

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗЕРВОВ ПРОЦЕССА ЗУБОНАРЕЗАНИЯ

Мисевич В.С., Слюбов В.В.

Системный подход к анализу объекта или процесса - это подход, в основе которого лежит познание и изучение их элементов на основании анализа объекта или процесса в целом. В соответствии с этим, решение любой технической задачи должно начинаться с формулировки общей цели. При этом должны также быть выполнены некоторые условия и ограничения.

Общей целью наших исследований является повышение эффективности работы зубообрабатывающего оборудования. Для поиска путей ее реализации раскроем суть понятия повышение эффективности, а затем приведем дерево целей, позволяющее свести получение общего результата к решению отдельных технических задач.

В общем случае эффективность - это показатель качества системы, отражающий отношение полученного результата к средствам, затраченным на его получение. Таким образом, повышение эффективности предполагает либо повышение результата при практически неизменных затратах, либо снижение затрат на получение неизменного результата. Очевидно, что для достижения поставленной общей цели исследования необходимо использовать оба направления повышения эффективности.

Для повышения эффективности работы зубообрабатывающего оборудования необходимо решить следующие частные задачи :

- повышение производительности процесса обработки;
- снижение затрат на оборудование;
- снижение затрат на режущий инструмент;
- сокращение маршрута обработки.

В свою очередь, каждая приведенная задача также разлагается на отдельные подзадачи. Повышение производительности при зубообработке достигается следующими способами :

- повышением режимов резания;
- совершенствованием схемы срезания припуска;
- совершенствованием структуры операции;
- сокращением вспомогательного времени.

Снижение затрат на зубообрабатывающее оборудование сводится к :

- упрощению конструкции станка;
- совершенствованию технологии изготовления станка.

Снижение затрат на режущий инструмент возможно при :

- повышении стойкости червячной фрезы;
- упрощении ее конструкции (особенно для сборных фрез);
- увеличении числа переточек.

Сокращение маршрута обработки сводится к уменьшению числа операций, необходимых для полной обработки зубьев зубчатого колеса.

В приведенное выше дерево целей включены два первых уровня подцелей. Следует отметить, что указанные направления имеют различную степень эффективности и, в соответствии с этим, различный приоритет. В наших исследованиях приоритетное направление - это повышение производительности, т.е. увеличение скорости формообразования. Это основано на том факте, что время обра-

ботки зуба колеса в структуре фонда времени работы оборудования занимает главное место (до 80%) и именно его уменьшение принесет наибольший результат.

Технические резервы реализации этого направления можно систематизировать по степени эффективности следующим образом :

- изменение материала режущей части инструмента и обрабатываемого колеса;
- улучшение схемы срезания припуска;
- совершенствование структуры операции зубонарезания;
- изменение маршрута обработки зубчатого колеса;
- оптимизация и вариация режимов обработки.

Следует отметить, что наибольший общий эффект получается при одновременном использовании нескольких отдельных эффектов.

Что касается ограничений, то зубообрабатывающий станок, как и любая система, находится в окружении других систем, составляющих окружающую среду, которая накладывает определенные внешние ограничения на отдельные характеристики станка и процесса обработки. Для нашего случая можно выделить следующие внешние ограничения :

- требования эргономики (оптимальные условия труда);
- требования экологии (отсутствие или минимизация вредных отходов);
- наследственность проектируемого оборудования и технологии (новый процесс должен быть реализован на существующем оборудовании без коренного его изменения);
- использование имеющегося обслуживаемого персонала (не должны быть использованы рабочие слишком высокой квалификации);
- использование существующего инструмента с минимальными изменениями (нежелательна организация производства нового инструмента). Следует выделить также внутренние ограничения :
- качество обработки;
- численные значения режимов обработки;
- конструктивные параметры фрезы;
- параметры обрабатываемого колеса.

Формулировка общей цели исследования, поиск стратегии ее решения, перечисление факторов повышения эффективности процесса зубонарезания, определение ограничений, налагаемых на разрабатываемый процесс - все это является основой для постановки ряда конкретных технических задач, без которых невозможно получение конечного результата. Рассмотрим одну такую задачу.

Увеличение производительности зубонарезания за счет увеличения подачи наталкивается на ряд ограничений (при этом глубина и скорость резания условно считаются постоянными). Как показано ниже, учет этих ограничений приводит к выводам о направлениях совершенствования процесса зубонарезания в зависимости от параметров нарезаемого колеса (прежде всего модуля).

Толщина стружки, срезаемой зубом фрезы, определяется на основании выражения [1] :

$$az = \frac{\pi m k_{\phi}}{z_{\phi}} \sqrt{\frac{2S_0}{R_{\text{обр}}}} \frac{\sqrt{R_{\phi} - t_p}}{R_{\phi}} \sqrt[4]{2R_{\phi} t_p - t_p^2} \quad (1)$$

где m - модуль нарезаемого колеса;

$R_{\text{обр}}$ - радиус обработки (нарезаемого колеса);

S_0 - осевая подача;

t_p - глубина резания;

R_{ϕ} - радиус червячной фрезы;
 k_{ϕ} - число заходов червячной фрезы;
 z_{ϕ} - число режущих реек червячной фрезы.

