УДК 621.9: 658.5

В.А. Богуславский, Т.Г. Ивченко, В.В. Польченко, И.Ю. Зайцева
Донецкий национальный технический университет, Украина
Тел./Факс: +38 (062) 3050104;E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД ПРИ ТОЧЕНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Установлено влияние смазочно-охлаждающих технологических сред на тепловые потоки и температуру резания при точении труднообрабатываемых материалов. На основании определенных аналитических зависимостей оптимальных значений подачи и скорости резания от параметров процесса точения разработаны рекомендации по выбору оптимальных режимов резания для любых условий обработки. Дана количественная оценка возможностей повышения производительности обработки за счет применения смазочно-охлаждающих технологических сред.
Ключевые слова: *точение, смазочно-охлаждающая среда, температура, оптимизация, производительность.*

Введение

Одним из методов повышения эффективности механообработки является использование смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС), что особенно актуально для нержавеющих, жаропрочных и высокопрочных сталей и сплавов, обладающих весьма низкой обрабатываемостью.

Высокие температуры в зоне обработки, возникающие из-за низкой теплопроводности труднообрабатываемых материалов, определяют необходимость исследования тепловых явлений в зоне резания и исследование эффективности применения СОТС для снижения температур и повышения производительности.

Существующая методика расчета тепловых потоков и температур в зоне резания с учетом действия СОТС [1, 2] не учитывает особенностей труднообрабатываемых материалов. Для этих видов материалов представляет интерес дальнейшее развитие методики определения температур в зоне резания при использовании различных СОТС.

В работе [3] предложена методика оценки повышения производительности обработки с применением различных СОТС, однако анализ выполнен только для одного обрабатываемого материала. Целесообразно расширение возможностей предложенной методики для оценки эффективности использования СОТС при точении различных труднообрабатываемых материалов.

При анализе возможностей повышения производительности обработки, в том числе за счет применения СОТС, весьма важен правильный выбор режимов резания. Методика оптимизации режимов резания при точении с учетом температурных ограничений, предложенная в работах [4, 5], может быть использована для различных труднообрабатываемых материалов. Представляет интерес дальнейшее развитие методики определения тепловых потоков, температур и режимов резания в широком диапазоне изменения условий обработки различных материалов.

Цель работы – исследовать влияние СОТС на тепловые потоки, температуру резания и оптимальные режимы резания при точении различных труднообрабатываемых материалов и оценить возможности повышения производительности обработки за счет применения СОТС.

Основное содержание и результаты работы

Необходимым условием для расчета температуры резания является определение плотностей тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия инструмента. Плотности равномерно распределенных тепловых потоков на передней q_1 и задней q_2 поверхностях при обработке без СОТС, а также соответствующие плотности тепловых потоков $q_{1СОТС}$ и $q_{2СОТС}$ при обработке с использованием СОТС в зависимости от основных параметров процесса резания могут быть рассчитаны следующим образом [2]:

$$q_1 = \frac{K_1K_3\lambda_u - K_2N_2h + K_1M_2h}{K_3K_4\lambda_u + M_2K_4h - N_1N_2lh/\lambda_u};\quad q_2 = \frac{(K_1 - K_4q_1)\lambda_u}{N_2h}; \tag{1}$$

$$q_{1СОЖ} = \frac{K_1K_3\lambda_u - K_2N_2hp_1 + K_1(M_2 - p_2N_2)h}{K_3K_5\lambda_u + (M_2 - p_2N_2)K_5h - N_1N_2lh/\lambda_u};\quad q_{2СОЖ} = \frac{(K_1 - K_5q_{1СОЖ})\lambda_u}{N_2hp_1}, \tag{2}$$

