

В. В. Стражев, Е. М. Фролов, А. В. Рогачев

**АДАПТАЦИЯ МЕТОДА АВТОМАТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ
РЕЖИМОВ ТОЧЕНИЯ ДЛЯ МНОГОСТАДИЙНОЙ ОБРАБОТКИ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: strajev.v@yandex.ru, e_frolov@vstu.ru, alexsandrogachev@ya.ru

Токарная обработка – это сложный процесс, включающий в себя такие компоненты как режимы резания, обрабатываемый и режущий материал и т. д. Особенно важным для производителей компонентом является время обработки, поскольку оно напрямую связано с производительностью и стоимостью процесса металлообработки. В данной работе предлагается уточнение модели для оптимизации режимов точения по параметру производительности.

Ключевые слова: токарная обработка, режимы резания, оптимизация, термоЭДС, качество поверхности

V. V. Strazhev, E. M. Frolov, A. V. Rogachev

**ADAPTATION OF THE METHOD OF AUTOMATIC ASSIGNMENT
OF TURNING MODES FOR MULTI-STAGE PROCESSING**

Volgograd State Technical University

Turning is a complex process that includes components such as cutting modes, processed and cutting material, etc. Processing time is a particularly important component for manufacturers, as it is directly related to the productivity and cost of the metalworking process. In this paper, a refinement of the model is proposed to optimize turning modes according to the performance parameter.

Keywords: turning, cutting modes, optimization, thermal EMF, surface quality

Актуальность исследования

Эффективность машиностроительных предприятий в ближайшем будущем все сильнее будет зависеть от обеспечения стабильности производства изделий, так как все больше в объеме выпускаемой продукции становится доля прецизионных детали с поверхностями

высокого качества. Однако важно не только обеспечить высокое качество поверхности, но и гарантировать ее получение с минимальным количеством брака.

При расчете параметров лезвийной обработки металла на основе профильной справочной литературы, в которой присутствуют ус-

редненные значения силовых, скоростных и поправочных коэффициентов, возникает неточность. Разница между расчетными и фактическими значениями режимов резания может достигать полутора или двух раз [1,2]. Для решения этой проблемы исследуется способ определения оптимальных режимов резания, который основан на оперативном получении информации о физико-механических свойствах контактной пары «обрабатываемая заготовка – режущий инструмент» в ходе предварительного пробного прохода, посредством измерения величины сигнала термоЭДС [3–5]. Автоматизированное определение оптимальных режимов точения и введение их в УЧПУ станка позволит сократить время технологической подготовки и избежать ошибок из-за человеческого фактора [6–9].

Выбор целевой функции

Для достижения стабильности производственного процесса при токарной обработке решается задача поиска таких режимов резания, при которых целевая функция, выбранная с учетом стадии обработки, достигает экстремума при соблюдении всех технологических ограничений, предъявляемых к процессу обработки. Для поиска оптимальных режимов резания при чистовой или тонкой токарной обработке в качестве целевой функции целесообразно выбирать шероховатость обработанной поверхности вместо наиболее часто применяемой производительности.

Максимальную величину подачи ограничивает требуемая шероховатость обработанной поверхности. Следовательно, должно выполняться условие

$$S \leq S_v, \quad (1)$$

где S_v – максимально допустимая подача, обеспечивающая получение данного класса шероховатости обработанной поверхности.

При чистовой / получистовой и черновой обработке главный и вспомогательный углы в плане приобретают значительное влияние, и величина S_v определяется формулой:

$$S_v = \frac{C_H \cdot H_{\max}^y \cdot r^u}{t^x \cdot \varphi^z \cdot \varphi_1^z}, \quad (2)$$

где C_H – коэффициент, характеризующий условия обработки; $H_{\max}$ – максимальная высота микронеровностей поверхности, мкм; φ – главный угол в плане; φ_1 – вспомогательный главный угол в плане; y, u, x, z – показатели степени.

Выразим максимальную высоту микронеровностей $H_{\max}$ из формулы (2) и получим:

$$H_{\max} = \frac{S_m \cdot t^x \cdot \varphi^z \cdot \varphi_1^z}{n \cdot C_H \cdot r^u} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где S – подача, мм/об; n – частота вращения заготовки, об/мин; C_H – коэффициент, характеризующий условия обработки; $H_{\max}$ – максимальная высота микронеровностей поверхности, мкм; φ – главный угол в плане; φ_1 – вспомогательный главный угол в плане; t – глубина резания, мм; y, u, x, z – показатели степени.

Отказ от повышения производительности токарной обработки может привести к ряду негативных последствий, которые осложняют поддержание конкурентоспособности и эффективное использование ресурсов. Для успешной работы на современном рынке необходимо постоянно стремиться к улучшению эффективности и производительности обработки. В связи с этим в систему технологических ограничений должно вводиться ограничение по наибольшему объему срезаемого слоя, допускаемого требованиями, предъявляемыми к производительности обработки.

Построение системы ограничений

Оптимизируемые режимы токарной обработки зависят от выбора технологических ограничений, определяющих описываемый процесс. В основе оптимизации режимов обработки важным этапом является построение математической модели, включающей в себя совокупность технологических ограничений и оценочную функцию (критерий оптимальности), которые приводятся к линейному виду путем логарифмирования.

