



УДК 621.9.015

DOI: 10.30987/article_5ca30308c511a3.37604328

А.Л. Плотников, д.т.н., **Ж.С. Тихонова**, аспирант, **А.С. Сергеев**, к.т.н.
(ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет,
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28),

Р.В. Волк, оператор станков
(АО "ФНПЦ "Титан-Баррикады", Волгоградская область, г. Волжский, ул. Пушкина 92а, 78)
E-mail: plotnikov.alexander1939@yandex.ru

Назначение скорости резания при обработке сталей твёрдосплавным инструментом с износостойким покрытием на основе предварительного оперативного диагностирования свойств контактных пар

Предложена принципиально новая методика назначения скорости резания при обработке конструкционных и углеродистых сталей твёрдосплавным инструментом с покрытиями на основе скорректированной аналитической модели, в которую введён дополнительный информационный параметр о свойствах контактной пары: термо-ЭДС пробного прохода. Модель позволяет решать прямую задачу выбора скорости резания и обратную по определению периода стойкости инструмента.

Ключевые слова: неоднородность; контактная пара; термо-ЭДС; диагностика.

A.L. Plotnikov, Dr.Sc.Tech., **Zh.S. Tikhonova**, Post graduate student, **A.S. Sergeev**, Can.Sc.Tech.
(FSBEI HE Volgograd State Technical University, 28, Lenin Square, Volgograd, 400005)

R.V. Volk, Machine operator
(PC "FSPC"Titanium-Barricades", 78, 92a Pushkin Str, Volzhsky, Volgograd Region)

Cutting speed setting at steel machining with hard-alloy tool and with wear-resistant coating based on preliminary rapid definition of contact pairs

A fundamentally new method for cutting speed setting at structural and carbon steel machining with tools having coatings based on a corrected analytical model is offered into which an additional information parameter on contact pair properties is introduced: thermo-EF of a test cut. The model allows solving a direct problem of cutting speed choice and an inverse one on a definition of tool life.

Keywords: heterogeneity; contact pair; thermo-EF; diagnostics.

Задача предварительного диагностирования свойств случайно «собранный» на станке в процессе металлообработки контактной пары «твёрдосплавный инструмент – стальная заготовка» остаётся до конца не решённой. Неизбежный, допустимый по техническим условиям (ТУ) изготовления разброс режущих и физико-механических свойств инструмента без покрытия (т.е. матрицы) из-за различия его фазового (химического) состава и допус-

каемый в пределах ГОСТа разброс механических и теплофизических свойств обрабатываемых сталей порождают проблему обеспечения стабильности и качества металлообработки на автоматизированном станочном оборудовании.

В работе [1] предложена концепция обеспечения надёжности выбора режимов резания на основе предварительного получения информации о свойствах инструмента и сталь-

ной заготовки. В ней приведён обзор методов предварительного контроля состояния инструмента и обрабатываемой заготовки, даны рекомендации по управлению процессом резания при неполной исходной информации, в том числе и с использованием метода пробного прохода.

Следует отметить, что метод пробного прохода был рекомендован для условий обработки стальных заготовок твёрдосплавным инструментом без покрытий. Появление нового класса инструментов с покрытиями и их широкое применение в металлообработке поставило и новую задачу применимости метода пробного прохода для условий обработки сталей этими инструментами.

Твёрдосплавный инструмент с износостойкими покрытиями обеспечил повышенную производительность и более высокую надёжность процесса металлообработки и показал, что качество инструмента из партии поставки не является самым слабым звеном. Это особенно важно в условиях многостаночного обслуживания станков с ЧПУ. Однако и этот прогрессивный инструмент имеет разброс теперь уже повышенных режущих свойств в партиях поставки на уровне 25...50 %, а между партиями поставки иногда и более. Это неизбежный металлургический фактор, связанный со спецификой его производства. Данное обстоятельство вынуждает производителей инструмента в своих табличных методиках-рекомендациях по назначению скорости обработки ориентироваться на некое среднее значение режущих свойств, оставляя определённый «запас стойкости».

По литературным данным [2] в целях обеспечения надёжности работы твёрдосплавного инструмента с покрытием в табличных методах назначения скорости резания для импортного инструмента используется 70...80 % его ресурса.

Что касается отечественного твёрдосплавного инструмента, то часть его из партии поставки не обеспечивает расчётного периода стойкости в условиях резания, назначенных по рекомендациям производителей.

Справочно-нормативная литература не располагает аналитическими моделями расчёта допустимой скорости резания при использовании твёрдосплавных инструментов с покрытиями, в которых оперативно учитывались бы повышенные, но переменные, режущие свойства этого вида инструмента.

В настоящее время, как отечественные заводы, так и иностранные фирмы-поставщики

для каждой группы поставляемых инструментов с покрытием рекомендуют только табличный способ назначения рациональной скорости резания, основанный на использовании среднестатистического значения начальной (табличной) скорости резания и ряда поправочных коэффициентов, учитывающих условия обработки. Это механические свойства обрабатываемой группы сталей, задаваемый период стойкости инструмента, значение подачи и глубины резания, ряд поправок на геометрию.