На основании анализа имеющихся режимов обработки и по результатам расчетов были получены следующие допустимые значения величины толщины срезаемой стружки и осевой подачи для различных модулей :

$m = 2 \text{ мм} \text{ --->} \quad [az] = 0.20 \text{ мм}, \quad [So] = 5.0 \text{ мм/об};$
 $m = 4 \text{ мм} \text{ --->} \quad [az] = 0.25 \text{ мм}, \quad [So] = 2.8 \text{ мм/об};$
 $m = 6 \text{ мм} \text{ --->} \quad [az] = 0.33 \text{ мм}, \quad [So] = 2.8 \text{ мм/об}.$

Высота гребешков на боковой поверхности зуба колеса определяется на основании следующего выражения [2] :

$$D = \frac{S_0^2}{4D_{\phi} \cos^2 \beta} \sin(20^{\circ}) \quad (2)$$

где D_{ϕ} - диаметр червячной фрезы;
 β - угол наклона зуба колеса;
 20° - угол профиля фрезы.

Исходя из припуска под последующую обработку были определены следующие допустимые значения величин :

$m = 2 \text{ мм} \text{ --->} \quad [D\delta] = 0.015 \text{ мм}, \quad [So] = 3.5 \text{ мм/об};$
 $m = 4 \text{ мм} \text{ --->} \quad [D\delta] = 0.020 \text{ мм}, \quad [So] = 4.6 \text{ мм/об};$
 $m = 6 \text{ мм} \text{ --->} \quad [D\delta] = 0.030 \text{ мм}, \quad [So] = 6.3 \text{ мм/об}.$

Крутящий момент (от силы резания) рассчитывается из выражения :

$$M = \frac{30D_{\phi}N}{V_r} \quad (3)$$

где N - мощность резания (из таблицы 3.1 [3]);

V_r - скорость резания (из таблицы 3.1 [3]).

На основании мощности электродвигателя станка были получены следующие значения величин :

$m = 2 \text{ мм} \text{ --->} \quad \text{Мном} = 33 \text{ Н.м}, \quad [M] = 156 \text{ Н.м}, \quad [So] = 15 \text{ мм/об};$
 $m = 4 \text{ мм} \text{ --->} \quad \text{Мном} = 119 \text{ Н.м}, \quad [M] = 222 \text{ Н.м}, \quad [So] = 6 \text{ мм/об};$
 $m = 6 \text{ мм} \text{ --->} \quad \text{Мном} = 212 \text{ Н.м}, \quad [M] = 330 \text{ Н.м}, \quad [So] = 4.5 \text{ мм/об}.$

Проиллюстрируем также влияние погрешностей червячной фрезы на погрешности нарезаемого зубчатого колеса. Накопленная погрешность шага колеса определяется из выражения :

$$F_p = \begin{cases} F_{p0}, \dots \dots \dots k_{\phi} = 1; \\ F_{p0} + 2e \sin(20^{\circ}), \dots \dots \dots k_{\phi} = 2; \\ F_{p0} + 2e \sin(20^{\circ}) \cos(60^{\circ}), \dots \dots k_{\phi} = 3; \end{cases} \quad (4)$$

где F_{p0} - накопленная погрешность окружного шага фрезы;

e - радиальное биение фрезы, зависящее от точности фрезы и жесткости станка.

Погрешность профиля зуба колеса определяется из выражения :

$$ff = \begin{cases} ff_0, \dots \dots \dots k_{\phi} = 1; \\ ff_0 + 2c \sin(20^{\circ}), \dots \dots k_{\phi} = 2,3; \end{cases} \quad (5)$$

где ff_0 - погрешность профиля зуба фрезы.

Погрешность направления зуба определяется из выражения :

$$F_b = \frac{DPz \cdot m \cdot k_\phi \cdot R_\phi}{2k_{кр}} \quad (6)$$

где DPz - величина изменения силы резания;

$k_{кр}$ - крутильная жесткость суппорта станка.

На основании приведенных зависимостей и результатов можно сделать следующие выводы :

1. При обработке колес $m = 2$ мм подача ограничивается величиной $D\delta$ и, как следует из (1), для увеличения производительности необходимо увеличивать число заходов червячной фрезы $k\phi$, однако из (4 - 6) следует, что для применения многозаходных фрез необходимо увеличить точность червячной фрезы и жесткость зубофрезерного станка; кроме этого, для увеличения производительности можно использовать фрезы с улучшенными условиями стружкообразования (фреза с прогрессивной схемой [4], фреза со стружкоразделительными канавками по высоте зуба [5]).
2. При обработке колес $m = 4$ мм подача ограничена по a_z , а по $D\delta$ и моменту ограничения нет, в этом случае целесообразно применение зубофрезерования с тангенциальной подачей червячной фрезой с заборным конусом, что позволит увеличить производительность без увеличения a_z , кроме этого можно увеличить $D\phi$ и $z\phi$ при условии, что $M_{ном} < [M]$.
3. При обработке колес $m = 6$ мм подача ограничена по a_z и M , в этом случае средства увеличения производительности - введение зубофрезерования с тангенциальной подачей, а также увеличение $z\phi$ без увеличения $D\phi$.

Литература:

1. Экспериментально-исследовательская работа по совершенствованию узлов переналадки зубофрезерного полуавтомата мод.53А30. Промежуточный отчет. Технико-экономический анализ выбора направлений совершенствования станка.-Витебское СКБ ЗШ и ЗС. Инв.№ Б875905,1980.
2. Семенченко И.И., Матвеев В.М., Сахаров Г.Н. Проектирование металлорежущих инструментов.-М.:Машгиз,1962-952с.
3. Пикус М.Ю. Справочник наладчика зубообрабатывающих и резбофрезерных станков.- Мн.:Вышэйшая школа,1991-416с.
4. Медведицков С.Н. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами.- М.:Машиностроение,1981.104с.
5. Справочник инструментальщика / Под ред.П.А.Ординарцева .- Л.: Машиностроение,1987.