

УДК 621.91.04

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ ТОРЦОВЫХ ЗУБЧАТЫХ КОНТУРОВ СЕКТОРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

д-р техн. наук, доц. В.А. ДАНИЛОВ, канд. техн. наук Р.А. КИСЕЛЕВ
(Полоцкий государственный университет)

Рассмотрены пути оптимизации схемы обработки торцовых зубчатых контуров с целью снижения нагрузки на инструмент и улучшения динамики процесса резания. Результаты исследования нашли применение при создании специального секторного наклонного инструмента и станка для обработки изделий с торцовым зубчатым контуром.

Постановка задачи

Схемы резания с возможностью управления процессом обработки обеспечивают высокую производительность при минимальных энергозатратах. Достижение этого только за счет инструмента или станка зачастую невозможно, так как эффективность технологии формообразования зависит от совершенства всех ее компонентов, включая схему обработки. Синтез и оптимизация схемы обработки является важнейшим этапом функционального проектирования обрабатывающей системы, так как несовершенство схемы обработки не может быть компенсировано на этапе геометрического проектирования. Поэтому важна возможность оптимизации схемы обработки, что обеспечивает повышенную гибкость и другие технико-экономические показатели металлорежущей системы в целом. Так как схема обработки в значительной мере определяет не только параметры инструмента и его конструктивные особенности, но и всей обрабатывающей системы, то ее оптимизация обеспечивает повышения эффективности процесса обработки. Оптимизация возможна путем трансформации геометрических характеристик инструмента, обоснования количества и размещения режущих элементов, изменения направления и законов движения исполнительных органов оборудования, несущих инструмент и заготовку. В конечном счете, это позволяет снизить усилия, приходящиеся на инструмент, и создать благоприятные условия его работы, что особенно важно при дискретном процессе резания [1].

В этой связи актуальна разработка путей оптимизации схемы обработки торцовых зубчатых контуров при непрерывном движении деления за счет управления схемой формирования их поверхностей.

Анализ схемы обработки

Рассмотрим схему резания при формировании торцового зубчатого контура на детали типа ротор секторным наклонным инструментом (рис. 1). Заготовке 1 и инструменту 2 сообщают согласованные вращательные движения B_1 и B_2 вокруг скрещивающихся осей и относительное движение подачи Π_3 вдоль оси вращения заготовки, режущие элементы инструмента располагают по окружности в угловом секторе, не превышающем половины дуги окружности, инструмент устанавливают с эксцентриситетом e относительно геометрической оси и под углом ρ к оси вращения. Величина угла ρ и параметры настройки обрабатывающей системы определяются геометрией торцового зубчатого контура [2].

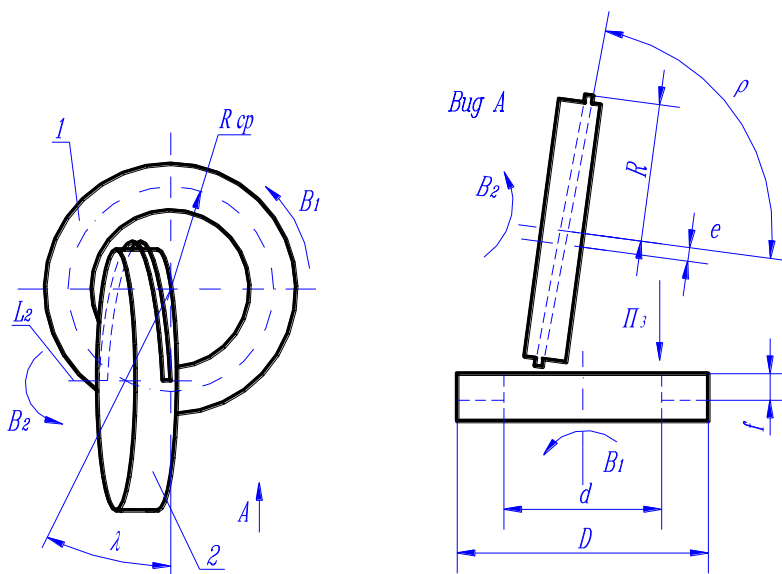


Рис. 1. Схема обработки торцовых зубчатых контуров

Схема снятия припуска со следами реза, параллельными дну паза, будет иметь место только при скачкообразной подаче инструмента вдоль оси вращения заготовки. При этом подача должна осуществляться в момент отсутствия контакта инструмента с заготовкой на величину t за один оборот заготовки каждый раз в одном и том же месте по отношению к последней. При равномерной подаче инструмента на величину t за один оборот заготовки схема снятия припуска имеет вид, представленный на рисунке 2.