где K_1, K_2, K_3, K_4, p_1 и p_2 –коэффициенты, зависящие от условий обработки:

$$K_1 = \frac{(1+c)\omega_\partial kb'q_\partial}{\lambda_\partial V} + \frac{K_{c1}q_{1T}}{\lambda_\partial}\sqrt{\frac{\omega_\partial kl}{V}};\qquad K_2 = \frac{(1+c)\omega_\partial kb'q_\partial T_u}{\lambda_\partial V} + \frac{K_{c2}q_{2T}}{\lambda_\partial}\sqrt{\frac{\omega_\partial h}{V}};$$

$$K_3 = \frac{1{,}82K_{c2}}{\lambda_\partial}\sqrt{\frac{\omega_\partial h}{V}};\ K_4 = \frac{1{,}3K_{c1}}{\lambda_\partial}\sqrt{\frac{\omega_\partial kl}{V}} + \frac{M_1l}{\lambda_u};\ K_5 = \frac{1{,}3K_{c1}}{\lambda_\partial}\sqrt{\frac{\omega_\partial kl}{V}} + \frac{M_1lp_1}{\lambda_u};$$

$$p_1 = \frac{\lambda_u}{\lambda_u + \alpha_o m_o(l_oM_o - l_1M_1)};\quad p_2 = \frac{\alpha_o m_o(l_oN_o - l_1N_1)}{\lambda_u + \alpha_o m_o(l_oM_o - l_1M_1)};$$

λ_∂, λ_u, ω_∂, ω_u – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности материалов детали и инструмента; l - длина контактной площадки в направления схода стружки; h - износ по задней поверхности; k - коэффициент усадки стружки; V - скорость резания; c - коэффициент, учитывающий подогрев слоев металла стружки за один оборот детали; b' - коэффициент относительного количества теплоты, уходящего в стружку; K_{c1} – коэффициент, учитывающий закон распределения плотности теплового потока на передней поверхности K_{c2} – коэффициент, учитывающий закон распределения плотности теплового потока на задней поверхности; M_1, M_2, N_1, N_2 - безразмерные функции, определяющие нагрев площадок на передней и задней поверхностях лезвия инструмента [1]; $Mo = 4{,}88\beta^{-0{,}85}$, $No = 0{,}04B$ – безразмерные функции, определяющие охлаждение площадки на передней поверхности под действием СОТС; $m_o = \rho^{-0{,}86}$, $\rho = 2l_o/(b+l)$ – безразмерный параметр, сопоставляющий размеры зоны охлаждения с размерами контактной площадки стружки с лезвием инструмента; b – ширина среза; $l_o x l_o$ – площадка омывания СОТС, подаваемой свободным поливом со стороны передней поверхности; α_o- коэффициент теплоотдачи на этой поверхности [4].

Полученные аналитические зависимости для расчета плотностей тепловых потоков на передней q_1 и задней q_2 поверхностях лезвия инструмента позволяют устанавливать их взаимосвязи с различными параметрами обработки. На их основании выполнены расчеты плотности тепловых потоков на передней q_1 и задней q_2 поверхностях лезвия в зависимости от скорости резания V при обработке без СОТС и с применением различных СОТС, графики которых представлены на рис. 1.

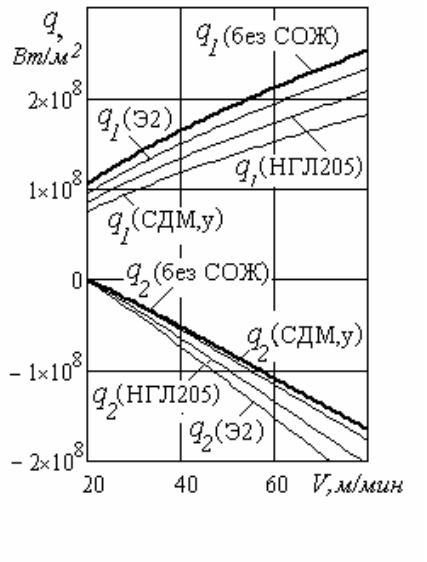

Рис. 1. Графики зависимости плотности тепловых потоков на передней q_1 и задней q_2 поверхностях лезвия от скорости резания V при обработке без СОТС и с применением различных СОТС

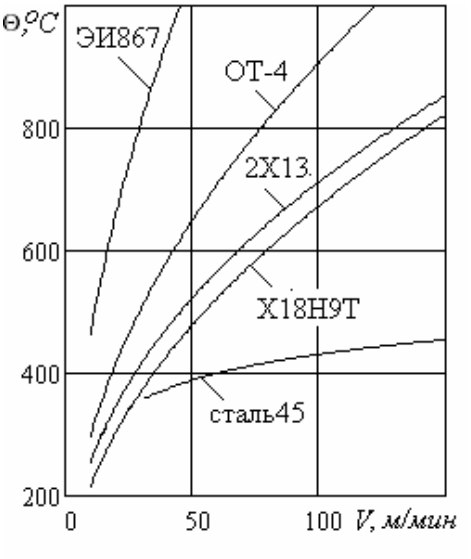

Рис. 2. Графики зависимости температуры резания Θ от скорости V при обработке различных материалов без СОТС

