

де P і $M_{кр}$ – максимальні допустимі зусилля формування і момент, що крутить, для цього агрегату; S – товщина металу; H – висота формованого гофру; R – максимальний радіус елемента, що формує, $R_{осн}$, $D_{осн}$ – основний радіус і діаметр валка, що формує.

Викладені положення щодо визначення основних технологічних параметрів процесу виготовлення профілів високої жорсткості є основою комплексної методики проектування технологічного процесу валкового формування профілів з гофрами, що періодично повторюються, яка використовується в роботі при освоєнні нових типів профілів. Використання розробленої методики дозволяє понизити відсоток переточувань валків і корегувань їх розмірів при освоєнні нових профілів, що призводять до втрат робочого часу, а також ліквідувати підвищені витрати металу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тришевский О.И. Способы усиления тонкостенных конструкций и области применения профилей высокой жёсткости / О.И. Тришевский, Ю.А. Плеснецов, А.Б. Юрченко // Сталь.– 1981. – №.3 – С.56-57.

2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах.– Одесса: ОНПУ, 2004.– Т.5 «Обработка металлов методами пластического деформирования» – 522 с.

Шелковой А.Н., Клочко А.А., Набока Е.В.

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

Новиков Ф.В.

Харьковский национальный экономический университет

имени Семёна Кузнецова, Харьков, Украина

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ТОЧНОСТИ, КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗУБООБРАБОТКИ ЗАКАЛЕННЫХ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Задачи синергетического моделирования технологических процессов оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес предлагается решать методами технологического воздействия с учетом специфических условий формообразования зубчатых колес.

При зубофрезеровании эвольвентной поверхности зубчатого колеса перемещение режущего лезвия инструмента из начального положения в конечное

положение под действием управляющих воздействий и может быть осуществлено по различным траекториям в рамках технологических и технико-экономических ограничений. Каждой траектории соответствует определенное значение критерия оптимальности. Математическое моделирование оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес выходит на изменение процессов формообразования поверхностного слоя зубчатых колес во времени и рассматривается в динамике в виде схемы двухпараметрического адаптивного управления процессом скоростного зубофрезерования при формировании поверхностного слоя (рис. 1).

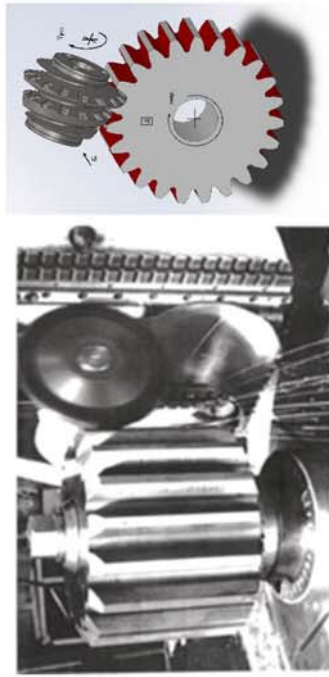
Задача оптимального управления процессом зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес дифференциально аппроксимируется на два этапа: первый связан с обоснованием выбора значений технологических параметров режима резания, удовлетворяющим заданному критерию качества, параметрами формирования толщины срезаемого слоя глубины резания; второй – предполагает управление режимами резания с целью поддержания оптимального значения показателя критерия качества в условиях действия на процесс возмущающих воздействий. В том случае, когда основными показателями оценки режимов резания является обеспечение точность обработки и качества поверхностного слоя, в качестве критерия оценки процесса используют коэффициент функционального формирования поверхностного слоя – K_p . Период стойкости T инструмента определяется глубиной резания t , подачей S_o , скоростью V и радиусом округления режущей кромки зубьев фрезы ρ , т.е. параметрами режима резания и условиями формирования с учетом параметра функционального формирования поверхностного слоя при зубофрезеровании $K_p = f(a/\rho, R_z, t_m(k), H, \mu_0, \sigma_0, h, H, \mu)$ и обрабатываемости материала C_v .

Теоретически при встречном зубофрезеровании толщина срезаемого слоя ($a_i = S_z \cdot \sin \Psi_{ск} \cdot \sin \phi$, где S_z – подача на зуб; ϕ – угол профиля зуба фрезы в нормальном сечении) изменяется от «0» до «max», при попутном от «max» до «0». Фактически прерывистый характер резания, нестабильность процесса съема металла с обрабатываемой поверхности, наличие СОЖ или ее отсутствие, радиус округления ρ режущего лезвия фрезы создают условия образования стружки и формирования состояния поверхностного слоя с учетом наличия скольжения зуба фрезы относительно обрабатываемой поверхности, когда съема стружки не происходит. Определение угла скольжения ($\Psi_{ск}$) зуба фрезы как раз и определяет условия при котором начинается процесс резания согласно установленным теоретическим зависимостям, базирующихся на основополагающих научных принципах трибологии и теории резания:

$$\Psi_{ск} = \arcsin \frac{0,5 \cdot \rho}{S_z \cdot \sin \phi} \text{ без СОЖ}, \quad \Psi_{ск} = \arcsin \frac{0,31 \cdot \rho}{S_z \cdot \sin \phi} \text{ с СОЖ}.$$

