

На основе проведенных экспериментальных исследований и анализа полученных результатов были сделаны следующие выводы:

1. Установлено, что давление выше 6,5 ГПа активирует процесс спекания порошка за счет пластической деформации алмазных микрочастиц, высокая температура увеличивает степень его пластической деформации, а карбидообразующие элементы позволяют снизить параметры Р,Т-обработки. При этом образование прямых межзеренных связей происходит при взаимодействии друг с другом пластически деформированных зерен микропорошка АСМ(Si).

2. Порошок УДА(В) служит активатором спекания алмазного микропорошка, улучшает физико-механические свойства композиционного материала за счет более прочного связывания зерен алмазного микропорошка.

1. Ковалевский, В.Н. Структурообразование карбидокремниевой матрицы в композиции алмаз – карбид кремния / В. Н. Ковалевский, С. К. Гордеев, С. Б. Корчагина, И. В. Фомихина, А. Е. Жук // Огнеупоры и техническая керамика. – 2005. – № 5 – С. 8–14.
2. Наноалмазы детонационного синтеза: получение и применение / П.А. Витязь [и др.] – Минск: Беларус. навука, 2013. – 381 с.

УДК 621.002

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЁН ЧЕРВЯЧНЫМИ ФРЕЗАМИ, ИСХОДЯ ИЗ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА ШЕСТЕРЁН

Кане М.М., Шелег В.К., Кравчук М.А., Кот П.И.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Как показано в работах [1, 2 и др.] режимы зубофрезерования цилиндрических шестерён червячными фрезами влияют на основные показатели качества шестерён. На всех последующих операциях упрочнения и отделки шестерён имеет место закономерное изменение этих показателей [3]. Таким образом, управляя режимами зубофрезерования шестерён, можно обеспечить качество готовых шестерён. В современных справочных изданиях [4 и др.] отсутствуют данные, позволяющие назначить режимы зубофрезерования с учётом конкретных требований к параметрам качества шестерён. Нами предложена методика решения данной задачи.

Задача комплексной 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. При технологическом проектировании операционные модели записывают в следующем виде:

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

где x_1, x_2, \dots, x_n – оптимизируемые параметры процесса, которые могут принимать значения из множества $[a_{1i}, a_{2i}]$ действительных 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 $C_p = t_0 E_p + \frac{\Delta_k}{R}$, где t_0 – основное время операции; E_p – себестоимость 1 мин работы станка и рабочего; Δ_k – сумма всех затрат за период стойкости инструмента; R – число заготовок, обработанных за период стойкости. Так как

$$t_0 = \frac{L_{p.x} z}{S_0 n \varepsilon q} \quad \text{и} \quad R = \frac{T S_0 n \varepsilon q}{L_{p.x} z},$$

то

$$C_p = \frac{L_{p.x} z}{S_0 n \varepsilon q} \left(E_p + \frac{\Delta_k}{T} \right),$$

где $L_{p.x}$ – длина рабочего хода фрезы или стола, мм; z – число зубьев нарезаемого зубчатого колеса, S_0 – подача на оборот заготовки; 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 шестерен (для шестерен автотракторных трансмиссий такими параметрами могут быть $F_{\beta r}$, f_{ir}'' , R_a , H_{μ} , их взаимосвязи с режимами зубофрезерования V S должны быть экспериментально определены при отладке техпроцесса), мощность резания N , крутящий момент $M_{кр}$ от максимальной силы резания, предельные значения n и S_0 для данного станка,

износ h по задней грани фрезы за время T ее работы. Эти параметры могут быть рассчитаны по формулам.

Мощность резания:

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

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

Мощность, расходуемая электродвигателем:

$$P_{\text{ст}} = P/\eta,$$

где $\eta=0,4-0,5$ – коэффициент полезного действия зуборезного станка. Мощность $P_{\text{ст}}$ не должна превышать фактическую мощность электродвигателя станка $P_{\text{ст фак}}$.

Крутящий момент от максимальной силы резания на шпинделе фрезы:

$$M_{\text{кр.фр}} = P_z R_{\text{фр}} = K_p m^{x_p} S_0^{y_p} R_{\text{фр}},$$

где значения коэффициентов K_p, x_p, y_p могут быть приняты по [2, табл. 11]; $R_{\text{фр}}$ – радиус фрезы.

