

УДК 621.9.015

DOI: 10.12737/article_59ae90c55d3e09.36459701

А.С. Сергеев, к.т.н.,
Ж.С. Тихонова, аспирант,
Т.В. Уварова, старший преподаватель
(ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет,
400005, Россия, г. Волгоград, пр-т им. В.И. Ленина, 28)
E-mail: sergeevapp@mail.ru

Повышение точности расчета составляющих силы резания при точении коррозионностойких сталей*

Приведены математические модели расчёта составляющих силы резания с введением в их структуру дополнительного информационного параметра – термоЭДС предварительного пробного рабочего хода, как характеристики теплофизических свойств контактной пары. Предложенные математические зависимости могут использоваться для построения алгоритмов автоматизированного расчёта.

Ключевые слова: сила резания; скорость резания; теплопроводность; термоЭДС; коррозионностойкие стали.

A.S. Sergeev, Can. Eng.,
Zh.S. Tikhonova, Post graduate student,
T.V. Uvarova, Senior lecturer
(FSBEI HE Volgograd State Technical University, 28, Lenin Avenue, Volgograd, Russia, 400005)

Accuracy increase in computation of cutting force components at corrosion-resistant steel parts turning

The simulators of the cutting force components computation with the introduction in them a structure of an additional information parameter – thermo-EMF (electromotive force) of the preliminary test working stroke as a characteristic of thermo-physical properties of a contacting pair are shown. Mathematical dependences offered may be used for the algorithm formation of computer-aided computations.

Keywords: cutting force; cutting speed; thermal conduction; thermo-EMF; corrosion-resistant steels.

Коррозионностойкие стали относятся к классу труднообрабатываемых материалов. Обработка коррозионностойких сталей сопряжена с повышенным износом инструмента и, как следствие, низким его ресурсом, что побуждает к снижению режимов резания. Ввиду того, что теплопроводность коррозионностойких сталей с повышением температуры резания (скорости резания) не уменьшается, а

растет, данный класс сталей ограничен с точки зрения возможной интенсификации режимов резания. Прежде всего, это связано с возникновением тяжелых условий обработки, сопровождающихся значительным увеличением сил резания и как следствие нагрузки на составляющие всей станочной системы, а это является ключевым фактором на пути обеспечения качества обработки изделий.

Вместе с тем, доля использования коррозионностойких сталей в промышленности достаточно велика, поэтому исследования, по-

* Работа выполняется в рамках гранта РФФИ, номер проекта 17-08-00018.

священные обеспечению точности выбора основных параметров их обработки, являются актуальными.

В настоящий момент в существующей справочно-нормативной и научной литературе информация о выборе режимов обработки коррозионностойких сталей встречается по большей части в виде рекомендательной формы [1], что не может служить фактором использования данного материала с точки зрения автоматизации процесса назначения режимов резания или в ограниченной форме.

Так, например, в справочнике [2], являющемся основным при расчете параметров процесса резания, отсутствует в полном объеме информация о составляющих силы резания: радиальной P_y и осевой P_x , значения которых используются при расчете точности обработки, зажимных усилий автоматизированных зажимных устройств (патронов) на стадии проектирования технологического процесса.

В приведенных математических зависимостях тангенциальной составляющей силы резания P_z не учитывается влияние теплофизических свойств режущего инструмента на ее

величину. Фактическая точность размеров и геометрической формы обработанных заготовок зависит от отжаты в упругой технологической системе, вызываемых колебаниями горизонтальной составляющей силы резания P_y , определяемой уровнем применяемых режимов резания [3].

В справочнике [4] и источнике [5] приведена формула расчета составляющей силы резания P_z для конструкционных сталей, жаропрочной стали 12X18H9T, чугуна и других сплавов. Примечательно, что для стали 12X18H9T показатель степени при скорости резания n равен нулю, а значит, по данным справочника скорость резания не оказывает влияние на величину составляющих силы резания и при определенных значениях глубины резания t и подачи S в скоростном диапазоне обработки (например, 10...100 м/мин) величина P_z сохраняется постоянной.

Для оценки сходимости расчетных значений составляющих сил резания P_z по источнику [6] с фактическими значениями были проведены экспериментальные исследования, результаты которых представлены в табл. 1.

