

експериментально-статистичного моделювання треба знаходити коефіцієнти апроксимуючого рівняння для конкретного значення N , тобто знаходити шукане значення $\Gamma_{\text{еф}}$.

Таким чином, чотири вищезазначені підходи можуть бути застосовані для визначення $\Gamma_{\text{еф}}$ склотканого наповнювача, тобто бути використані при моделюванні параметрів реального технологічного процесу просочування.

Висновки

Описані чотири підходи до вибору адекватної фізичної моделі капілярно-пористих тіл в технології одержання конструкцій із орієнтованих волокнистих композитів, що враховує інтегральні характеристики волокнистого наповнювача як капілярно-пористого тіла, а саме: пористість, питому внутрішню поверхню, ефективний (еквівалентний) капілярний радіус.

Ця фізична модель використовується для детермінації уточненої математичної моделі технологічного процесу просочування волокнистих наповнювачів епоксидними зв'язуючими з використанням класичної теорії фільтрації для ламінарної течії в'язкої неньютонівської рідини, що не стискується.

Список літератур

1. Коновалов В.И., Коваль А.М. Пропиточно-сушильное и клеепромазочное оборудование. – М. Химия, 1989. – 224 с.
2. Кристенсен Р. Введение в механику композитов. — М.: Мир, 1982. — 336 с.
3. В.И. Коновалов. Современные вопросы теории переноса при сушке/В.И.Коновалов, Т.Кудра, Н.Ц.Гатапова//Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2008. – Т. 14. - № 3. - С. 538-559.
4. Ван Фо Фы Г. А. Теория армированных материалов с покрытиями. — К.: Техніка, 1971. — 232 с.
5. Иванченко Ф.К., Клявлин В.В., Колосов А.Е. Принципы построения модели структуры в теории армированных композиционных сред//Докл. АН УССР. Сер. А. — 1987. — № 8. — С. 25—29.
6. А.Е. Колосов, В.В.Клявлин. Некоторые аспекты детерминирования адекватной модели структуры ориентированных волокнистых композитов//Механика композит. материалов. — 1988. — № 6. — С. 1012 -1019.
7. Ванин Г. А. Новые функции распределения в механике композиционных сред//Прикл. механика. — 1984. — Т. 20, № 5. — С. 25—31.
8. Чизмаджев Ю.А. Макрокинетика процессов в пористых средах/Ю.А.Чизмаджев, В.С.Маркин, М.Р.Тарасевич и др. — М.: Наука, 1971. — 364 с.
9. Хейфец Л.И., Неймарк А.В. Многофазные процессы в пористых средах. – М.: Химия, 1982. – 320 с.
10. Кудряченко В.В. Прогнозування процесів просочення і сушіння виробів на основі тканин наповнювачів та полімерних зв'язуючих з використанням методу світлопропускання/В.В.Кудряченко, І.М.Федоткін, О.С.Колосов, В.І.Сівецький//Наукові вісті НТУУ "КПІ". — 2001.— №5. — С. 49—61.

УДК 621.923

В.П. Ларшин¹ д-р. техн. наук, Н.В. Лищенко¹ канд. техн. наук, С.Н. Макаров¹ канд. техн. наук,
А.В. Якимов² д-р техн. наук

1-Одесский национальный политехнический университет; 2-Одесская национальная академия пищевых технологий, г.Одесса, Украина

АНАЛИЗ РЕСУРСА СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Наведено аналіз взаємозв'язку між збільшенням стійкості різального інструменту і відповідними змінами режимних параметрів різання. Для кількісної оцінки цього взаємозв'язку запропоновано поправочні коефіцієнти на окремі режимні параметри різання. Дано рекомендації із застосування ефекту різкого збільшення стійкості різального інструменту при незначному зменшенні швидкості різання.

An analysis of interrelation between cutting tool life increment and cutting conditions parameters corresponding changes is given. Correction coefficients for separate cutting conditions parameters to quantitative estimation of this interrelation are proposed. Recommendations on the application of the effect of an essential increase in cutting tool life with a slight decrease in the cutting speed are given.

Высокоскоростная механическая обработка (в зарубежной литературе High Speed Machining или HSM) относится к одному из перспективных направлений развития современной технологии машиностроения [1]. Это направление сформировалось в 40-х годах прошлого века и с тех пор является перманентным. Вначале повышение

скорости резания на обычных станках практиковали передовые рабочие, используя твёрдосплавные резцы (ВК6, ВК8, Т15К6). Тогда под «скоростной обработкой» понимали механическую обработку с повышенными (по сравнению с нормами) скоростями резания. И уже тогда при чистовой обработке заготовок при точении (скоростное точение) и фрезеровании (скоростное фрезерование) были достигнуты скорости резания порядка 400-700 м/мин [2].