Расчеты выполнялись для следующих условий: обрабатываемый материал - нержавеющая сталь Х18Н9Т; инструментальный материал - твердый сплав ВК8 (геометрические параметры: главный угол в плане $\varphi = 45°$, передний угол $\gamma = 12°$); ширина и высота державки резца B = 20мм, H = 25мм; глубина резания t = 1мм; подача S = 0,3 мм/об; износ по задней поверхности h = 0,2мм. Рассчитанное для этих условий значение приведенного коэффициента теплоотдачи $\alpha_{пр} = 4{,}6 \cdot 10^4$ $Вт/м^2 \cdot {}^oC$.

С применением различных СОТС тепловые потоки на передней q_1 и задней q_2 поверхностях лезвия уменьшаются, причем тепловые потоки на задней q_2 поверхности находятся в области отрицательных значений, что свидетельствует о направлении теплового потока из инструмента в деталь.

Снижение плотностей тепловых потоков на передней q_1 поверхности лезвия инструмента при обработке с использованием в качестве СОТС эмульсола Э-2 достигается преимущественно за счет охлаждающего эффекта СОТС. При использовании эмульсола НГЛ-2О5, состоящего из масляного раствора сульфоната натрия и пассивирующих добавок водорастворимых ингибиторов коррозии - нитрита натрия и тринатрийфосфата, к охлаждающему эффекту добавляется эффект смазывающий, что усиливает снижение плотности теплового потока на передней поверхности $q_{1НГЛ205}$. Наибольший эффект снижения плотности теплового потока $q_{1СДМ,у}$ наблюдается при использовании эмульсола СДМ,у, представляющего собой безводную систему содержащую масло, сульфонат натрия, растворимые ингибиторы коррозии и небольшое количество (до 3 %) дисульфида молибдена, прошедшего ультразвуковую обработку. Наличие дисульфида молибдена существенно повышает смазывающее действие СОТС, что и обеспечивает максимальное снижение плотности теплового потока на передней поверхности.

С учетом действия стока теплоты при свободном поливе СОТС средние температуры на передней Θ_1 и задней Θ_2 поверхностях лезвия, а также температура резания Θ могут быть определены:

$$\Theta_1 = \frac{M_1 l}{\lambda_u}(q_1 + q_{1COЖ}) + \frac{N_2 h}{\lambda_u} q_2 - \frac{M_o l_o}{\lambda_u} q_{1COЖ};$$
$$\Theta_2 = \frac{M_2 h}{\lambda_u} q_2 + \frac{N_1 l}{\lambda_u}(q_1 + q_{1COЖ}) - \frac{N_o l_o}{\lambda_u} q_{1COЖ}, \quad (3)$$

$$\Theta = (\Theta_1 l + \Theta_2 h)/(l + h). \quad (4)$$

Графики зависимости температуры резания от скорости резания при обработке различных обрабатываемых материалов без применения СОТС (q_{1COTC} = 0)представлены на рис. 2. Для указанных ранее условий при работе без СОТС температура резания имеет максимальное значение при обработке жаропрочного сплава ЭИ867 и наименьшее из труднообрабатываемых материалов - при обработке нержавеющей стали Х18Н9Т. Для сравнения на графике представлена зависимость температуры резания от скорости резания при обработке стали 45, которая показывает, что температура во всем диапазоне изменения скоростей резания значительно ниже, чем для труднообрабатываемых материалов.

Представленные результаты расчетов температур резания при обработке труднообрабатываемых материалов свидетельствуют о необходимости их снижения за счет применения СОТС.

Графики зависимости температуры резания Θ от скорости резания *V* при обработке стали Х18Н9Т с использованием различных СОТС представлены на рис. 3. Наибольший эффект снижения температуры резания, также как и для плотности теплового потока наблюдается при использовании эмульсола СДМ,у.

