

А. А. Жданов, А. А. Кожевникова, Р. Н. Саловаров, Д. С. Субботин

К ВОПРОСУ О НАЗНАЧЕНИИ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ТОКАРНЫХ И РАСТОЧНЫХ ОПЕРАЦИЯХ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: alex_128@mail.ru, alla.aka-78@yandex.ru,
salovarovroman248@gmail.com, fly_fly_000@mail.ru

В работе произведен анализ способов прогнозирования показателей качества и назначения рациональных режимов резания при токарной обработке с применением СОТС. Особое внимание уделяется выбору рациональных режимов резания при операциях подрезки торца и растачивания как одних из наименее освещенных в справочно-методической и научной литературе.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающие жидкости (СОТС), подрезание торца, растачивание, рациональные режимы резания, оперативная диагностика режущих свойств

A. A. Zhdanov, A. A. Kozhevnikova, R. N. Salovarov, D. S. Subbotin

ON THE ISSUE OF ASSIGNING RATIONAL CUTTING MODES FOR TURNING AND BORING OPERATIONS

Volgograd State Technical University

The paper analyzes the methods for predicting quality indicators and assigning rational cutting modes during turning using cutting fluids. Particular attention is paid to the selection of rational cutting modes during end-cutting and boring operations as some of the least covered in reference and scientific literature.

Keywords: cutting fluids, end-cutting, boring, rational cutting modes, operational diagnostics of cutting properties

Выбор рациональных режимов резания при токарной обработке с имеет большое значение для оптимизации процесса резания и повышения его эффективности, а также для обеспече-

ния заданных показателей качества изделия (точности, шероховатости и т.д.). Существуют различные подходы к назначению режимов резания: расчет по традиционным машинострои-

тельным справочникам, системы предварительной диагностики режущих свойств контактных пар «инструмент-заготовка», адаптивные системы управления процессом резания.

Большое количество научных работ направлено на изучение влияния различных марок СОТС, применяемых в металлообработке, на различные аспекты процесса резания и не только. Так в работе И. В. Булычева [1] выбор СОТС основывается на ширине диапазона ее использования по видам операций и обрабатываемых материалов, поскольку в условиях современного производства СОТС обязана не только гарантировать высокую эффективность в конкретных условиях обработки, но и иметь достаточную гибкость, чтобы сохранять свои качества при перемене условий резания. Такой подход является одним из наиболее доступных и экономически выгодных.

Выделяются факторы, связанные с условиями обработки, включая параметры режима резания, диагностирование состояния инструмента при обработке, назначение периодичности восстановления инструмента, т. е. составляющие стратегию эксплуатации режущего инструмента, в общем виде представляющую собой совокупность принципов и правил, обеспечивающих заданное управление процессом эксплуатации режущего инструмента путем назначения оптимальных его режимов работы и работ по его восстановлению в соответствии с техническим состоянием.

При оптимизации режимов резания подачу S (мм/об) и глубину резания t (мм) назначают максимально возможными исходя из технологических (точность обработки, качество обрабатываемой поверхности, величина припуска и т. д.) и технических (мощность привода главного движения и приводов подачи, жесткость металлорежущего станка, геометрия режущего инструмента, применяемая технологическая оснастка и т. д.) ограничений. Таким образом, варьируемым параметром при решении задачи оптимизации является как правило скорость резания. Оптимальный режим резания находится путем определения скорости резания, сводящей к минимуму удельные затраты с учетом технологических и конструктивных ограничений металлорежущего станка. Скорость резания не влияет на постоянные затраты при металлообработке (на оборудование, оплату труда, содержание зданий и сооружений), но при увеличении скорости резания увеличивается количе-

ство деталей, производимых за час и, следовательно, уменьшается стоимость станкочаса. Однако при увеличении скорости резания снижается стойкость инструмента, поэтому затраты на инструмент, входящие наряду с затратами на обрабатываемые заготовки в переменные затраты при металлообработке, увеличиваются.