Одним из многих (и не менее важным, чем другие) аспектов проблемы высокоскоростного резания является выяснения влияния смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), как технологического резерва повышения скорости резания. Хотя известны многочисленные примеры высокоскоростного резания без применения каких-либо СОТС или с использованием специальных жидкостных СОТС типа Castrol (например, на японских токарных обрабатывающих центрах Mazatrol 640TN IVS-2000, WFL MILLTURN M35-G и других станках с ЧПУ).

Однако, отсутствие рекомендаций и технологических исследований по высокоскоростному резанию сдерживает развитие этого прогрессивного направления на станках с ЧПУ. В этой связи в данной работе производится анализ взаимосвязи между двумя технологическими резервами: приращением периода стойкости режущего инструмента и приращениями режимных параметров резания (скорости резания, подачи, глубины резания) которые становятся возможным вследствие этого. При этом возрастание, например скорости резания, приводит к соответствующему уменьшению периода стойкости, например, до базового его значения (по отношению к которому имело место приращение периода стойкости). Причины, приведшие к росту периода стойкости, в работе не рассматриваются. Такими причинами могут быть, например, применение более эффективной СОЖ или твёрдой технологической смазки, применение нового инструментального материала изменение геометрических параметров режущих лезвий, улучшение обрабатываемости материала заготовки и т.п.

В соответствии с «расширенным» уравнением Ф. У. Тейлора стойкость режущего инструмента (T) следующим образом связана с режимами резания [4, с.177]

$$T = \frac{K}{v^{1/n} \cdot f^{1/n_1} \cdot d^{1/n_2}}, \quad (1)$$

где v – скорость резания (в отечественной литературе V_T);

f – подача (в отечественной литературе s);

d – глубина резания (в отечественной литературе t);

K – постоянная величина, соответствующая данной комбинации «инструмент-заготовка» и данной геометрии инструмента (в отечественной литературе C);

$1/n, 1/n_1, 1/n_2$ – показатели степени при скорости резания, подаче и глубине резания, соответственно, причём $1/n > 1/n_1 > 1/n_2$.

Например, при резании стали твёрдосплавными резцами эта формула (с учётом обозначений в отечественной литературе) имеет вид [5, с.11]

$$T = \frac{C}{V_T^5 \cdot s^{1,5} \cdot t^{0,75}} \quad (2)$$

Видно, что показатели степени при скорости, подаче и глубине резания соотносятся между собой как 5 : 1,5 : 0,75 или 1 : 0,3 : 0,15. Это означает, что скорость резания оказывает наибольшее влияние на стойкость режущего инструмента, за ней следуют подача и глубина резания [5, с.11].

Численное значение величины C можно найти в каждом конкретном случае. Например, при точении стали твёрдостью HB190 проходными резцами с пластинками твёрдого сплава Т15К6 (в интервале $0,75 \leq s \leq 0,3$ мм/об) [5, с.14].

$$V_T = \frac{371}{T^{0,2} \cdot s^{0,35} \cdot t^{0,15}} \cdot K_v, \quad (3)$$

где K_v – коэффициент, учитывающий влияние на скорость резания изменённых условий резания (по отношению к базовым условиям), $K_v = 1$.

Возведём обе части этого уравнения в степень 5 (величина обратная числу $0,2 = 1/5$). Получаем

$$T = \frac{7,0286 \cdot 10^{12} \cdot K_v^5}{V_T^5 \cdot s^{1,75} \cdot t^{0,75}} \quad (4)$$

Сравнивая выражения (3) и (4), видим, что $C = 7,0286 \cdot 10^{12} \cdot K_v^5$. Если условия базовые, то есть $K_v = 1$, тогда $C = 7,0286 \cdot 10^{12}$.

По формуле (2) была сделана предварительная количественная оценка влияния режимов резания на стойкость инструмента (т.е. 1 : 0,3 : 0,15). Исходя из формулы (4) эта оценка существенно не изменилась и составляет 1 : 0,35 : 0,15. Следует отметить, что эта оценка предварительная и укрупнённая. Она не характеризует количественную долю (вклад) каждой составляющей режима резания в общую для всех стойкость режущего инструмента.