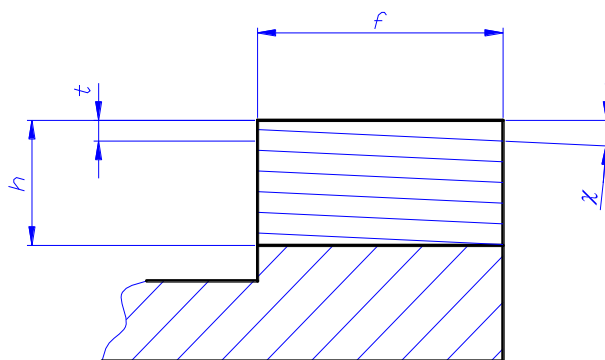


Рис. 2. Схемы снятия припуска при обработке прерывистых поверхностей резцовой головкой методом врезания

Угол наклона χ траектории движения резания определяется геометрией инструмента и обрабатываемой заготовки и находится по формуле:

$$\chi = \arctg \left(\frac{t \arcsin \left(\frac{f}{2R} \right)}{\pi f m} \right), \tag{1}$$

где t – подача инструмента на один оборот заготовки; f – ширина формируемого венца; R – радиус инструмента; m – число формируемых пазов.

Величина этого угла должна учитываться при проектировании геометрии режущей части инструмента.

Из анализа данной схемы следует, что управление процессом резания возможно за счет подачи и геометрии инструмента.

Оптимизация схемы резания

С учетом вышеизложенного предложена конструкция секторного наклонного инструмента, при обработке которым подача определяется двумя величинами. Первая – это перемещение самого инструмента t , сообщаемое ему станком вдоль оси вращения заготовки, которое должно удовлетворять условию:

$$t \leq 2e, \tag{2}$$

где e – эксцентриситет установки инструмента.

Вторая подача создается за счет эксцентричной установки инструмента. Она предопределяет максимальную величину первой подачи.

При эксцентричной установке инструмента величина подачи на зуб является переменной величиной. Характер ее изменения рассмотрен в работе [3], где показано, что она плавно изменяется с постепенным возрастанием в начале и уменьшением в конце формирования паза, что благоприятно влияет на динамику процесса резания.

Таким образом, управляемыми параметрами при обработке наклонным секторным инструментом являются эксцентриситет его установки и величина механической подачи.

При обработке торцовых зубчатых контуров по рассматриваемой схеме формообразования в контакте с заготовкой находится различное количество режущих элементов, максимальное значение которого определяется геометрическими характеристиками зубчатого контура и инструмента и составляет

$$Z_{\max} = \frac{2 \arcsin \left(\frac{f}{2R} \right)}{\psi} + 1, \tag{3}$$

где ψ – угловой шаг расположения режущих элементов.

Максимальная суммарная составляющая сил резания, действующая на инструмент, рассчитывается по зависимости:

$$P = \sum_{i=1}^{Z_{\max}} P_{Z_{\max i}}, \quad (4)$$

где $P_{Z_{\max i}}$ – максимальное значение главной составляющей сил резания, приходящейся на i -й режущий элемент.

Если минимально необходимое количество режущих элементов Z в угловом секторе инструмента можно приближенно определить исходя из допустимой подачи на зуб S_z по зависимости:

$$Z = \frac{t}{S_z}, \quad (5)$$

то определение оптимального количества режущих элементов вызывает затруднение.

Необходимо отметить, что в формуле (5) не учитывается неравномерное распределение припуска, срезаемого за один оборот инструмента между его режущими элементами. С учетом неравномерности действительная максимальная подача на зуб отличается от среднего значения S_z приблизительно на 40 %.

Предлагается путь оптимизации количества режущих элементов исходя из минимального значения суммарной составляющей сил резания, действующей на инструмент. Для определения его значения разработан следующий алгоритм (рис. 3).