Установлена зависимость температуры резания *Θ* от режимов резания – скорости *V*, подачи *S* и глубины *t*:

$$\Theta_{X18H9T} = 76{,}5 K_\Theta V^{0.53} S^{0{,}35} t^{0{,}24}, \quad (5)$$

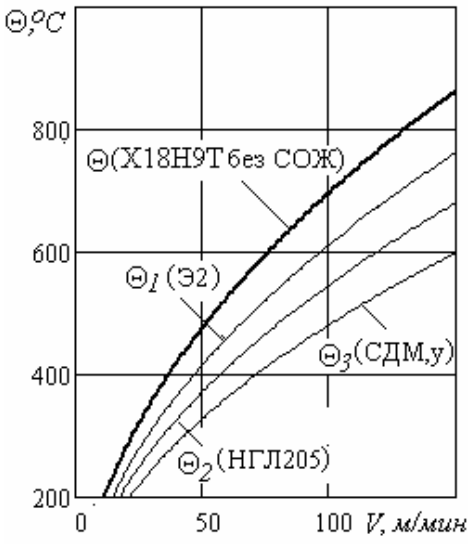

Рис. 3. Графики зависимости температуры резания Θ от скорости *V* при обработке стали Х18Н9Т с использованием СОТС

где $K_\Theta = \Theta_{\text{СОТС}}/\Theta_{без\ \text{СОТС}}$ - коэффициент снижения температуры резания при использовании СОТС.

Рассчитаны значения коэффициента снижения температуры резания K_Θ при использовании различных СОТС:

для эмульсола Э2 - $K_{\Theta\ Э2} = 0{,}9$;

для эмульсола НГЛ205 - $K_{\Theta\ НГЛ205} = 0{,}8$;

для эмульсола СДМ,у - $K_{\Theta\ СДМ,у} = 0{,}7$.

Представленные результаты расчетов температур резания свидетельствуют о необходимости учета температурных ограничений при оптимизации режимов резания по критерию максимальной производительности для труднообрабатываемых материалов.

В качестве ограничений по температуре используются установленные для различных труднообрабатываемых материалов зависимости температуры резания *Θ* от режимов резания – скорости *V*, подачи *S* и глубины *t*.

При использовании СОТС температурные ограничения отсутствуют, и оптимальные значения подачи и скорости резания, обеспечивающие максимальную производительность, могут быть рассчитаны следующим образом [4]:

$$S_o = \left(34c^{1,35}t^{(0,77-x_P)}K_\varphi \Big/ C_P K_P K_o\right)^{\frac{1}{y_p}}, \tag{6}$$

$$V_o = \left(\frac{C_V K_V K_T}{T^m t^{X_V}}\right) \cdot \left(\frac{C_P K_P K_o}{34c^{1,25}t^{(0,77-xp)}K_\varphi}\right)^{\frac{y_v}{y_p}}. \tag{7}$$

где C_V, K_V – коэффициенты и x_v, y_v, m_v – показатели, характеризующие степень влияния глубины t, подачи S и стойкости T на скорость резания V; K_T – коэффициент, учитывающий повышение стойкости режущего инструмента при использовании СОТС; c – толщина пластины; φ- главный угол резца в плане; C_P, K_P - коэффициенты и x_p, y_p, – показатели, характеризующие степень влияния глубины t и подачи S на силу резания P_z; K_o – коэффициент, учитывающий снижение силы резания при использовании СОТС; K_φ – коэффициент, учитывающий действие на силу резания P_z главного угла в плане φ..