Во работах многих ученых показано, что жидкость, в которой происходит резание, может активно участвовать в смазочно-охлаждающем процессе. Влияние смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) при резании сводится к охлаждающему действию на заготовку и инструмент, пластифицированию поверхностного слоя путем абсорбирования поверхностно-активных веществ, которые оказывают расклинивающее действие, к смазочному и химическому воздействиям. Молекулы активных веществ, проникая в трещины, создают давление на стенки до 100 кН/м^2 .

На практике в качестве СОЖ применяют; эмульсии, содовые водные растворы с добавками нитрита натрия, мыльные растворы, сернистые масла, а также керосиново-масляные смеси.

А. Г. Кисель и Д. С. Реченко в работе [2] при помощи стенда, включающего машину трения, провели сравнительные испытания 33 наименований водоэмульсионных, синтетических и масляных СОТС для определения фактического коэффициента трения при условиях, близким к условиям резания. По результатам эксперимента, в котором использовались четыре различных материала для ролика и твердый сплав Т15К6 в качестве колодки, была составлена сводная таблица, позволяющая оценить смазывающее и охлаждающее действие СОТС в каждом случае. Полученные данные дают возможность подбора наиболее технологически эффективной СОТС для обработки определенного материала.

В работе [3] проводилось исследование зависимости периода стойкости твердосплавного инструмента при токарной обработке заготовки из сплава 12Х18Н10Т от охлаждающих свойств СОТС. По итогам было установлено, что использование СОТС продлевает срок службы режущей пластины в среднем в 1,66 раза по сравнению с обработкой без СОТС. Также была установлена эмпирическая зависимость в виде формулы, исходя из которой был определен интервал $V_{\text{охл. max}}$ (23.20; 24.77), °С/с, в рамках которого применение СОТС эффективно по пе-

риоду стойкости инструмента по сравнению с обработкой без применения СОТС:

$$T_u = f(V_{охл. max}),$$

где T_u – период стойкости твердосплавной режущей пластины от максимальной скорости охлаждения СОТС, применяющийся при резании.

**Результаты расчета скорости и составляющих сил резания
при подрезании торца и растачивании заготовки из стали 40Х13**

Справочник авторов	Скорость резания V , м/мин		Силы резания P , Н					
			P_z		P_y		P_x	
	–	СОТС	–	СОТС	–	СОТС	–	СОТС
Косилова А. Г. [4]	360	–	199	–	94	–	92	–
Марков, В. В. Сметанников А. В. [5]	31	34	637	–	203	–	78	–
Барановский Ю. В. [6]	227	–	1114	–	–	–	–	–
Гузеева В. И. [7]	145	170	–	–	280	–	258	–
Баранчикова В. И. [8]	96	–	326	–	–	–	–	–

Традиционные машиностроительные справочники предлагают достаточно поверхностную и приблизительную оценку влияния СОТС на процесс резания. Сравнительные расчеты скорости и сил резания (представлены в таблице), произведенные с использованием справочной литературы для обработки стали 40Х13 резцом с твердосплавной пластиной Т15К6 при одинаковых режимах резания ($S = 0,1$ мм/об, $t = 1$ мм, $T = 60$ мин), показали, что влияние СОТС на скорость резания учитывается в справочниках [5] и [7], как коэффициент 0,75 и 0,80 к скорости резания (если СОТС не используется); влияние СОТС на силы резания не берется во внимание совсем. Также стоит отметить значительный разброс полученных значений.

Несмотря на то, что режимы резания для подрезки торца и растачивания одинаковые, у схемы резания, очевидно, будут достаточно разными. То же касается и характера износа режущего инструмента. В формулах растачивания обязательно должен быть учтен вылет и сечение резца, т.к. от этих параметров будет зависеть уровень вибраций, что, в свою очередь, повлияет на качество обработки.

Контролирование величины износа режущего инструмента можно осуществлять различными методами и средствами в процессе резания материалов: с помощью измерения сил резания, момента на шпинделе, тока или мощности двигателя главного привода, путем пробного резания, вибродиагностики с использованием акселерометров, методом акустической эмиссии, путем определения температуры резания с помощью ЭДС и пирометров, измерением температуры стружки, спектральным анализом силы

резания, с использованием механических, оптических, индуктивных и др. датчиков.

