

УДК 621.91.01

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ СОВРЕМЕННЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Папок Александр Сергеевич

студент 5 курса,
кафедра «Резание материалов, станки и инструменты имени С.С.Силина»,
Рыбинской авиационной технологической академии имени П.А.Соловьева

Научный руководитель: Козлов В.А.⁽¹⁾, В.В. Маношкин⁽²⁾,

⁽¹⁾ доктор технических наук, профессор кафедры «Резание материалов, станки и инструменты имени С.С.Силина»;

⁽²⁾ начальник ОТЛ ОАО «МПО «Сатурн», аспирант кафедры «Резание материалов, станки и инструменты имени С.С.Силина»

Современный этап развития машиностроительного производства требует вооружения инженерно-технических работников промышленных предприятий эффективными системами автоматизированного проектирования технологических процессов, позволяющих оптимизировать анализируемые процессы механической обработки материалов по различным критериям при одновременном обеспечении накладываемых технико-технологических ограничений и повышении рентабельности производства.

К сожалению, существующие отечественные САПР ТП ориентированы преимущественно на *устаревшие* инструментальные материалы (*типа ВК, ТК, Р*), что делает эти системы неприемлемыми для машиностроительного производства, перешедшего на использование высокоэффективных инструментов, оснащенных современными быстросменными твердосплавными режущими пластинами с износостойкими покрытиями.

В тоже время зарубежные производители вышеуказанных инструментальных материалов (*например, фирма SANDVIK Coromant и др.*), ставшие основными поставщиками данных материалов в нашу страну, усиленно насаждают рекомендации и методологии выбора режимных условий лезвийной обработки, обеспечивающих *максимальную производительность* выполнения технологической операции, что целесообразно *только* для металлорежущего оборудования с высокой стоимостью станкоминуты его использования. Однако при осуществлении чистовых операций (*для которых, в основном, и приобретается такое оборудование*) данные режимные условия обработки не рациональны, т.к. они приводят к значительному усилению интенсивности износа используемого инструмента (*и, соответственно, к его перерасходу на единицу изготавливаемой продукции*), к вибрациям в технологической системе СПИЗ и, как следствие, к снижению точности обработки и характеристик качества формируемого поверхностного слоя изготавливаемой продукции.

Нами предлагается усовершенствовать существующее базовое математическое обеспечение отечественных САПР ТП, сделав его приспособленным к современным инструментальным материалам импортного производства с износостойкими инструментальными покрытиями.

С этой целью необходимо, прежде всего, разработать достоверные аналитические зависимости для прогнозирования угла наклона условной плоскости сдвига β_1 (*необходимого для расчета силовых, температурных, контактных, износостойких и других основных выходных характеристик процесса резания*) применительно к вышеуказанным инструментальным материалам, существенно отличающихся от российских специфическими физико-механическими и теплофизическими свойствами, а

также коэффициентами трения как на передней, так и на задней поверхностях инструмента.

Решить данную задачу можно, используя теоретические зависимости д.т.н. Силина С.С. для расчетного определения составляющих силы резания (P_x , P_y , P_z) при осуществлении процесса лезвийной обработки материалов [1]:

$$P_z = \tau_p \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (1/\mathbf{B} + \operatorname{tg} c + M_1); \quad (1)$$

$$P_x = P_{xy} \cdot \cos \eta; \quad (2) \quad P_y = P_{xy} \cdot \sin \eta; \quad (3)$$

$$P_{xy} = \tau_p \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (\operatorname{tg} c / \mathbf{B} - 1 + M_2); \quad (4)$$

$$M_1 = 0,78 \cdot E \cdot [(\mathbf{B} / \sin \alpha_d)^{0,5} + 0,4 \cdot \mathbf{H}], \quad M_2 = M_1 / \mu_1,$$

где $E = \rho_1/a_1$; $\mathbf{H} = h_3/\rho_1$; $\mathbf{B} = \operatorname{tg} \beta_1$ – безразмерные критерии подобия, характеризующие анализируемые условия осуществления процесса резания;

