

Основные технические характеристики установок вакуумного электродугового нанесения упрочняющих покрытий

Параметры	Модель			
	ВУ-2МБС	УРМ3.279.048	УРМ3.279.070	Булат-3Т
Предельное давление, Па	$1,33 \times 10^{-3}$	$6,65 \times 10^{-4}$	$1,33 \times 10^{-4}$	$1,33 \times 10^{-3}$
Размер камеры, мм	Ø700x776	560x550x240	Ø700x1100	Ø900x500
Время достижения предельного давления, мин	20	20	30	30
Потребляемая мощность, кВт	40	60	30	50
Количество циклов за смену	6-8	6-8	8-10	6-8
Производительность, м ² /цикл	0,5	Количество позиций для установки деталей не менее 64 шт.	Количество позиций для установки деталей не менее 54 шт.	0,04
Количество: - электродуговых испарителей, шт. - ионных источников, шт.	4 -	2 -	2 1	2 -
Масса, кг	2400	2500	2500	2000

ДК 621.831

М.М. Кане, Б.В. Иванов

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЯ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЕН ЧЕРВЯЧНЫМИ ФРЕЗАМИ
ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ**

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Задача оптимизации режимов резания заключается в определении таких их значений, которые обеспечили бы максимальную эффективность в том или ином смысле процесса резания в заданных конкретных производственных условиях при выполнении всех требований, предъявляемых к технологическому процессу. Данная задача относится к классу задач параметрической оптимизации при разработке технологических процессов. При ее решении широко используются операционные модели, в которых отражаются требования, предъявляемые к искомому проектному решению, и факторы, которые должны быть учтены при принятии этого решения /1, 2/.

При технологическом проектировании операционные модели записывают в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} F(x_1, x_2, \dots, x_n) &\rightarrow \min(\max) \\ g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq b_j, j = \overline{1, m} \\ a_{1i} \leq x_i &\leq a_{2i}; i = \overline{1, n} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n – оптимизируемые параметры процесса, которые могут принимать значения из множества $[a_{1i}, a_{2i}]$ действительный чисел; $F(x)$ – целевая функция, которую необходимо оптимизировать (она должна принять минимальное или максимальное значение при соблюдении условий, наложенных на функции $g_j(x_1, x_2, \dots, x_n)$ и значения x_i); b_j – заданные действительные функции.

Очень часто при оптимизации режимов резания в качестве $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ принимается доля себестоимости операции C_p , зависящая от режимов резания

$$C_p = t_o E_p + \frac{\Delta k}{\Psi}$$

где t_o – основное время операции, E_p – себестоимость 1 мин. работы станка и рабочего; Δk – сумма всех затрат за период стойкости инструмента; Ψ – число заготовок, обработанных за период стойкости.

$$\text{Так как } t_o = \frac{L_{p.x.} \cdot Z_d}{S_o \cdot n \cdot \varepsilon \cdot q} \quad \text{и} \quad \Psi = \frac{T \cdot S_o \cdot n \cdot \varepsilon \cdot q}{L_{p.x.} \cdot Z_d} \quad \text{то}$$

$$C_p = \frac{L_{p.x.} \cdot Z_d}{S_o \cdot n \cdot \varepsilon \cdot q} \left(E_p + \frac{\Delta k}{T} \right)$$

где $L_{p.x.}$ – длина рабочего хода фрезы или стола, мм; Z_d – число зубьев детали, S_o – подача на оборот детали; ε – число заходов фрезы; q – количество одновременно обрабатываемых деталей, n – число оборотов фрезы, T – период стойкости инструмента.

Минимизация величины C_p должна достигаться при наложении определенных ограничений на важнейшие в данных условиях параметры качества нарезаемых колес (для шестерен трансмиссий рабочих и транспортных машин такими параметрами могут быть показатели точности зубьев $F_{\beta r}$, f_{ir}'' и параметры качества поверхности зубьев R_a, H_μ), мощность резания N , крутящий момент M_{kr} от максимальной силы резания, предельные значения n и S_o для данного станка, износ h по задней грани фрезы за время T ее работы. Эти параметры могут быть рассчитаны по формулам:

Как показали исследования [3, 4], взаимосвязи параметров качества зубчатых колес при их зубофрезеровании червячными фрезами с режимами резания с достаточной точностью могут быть описаны полиномом первой степени.

$$\begin{aligned} f_{ir}'' &= a_o + a_1 V + a_2 S \\ F_{\beta r} &= b_o + b_1 V + b_2 S \\ R_a &= c_o + c_1 V + c_2 S \\ H_\mu &= d_o + d_1 V + d_2 S \end{aligned}$$

здесь V , S – скорость резания и осевая подача при зубофрезеровании; $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2, c_0, c_1, c_2, d_0, d_1, d_2$ – коэффициенты уравнений регрессий, найденные для определенных условий зубофрезерования, f_{ir}'' – колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе, F_{pr} – погрешность направления зуба, R_a – параметр шероховатости поверхности зуба, H_μ – микротвердость поверхности зуба.