Заменяя для упрощения V_T на V , преобразуем выражение (4) к виду

$$T = \frac{C}{V^\alpha \cdot s^\beta \cdot t^\gamma}, \quad (5)$$

где $C = 7,0286 \cdot 10^{12}$, $\alpha = 5$; $\beta = 1,75$; и $\gamma = 0,75$.

Далее ищем полный дифференциал функции $T = T(V, s, t)$. Имеем

$$dT = \frac{\partial T}{\partial V} \cdot dV + \frac{\partial T}{\partial s} \cdot ds + \frac{\partial T}{\partial t} \cdot dt \quad (6)$$

Найдём выражение (6) применительно к зависимости (5). Заменяем знак бесконечно малого приращения d на конечное достаточно малое приращение Δ . Получим следующую величину приращения стойкости режущего инструмента ΔT в зависимости от величин приращений режимных параметров ΔV , Δs и Δt .

$$\Delta T = -C \cdot \left(\frac{\alpha \cdot \Delta V}{V^{\alpha+1} \cdot s^{\beta} \cdot t^{\gamma}} + \frac{\beta \cdot \Delta s}{V^{\alpha} \cdot s^{\beta+1} \cdot t^{\gamma}} + \frac{\gamma \cdot \Delta t}{V^{\alpha} \cdot s^{\beta} \cdot t^{\gamma+1}} \right) \quad (7)$$

Или

$$\Delta T = -\frac{C}{V^{\alpha} \cdot s^{\beta} \cdot t^{\gamma}} \cdot \left(\alpha \frac{\Delta V}{V} + \beta \frac{\Delta s}{s} + \gamma \frac{\Delta t}{t} \right) \quad (8)$$

Из формулы (8) видно, что приращение стойкости ΔT предопределяется суммой масштабированных относительных изменений режимных параметров V , s и t с масштабными (весовыми) коэффициентами α , β и γ , соответственно. Знак минус перед этим выражением показывает, что положительные приращения параметров V , s и t приводят к уменьшению стойкости ΔT .

Если режимные параметры резания увеличить на 10 % (относительные изменения параметров будут равны 0,1), то выражение (8) принимает вид

$$\Delta T = -\frac{C}{V^{\alpha} \cdot s^{\beta} \cdot t^{\gamma}} \cdot (0,1\alpha + 0,1\beta + 0,1\gamma)$$

Подставляя численные значения базовых величин $V_0 = 200$ м/мин, $s_0 = 0,2$ мм/об и $t_0 = 6$ мм, получаем

$$\begin{aligned} \Delta T &= -\frac{7,0286 \cdot 10^{12}}{200^5 \cdot 0,2^{1,75} \cdot 6^{0,75}} \cdot (0,1) \cdot (5 + 1,75 + 0,75) = \\ &= -95,5 \cdot 0,1 \cdot 7,5 = -95,5 \cdot 0,75 = -71,6 \text{ мин} \end{aligned}$$

В этом выражении величина 95,5 мин представляет собой базовое значение стойкости T_0 режущего инструмента, а коэффициент 0,75 – долю стойкости, забираемую увеличением всех режимных параметров на 10 %. Т.е.

$$\Delta T = -T_0 \cdot 0,1 \cdot (\alpha + \beta + \gamma) \quad (9)$$

С учётом формулы (5) выражение (8 2.6) можно привести к виду

$$\frac{\Delta T}{T} = -\left(\alpha \frac{\Delta V}{V} + \beta \frac{\Delta s}{s} + \gamma \frac{\Delta t}{t} \right) \quad (10)$$

В выражении (10) $T = T_0 = T(V_0, s_0, t_0)$, $V = V_0$, $s = s_0$ и $t = t_0$. С учётом выражения (9) для 10 % – ого увеличения всех режимных параметров получаем

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{-71,6}{95,5} = -0,75 = -0,1 \cdot (5 + 1,75 + 0,75)$$

Таким образом, при одновременном увеличении всех режимных параметров на 10 %, стойкость режущего инструмента уменьшается на 75 %, причём вклад в эти 75 % отдельных режимных параметров V , s и t соответственно составляет: 50 %, 17,5 % и 7,5 %.

Решая уравнение (1) относительно скорости резания v_T , допускаемой инструментом, получаем известную зависимость [3, с.261, с. 265]

$$v_T = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v \quad (11)$$

С учётом принятых в формуле (1) обозначений, в этой зависимости $C_v \cdot K_v = K^n$, $m = n$, $y = n/n_1$, $x = n/n_2$.