Следует заметить, что поправочные коэффициенты на обрабатываемость сталей так же представлены среднестатистическими величинами из допустимого по ТУ диапазона разброса их физико-механических свойств и приносят свою долю в диапазон разброса стойкости инструмента. Перечисляя факторы, влияющие на разброс стойкости инструмента при его эксплуатации, следует учитывать вероятностный характер сочетания физико-механических и теплофизических свойств сменных контактных пар «инструмент – заготовка» и их влияние на интенсивность износа инструмента [3]. Но, поскольку интегральным показателем качества инструмента является разброс его эксплуатационной стойкости, авторы исходят из того положения, что термины «режущие свойства» или «работоспособность инструмента» являются исходными в оценке стойкости.

Наличие предварительной информации о режущих свойствах инструмента предоставляет возможность станочнику использовать скрытые резервы стойкости. Он может использовать их путём увеличения подачи (с учётом принятых ограничений) или увеличения количества обработанных деталей при сохранении назначенных режимов обработки, оставляя при этом «запас стойкости» на уровне 10 %. Таким образом, речь идёт о решении проблемы предварительного диагностирования режущих возможностей инструмента, актуальность которой не уменьшается с разработкой его новых видов.

В работе [4] изложены проблемы и пути их решения при разработке автоматизированных способов определения надёжных режимов металлообработки для станков с ЧПУ. В ней приведено описание принципиально новой методики определения скорости резания для обработки конструкционных сталей твёрдосплавным инструментом без покрытия. Методика реализует концепцию В.К.Старкова [1] о необходимости получения предварительной

информации о свойствах инструмента и детали. В ней в качестве информационного параметра используется всегда сопутствующий резанию эффект естественной термопары – величина термоэлектродвижущей силы (термо-ЭДС) измеренная в условиях кратковременного предварительного пробного прохода на строго одинаковых режимах резания для всех контактных пар.

Это один из немногих тестовых методов получения предварительной информации о свойствах контактных пар, учитывающий переменные свойства, как со стороны инструмента, так и со стороны стальной заготовки и вероятностный характер их сочетания. Физической основой способа является способность контактной составляющей термо-ЭДС пробного прохода нести информацию о разности электрохимического потенциала контактных пар через разность работ выхода электронов из стали и инструмента [5]. В этом случае величина термо-ЭДС пробного прохода используется не как традиционная информация о температуре резания, а как информация о сочетании свойств контактной пары.

Учитывая физические основы возникновения термо-ЭДС естественной термопары, предлагается величину термо-ЭДС пробного прохода контактной пары «твёрдосплавный инструмент с покрытием – стальная заготовка» ввести в известную аналитическую модель расчёта скорости резания как дополнительный информационный параметр о её свойствах.

Новизна предложенной методики состоит в том, что расчету допустимой скорости резания при обработке углеродистых и конструкционных сталей твёрдосплавным инструментом с покрытием, предшествует операция пробного резания. Предварительно обрабатывают стальную заготовку на режимах пробного прохода ($v = 100$ м/мин; $S = 0,1$ мм/об; $t = 1,0$ мм; время резания 4...5 с), измеряют термо-ЭДС в паре «инструмент – стальная заготовка» и по величине термо-ЭДС данной пары и рабочим параметрам технологического процесса (T , S , t) определяют допустимую скорость резания, например, для стадии получистового точения по следующей скорректированной формуле:

$$v = \frac{A - kE}{T^{0,2} \cdot S^{0,35} \cdot t^{0,15}} \quad (1)$$

где E – термо-ЭДС пары «твёрдосплавный инструмент – обрабатываемый металл», в милливольтках (мВ), измеренная в условиях проб-

ного прохода; A – постоянная, равная 360 при получистовом точении; k – коэффициент, равный 16,2 для получистового точения; T – задаваемое время работы инструмента; s , t – подача и глубина резания соответственно.

В формуле (1) скоростной коэффициент C_v представлен не постоянной осреднённой справочной величиной, а как функция от термо-ЭДС пробного прохода, которая учитывает изменяющиеся свойства контактных пар и описывается уравнением прямой:

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

Скорректированная аналитическая формула расчёта скорости резания (1) с введённым в неё дополнительным информационным параметром о свойствах инструмента и заготовки позволяет решить и обратную задачу: при заданных величинах скорости резания, глубины и подачи и измеренной величине термо-ЭДС пробного прохода определить его ресурс (время надёжной работы инструмента T):

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

В отличие от табличного метода назначения скорости резания, аналитическая формула (3) может использоваться для оперативной диагностики работоспособности инструмента с покрытиями при обработке конкретных марок углеродистых и конструкционных сталей.

В табл. 1 приведены данные по фактическому периоду стойкости твёрдосплавных инструментов с покрытиями двух отечественных заводов и для сравнения фирмы PRAMET (Чехия), приведены значения рекомендованных ими скоростей резания при токарной обработке стали ШХ-15. Приведён диапазон разброса величины термо-ЭДС пробного прохода как информационной характеристики свойств контактной пары (выборки по 20 пластин). Условия резания: без применения СОЖ; $s = 0,12$ мм/об; $t = 1$ мм; заданный период стойкости $T = 15$ минут.