1. Сравнение расчетных значений P_z по [59] с экспериментальными данными при точении сталей мартенситного и мартенситноферритного классов

Скорость резания V , м/мин	Подача S , мм/об	Глубина резания t , мм	Составляющая силы резания P_z ,		Относительная ошибка, %
			расчетная [59]	измеренная	
Сталь: 14X17H2, инструмент BK8					
20	0,15	1	661	1000	34
40			596	970	39
60			561	925	39
80			537	900	40
Сталь: 40X13, инструмент T15K6					
20	0,15	1	577	1250	49
40			520	900	42
60			489	880	44
80			468	845	45

Измерение силы резания производилось тензометрическим токарным динамометром DKM 2010 (фирмы «TeLC» Германия), встроенным в резцедержатель в специальной оправке и интегрированным с персональным компьютером. Экспериментальные исследования проводились в лаборатории «Средств автоматизации и роботизации» кафедры «Автоматизация производственных процессов». Обработка резанием проводилась без применения СОТС.

В табл. 1 приведено значение ошибки расчета по имеющейся математической зависимости для данных условий механической об-

работки. Ошибка расчета составляет 34...49 % (см. табл. 1), что недопустимо для обеспечения надёжности процесса резания и требует корректировки математической модели с целью снижения величины погрешности.

Для повышения точности расчета (снижение ошибки расчета в допустимых пределах, например 10...15 %) составляющих силы резания, помимо учета марки стали, геометрии режущего инструмента, глубины резания, скорости резания и подачи, необходимо учесть ряд дополнительных факторов, которые оказывают влияние на их расчётную величину.

Со стороны твёрдосплавного инструмента такими факторами являются изменение химического и фазового состава твердого сплава, как между марками, так и внутри его марочного состава. Различные марки твёрдого сплава обладают различной теплопроводностью. Внутри марочного состава теплопроводность, как и режущие свойства, изменяется за счёт различного содержания в кобальтовой связке растворённого вольфрама (2...20 %), что допускается техническими условиями на его изготовление.

Со стороны обрабатываемой стали химический, фазовый состав, структурное состояние стали определяют не только её прочностные характеристики, но и теплопроводность, которая через соотношение с теплопроводностью инструмента определяет уровень температуры в зоне резания и степень упрочнения стали в условиях высокоскоростного пластического деформирования.

Таким образом, технологические особенности металлургического производства предполагают наличие неизбежного разброса физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, что подтверждается наличием ГОСТ на показатели механических свойств и процентное содержание химических элементов готовой продукции инструментальных заводов и металлургических комбинатов. В этой связи использование средних поправочных коэффициентов на физико-механические свойства обрабатываемого и инструментального материалов в математических зависимостях справочно-нормативной литературы приводит к появлению погрешностей расчета.

Как показывает практика разброс режущих свойств, твёрдосплавных пластин и обрабатываемости сталей, может носить случайный характер и подчиняться различным законам распределения (например, рис. 1). При этом возникают ситуации, при которых заготовка из партии поставки, обладающая худшей обрабатываемостью (σ_{Bmax}), сочетается с твёрдым сплавом, имеющим низкие режущие свойства (минимальный коэффициент износа инструмента $K_{Иmin}$), на рис. 1, это сочетание зон (4 – 5) и наоборот – сочетание зон (1 – 8).

Но если во втором случае (сочетание зон (1 – 8)) речь идет о недоиспользовании ресурса инструментального материала, то первая ситуация (сочетание зон (4 – 5)) грозит простоем оборудования по причине преждевременного выхода из строя инструмента. В.К. Старков, в своих исследованиях [7], отмечает, что коле-

бания физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов может приводить к разбросу стойкости инструмента в 4 и более раз при обработке на постоянных режимах резания.

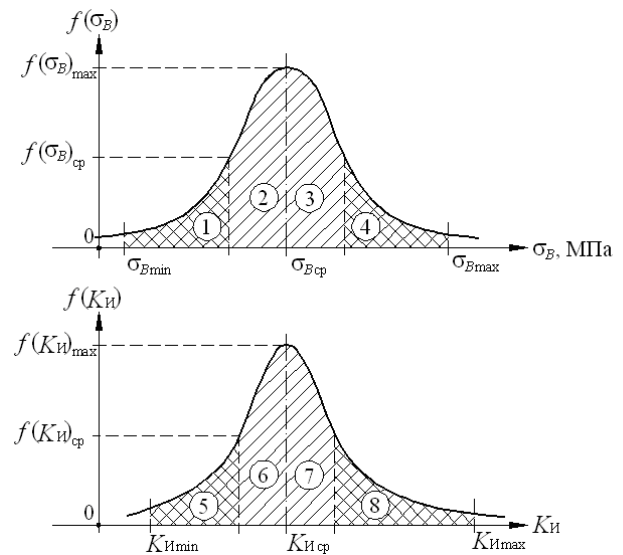


Рис. 1. Плотности распределения механических свойств обрабатываемых сталей $f(\sigma_B)$ и режущих свойств инструмента $f(K_{И})$