Широкое применение для контролирования состояния режущего инструмента нашли датчики касания, позволяющие измерять контролируемые размеры после окончания процесса резания с высокой точностью. При этом датчики касания размещаются непосредственно на станке и, в период измерительного цикла, станок работает в режиме координатно-измерительной машины.

Применяются и бесконтактные способы контролирования состояния режущего инструмента после окончания процесса резания, базирующиеся на использовании оптоэлектронных и пневматических датчиков вместо механических щупов. Используются датчики, с помощью которых по степени шероховатости обработанной можно судить об износе режущей кромки инструмента при точении.

Одним из надежных и адекватных современных способов назначения рациональных режимов обработки является способ, разработанный профессором А. Л. Плотниковым и волгоградской школой резания [9]. Он основан на измерении величины термоЭДС, наводимого между заготовкой и инструментом в режиме пробного прохода, которая является комплексным показателем физико-механических и теплофизических свойств контактной пары «инструмент-заготовка». Данный способ предварительной и оперативной диагностики актуален, исследования и разработки по его внедрению активно продолжаются. На сегодняшний момент получен действующий опытный образец микропроцессорного устройства для автомати-

зирования управления режимами резания на станке с ЧПУ [10].

Задачей дальнейшего исследования ставится разработка надежных и адекватных математических моделей определения скорости и сил резания для операций подрезания торца и растачивания, которые будут учитывать особенности схем стружкообразования, а также режущие свойства конкретных контактных пар «инструмент-заготовка».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Булычев, И. В. Обзор современных смазочно-охлаждающих жидкостей / И. В. Булычев // Общество. Наука. Инновации (НПК-2019). – Киров, 2019. – С. 50–54.
2. Кисель, А. Г. Оценка технологической эффективности смазочно-охлаждающих жидкостей при лезвийной обработке / А. Г. Кисель, Д. С. Реченко // Механика XXI века : сб. докл. XII Всерос. науч.-техн. конф. с международным участием / БрГУ. – Братск, 2013. – С. 160–161.
3. Кисель, А. Г. Исследование зависимости периода стойкости твердосплавного инструмента при токарной обработке заготовок из сплава 12Х18Н10Т от охлаждающих свойств СОТС / А. Г. Кисель, Е. Д. Пуртов, С. С. Выборов, Д. Ю. Белан, В. А. Гречишников // Проблемы машиноведения : матер. III Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 ч. – Омск : ОмГТУ, 2019. – Ч. 2. – С. 59–65.

4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / А. Г. Косилова [и др.] ; – Москва : Машиностроение, 1985. – 496 с.

5. Расчет режимов резания. Курсовое и дипломное проектирование по технологии машиностроения : справочник / под ред. В. В. Марков, А. В. Сметанников, П. И. Кисеев, Л. И. Лебедев, Д. А. Ветчинников. – Орел 2010.

6. Режимы резания металлов : справочник. / под ред. Ю. В. Барановского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1972. – 407 с.

7. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением : справочник / под ред. В. И. Гузеева. – М. : Машиностроение, 2005. – 368 с.

8. Справочник конструктора-инструментальщика / под ред. В. И. Баранчикова. – М. : Машиностроение, 1994. – 560 с.

9. Плотников, А. Л. Управление режимами резания на токарных станках с ЧПУ : монография / А. Л. Плотников, А. О. Таубе ; ВолгГТУ. – Волгоград : РПК «Политехник», 2003. – 184 с.

10. Automatic Turning Modes Assignment System / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев, Д. В. Крайнев, Ж. С. Тихонова, В. В. Стражев // Proceedings of the 10th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2024) (Sochi, Russian Federation, May 19-24, 2024) / eds.: A. A. Radionov, V. R. Gasiyarov ; Moscow Polytechnic University. – Cham (Switzerland) : Springer Nature Switzerland AG, 2024. – P. 582-591. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-65870-9_53. – (Book series: Lecture Notes in Mechanical Engineering – LNME).