P_{xy} – результирующая составляющих силы резания P_x и P_y , Н;

η – угол схода стружки в анализируемых условиях обработки (*определяется по аналитическому выражению, представленному в работе [1], ...°*;

τ_p – сопротивление обрабатываемого материала пластическому сдвигу в зоне стружкообразования [2], Н/мм²;

a_1 , b_1 – толщина и ширина среза в анализируемых условиях осуществления процесса резания [1], мм;

ρ_1 – радиус округления режущей кромки используемого инструмента, мм;

c – физико-механическая константа обрабатываемого материала, представляющая собой угол наклона силы стружкообразования R_c к условной плоскости сдвига [1], ...°;

β_1 – угол наклона условной плоскости сдвига, ...°;

α – значение главного заднего угла режущего инструмента, измеряемого в направлении угла схода стружки, ...°;

h_3 – износ режущего инструмента по задней поверхности в области его вершины, мм;

μ_1 – коэффициент трения по задней поверхности инструмента.

Из вышеуказанных аналитических выражений получаем:

$$P_z = \tau_p \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot (1/\mathbf{B} + \operatorname{tg} c + 0,78 \cdot E \cdot [(\mathbf{B} / \sin \alpha_d)^{0,5} + 0,4 \cdot \mathbf{H}]); \quad (5);$$

$$\mu_1 = \{ \tau_p \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot 0,78 \cdot E \cdot [(\mathbf{B} / \sin \alpha_d)^{0,5} + 0,4 \cdot \mathbf{H}] \} / \{ (P_x^2 + P_y^2)^{0,5} - \tau_p \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot [\operatorname{tg} c / \mathbf{B} - 1] \}. \quad (6)$$

Зная величину составляющих силы резания (*определяемых экспериментально*), по аналитическому выражению (5) путем последовательного перебора на ЭВМ с шагом 0,1°; 0,01° и 0,001° численных значений углов наклона условной поверхности сдвига β_1 , можно определить величину этого искомого угла (*применительно к анализируем условиям осуществления процесса резания*), при котором правая и левая части вышеуказанного выражения (5) будут равны..

Для решения этой задачи была разработана прикладная программа, рабочий фрагмент которой представлен ниже.

$$P_z = 650.00 \text{ Н}; \quad P_x = 350.00 \text{ Н}; \quad P_y = 450.00 \text{ Н}$$

Уточнение величины критерия В путем перебора

В	Pzрас	Pz	Pzрас-Pz
0.604610	650.027	650.00	0.0272228
0.604620	650.022	650.00	0.0224648
0.604630	650.018	650.00	0.0177070
0.604640	650.013	650.00	0.0129493
0.604650	650.008	650.00	0.0081919
0.604660	650.003	650.00	0.0034346
0.604670	649.999	650.00	-0.0013226

Искомое значение критерия В = 0.604665

Угол сдвига $\beta_{\text{та1}} = 31.160407$ град.

По выражению (6) определяется коэффициент трения по задней поверхности инструмента, имеющего износостойкое покрытие.

Проведя многочисленные силовые испытания (на автоматизированной установке) при широком диапазоне изменения технологических условий обработки, в ходе которых замерялись составляющие силы резания с последующим определением по выражениям (5) – (6) соответствующих значений угла наклона условной поверхности сдвига β_1 и коэффициента трения по задней поверхности инструмента μ_1 , был получен массив данных, статистически обработав который авторами были разработаны и предлагаются для практического использования следующие аналитические выражения для расчетного определения параметров β_1 и μ_1 при токарной обработке конструкционных, коррозионно-стойких, жаропрочных и жаростойких сталей, а также жаропрочных сплавов на никелевой основе и титановых сплавов современными режущими пластинами с износостойкими покрытиями (фирм SANDVIK Coromant и ISKAR) как на оптимальных V_0 по размерной стойкости инструмента (β_{10} , μ_{10}), так и на произвольных V скоростях резания (β_1 , μ_1) применительно к чистовой, получистовой и черновой токарной обработке:

$$\beta_1 / \beta_{10} = (V / V_0)^k = (B / B_0)^k, \quad (7);$$

$$k = m \text{ при } V < V_0; \quad k = n \text{ при } V \geq V_0,$$

$$B = V \cdot (a_1 \cdot 10^3) / a; \quad B_0 = V_0 \cdot (a_1 \cdot 10^3) / a;$$

$$\mu_1 / \mu_{10} = (V / V_0)^n = (B / B_0)^n, \quad (8);$$

$$n = q \text{ при } V < V_0; \quad n = p \text{ при } V \geq V_0,$$

$$\beta_{10} = k_0 \cdot E^{x_1} \cdot D^{x_2} \cdot \Gamma^{x_3} \cdot (\text{tgc})^{x_4} \cdot (1 + \sin \gamma_d)^{x_5} \cdot (\sin \alpha_d)^{x_6} \cdot (1 + 0,1 \cdot H)^{x_7} \cdot (1 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot \text{Дa/E})^{x_8} \cdot (1 + 0,001 \text{Nu})^{x_9}; \quad (9);$$

$$\mu_{10} = k_0 \cdot E^{m_1} \cdot D^{m_2} \cdot \Gamma^{m_3} \cdot (\text{tgc})^{m_4} \cdot (1 + \sin \gamma_d)^{m_5} \cdot (\sin \alpha_d)^{m_6} \cdot (1 + 0,1 \cdot H)^{m_7} \cdot (1 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot \text{Дa/E})^{m_8} \cdot (1 + 0,001 \text{Nu})^{m_9}, \quad (10);$$

$$B_0 = k_0 \cdot E^{p_1} \cdot D^{p_2} \cdot \Gamma^{p_3} \cdot (\text{tgc})^{p_4} \cdot (1 + \sin \gamma_d)^{p_5} \cdot (\sin \alpha_d)^{p_6} \cdot (1 + 0,1 \cdot H)^{p_7} \cdot (1 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot \text{Дa/E})^{p_8} \cdot (1 + 0,001 \text{Nu})^{p_9}, \quad (11);$$

где $B = (V \cdot a_1)/a$; $B_0 = (V_0 \cdot a_1)/a$; $E = \rho_1/a_1$; $D = a_1/b_1$; $\Gamma = \lambda_p/\lambda_d$; $I = h_3/\rho_1$;
 $Da = d/a_1$ – безразмерные критерии подобия, характеризующие технологические условия обработки [1–2];

a – коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала, $(\cdot 10^{-6})$ [1–2], m^2/c ;

λ_p, λ_d – коэффициенты теплопроводности инструментального и обрабатываемого материалов [1–2], $Вт/(м \cdot K)$;

x_i, m_i – безразмерные коэффициенты, зависящие от следующих параметров:

$x_i, m_i = f(D, \Gamma, \operatorname{tg} \gamma, (1 + \sin \gamma), (\sin \alpha), (1 + 0,1 \cdot I), (1 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot Da/E), (1 + 0,001 \cdot Nu))$.

Критерий Нуссельта Nu , входящий в аналитические выражения (6), (7) – (14), характеризует интенсивность конвективного теплообмена между поверхностью нагретого твердого тела (*обрабатываемая заготовка*) и омывающей ее жидкости (СОТС) при осуществлении процесса резания.

Критерий Нуссельта Nu определяется следующим образом [2]

$$Nu = k_1 + k_2 \cdot d^x,$$

где коэффициенты k_1, k_2 зависят от применяемой марки СОТС (*и предопределяются коэффициентами теплоотдачи, теплопроводности, кинематической вязкостью, скоростью подачи и расходом указанной СОТС*).
 d – диаметр обработки, мм.