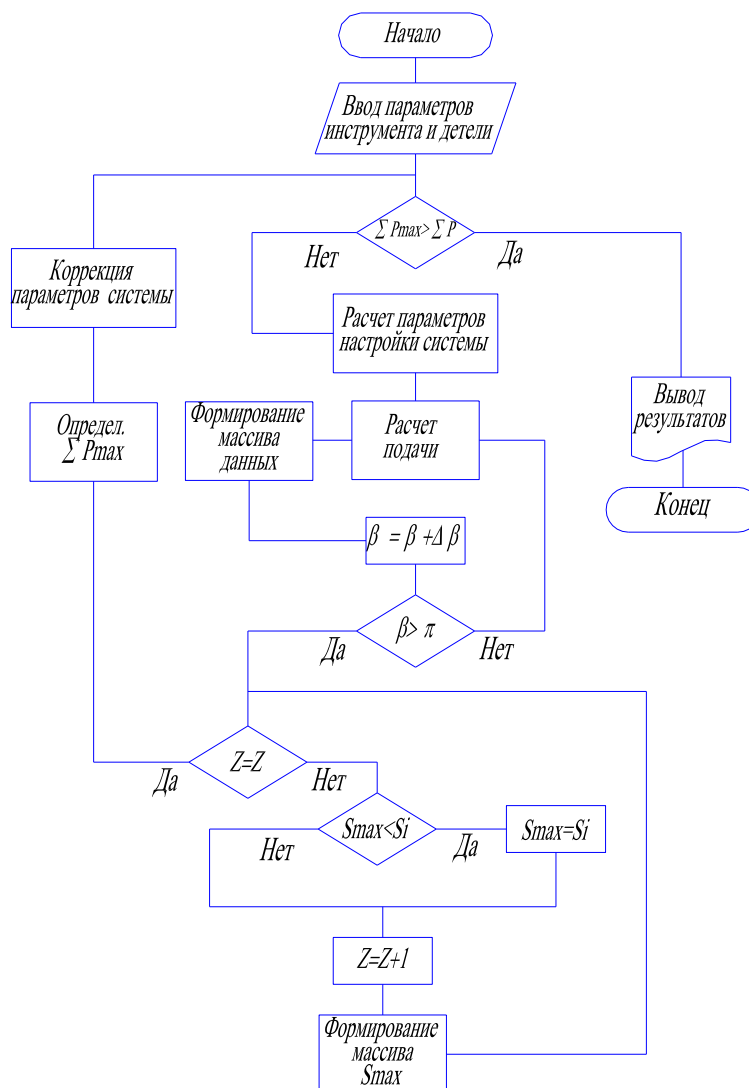


Рис. 3. Алгоритм оптимизации количества режущих элементов

Он представляет собой цикл оптимизации по количеству режущих элементов, внутри которого выполняются следующие три операции:

- расчет подачи на зуб для каждого режущего элемента инструмента;
- определение максимальной подачи на зуб за один оборот инструмента;
- определение максимальной суммарной составляющей сил резания, действующих на инструмент.

Согласно основному циклу алгоритма осуществляется сравнение суммы сил, действующих на инструмент, и выбирается вариант с их наименьшим значением, после чего следует вывод полученных результатов и завершение алгоритма.

Для реализации разработанного алгоритма разработано программное обеспечение, использование которого позволяет оптимизировать схему обработки по рассматриваемому критерию.

Оценим эффективность оптимизации на реальном примере обработки торцовых зубчатых контуров АБС автомобилей.

Параметры инструмента: радиус 80 мм; эксцентриситет установки 1,5 мм.

Параметры заготовки: ширина обрабатываемого зубчатого контура 34 мм; ширина формируемого паза 3 мм; материал заготовки – Сталь 10.

Частота вращения инструментам 80 мин^{-1} .

Используя разработанное программное обеспечение, определяется величина максимального значения суммарной составляющей сил резания, действующей на инструмент, в зависимости от общего количества режущих элементов (таблица).

Результаты анализа рассматриваемой схемы формообразования

Z	37	38	39	40	41	42	43
Z_{\max}	6						
$\Sigma S_{Z_{\max}}$	0,776	0,755	0,736	0,717	0,7	0,683	0,667
P, кН	2,23	2,19	2,15	2,11	2,06	2,03	1,99

Значения силы P рассчитывались по известным формулам теории резания.

Как показывают полученные результаты, количество режущих элементов влияет на значение суммарной составляющей силы резания, действующей на инструмент, а оптимизация инструмента по данному критерию позволяет уменьшить нагрузку на него в пределах 10...12 %.

Более детальный анализ механизма предлагаемой оптимизации показывает, что уменьшение максимальной суммарной нагрузки, приходящейся на инструмент, не снижает общие энергетические затраты на процесс резания, а влияет на их распределение при формировании торцового зубчатого контура. При этом общие затраты энергии могут и возрасти при введении дополнительных режущих элементов.

Характер зависимости максимальной нагрузки на инструмент от общего количества режущих элементов показан на графике (рис. 4).