Мощность резания

$$N = K_p \cdot m^{1,7} \cdot S_0^{0,9} \cdot V / D_{ф}$$

где m – модуль нарезаемого колеса, мм; $D_{ф}$ – диаметр фрезы; $K_p = 0,12$ для стали и $0,06$ для чугуна.

Мощность, расходуемая электродвигателем:

$$N_{ст} = N / \eta$$

где $\eta = 0,4-0,5$ – коэффициент полезного действия зуборезного станка.

Мощность $N_{ст}$ не должна превышать фактическую мощность электродвигателя станка $N_{ст\ фак}$

Крутящий момент от максимальной силы резания на шпинделе фрезы

$$M_{кр.фр.} = P_z \cdot R_{фр} = K_p \cdot m^{X_p} \cdot S_0^{Y_p} \cdot R_{фр}$$

где значения коэффициентов K_p , X_p , Y_p могут быть приняты по /5, табл. 11/; $R_{фр}$ – радиус фрезы.

Крутящий момент от максимальной силы резания на шпинделе изделия

$$M_{кр.д} = P_z \cdot R_d = K_p \cdot m^{X_p} \cdot S_0^{Y_p} \cdot R_d$$

где R_d – диаметр делительной окружности нарезаемого колеса.

Значения $M_{кр.фр.}$ и $M_{кр.д}$ не должны превышать соответствующих предельных значений по паспорту зубофрезерного станка.

Износ h по задней грани фрезы за время T ее работы

$$h = 1,36 \cdot 10^{-6} \cdot T^{0,79} \cdot S_0^{1,34} \cdot V^{2,3} \cdot m^{0,5} \cdot Z_d^{-0,25}$$

Значение h не должно превышать $h_{доп}$ для принятого периода стойкости фрезы T . Значение $h_{доп}$ может быть принято по /6, табл. 4.9/.

Таким образом операционная модель процесса зубофрезерования цилиндрических зубчатых колес для оптимизации режимов резания S и $V(n)$ может быть записана в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 & \frac{L_{px} \cdot Z_D}{S_o n \varepsilon q} \left(E_p + \frac{\Theta_k}{T} \right) \rightarrow \min \\
 & a_o + a_1 V + a_2 S \leq f_i'' \\
 & b_o + b_1 V + b_2 S \leq F_\beta \\
 & C_o + C_1 V + C_2 S \leq R_a \\
 & H_{\mu \min} \leq d_o + d_1 V + d_2 S \leq H_{\mu \max} \\
 & \frac{K_p \cdot m^{1,7} \cdot S_o^{0,9} \cdot V}{D_{фр} \cdot \eta} \langle N_{ст} \\
 & K'_p \cdot m^x \cdot S_o^y \cdot R_{фр} \langle M_{кр.фр.доп} \\
 & K''_p \cdot m^{x'} \cdot S_o^{y'} \cdot R_d \langle M_{кр.д.доп} \\
 & 1,36 \cdot 10^{-6} \cdot T^{0,79} \cdot S_o^{1,34} \cdot V^{2,3} \cdot m^{0,5} \cdot Z_d^{-0,25} \langle h_{доп} \\
 & n_{\min} \leq n \leq n_{\max} \\
 & S_{\min} \leq S \leq S_{\max}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Решение данной задачи возможно с помощью методов линейного программирования /2/.

Если ограничение для H_μ описать в виде полинома второй степени, то для решения системы (2) необходимо использовать методы нелинейного программирования, например, градиентные методы. В обоих случаях решение системы (2) может быть найдено графическим методом /2/.

Литература. 1. Капустин Н.М. Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ. М.: Машиностроение, 1976. 2. Горанский Г.К., Владимиров Е.А., Ламбин Л.Н. Автоматизация технического нормирования работ на металлорежущих станках с помощью ЭВМ. М.: Машиностроение, 1970. 3. Кане М.М. Влияние параметров режима зубофрезерования на точность цилиндрических зубчатых масс. М.: СТИН, 1999, № 8. 4. Кане М.М., Медведев А.И. Зависимость качества поверхностей зубьев цилиндрических колес от режимов зубофрезерования. М.: СТИН, 1999, № 3. 5. Медведицков С.Н. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами. М.: Машиностроение, 1981. 6. Производство зубчатых колес. Справочник. Под ред. д-ра техн. наук, проф. Б.А.Тайца. М.: Машиностроение, 1990.