УДК 621.9.015

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-3-238-45-48

А. Л. Плотников, Е. М. Фролов, А. А. Жданов, Ж. С. Тихонова

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕЗАНИЯ, ИЛИ КАК НАУЧИТЬ СИСТЕМУ ЧПУ
ТОКАРНОГО СТАНКА ОПРЕДЕЛЯТЬ НАДЕЖНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru

Рассмотрены проблемы и направления в решении технологических задач управления процессом токарной обработки в новых поколениях систем ЧПУ, оснащенных техническим интеллектом. Предложено решение задачи выбора надежных значений основных параметров процесса резания на примере расчета скорости резания путем введения в структуру моделей расчета дополнительной информативной величины свойств каждой контактной пары.

Ключевые слова: неоднородность свойств контактных пар, пробный проход, термо-э.д.с., диагностика, надежность процесса.

© Плотников А. Л., Фролов Е. М., Жданов А. А., Тихонова Ж. С., 2020.

A. L. Plotnikov, E. M. Frolov, A. A. Zhdanov, Zh. S. Tikhonova

**PROBLEMS AND PROSPECTS OF SOLVING TECHNOLOGICAL PROBLEMS
OF THE CUTTING PROCESS CONTROL OR HOW TO TEACH THE CNC SYSTEM
OF A LATHE TO DETERMINE RELIABLE VALUES OF PROCESSING PARAMETERS**

Volgograd State Technical University

The problems and directions in solving technological problems of the turning process control in new generations of CNC systems equipped with technical intelligence are considered. A solution to the problem of selecting reliable values of the main parameters of the cutting process is proposed using the example of calculating the cutting speed by introducing an additional informative value of the properties of each contact pair into the structure of the calculation models.

Keywords: irregularity of the properties of contact pairs, trial pass, thermo-EMF, diagnostics, reliability of the process.

Авторы статьи поставили амбициозную задачу – «научить» систему ЧПУ самой себе выбирать такие режимы обработки, которые обеспечивают выполнение требований к технологическому процессу, заложенные на стадии его разработки. Как решить эту задачу? Ответ прост: если вы сами научились грамотно решать технологические задачи, то далее привлекайте для этого системы ЧПУ, оснащенные техническим интеллектом. Такие решения, как известно, появляются на основе изучения физических основ процесса резания, новых подходов к проблемам назначения рациональных режимов обработки с учетом накопленного практического опыта в данной области.

Анализ научно-технической литературы показал, что уровень решения геометрических задач формообразования деталей программным (автоматизированным) путем в отечественных и зарубежных системах ЧПУ достаточно высокий, что свидетельствует об изученности и достаточной проработке методик решения этих задач. В тоже время, уровень автоматизации в решении технологических задач управления в системах ЧПУ пока еще низкий. Это относится, прежде всего, к возможности выбора программным путем самой системой ЧПУ надежных значений параметров процесса металлообработки таких величин как скорость резания, составляющие силы резания, расчет зажимных усилий заготовок, расчет величины микронеровностей (шероховатости) на токарных операциях и ряду других задач. В данном случае под термином «надежные значения» понимается совпадение рассчитанных значений величин параметров процесса резания с фактическими, в пределах обоснованного допуска, что отвечало бы требованиям технологического процесса по точности, качеству обработанной поверхности и производительности.

Первые попытки решения технологических задач управления программным путем были

предприняты в 80-тых годах прошлого века японскими разработчиками систем ЧПУ класса *PC-NC* типа Фанук-6, Фанук-3 ТМ при выборе скорости резания. Попытка оказалась неудачной, потому что разработчики в основу построения алгоритмов автоматизированного расчета скорости резания положили приведенные в наших российских справочниках для технологов-машиностроителей математические зависимости, не ведая, что они дают значительные ошибки, достигающие 90–150 % и более. Парадоксальность ситуации с использованием многочисленных ныне действующих отечественных справочников состоит в том, что они, изданные в разные годы, под редакцией различных авторов для одних и тех же условий обработки дают различную расчетную величину скорости резания, призванную обеспечить заданную стойкость инструмента и вносят тем самым неопределенность в решение этой задачи.