Из анализа уравнения (11) следует, что всякое увеличение стойкости T от некоторого исходного (базового) значения T_0 до нового значения T_n может быть преобразовано в увеличение скорости резания v_T с одновременным понижением стойкости от нового значения T_n до базового значения T_0 .

Введём обозначение

$$\left(\frac{T_n}{T_0} \right)^m = K_T, \text{ т.е. } \frac{T_n}{T_0} = K_T^{1/m}. \quad (12, 13)$$

Здесь K_T – коэффициент технологической эффективности, учитывающий взаимосвязь между приращением периода стойкости режущего инструмента и приращением скорости резания, причём $K_T \geq 1$, если $T_n > T_0$ и $K_T \leq 1$, если $T_n < T_0$.

Получаем

$$v_T = \frac{C_v \cdot K_T}{T_n^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v \quad (14)$$

Если $m \leq 1$ (например $m = 0,2$) и $1/m$ – целое число (например $1/m = 5$), то формулу (12) можно записать в виде

$$K_T = \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^m = \sqrt[m]{\frac{T_n}{T_0}} \quad \text{или} \quad K_T = \sqrt[5]{\frac{T_n}{T_0}} \quad (15, 16)$$

Таким образом, коэффициент технологической эффективности K_T в рассматриваемом случае равен корню пятой степени из отношения нового и базового периодов стойкости режущего инструмента.

Выражение (14) с учётом зависимости (12) может быть представлено в виде

$$v_T = \frac{C_v}{\left(\frac{T_n}{K_T^{1/m}}\right)^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v = \frac{C_v}{T_0^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v \quad (17)$$

Выражение (17) показывает, что при одновременном увеличении стойкости режущего инструмента (от базового значения T_0 до нового значения T_n) и скорости резания (в K_T раз) зависимость скорость резания от стойкости режущего инструмента $T = T_0$ и от режимных параметров t и s остаётся прежней, т.е. той самой какой она была до использования технологической новации. Другими словами, увеличение стойкости равносильно увеличению коэффициента K_v в формуле для скорости резания в K_T раз.

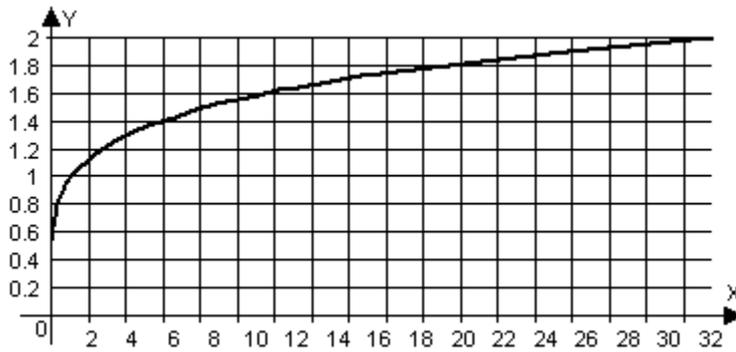


Рис.1. Влияние увеличения периода стойкости режущего инструмента на увеличение скорости резания:

$$X = \frac{T_n}{T_0} = K_T^{1/m}; \quad Y = K_T = \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^m$$

стойкости инструмента (величина X на рисунке), например, в 32 раза, то есть $T_n / T_0 = 32$, позволит увеличить скорость резания (величина Y на рисунке) в 2 раза ($K_T = 2$), а его уменьшение в 32 раза, то есть $T_n / T_0 = 1/32$, приводит к необходимости уменьшить скорость резания в 2 раза ($K_T = 1/2$). Это обусловлено тем, что $32^{0.2} = 2$, а $(1/32)^{0.2} = 1/2$.

Коэффициент K_T можно определить, например, из сравнения двух кривых износа режущего инструмента, одна из которых определена в условиях применения какого-либо технологического новшества, а другая – в исходных (базовых) условиях. Например, при использовании более эффективной СОЖ (технологическое новшество) скорость резания можно увеличить, сохраняя то же самое (базовое) значение стойкости режущего инструмента, которое было при использовании традиционной СОЖ.

