Многокритериальная оптимизация режимов резания при обеспечении качества поверхности на станках с ЧПУ

Юсубов Низами, Аббасова Хейран, Дадашов Рамил, Гошиев Алы
Азербайджанский технический университет, Баку

Аннотация. В статье представлен анализ современных подходов к выбору режимов резания при обработке на станках с числовым программным управлением. Показано, что обеспечение требуемого качества поверхности связано с необходимостью учета противоречивых факторов, включая шероховатость, производительность обработки и стойкость инструмента. На основе анализа литературных источников рассмотрена постановка задачи выбора режимов резания в виде задачи многокритериальной оптимизации. В качестве основных критериев выделены минимизация шероховатости поверхности, максимизация производительности и повышение стойкости инструмента. Отмечено, что решение задачи носит компромиссный характер и может быть реализовано на основе поиска Парето-оптимальных решений. Полученные результаты могут быть использованы при разработке алгоритмов выбора режимов резания в системах управления станками с ЧПУ.

Ключевые слова. многокритериальная оптимизация, режимы резания, шероховатость поверхности, производительность обработки, стойкость инструмента, станки с ЧПУ, Парето-оптимальность

Введение. В условиях современного машиностроительного производства обеспечение требуемого качества поверхности при обработке на станках с ЧПУ рассматривается как важная задача, определяющая эксплуатационные характеристики изделий. Параметры шероховатости оказывают существенное влияние на износостойкость, надёжность и долговечность деталей [1, 2]. При этом выбор режимов резания осложняется необходимостью одновременного обеспечения высокой производительности обработки и стойкости инструмента, что обуславливает применение многокритериальных подходов.

Постановка задачи оптимизации режимов резания. Анализ современных исследований показывает, что формирование шероховатости поверхности определяется режимами резания, геометрией инструмента и свойствами обрабатываемого материала [1, 3]. Отмечается также влияние жесткости технологической системы, вибраций и износа инструмента [3], приводящее к отклонению фактических параметров поверхности от расчётных.

В ряде работ задача выбора режимов резания предлагается к рассмотрению [3, 4, 5] в виде задачи многокритериальной оптимизации. Вектор управляемых параметров задаётся как $X = \{v, s, t\}$, где v — скорость резания, s — подача, t — глубина резания. В качестве основных критериев, как правило, рассматриваются показатели качества поверхности, производительности и стойкости инструмента:

Минимизация шероховатости поверхности [5]:

$$F_1(X) = Ra(v, s, t) \rightarrow min\,, \quad (1)$$

где Ra характеризует качество обработанной поверхности.

2. Максимизация производительности обработки [5] :

$$F_2(X) = Q = 1000 \cdot v \cdot s \cdot t \rightarrow max, \quad (2)$$

где Q — производительность процесса резания (объём снимаемого материала в единицу времени, мм³/мин) [5].

3. Критерий стойкости инструмента (максимизация времени работы) [5]:

$$F_3(X) = T_{\text{раб}}(v, s, t) \rightarrow max\,, \quad (3)$$

где $T_{\text{раб}}$ стойкость инструмента (время работы до достижения предельного износа или отказа).

Подчёркивается, что данные критерии являются противоречивыми [4, 5], поскольку увеличение производительности обработки, как правило, сопровождается ухудшением качества поверхности. В связи с этим решение задачи осуществляется на основе поиска компромиссных, в том числе Парето-оптимальных, режимов.

Заключение. Таким образом, проведённый анализ литературы показывает, что в современных исследованиях задача выбора режимов резания при обработке на станках с ЧПУ рассматривается в рамках многокритериальной оптимизации [3, 4, 5]. Отмечается, что использование данного подхода позволяет учитывать противоречивые требования к качеству поверхности, производительности обработки и стойкости инструмента. Рассмотренные положения могут служить основой для дальнейшего развития методов выбора режимов резания и их интеграции в системы управления ЧПУ.

REFERANCES

1. Abellán-Nebot J. V., Vila C., Siller H. R. A review of the factors influencing surface roughness in machining and their impact on sustainability // Sustainability. – 2024. – Vol. 16, № 5. – P. 1917.
2. Simon S., Yusubov N. D., Amirli S. F. Surface roughness of chromonickel steel after water jet machining // Russian Engineering Research. – 2025. – Vol. 45, № 3. – P. 341–345.
3. Yusubov N. et al. (2025). The Influence of Cutting Conditions and Tool Wear on Machining Efficiency in CNC Machine Tools // Machine Science. – P. 4–19.
4. Patil S., Sathish T., Rao P. S., et al. Optimization of surface roughness in milling of EN24 steel using response surface methodology // Frontiers in Materials. – 2024. – Vol. 11. – P. 1269608.
5. V.I. Guzeev, N.D. Yusubov, H.M. Abbasova, R.Y. Dadashov, Optimization of the number ofmachining stages workpieces for mechanical engineering parts, Machine science, N2, pp.4-12,2024. https://doi.org/10.61413/VZRV4922.