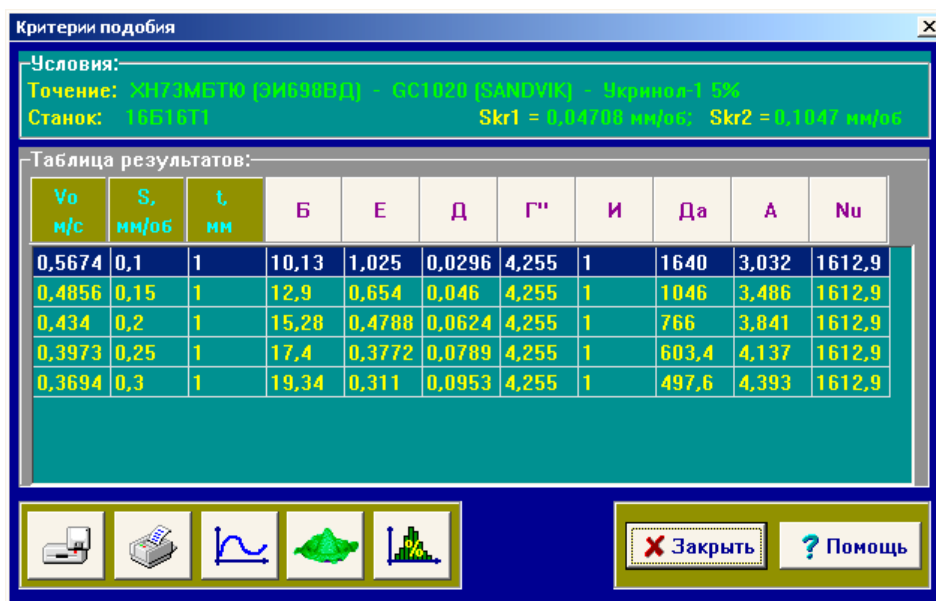
Выбор вышеуказанной формы представления аппроксимируемых выражений (7) – (8) производился целенаправленно и обусловлен тем, что при лезвийной обработке материалов на оптимальных по размерной стойкости инструментах скоростях резания (V_0) выходные характеристики этой обработки *и б о приобретают экстремальные значения* (например, путь резания L_p , относительный линейный $h_{ол}$ и относительный поверхностный $h_{оп}$ износ режущего инструмента, глубина h_c и степень наклепа N_c формируемого поверхностного слоя, шероховатость обработанной поверхности R_z , главная составляющая силы резания P_z и др.), *и б о* (как, например, угол сдвига β_1 , мощность и температура резания Θ) *приобретают другой характер монотонного изменения*.

Разделение скоростного диапазона лезвийной обработки на две зоны ($V < V_0$ и $V \geq V_0$) позволило упростить аппроксимационное описание (*в единой типовой форме*) аналитических выражений для расчетного определения выходных характеристик процесса резания в зависимости от технологических условий обработки, повысить достоверность этого описания, а также сократить объем, облегчить и ускорить отладку соответствующего математического обеспечения создаваемых САПР ТП.

Подставив аналитические зависимости (7) – (11) в существующие теоретические выражения, предопределяющие основные температурно-силовые, контактные, стойкостные и другие выходные характеристики процесса резания как на оптимальной, так и на произвольной скоростях резания (*включая точность обработки и параметры формируемого поверхностного слоя изготавливаемой продукции*), было разработано новое математическое обеспечение для САПР ТП лезвийной обработки материалов (*в частности, для точения*), сделав его более современным и учитывающим применение новых инструментальных материалов импортного производства с износостойкими покрытиями.

На основе указанного математического обеспечения создана прикладная САПР ТП для прогнозирования выходных характеристик процесса токарной обработки материалов современными инструментами с износостойкими покрытиями.

Отдельные фрагменты работы данной программы применительно к токарной обработке сплава ХН73ББТЮ (ЭИ698ВД) режущей пластиной GC1020 (PVD типа, покрытие TiN) представлены ниже



Литература

1. Силин С. С. К вопросу теоретического расчета сил резания [Текст] / С.С. Силин, В.А. Козлов // Производительная обработка и технологическая надежность деталей машин: сб. науч. тр. / ЯПИ. – Ярославль, 1977. – Вып. 6. – С.25–36.
2. Козлов В. А. Структурно-параметрическая оптимизация процесса точения [Текст]: монография. – Рыбинск, РГАТА, 2000. – 671 с.