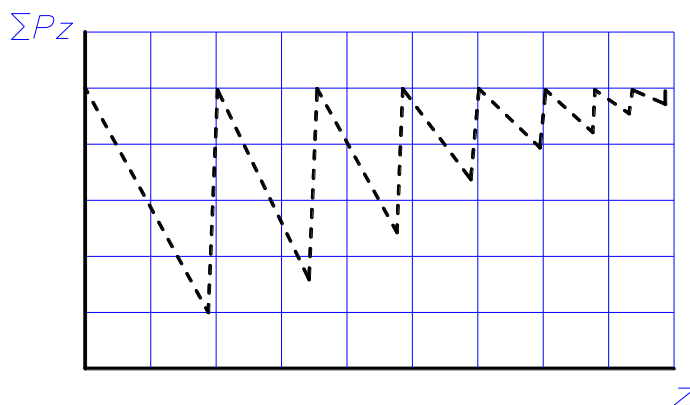


Рис. 4. Характер изменения максимальной нагрузки на инструмент

от общего количества режущих элементов

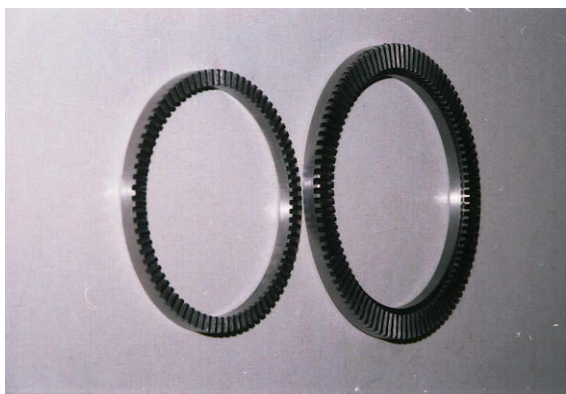
Из рисунка видно, что максимальное усилие, приходящееся на инструмент, не превышает определенного значения, а оптимизация возможна только на участках, характеризующихся общим количеством режущих элементов, одновременно контактирующих с заготовкой. Поэтому оптимизацию необходимо производить согласованно по допустимой нагрузке на отдельный режущий элемент и максимальной нагрузке на инструмент.

Таким образом, предлагаемые пути оптимизации позволяют уменьшить максимальную нагрузку на режущий инструмент, что благоприятно сказывается на его стойкости и динамике процесса резания.

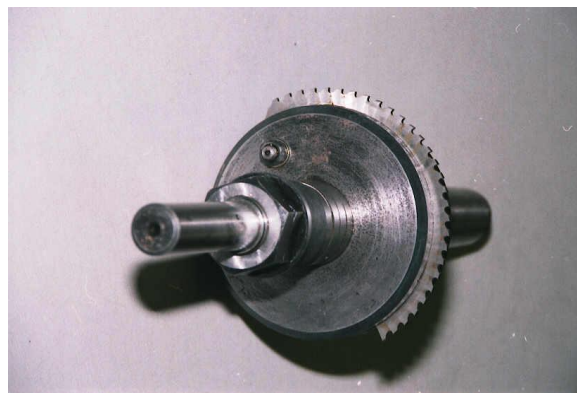
Оптимизация схемы формообразования обеспечивается не только за счет количества режущих элементов, но также заданием относительного их расположения. Такой путь оптимизации позволяет снизить значение суммарной главной составляющей сил резания, действующей на инструмент, путем перераспределения нагрузки между ними.

Практическая реализация

На основе рассмотренных методов оптимизации схемы срезания припуска созданы специальные режущие инструменты для обработки деталей с торцовым зубчатым контуром. В частности, для обработки индукторов антиблокировочной системы АБС (рис. 5, а) создан инструмент секторного типа [2] (рис. 5, б), которым оснащены специальные станки моделей ВС 50-9601 и ВС 30П-9253, реализующие высокопроизводительный способ обработки торцовых зубчатых контуров круговым протягиванием.



а)



б)

Рис. 5. Индуктор АБС (а) и инструмент (б) для его обработки

ЛИТЕРАТУРА

1. Решетов Д.Н. Детали и механизмы металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1972. – Т. 2. – 520 с.
2. Патент 553 ВУ. МПК⁷ В23С3/28. Инструмент для обработки пазов на торцах деталей / Данилов В.А., Киселев Р.А. (ВУ). – № u20010263; Заявл. 2001.11.06; Опубл. 2002.06.03.
3. Данилов В.А., Киселев Р.А. Обеспечение динамической устойчивости процесса обработки пазов на торцах деталей по схеме с непрерывным делением // Машиностроение: Республ. межведомств. сб. науч. тр. Вып. 20: В 2-х т. Т. 2 / Под ред. И.П. Филонова. – Мн.: Технопринт, 2004. – С. 22 – 28.