Аналогично тому, как был введен поправочный коэффициент $K_T = K_{T(v)}$ на скорость резания, можно ввести поправочные коэффициенты на подачу $K_{T(s)}$ и глубину резания $K_{T(t)}$, которые показывают во сколько раз можно увеличить подачу и глубину резания, чтобы использовать ресурс увеличения стойкости режущего инструмента при той же самой скорости резания. Для этого преобразуем выражение (5) в следующие две зависимости для определения подачи s и глубины резания t :

$$s = \frac{(C \cdot K_v^\alpha)^{1/\beta} \cdot K_{T(s)}}{T_n^{1/\beta} \cdot v^{\alpha/\beta} \cdot t^{\gamma/\beta}}, \quad t = \frac{(C \cdot K_v^\alpha)^{1/\gamma} \cdot K_{T(t)}}{T_n^{1/\gamma} \cdot v^{\alpha/\gamma} \cdot s^{\beta/\gamma}} \quad (18, 19)$$

Сравнивая эти зависимости с формулами (14)-(16), видим, что вместо показателя степени $m = 1/\alpha = 0,2$ в выражениях (18) и (19) используются показатели степени $1/\beta = 1/1,75 = 0,57143$ и $1/\gamma = 1/0,75 = 1,333$. Следовательно, если

$$K_{T(v)} = \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^m = \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^{1/\alpha}, \text{ то } K_{T(s)} = \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^{1/\beta} \text{ и } K_{T(t)} = \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^{1/\gamma}. \quad (20, 21, 22)$$

Подобно тому, как на рис.1 была показана зависимость (20), на рис.2 одновременно показаны зависимости (20)-(25).

Видно, что гораздо эффективнее (с точки зрения производительности обработки) без увеличения скорости резания увеличивать подачу (кривая 2 на рис.2) или глубину резания (кривая 3 на рис.2). Например, при увеличении стойкости инструмента в 8 раз скорость резания, подачу и глубину резания можно увеличить, соответственно, в 1,5 раза, в 3,4 раза и в 16 раз.

Составляющие силы резания, например, при точении находят по формуле [3, с.271]

$$P_{z,y,x} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_p, \quad (23)$$

где постоянная величина C_p и показатели степени x , y и n для каждой из составляющих силы резания приведены в табличных данных [3, с.273-274, табл. 22].

В формуле (23) показатель степени $n \leq 0$, например, $n = -0,15$, $n = -0,3$ и $n = -0,4$ для составляющих сил резания P_z , P_y и P_x , соответственно, при наружном продольном точении и растачивании [3, с. 273, табл.22]. Следовательно, с увеличением скорости резания (при прочих равных условиях) составляющие силы резания при точении уменьшаются. Например, при увеличении скорости резания в 2 и в 4 раза новое значение силы резания P_z составит 90,1 % и 80,1 %, соответственно, от прежнего его значения, так как $2^{-0,15} = 0,901$, а $4^{-0,15} = 0,801$. Уменьшение составляющей силы резания P_y при тех же условиях составит 81 % и 66 %, соответственно.

Таким образом, повышение скорости резания за счёт использования, например, более эффективной СОЖ будет связано с уменьшением сил резания при точении и растачивании. Это, в свою очередь, приведёт к уменьшению упругих отжатый в технологической системе при фиксированной её жёсткости. То есть преобразование ресурса стойкости режущего инструмента в ресурс увеличения скорости резания одновременно приведёт к увеличению точности обработки по выполняемому размеру (за счёт уменьшения упругих отжатый).

Увеличение периода стойкости режущего инструмента (вследствие внедрения каких-либо технологических новшеств) в рамках предлагаемой математической модели процесса резания можно использовать по нескольким направлениям совершенствования технологии механической обработки.

1. Увеличить скорость резания (v) при сохранении прежнего (базового) значения стойкости инструмента, что позволит (при прочих равных условиях) уменьшить тангенциальную (P_z) и радиальную (P_y) составляющие силы резания. Это приведёт, с одной стороны, к уменьшению температуры в зоне резания, с другой – к увеличению точности получаемого размера (наружного или внутреннего диаметра обрабатываемой заготовки), соответственно.

2. Оставить скорость резания (v) без изменения и при той же глубине резания (равной припуску на обработку) увеличить подачу (s) или глубину резания (t) таким образом, чтобы сохранить требуемую стойкость (T) режущего инструмента без изменения (на первоначальном базовом уровне).

3. Частично увеличить скорость резания (v) и при прежнем (базовом) значении стойкости инструмента увеличить подачу (s).

