Анализ технологической системы и параметров, влияющих на качество поверхности при точении на станках с ЧПУ

Юсубов Низами[1], Мардонов Умиджон[2], Аббасова Хейран[1], Дадашов Рамил[1]
[1]Азербайджанский технический университет, Баку
[2]Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В статье выполнен анализ процесса обработки на токарных станках с ЧПУ как сложной нелинейной технологической системы, в которой шероховатость поверхности (Ra) формируется под комплексным воздействием глубины резания, подачи, скорости резания, геометрии инструмента и его износа, и на основе моделирования предложена эмпирическая математическая модель её оценки.

Ключевые слова: токарный станок с ЧПУ, качество поверхности, шероховатость, технологические параметры, моделирование.

Введение. В современном машиностроении качество деталей во многом зависит от состояния поверхности, где шероховатость (R_a) является одним из ключевых показателей. На токарных станках с ЧПУ качество поверхности определяется правильным выбором технологических параметров, а сам процесс носит нелинейный и многопараметрический характер [1]. Согласно литературе, подача является основным фактором влияния; скорость резания и глубина резания оказывают косвенное воздействие, а геометрия и износ инструмента играют важную роль в формировании микрорельефа поверхности [2, 3].

Цель исследования и анализ технологической системы. Целью исследования является анализ процесса обработки на токарных станках с ЧПУ как технологической системы и определение роли основных параметров, влияющих на шероховатость поверхности (R_a). Для достижения этой цели анализируется влияние технологических параметров, исследуются механизмы формирования поверхности и обосновывается построение эмпирической модели.

Процесс обработки на станках с ЧПУ представляет собой нелинейную технологическую систему. Входные переменные: t, s, v, r, γ, α, h_a; выходная переменная - R_a, что представлено выражением (1):

$$R_a = f(t, s, v, r, \gamma, \alpha, h_a) \quad (1)$$

Анализ выражения (1) показывает, что подача является доминирующим параметром, влияющим на шероховатость; радиус при вершине резца способствует сглаживанию поверхности; скорость и глубина резания оказывают косвенное влияние через увеличение сил резания и вибраций, что может ухудшать качество поверхности [3].

Построение эмпирической модели. Аналитическое описание зависимости шероховатости поверхности от технологических параметров затруднено из-за нелинейного и сложного характера процесса. Поэтому для

оценки качества поверхности широко применяется эмпирическое моделирование [1, 2]. Эти модели позволяют установить функциональные зависимости между технологическими параметрами и выходными показателями на основе экспериментальных данных.

Для описания шероховатости поверхности принимается многопараметрическая степенная модель, которая выражается следующим образом:

$$R_a = C \cdot t^{x_1} \cdot s^{x_2} \cdot v^{x_3} \cdot r^{x_4} \cdot \gamma^{x_5} \cdot \alpha^{x_6} \cdot h_a^{x_7} \quad (2)$$

Параметры модели: C - константа; x_i - показатели степени влияния; t - глубина резания; s - подача; v - скорость резания; r - радиус вершины; γ - передний угол; α - задний угол; h_a - износ инструмента.

Модель позволяет количественно оценить влияние каждого параметра, а коэффициенты определяются на основе экспериментальных данных. Для упрощения расчетов модель (2) линеаризуется путем логарифмирования и приводится к виду (3):

$$\ln(Ra) = \ln(C) + x_1 \ln(t) + x_2 \ln(s) + x_3 \ln(v) + x_4 \ln(r) + x_5 \ln(\gamma) + x_6 \ln(\alpha) + x_7 \ln(h_a) \quad (3)$$

Это преобразование позволяет применять множественный регрессионный анализ и статистически определять эмпирические коэффициенты. В результате оценивается адекватность модели и обосновывается её практическое применение. Эмпирическое моделирование создает научную базу для оптимизации процесса обработки.

Заключение. Установлено, что шероховатость поверхности при точении на станках с ЧПУ формируется под комплексным воздействием технологических параметров, среди которых подача является определяющим фактором. Скорость и глубина резания оказывают косвенное влияние, а износ и геометрия инструмента существенно воздействуют на качество поверхности.

Предложенная эмпирическая модель позволяет количественно оценивать влияние параметров и может использоваться для прогнозирования шероховатости и оптимизации режимов резания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Азербайджанского научного фонда – Грант № **AEF- MGC-2024-2(50)-16/01/1-M-01**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yusubov N., Abbasova H., Dadashov R., Salmanov I. On the matrix generalization of the theory of machining accuracy. Machine Science. 2022, vol. 11, no. 2, pp. 23-36.
2. Grzesik, W. Advanced Machining Processes of Metallic Materials: Theory, Modelling and Applications. Amsterdam: Elsevier, 2008, 536 p.
3. Balabanov I., Movlazade V., Yusubov N., Abbasova H., Dadashov R., Huseynov R., Development of a Parametric Model for Calculating Cutting Forces in External Cylindrical Turning of 20CRMN Steel (1.7147) Using an SNMG 15 06 16-pr 4425 Insert. Reliability: Theory and Applications, Vol. 20, Issue 7, pp. 335-342, 2025.