Впервые установлены условия для определения углов скольжения зуба фрезы, которые позволяют на основе синергетического подхода изучения процесса формообразования определить стабильные режимы резания и повысить стойкость фрезы.

Схема кинематического расчета процесса резания при зубофрезеровании



Порядок расчетов

$$j=0, \rho=\rho_0, \alpha=\alpha_0, \gamma=\gamma_0, \Delta_j=0, W_z=0, W_z=R_0, R_z=R_0$$

$$\Delta = f(m_n)$$

$$\phi = f(\alpha, \gamma)$$

$$d_{фр} = f(m_n, z_{\phi})$$

Расчет параметров режущего лезвия

$$a_i = f(\rho, SOЖ)$$

$$\epsilon = f(\varphi, \varphi_1)$$

$$t_0 = f(d_{фр}, z_{\phi})$$

$$S_0 = f(m_n, z_{\phi}, \sigma_{6,3})$$

$$\psi_{max} = f(\Delta, d_{фр})$$

$$K_{фр} = f(\psi_{с.мин}, \psi_{max})$$

$$a = f(\lambda_n, c_u, \rho_u)$$

$$\psi_{с.мин} = f(a_i, S_0, \phi)$$

$$b_i = f(d_{фр}, S_0, \Delta_i)$$

$$n_{обр.} = f(S_0, b_i)$$

$$\omega = f(v, d_{фр})$$

$$V = f(W_z, R_z, S_0, K_{фр}, a_i, \rho, \gamma)$$

$$n_{обр.} = f(S_0, \Delta, \psi_{max})$$

Расчет режимов резания

$$F = f(\lambda_n, \lambda_{фр}, \phi, \epsilon)$$

$$\{m, n, k, p, q\} = f(Re, F, D, \gamma)$$

$$B = f(Re, F, D, m, n, k, p, q, \gamma)$$

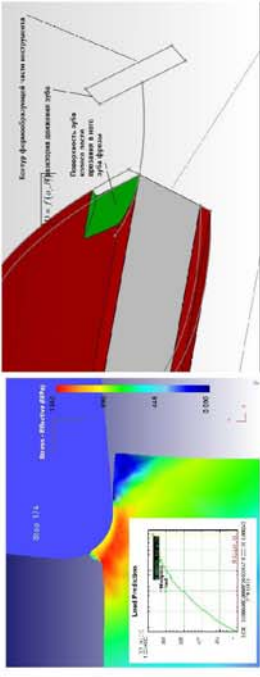
$$Pe = f(V, a, a_i)$$

$$D = f(a_i, b_i)$$

Расчет коэффициента усадки стружки

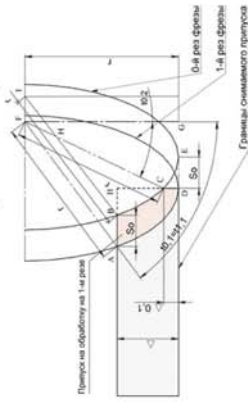
I

Схема расчета теплового процесса в зоне врезания зуба фрезы в заготовку

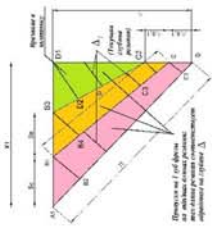


1. Врезание

Схема резания зубом фрезы на максимальном пути его врезания



Схемы эквивалентных припусков



ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

D_0 — диаметр исходного обрабатываемого изделия;
 D_1 — диаметр исходного изделия, мм;
 $S(S_0)$ — выходная (исходная) толщина зуба, мм;
 M_n — (M) — модуль нормализованный, мм;
 M_n — (M) — модуль нормализованный, мм;
 — шаг модуля фрезерования.

