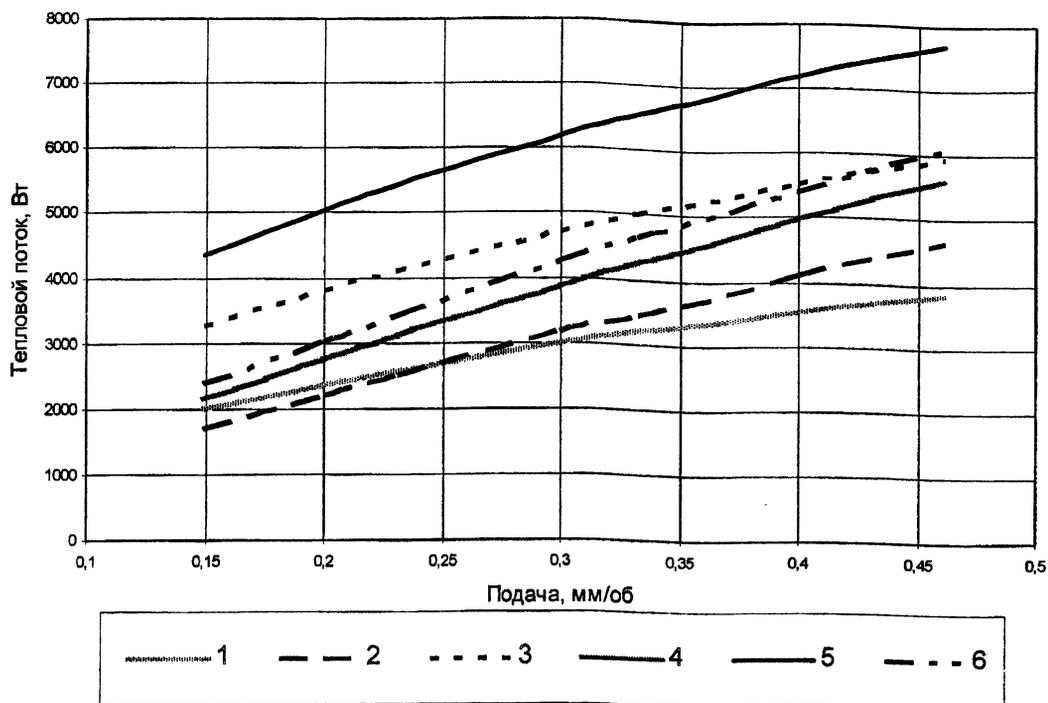


Рис. 2. Влияние условий обработки на результирующий тепловой поток:
 1, 2 – $v = 77$ м/мин, 3, 4 – $v = 220$ м/мин, 5, 6 – $v = 435$ м/мин;
 1, 3, 5 – резание всухую, 2, 4, 6 – резание в эмульсионном тумане

ЛИТЕРАТУРА

1. Cselle T., Barimani A. Today's applications and future developments of coatings for drill and rotating cutting tools// Surface & Coating Technology. – 1995. – Vol. 76 – 77. – S. 712 – 718.
2. Gente A., Hoffmeister H.W. Chip Formation in Machining Ti6Al14V at Extremely High Cutting Speeds// Annals of CIRP. – 2001. – Vol. 50. – № 1. – S. 49 – 52.
3. Schulz H. Hochgeschwindigkeitsbearbeitung. High-Speed Machining. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1996. – 286 s.
4. Byrnel G., Dornfeld D., Denkena B. Advancing Cutting Technology//Annals of CIRP. – 2003. – V.52. – №2. – P. 483 – 509.
5. Schmidt J., Lang H., Dyck M. Trockenbearbeitung ist wirtschaftlich und umweltfreundlich// Maschinenmarkt. – 2001. – № 29. – S.20 – 23.
6. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. - М.: Машгиз, 1956. - 368 с.
7. Силин С.С. Метод подобия при резании при резании металлов. – М.: Машиностроение, 1979. - 152 с.