безусловно, плотность распределения в партии заготовок $f(\sigma_B)$ и твердого сплава $f(K_{И})$ с режущими свойствами, приближенными к границам установленных допусков (зоны 1, 4 и 5, 8), по мере приближения к последним – снижается, но все же она существует. Значительно выше она в околোগраничном интервале между границей диапазона допуска на механические свойства и его средним значением (зоны 2, 3 и 6, 7).

Неприятность заключается в том, что, например, в случае нормального распределения свойств обрабатываемого и инструментального материалов (см. рис. 1), плотность распределения заготовок $f(\sigma_B)$ и твердого сплава $f(K_{И})$ может оказаться одинаковой (или почти одинаковой) в левом и правом околোগраничном и граничном интервалах. Это означает, что количество таких сочетаний контактных пар увеличивается как минимум вдвое по сравнению, например, с экспоненциальным законом распределения механических свойств.

Такая неоднородность свойств контактной пары в условиях автоматизированного производства приводит к снижению стабильности и качества механической обработки в целом.

При анализе существующих методов предварительной оценки свойств стальных заготовок и твёрдосплавного инструмента отмечено,

что одним из путей решения этой задачи может быть тестовый метод предварительного пробного рабочего хода на строго фиксированных режимах резания для каждой пары инструмент–заготовка с измерением возникающей при этом термоэлектродвижущей силы и использованием величины термоЭДС пробного рабочего хода для оценки свойств контактируемых пар и условий резания.

В предлагаемом методе предварительного пробного рабочего хода величина термоЭДС используется не как традиционная характеристика уровня температур в зоне резания, а как интегральная оценка теплофизических свойств контактной пары. Физической основой использования термоЭДС пробного рабочего хода в этом качестве является использование контактной составляющей термоЭДС естественной термопары, которая несёт информацию о разности работ выхода электронов из твёрдого сплава и стали. Работа выхода, в свою очередь, имеет тесную корреляционную связь с прочностью, электропроводностью и теплопроводностью контактируемых пар [8].

Информативная способность естественной термопары проявляется в том, что величина этого сигнала имеет устойчивую корреляцию с теплопроводностью случайно собранных в процессе обработки металла контактных пар. Была поставлена задача разработки математических моделей с учетом специфики теплофизических свойств группы коррозионностойких сталей: сталь 20X13, 40X13, 13X11H2B2MФ (мартенситный класс), 12X18H10T (аустенитный класс), 14X17H2, (мартенситно-ферритный класс), как наиболее востребованных на производстве, с введением в формулы дополнительного параметра, характеризующего теплофизические свойства каждой новой контактной пары – термоЭДС предварительного пробного рабочего хода, измеренную на строго постоянных, одинаковых для всех сменных контактных пар режимах резания ($V = 100$ м/мин; $S = 0,1$ мм/об; $t = 1$ мм).

В результате экспериментального исследования, опытным путем авторами были получены математические модели по расчету составляющих силы резания при точении коррозионностойких сталей. Составляющие силы резания предлагается определять по следующим зависимостям:

$$P_x = 118,3 \cdot E^{0,664} \cdot t^{0,712} \cdot S^{0,516} \cdot V^{0,165},$$

$$P_y = 700,3 \cdot E^{0,408} \cdot t^{0,551} \cdot S^{0,866} \cdot V^{0,097},$$

$$P_z = 4681,5 \cdot E^{-0,102} \cdot t^{0,609} \cdot S^{0,649} \cdot V^{-0,035},$$

где E – термоЭДС пробного прохода естественной термопары «обрабатываемая заготовка – твердый сплав»; t – глубина резания; S – подача, мм/об; V – скорость резания, м/мин.

Рекомендуемые режимы и условия обработки, в диапазоне которых справедливы математические зависимости, а также программа для расчета составляющих силы резания приводятся в работе [9]. При этом средняя относительная погрешность определения составляющей P_x составляет 12%; P_y – 14%; P_z – 3% соответственно. Формула справедлива для расчета составляющих силы резания при обработке сталей: 20X13, 40X13, 13X11H2B2MФ (мартенситный класс), 12X18H10T (аустенитный класс), 14X17H2, (мартенситно-ферритный класс).