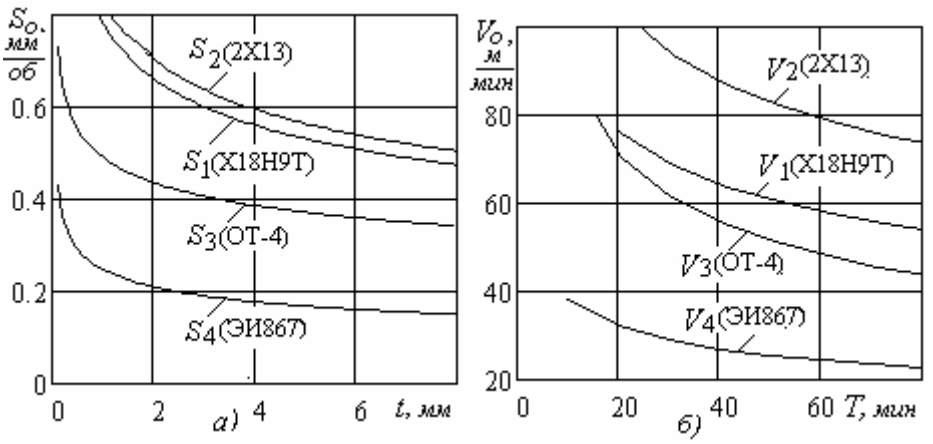

Рис. 4. Графики зависимости оптимальных значений подачи S_o от глубины резания t и скорости резания V_o от стойкости T для различных обрабатываемых материалов

Графики зависимости оптимальных значений подачи S_o от глубины резания t и скорости резания V_o от стойкости инструмента T для различных обрабатываемых материалов представлены на рис. 4. Полученные аналитические выражения позволяют рассчитывать оптимальные режимы резания для любых условий токарной обработки.

При обработке без СОТС оптимальная скорость резания определяется с учетом температурного ограничения:

$$V_o = \left(\frac{\Theta}{C_t t^{x_t}}\right)^{\frac{1}{z_t}} \left[\frac{C_P K_P}{34c^{1,35}t^{(0,77-x_P)}K_\varphi}\right]^{\frac{y_t}{y_P z_t}}, \tag{8}$$

где C_t – коэффициент и z_t, y_t, x_t – показатели степени, характеризующие влияние на температуру резания Θ скорости резания V, подачи S и глубины резания t.

На основании представленных зависимостей для расчета оптимальных режимов резания может быть определен коэффициент роста производительности обработки труд-

нообрабатываемых материалов при использовании СОТС:

$$K_П = \left(\frac{C_V K_V K_T}{T^m t^{X_V}} \left(\frac{C_t t^{x_t}}{\Theta} \right)^{\frac{1}{zt}} \left(\frac{1}{K_o} \right)^{\frac{1}{yp}} \left(\frac{C_P K_P t^{(xp-0,77)}}{34c^{1,35} K_\varphi} \right)^{\frac{y_v zt - yt}{y_p zt}} \right. . \quad (8)$$

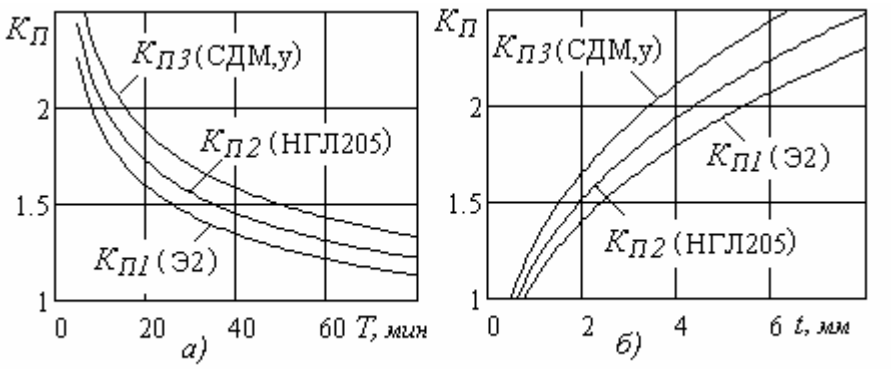

Рис. 5. Графики изменения коэффициента роста производительности $K_П$ при обработке стали Х18Н9Т с применением различных СОТС в зависимости от стойкости – *а)* и глубины резания – *б)*

Графики изменения коэффициента роста производительности $K_П$ при обработке стали Х18Н9Т с применением различных СОТС в зависимости от глубины резания t и стойкости режущего инструмента T представлены на рис.5.

Графики свидетельствуют о возможности существенного (до 2 – 3 раз) повышения производительности обработки при использовании СОТС. Графики, представленные на рис. 4 также свидетельствуют о том, что наибольший эффект по повышению производительности обработки при применении различных СОТС достигается при уменьшении стойкости режущего инструмента и увеличении глубин резания.