В статье [1] приведены результаты расчета скорости резания при продольном наружном точении стали 35ХГСА для одних и тех же условий обработки (резец Т15К6, стойкость $T = 60$ мин, подача $S = 0,3$ мм/об, глубина резания $t = 2$ мм, геометрия резца: главный угол в плане $\varphi = 45^\circ$; вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 45^\circ$, обработка без СОЖ) по 8 отечественным справочникам технолога-машиностроителя, использующих как аналитические модели расчета так и табличные. В статье показано, что разброс значений расчетной скорости резания при использовании аналитических моделей расчета лежит в интервале 127–245 м/мин. Отношение максимального значения скорости резания к минимальному составляет 1,9. Значения скоростей резания, определенных табличным способом имели интервал 96–166 м/мин. Отношение составило 1,7 раза. На большие расхождения между расчетными величинами составляющих силы резания, шероховатости Ra и их измеренными значениями при токарной

обработке конструкционных и низколегированных сталей указано так же в статье [2].

Наличие широкого диапазона разброса расчетных значений параметров процесса резания ставит под сомнение возможность использования существующих моделей для построения алгоритмов автоматизированного расчета и вместе с тем ставит задачу вскрыть причины этого явления и разработать адекватные модели расчета.

Авторами настоящей статьи на основе проведенного анализа технической литературы, справочно-нормативных источников и проведенных экспериментальных исследований, установлено, что причиной значительного несоответствия расчетных и фактических значений величин скорости резания, составляющих силы резания и величины параметра шероховатости при проектировании технологического процесса токарной обработки углеродистых, конструкционных сталей является одно общее обстоятельство. Это отсутствие в расчетных математических моделях оперативного учета физико-механических свойств контактных пар «твердосплавный инструмент – стальная заготовка», их вероятностный характер образования, ориентация поправочных коэффициентов в расчетных моделях на среднее значение свойств твердосплавного инструмента и среднее значение свойств обрабатываемых сталей из всего допускаемого по техническим условиям изготовления диапазона разброса.

Рассматривая проблему надежности выбора режимов резания для автоматизированного станочного оборудования, профессор Старков В.К. в монографии [3] выдвинул концепцию, что такие режимы резания могут быть получены только на основе предварительной информации о свойствах каждого резца и каждой стальной заготовки, т.е. оценки свойств каждой контактной пары. Обоснованием этой концепции следует считать тот факт, что допуск на механические характеристики углеродистых и конструкционных сталей составляет около $\pm 10\%$, и что нестабильность их физико-механических свойств наблюдается тем больше, чем сложнее их состав [4]. Со стороны твердосплавного инструмента допустимый диапазон колебания его режущих свойств составляет $\pm 50\%$ [5]. Учитывая вероятностный характер образования контактных пар, в реальном процессе резания могут любые варианты. Например, повышенные прочностные свойства стали в партии поставки, сочетаются с режу-

щими свойствами инструмента на нижнем пределе его свойств. Это одно из неблагоприятных сочетаний, которое невозможно учесть при проектировании технологического процесса токарной обработки. Другие сочетания в большей или меньшей степени могут повлиять на выбор рациональных (оптимальных) режимов обработки. Шаги «обучения» системы ЧПУ выбору надежного значения скорости резания рассмотрим на примере токарной обработки.

Итак, первый шаг в «обучении» системы ЧПУ – предварительная оценка свойств контактной пары. Следует заметить, что промышленно разработанных способов оценки неразрушающим методом для этих целей нет. В качестве оценочного параметра свойств контактной пары предложено использовать величину термо-э.д.с. кратковременного предварительного пробного прохода, измеренную на строго фиксированных, одинаковых для всех контактных пар режимах токарной обработки ($V = 100$ м/мин; $S = 0,1$ мм/об; $t = 1$ мм) Это своеобразный тестовый прием, позволяющий оценить физико-механические свойства случайно собранных на станке сменных контактных пар за счет всегда сопутствующего термоэлектрического эффекта естественной термопары.