Как было упомянуто выше, исходя из экономических соображений, производительность обработки должна остаться в математической модели оптимизации режимов точения как минимум в виде одного из технологических ограничений. Введем в систему технологических ограничений наибольший объем срезаемого слоя, допускаемый требованиями, предъявляемыми к производительности обработки.

Удельный съем материала – произведение скорости резания, глубины резания и подачи, соответственно находится по формуле:

$$Q = v \cdot S_m \cdot t, \left[\frac{\text{см}^3}{\text{мин}} \right] \quad (4)$$

где v – скорость резания, м/мин; S_m – подача, м/мин; t – глубина резания, мм.

Подставим в формулу (4) скорость резания и получим:

$$Q = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \cdot S_m \cdot t, \quad (5)$$

где n – частота вращения заготовки, об/мин; D – диаметр обрабатываемой детали, мм.

Выведа в левую часть формулы (5) частоту вращения заготовки и скорость подачи, получим выражение ограничения в виде неравенства:

$$n \cdot S_m \leq \frac{Q \cdot 1000}{\pi \cdot D \cdot t}. \quad (6)$$

Далее необходимо найти способ определения объема срезаемого слоя Q в правой части неравенства. Это можно сделать следующим образом:

Зная внешний диаметр D и обработанный диаметр d , можно найти площадь профиля $S_{\text{профиль}}$ срезанного материала по формуле:

$$S_{\text{профиль}} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}. \quad (7)$$

Следовательно, объем срезаемого слоя Q будет равен произведению площади профиля $S_{\text{профиль}}$ и длины реза L , и определен по формуле:

$$Q = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot L. \quad (8)$$

Подставим Q в формулу (6) и проведя преобразования, получим:

$$n \cdot S_m \leq \frac{250 \cdot L \cdot (D + d) \cdot (D - d)}{D \cdot t}. \quad (9)$$

Перечислим оставшиеся и наиболее часто применяемые ограничения:

- наименьшая подача, допустимая кинематикой станка;
- наибольшая подача, допустимая кинематикой станка;
- наименьшая скорость резания, допустимая кинематикой станка;
- наибольшая скорость резания, допустимая кинематикой станка;
- режущие возможности инструмента;
- наибольшая технологически допустимая скорость резания;
- мощность электропривода главного движения станка;
- прочность режущего инструмента;
- жесткость режущего инструмента;
- точность обработки.

Особенностью указанных ограничений является использование величины сигнала термоЭДС как интегрального критерия физико-механических свойств контактной пары «обрабатываемая заготовка – режущий инструмент» [1, 2, 6].

Выводы

В представленной работе подчеркивается необходимость обеспечения баланса между производительностью и качеством токарной обработки. Совершенствование модели для оптимизации режимов резания на основе информации из зоны резания, получаемой в режиме реального времени, позволит производителям повысить эффективность своих технологических процессов и сохранить конкурентоспособность на рынке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пробный проход при лезвийной обработке металла с измерением термоЭДС как способ предварительной оценки свойств контактной пары: резец-стальная заготовка / Плотников А. Л., Зайцева Н. Г., Аветисян В. А., Ньят Х. Д. // Вестник СГТУ. – Саратов, 2012. – Т. 3. – № 1 (67). – С. 109–113. – ISSN: 1999-8341.
2. Управление параметрами процесса лезвийной обработки на станках с ЧПУ: монография / А. Л. Плотников: науч. ред. А. П. Бабичев: ВолгГТУ Тольятти; ЗАО «ОНИКС», 2012. – 231 с., ил., табл. (Серия: Управление качеством технологических процессов в машиностроении / общ. ред. Ю. М. Соломенцев).
3. Чигиринский, Ю. Л. Цифровизация машиностроительного производства: технологическая подготовка, производство, прослеживание / Ю. Л. Чигиринский, Д. В. Крайнев, Е. М. Фролов // Научные технологии в машиностроении. – 2022-8(134). – С. 39–48. doi: 10.30987/2223-4608-2022-8-39-48
4. Фролов, Е. М. Возможности использования серийного оборудования с ЧПУ в качестве основы для построения цифровых производственных участков / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев // Известия ВолгГТУ: научный журнал № 3 (250) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 41–43.
5. Исследование качества формируемой при точении на автоматически определяемых режимах поверхности / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев, М. Ю. Поляникова, В. В. Стражев // Известия ВолгГТУ: научный журнал № 1 (272) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2023. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 32–34. – DOI: 10.35211/1990-5297-2023-1-272-32-34.
6. Способ назначения режимов резания для станков с ЧПУ на основе ЭДС резания: заявка № 2021135 Российской Федерация: В23В 25/06 (2006.01), В23Q 15/00 (2006.01) / Фролов Е. М., Рогачев А. В.; заявитель ФГБОУ ВО «ВолгГТУ». – № 2021135456/05; заявлен 02.12.2021. – 30 с.
7. П. м. 201939 Российская Федерация, МПК В23В25/06 Резец сборный с элементами для измерения ЭДС резания / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2021.
8. П. м. 201938 Российская Федерация, МПК В23В25/06 Автономный модуль для измерения ЭДС резания / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2021.
9. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022614344 от 18 марта 2022 г. Российская Федерация. Оптимизация режимов резания для станков с ЧПУ / Е. М. Фролов, А. В. Рогачев; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2022.