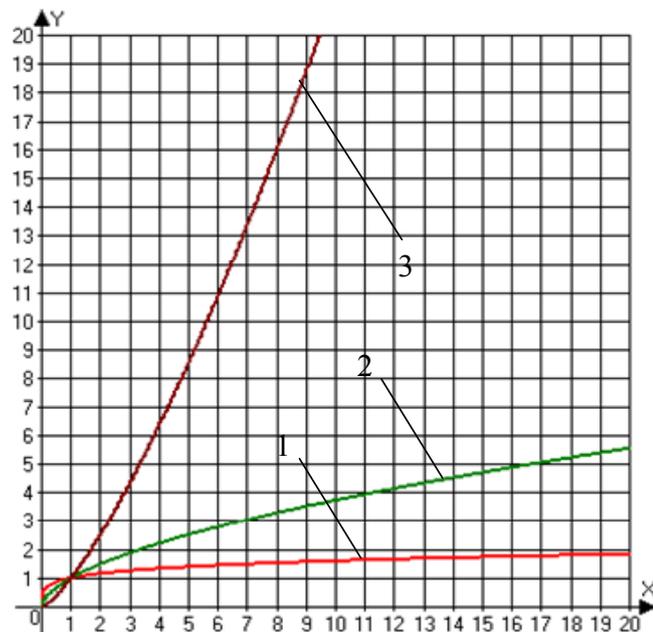


Рис. 2. Соотношения между ресурсом увеличения стойкости режущего инструмента ($X = \frac{T_n}{T_0}$) и ресурсами увеличения режимных параметров

резания (Y): кривые 1,2 и 3 представляют собой коэффициенты эффективности $Y = K_{T(v)}$, $Y = K_{T(s)}$ и $Y = K_{T(t)}$, соответственно

Определим возможное увеличение подачи для второго случая, т.е. когда ресурс стойкости инструмента полностью преобразуется в ресурс увеличения подачи (s), а скорость резания остаётся прежней.

Известно, что связь между скоростью резания (v) и частотой вращения шпинделя (n) выражается зависимостью

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}, \quad (24)$$

где d - диаметр обрабатываемой заготовки, мм.

Приравняв выражения (14) и (24), получаем условие для минимизации машинного времени обработки

$$n \cdot s^y \leq \frac{1000 \cdot C_v \cdot K_T \cdot K_v}{\pi \cdot d \cdot T^m \cdot t^x} \quad (25)$$

Видно, что при неизменной частоте вращения шпинделя изделия (n) величина s^y возрастает в K_T раз. Следовательно, подача (s) может быть увеличена в $K_T^{1/y}$ раз, причём величина y может принимать значения, например, от 0,2 до 0,45 [3, с.269, табл.17]. Таким образом, подачу (s) можно увеличить в $K_T^{2,2}$ K_T^5 , т.е. почти во столько же раз, во сколько реально возросла стойкость инструмента (значение K_T^5 точно равно отношению нового и прежнего (базового) значений периода стойкости инструмента, если в формулах (3) и (4) коэффициент $m = 0,2$).

Подводя итоги проведенного анализа можно сформулировать следующие выводы.

1. Введен коэффициент технологической эффективности (K_T), показывающий во сколько раз может быть увеличен какой либо режимный параметр резания, если при прочих равных условиях стойкость инструмента (за счёт применения более эффективной СОЖ) возрастёт в $\frac{T_n}{T_0} = K_T^{1/m}$ раз.

2. Небольшое уменьшение скорости резания, например, на 20 % (от 1,4 до 1,2 на рис.1), позволяет существенно в 3,5 раза (от 2,5 до 6 на рис.1) увеличить стойкость инструмента. Этим эффектом можно пользоваться в тех случаях, когда необходимо увеличивать время работы режущего инструмента по мере его затупления.

3. Без изменения скорости резания подачу и глубину резания можно увеличить более существенно, чем скорость резания (например, в 3,4 раза и в 16 раз, соответственно, при прочих равных условиях).

4. Выполненный анализ математической модели процесса резания применим для оценки эффективности различных технологических новшеств, которые находят применение при лезвийной обработке заготовок на станках с ЧПУ.

Список литературы

1. Мануйленко В.М. Условия эффективного применения высокоскоростной обработки. — Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. — Вип.61. — Харків: ХНТУСГ, 2007. — с. 279- 283.
2. Шульман П.А., Кузнецов В.А., Хаєт Г.Л., Яковлев Г.Н. Скоростная обработка металлов резанием: К.: Укр.отд. машгиз, 1951. — 109 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1986. — 496 с.
4. Армарего И. Дж. А., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. Пер. с англ. В.А.Пастунова. — М.: Машиностроение, 1977. — 325 с.
5. Фельдштейн Э.И. Методика назначения наиболее выгодных режимов резания. — Минск: Высшая школа, 1963. — 74 с.