Анализ данных табл. 1 показывает, что величина термо-ЭДС пробного прохода контактной пары «твёрдосплавный инструмент с покрытием – стальная заготовка» может служить качественным показателем его стойкости (лучше – хуже) в определённых условиях обработки. Введённая в расчётную аналитическую зависимость (3) эта величина позволяет количественно определить время надёжной работы резака.

1. Влияние величины сигнала термо-ЭДС на фактический период стойкости твёрдосплавных инструментов с покрытиями

Поставщик, форма пластины	Диапазон разброса термо-ЭДС, мВ	Скорость резания, м/мин	Величина термо-ЭДС испытываемой пластины, мВ	Фактическое время работы до фаски износа $h_z = 0,5$ мм
Кировоградский завод твёрдых сплавов, ТС20РТ	7,4...10,7	290	7,4	16 мин
			10,7	10 мин
Московский комбинат твердых сплавов, 10301030	7,8...10,3	250	9,4	15,5 мин
			7,8	18 мин
PRAMET Чехия 8240	7,5...9,1	250	8,6	17 мин
			9,1	Скол режущей грани на 14-й мин

Для режущей пластины Кировоградского завода твёрдых сплавов (КЗТС), со значением термо-ЭДС 10,7 мВ, рекомендованная скорость резания для условий максимальной производительности (стойкость 15 мин) оказалась не рациональной. По формуле (3) определили её рациональное значение, равное 230 м/мин. Для обеспечения надёжной работы режущей пластинки в данных условиях целесообразно оставить 10 % запаса её работоспособности, это будет 16,5 мин. Расчётная скорость резания для стойкости 16,5 мин по формуле (1) определится равной 225 м/мин. Для режущей пластинки (Москва – Сандвик) со значением термо-ЭДС 7,8 мВ «запас» работоспособности составил 20 %. Оператор станка с ЧПУ, имея такую оперативную информацию, может распорядиться этим «запасом» по своему усмотрению: обработать дополнительное количество заготовок или увеличить подачу с учётом ограничений, сокращая машинное время обработки.

Методика назначения скорости резания с учётом предварительной диагностики свойств твёрдосплавного инструмента с покрытием отечественных производителей была дополнительно апробирована при обработке стали 45 и стали 40Х в условиях полустачного точения. Величина ошибки прогнозирования стойкости – не более 10 %.

Заключение

Проведённые испытания предложенной методики диагностирования работоспособности твёрдосплавного инструмента с покрытием показали, что с помощью разработанной аналитической модели, содержащей информацию о свойствах каждой контактной пары можно оперативно решать прямую задачу выбора скорости резания (формула (1)) и обратную по

определению периода стойкости инструмента (формула (3)).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Старков, В.К. Физика и оптимизация режимов резания материалов. – М.: Машиностроение, 2009. – 640 с.
2. Плесков, В.Г. Разброс стойкости твёрдосплавного инструмента // РИТМ Машиностроения. – 2018. – №4. С. 86 – 92.
3. Плотников, А.Л., Сергеев, А.С., Тихонова, Ж.С., Уварова Т.В. Вероятностная природа образования контактных пар «твёрдосплавный инструмент – стальная заготовка» и механизмы её влияния на надёжность процесса металлообработки // Вестник машиностроения. – 2018. – №4. – С. 48-54.
4. Автоматизированные способы определения значений параметров процесса токарной и фрезерной обработки на станках с ЧПУ: монография / А.Л. Плотников, А.С. Сергеев, Т.В. Уварова. – Волгоград: ВолгГТУ; Старый Оскол: TNT, 2017. – 212 с.
5. Плотников, А.Л., Сергеев, А.С., Зайцева, Н.Г. Использование информативной способности сигнала естественной термопары для обеспечения надёжности автоматизированного определения режимов лезвийной обработки // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2013. – №5(23). – С. 35-40.

REFERENCES

1. Starkov, V.K. *Physics and Optimization of Material Cutting Modes*. – M.: Mechanical Engineering, 2009. – pp. 640.
2. Pleskov, V.G. *Hard-Alloy Tool Life Range* // RIHM of Mechanical Engineering. 2018. – No.4. – pp. 86-92.
3. Plotnikov, A.L., Sergeev, A.S., Tikhonova, Zh.S., Uvarova, T.V. Probable reason for formation of “hard-alloy tool-steel blank” contact pair and mechanisms of its impact upon metalworking process reliability // *Bulletin of Mechanical Engineering*. – 2018. – No.4. – pp. 48-54.
4. Automated Methods for Definition of Turning and Milling Parameter Values on NC Machines: monograph / A.L. Plotnikov, A.S. Sergeev, T.V. Uvarova. – Volgograd: BolgaS-TU; Stary Oskol: TNT, 2017. – pp. 212.
5. Plotnikov, A.L., Sergeev, A.S., Zaitseva, N.G. Information ability use of signal of natural thermocouple to ensure automated definition reliability of edging modes // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2013. – No.5(23). – pp. 35-40.

Рецензент д.т.н. В.В. Мартынов