Δ — толщина лезвия фрезерования;
 $SOЖ$ — величина $SOЖ$ (или $\sigma_{6,3}$);
 $\psi_{с.мин}$ — коэффициент фрезерования;

Δ — толщина лезвия фрезерования;
 $\psi_{с.мин}$ — коэффициент фрезерования;
 ψ_{max} — коэффициент фрезерования;

ϕ — угол наклона зуба фрезы, мм;
 γ — радиус прилегающего зуба фрезы, мм;
 $\sigma_{6,3}$ — коэффициент фрезерования;
 $\sigma_{6,3}$ — коэффициент фрезерования;

ρ_u — радиус закругления вершины зуба, мм;
 λ_n — радиус прилегающего зуба фрезы, мм;
 $\lambda_{фр}$ — радиус прилегающего зуба фрезы, мм;
 ϕ — коэффициент фрезерования;

$\psi_{с.мин}$ — коэффициент фрезерования;
 ψ_{max} — коэффициент фрезерования;
 $K_{фр}$ — коэффициент фрезерования;

V — скорость резания, м/с;
 $n_{обр.}$ — частота вращения, об/мин;
 ω — угловая скорость, рад/с;

a_i — толщина лезвия фрезерования;
 a — толщина лезвия фрезерования;
 b_i — толщина лезвия фрезерования;

F — сила резания, Н;
 Pe — мощность резания, Вт;
 D — диаметр фрезы, мм;

m, n, k, p, q — коэффициенты фрезерования;
 B — коэффициент фрезерования;

$\lambda_n, \lambda_{фр}$ — радиусы прилегающих частей фрезы;
 ϕ — радиус прилегающего зуба фрезы, мм;
 γ — радиус прилегающего зуба фрезы, мм;

$\sigma_{6,3}$ — коэффициент фрезерования;
 $\sigma_{6,3}$ — коэффициент фрезерования;

ρ_u — радиус закругления вершины зуба, мм;
 λ_n — радиус прилегающего зуба фрезы, мм;
 $\lambda_{фр}$ — радиус прилегающего зуба фрезы, мм;

ϕ — коэффициент фрезерования;
 γ — радиус прилегающего зуба фрезы, мм;
 $\sigma_{6,3}$ — коэффициент фрезерования;

$\psi_{с.мин}$ — коэффициент фрезерования;
 ψ_{max} — коэффициент фрезерования;

$K_{фр}$ — коэффициент фрезерования;
 V — скорость резания, м/с;
 $n_{обр.}$ — частота вращения, об/мин;

ω — угловая скорость, рад/с;
 a_i — толщина лезвия фрезерования;
 a — толщина лезвия фрезерования;
 b_i — толщина лезвия фрезерования;

Рисунок 1. – Схема двухпараметрического адаптивного управления процессом скоростного зубофрезерования при формировании поверхностного слоя закаленных крупномодульных колес

При этом обеспечивается полная занятость зубьев фрезы в процессе резания и исключается полное скольжение, когда зуб фрезы работает как индентор без съема металла. Изменение толщины срезаемого слоя при достижении минимального угла скольжения $\psi_{ск}$ изменяет коэффициент трения при наличии обязательного всплеска (скачка), что неблагоприятно сказывается на динамике процесса резания и качества обработанной поверхности. Соотношение между углом скольжения $\psi_{ск}$ и наибольшим углом контакта зуба фрезы ψ_{max} с обрабатываемой поверхностью позволяет установить эффективность процесса формирования поверхностного слоя через коэффициент K_p (без применения СОЖ и с СОЖ) и получить удобные для теоретических и экспериментальных исследований выражение коэффициента эффективности формирования поверхностного слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Имитационное моделирование в задачах машиностроительного производства в 2-х томах, Т. 2: учеб. пособие / А.В. Беловол, А.А. Ключко, Е.В. Набока, А.О. Скоркин, А.Н. Шелковой; под редакцией А.Н. Шелкового – Х.: НТУ «ХПИ», 2016. – 323 с.

2. Шелковой А.Н. Технологическое обеспечение заданной системы параметров поверхностного слоя цилиндрических закаленных крупномодульных зубчатых колес / А. Н. Шелковой, Ю. В. Тимофеев, А. А. Ключко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: зб. наук. пр. Тематичний випуск : Різання та інструмент в технологічних системах. – Харків : НТУ «ХПІ», 2013. – № 83. – С. 286-295.

Шкурупий В.Г., Новиков Ф.В.

Харьковский национальный экономический университет
имени Семена Кузнеця, Харьков, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ

Для обеспечения высокой отражательной способности поверхностей металлических изделий используют механическую обработку, электрохимическое или химическое полирование, которые в силу специфики процесса создают поверхностные слои с благоприятной тонкой структурой и обеспечивают максимальные значения контактной разности потенциалов (КРП). В настоящее время традиционными методами получения высокой отражательной способности лазерных зеркал из различных материалов (медь, алюминий и его сплавы, молибден и др.) является обработка резанием, как лезвийная - точение резцами из природных алмазов, так и обработка свободными абразивами – полирование (доводка) с применением смоляных полировальников и технологических сред,