Таким образом, установленный коэффициент (8) позволяет количественно оценить возможное повышение производительности обработки труднообрабатываемых материалов при использовании различных СОТС.

На основании представленного коэффициента роста производительности обработки может быть выполнена оценка эффективности применения различных СОТС. Наилучшими возможностями по повышению производительности обработки из рассмотренных СОТС за счет максимального снижения плотности теплового потока и температуры резания обладает эмульсол СДМ,у.

Заключение

С использованием разработанной методики расчета тепловых потоков и температур резания при точении выполнена оценка возможностей снижения температур при обработке труднообрабатываемых материалов с применением различных СОТС.

Установлены зависимости температуры резания от скорости резания, подачи и глубины для различных труднообрабатываемых материалов, используемые в качестве температурных ограничений при оптимизации режимов резания.

На основании определенных аналитических зависимостей оптимальных значений подачи и скорости резания от параметров процесса точения разработаны рекомендации по выбору оптимальных режимов резания для любых условий токарной обработки. Обосновано влияние на оптимальные по производительности режимы резания температурных ограничений, которые существенно снижают скорость резания.

На основании полученных аналитических выражений для расчета оптимальных режимов резания определен коэффициент повышения производительности обработки при использовании СОТС, который позволяет оценить эффективность применения различных СОЖ при точении труднообрабатываемых материалов.

Разработанная методика быть использована для оптимизации режимов резания и оценки эффективности использования СОТС при различных видах обработки.

Список литературы:

1. Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах / А.Н. Резников, Л.А. Резников. – М.: Машиностроение, 1990. – 288с.

2. Ивченко Т.Г. Расчет тепловых потоков и температур резания при точении с использованием смазочно-охлаждающих жидкостей / Т.Г. Ивченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – 2010. – Вип. 26. – С.90 -96.

3. Богуславский В.А. Повышение производительности обработки труднообрабатываемых материалов с применением смазочно-охлаждающих жидкостей / В.А. Богуславский, Т.Г. Ивченко, Зантур Сахби // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – 2010. – Вип. 7(166). – С.9-16.

4. Зантур Сахби. Оптимизация режимов резания при точении труднообрабатываемых материалов с учетом температурных ограничений / Зантур Сахби, В.А. Богуславский, Т.Г. Ивченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2010. – Вып. 39. – С. 77-84.

5. Bogouslavskiy Vadim. Optimisation of cutting regimes at application of technological cutting fluid / Vadim Bogouslavskiy, Tatiana Ivchenko // ModTech International Conference 25-27th May 2011, Vadul lui Voda. – Chisinau, 2011. – P. 669-672. (Index to Scientific & Technical Proceedings of Thomson Scientific - Institute for Scientific Information (ISI).

Надійшла до редколегії 30.01.2012.

В.О. Богуславський, Т.Г. Івченко, В.В. Польченко, І.Ю. Зайцева

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ ПІД ЧАС ТОЧІННЯ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

Встановлений вплив мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ на теплові потоки і температуру різання під час точіння важкооброблюваних матеріалів. На підставі встановлених аналітичних залежностей оптимальних значень подачі і швидкості різання від параметрів процесу точіння розроблені рекомендації по вибору оптимальних режимів різання для будь-яких умов обробки. Дана кількісна оцінка можливостей підвищення продуктивності обробки за рахунок застосування мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ.

Ключові слова: *точіння, мастильно-охолоджуюче середовище, температура, оптимізація, продуктивність.*

V.A.Boguslavskiy, T.G. Ivchenko, Poltchenko V.V., Zaytseva I. Y.

ESTIMATION OF EFFICIENCY OF THE USE OF TECHNOLOGICAL CUTTING FLUID AT TURNING STAINLESS MATERIALS

Influence of technological cutting fluid on thermal streams and cutting temperature at turning stainless materials is set. On the basis of certain analytical dependences of optimum values of feed and cutting speed from the parameters of turning process the recommendations on the choice of the optimum cutting regimes for any machining terms are developed. The quantitative estimation of possibilities of the machining productivity due to application of technological cutting fluid are given.

Keywords: *turning, cutting fluid, optimization, temperature, productivity,*