Второй шаг – это измерение, запоминание и ввод в систему ЧПУ тестового сигнала. При этом, величина термо-э.д.с. пробного прохода используется не как информация о температуре резания, а как косвенный показатель свойств контактных пар, составленных из однолезвийного твердосплавного инструмента и обрабатываемой стальной заготовки. [6] В основе этого лежит способность контактной составляющей удельной термо-э.д.с. нести информацию о разности работ выхода электронов из стали и твердого сплава и то, что работа выхода чувствительна к объемным изменениям в сплавах при изменении состава, структуры и образования новых фаз [7]. Различная величина термо-э.д.с. пробного прохода отражает изменение физико-механических свойств каждой новой контактной пары.

Следующие шаги – ввод в структуру скорректированной формулы расчета скорости резания величины измеренной термо-э.д.с., вычисление скорости резания в метрах в минуту и установление числа оборотов шпинделя.

Скорректированная формула расчета скорости резания для условий полуставочного точения выглядит следующим образом:

$$V = \frac{A - kE}{T^{0,2} \cdot s^{0,35} \cdot t^{0,15}} \text{ м/мин} \quad (1)$$

Отличие формулы (1) от рекомендованной справочно-нормативной литературой состоит в том, что постоянное значение скоростного безразмерного коэффициента C_V представлено как функции от термо-э.д.с. пробного прохода, переменная величина которой зависит от физико-механических свойств контактной пары и описывается уравнением прямой:

$$C_V = A - kE \quad (2)$$

где A – постоянная, определенная из условий стойкостных испытаний, $A = 378$; $k = 16,2$ – угловой коэффициент, E – термо-э.д.с. пробного прохода, T , s , t – соответственно стойкость, подача, глубина резания.

Еще одно отличие скорректированной формулы по сравнению с существующими проявляется в том, что она позволяет решить, как прямую задачу выбора надежного значения скорости резания, так и обратную. Т. е. по выбранной скорости резания, принятым величинам подачи и глубины резания и величине термо-э.д.с. пробного прохода определять (прогнозировать) время надежной работы резца по зависимости:

$$T = \left(\frac{A - kE}{V \cdot s^{0,35} \cdot t^{0,15}} \right)^5 \text{ минут} \quad (3)$$

Такая «подсказка» необходима оператору-станочнику при корректировке режимов резания.

Выводы

1. Формулы (1) и (3) могут быть использованы для построения алгоритмов автоматизированного расчета скорости резания и стойкости инструмента как основы наращивания технического интеллекта систем ЧПУ.

2. Использование скорректированной формулы (1), содержащей информацию о свойствах контактных пар позволяет определить для каж-

дой контактной пары свое значение скорости резания, которая обеспечивает задаваемый период стойкости инструмента с допусками по времени $\pm 5-7\%$.

3. Описанная методика «обучения» системы ЧПУ выбору надежного значения скорости резания применима и для определения других параметров процесса токарной обработки. Она может использоваться как в системах ЧПУ, так и в системах автоматизированного проектирования технологического процесса (САПР ТП) взамен рекомендованных в справочниках не адекватных математических зависимостей с присущими им недостатками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проблемы обеспечения точности расчета скорости резания и силы резания при проектировании технологического процесса токарной обработки сталей и пути их решения / А. Л. Плотников, А. С. Сергеев, Т. В. Уварова, И. И. Бровкин // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 8 (187) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2016. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 41–46.
2. Обеспечение точности и качества токарной обработки в условиях вероятностной природы образования контактных пар «твердосплавный инструмент – стальная заготовка» / А. Л. Плотников, А. С. Сергеев, Ж. С. Тихонова, Т. В. Уварова // Металлообработка. – 2017. – № 5 (101). – С. 29–37.
3. Старков, В. К. Физика и оптимизация режимов резания материалов / В. К. Старков. – М. : Машиностроение, 2009. – 640 с.
4. Вульф, А. М. Резание металлов / А. М. Вульф. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1973. – 496 с.
5. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент : справочник / В. С. Самойлов, Э. Ф. Эйхманс [и др.]. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
6. Пат. 2063307 Россия, С1 6 В 23 В 25/06. Способ определения допустимой скорости резания при механической обработке детали твердосплавным инструментом / А. Л. Плотников. – Заявка № 94010673/08 от 29.03.94. – Оpubл. Бюл. № 19 от 10.07.96.
7. Савицкий, Е. М. Электрические и эмиссионные свойства сплавов / Е. М. Савицкий, М. В. Буров [и др.]. – М. : Наука, 1978. – 294 с.