Крутящий момент от максимальной силы резания на шпинделе изделия:

$$M_{\text{кр.д}} = P_z R_{\text{д}} = K_p m^{x_p} S_0^{y_p} r,$$

где r – диаметр делительной окружности нарезаемого колеса.

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

Износ h по задней грани фрезы за время T ее работы равен

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

Значение h не должно превышать $h_{\text{доп}}$ для принятого периода стойкости фрезы T . Значение $h_{\text{доп}}$ может быть принято по справочной литературе.

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

$$\left. \begin{aligned} &L_{\text{р.х}} z \left(E_p + \frac{\Xi_k}{T} \right) / S_0 n \varepsilon q \rightarrow \min \\ &a_0 + a_1 V + a_2 S \leq f_i''; \quad b_0 + b_1 V + b_2 S \leq F_\beta; \quad c_0 + c_1 V + c_2 S \leq R_a \\ &H_{\mu \min} \leq d_0 + d_1 V + d_2 S \leq H_{\mu \max} \\ &K_p m^{1,7} S_0^{0,9} V / D_{\text{фр}} \eta < N_{\text{ст}} \\ &K_p' m^{x_p} S_0^{y_p} R_{\text{фр}} < M_{\text{кр.фр.доп}}; \quad K_p'' m^{x_p'} S_0^{y_p'} R_{\text{д}} < M_{\text{кр.д.доп}} \\ &1,36 \cdot 10^{-6} \cdot T^{0,79} S_0^{1,34} V^{2,3} m^{0,5} z^{-0,25} < h_{\text{доп}} \\ &n_{\min} \leq n \leq n_{\max} \\ &S_{\min} \leq S \leq S_{\max} \end{aligned} \right\}$$

Решение данной задачи возможно с помощью методов линейного программирования.

Вывод:

Приведенные зависимости позволяют на этапе отладки процесса зубофрезерования цилиндрической шестерни червячной фрезой определить режимы зубофрезерования, которые обеспечат требуемое качество шестерён в заданных условиях производства

1. Кане, М.М. Анализ взаимосвязей некоторых параметров качества поверхностей зубьев цилиндрических шестерён с режимами зубофрезерования / М.М.Кане, В.К.Шелег, М.А.Кравчук, П.И.Кот // Сб. ст. «Актуальные вопросы машиноведения», ОИМ, Минск, 2019.
2. Медведицков, С.Н. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами / С.Н.Медведицков. – М.:Машиностроение, 1981.
3. Кане, М.М. Изменение параметров качества поверхности зубьев цилиндрических зубчатых колес на различных операциях их изготовления / М.М. Кане, А.И. Медведев // Вестник машиностроения. – 1997. – №7.
4. Режимы резания металлов: Справочник/ Ю.В.Барановский, Л.А.Брахман, А.И.Гдалевич и др. Под ред. А.Д.Корчёмкина.-М.: НИИТавтопром, 1995.

УДК 621.9.06

**ОБРАБОТКА НЕЖЕСТКИХ ЗАГОТОВОК НА ДВУХСУППОРТНЫХ
ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ**

Каштальян И.А., Шпак А.В., Небышинец А.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Резервы эффективного использования двухсуппортных токарных станков с числовым программным управлением (ЧПУ) находятся в рациональном совмещении обработки поверхностей заготовки при общей частоте вращения шпинделя. Причем число вариантов совмещения может существенно возрасти, если на станке будет реализована функция независимого управления суппортами. На двухсуппортном вертикальном патронном полуавтомате мод. 1Ф751Ф3, оснащённом микропроцессорным устройством с ЧПУ, данная задача управления решена путем включения в состав технологического программного обеспечения программного модуля, реализующего алгоритм независимого управления координатными перемещениями. По данному алгоритму согласование начала отработки обеих управляющих программ (для правого и левого суппортов) осуществляется с помощью признака синхронизации Н. В управляющей программе (УП) для правого (левого) суппортов под адресом Н задается номер кадра, с которого начинается отработка УП для левого (правого)