Предложенные математические модели могут быть использованы как основа для построения блок-схемы алгоритмов автоматизированного расчета составляющих силы резания при токарной обработке коррозионностойких сталей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Pramet.** Точение: Каталог / Pramet tools, s.r.o. – Чехия: Pramet, 2016. – 264 с.
2. **Прогрессивные** режущие инструменты и режимы резания металлов: справочник / ред. В. И. Баранчиков. – М.: Машиностроение, 1990. – 399 с.
3. **Маталин, А.А.** Технология механической обработки: учебник / А.А. Маталин – Л.: Машиностроение, 1977. – 464 с.
4. **Справочник** технолога-машиностроителя. В 2 т. Т.2 / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова, – 5 изд., исправл. – М.: Машиностроение-1, 2003, – 912 с.
5. **Безъязычный, В.Ф.** Расчет режимов резания: учеб. пособие / В.Ф. Безъязычный, И. Н. Аверьянов, А.В. Кордюков. – Рыбинск: РГАТА, 2009. – 185 с.
6. **Режимы** резания труднообрабатываемых материалов: справочник / Я.Л. Гуревич, М.В. Горохов, В.И. Захаров и др.; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
7. **Старков, В.К.** Физика и оптимизация резания материалов: учебник. – М.: Машиностроение, 2009. – 640 с.
8. **Епифанов, Г.И.** Физика твердого тела: учеб. пособие / Г. И. Епифанов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1977. – 288 с.
9. **Свид. о гос. регистрации** программы для ЭВМ № 2015614913 от 29 апр. 2015 г. РФ, МПК (нет). Расчет составляющих сил резания при точении коррозионностойких сталей / Зайцева Н.Г., Сергеев А.С., Плотноков А.Л., Жданов А.А.; ВолГТУ. – 2015.

REFERENCES

1. Pramet. *Turning: Catalogue* / Pramet tools, s.r.o. – Czech Republic: Pramet, 2016. – pp. 264.
2. *Efficient Cutters and Metal Cutting Modes: Reference Book* / under the editorship of V.I. Baranchikov. – M.: Mechanical Engineering, 1990. – pp. 399.
3. Matalin, A.A. *Machining Technology: Textbook* / A.A. Matalin – L.: Mechanical Engineering, 1977. – pp. 464.
4. *Technologist-Mechanician's Reference Book*. In 2 Vol. Vol.2 / under the editorship A.M. Dalsky, A.G. Kosilova, R.K. Mecheryakov, A.G. Suslov, – 5-th ed., revised – M.: Mechanical Engineering-1, 2003, – pp. 912.
5. Bezyazychny, V.F. *Cutting Mode Computation: Textbook* / V.F. Bezyazychny, I.N. Averiyarov, A.V. Kordyukov. – Rybinsk: RSATA, 2009. – pp. 185.
6. *Cutting Modes for Hard-to-Machine Material Machining: Reference Book* / Ya.L. Gurevich, M.V. Gorokhov, V.N. Zakharov et al.; 2-d ed. revised and supplemented. – M.: Mechanical Engineering, 1986. – pp. 240.
7. Starkov, V.K. *Physics and Optimization of Material Cutting: Textbook*. – M.: Mechanical Engineering, 2009. – pp. 640.
8. Yepifanov, G.I. *Solid-State Physics: Textbook* / G. I. Yepifanov. – 2-d ed. revised and supplemented – M.: Higher School, 1977. – pp. 288.
9. State registration certificate for computer software № 2015614913 of April 29, 2015 the RF, IPC (no). *Computation of Cutting Force Components at Corrosion-resistant Steel Turning* / Zaitseva N.G., Sergeev A.S., Plotnikov A.L., Zhdanov A.A.; VolgaSTU. – 2015.

Рецензент д.т.н. А.М. Козлов

Реклама Вашей продукции в нашем журнале – один из способов достижения Вашего успеха!

Журнал «Научно-технические технологии в машиностроении» читают руководители и специалисты предприятий машиностроительного комплекса.

Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:

- найти партнеров, заинтересованных в современных исследованиях, а также внедрении Ваших идей и разработок в области машиностроения;
- установить контакты с организациями и фирмами России и стран ближнего и дальнего зарубежья;
- наладить обмен информацией.

Обращайтесь в редакцию! E-mail: naukatm@yandex.ru