

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

Обработка резанием является основным процессом формообразования рабочих поверхностей изделий, поэтому повышение ее эффективности имеет важное практическое значение. Данная проблема наиболее актуальна при производстве изделий со сложнопрофильными поверхностями, достигнутый уровень технологии формообразования которых зачастую ниже, чем поверхностей простой геометрической формы. Это обстоятельство и широкое применение в технике сложнопрофильных изделий обуславливают необходимость интенсификации процессов их обработки. Целесообразен комплексный подход к решению данной проблемы, основанный на представлении технологии формообразования как совокупности схемы формообразования поверхности, метода ее обработки и обрабатывающей системы. Поэтому интенсификация процессов обработки при разработке технологий формообразования связана с синтезом и оптимизацией указанных ее структурных компонентов с учетом их взаимосвязи.

Ведущая роль в обеспечении эффективности создаваемых объектов принадлежит концептуальному проектированию. Применительно к рассматриваемой проблеме оно связано, в первую очередь, с анализом и синтезом схем формообразования, методов обработки, а также структуры реализующих их формообразующих систем, что относится к основным задачам концептуального проектирования металлорежущих станков [1]. Допущенные здесь ошибки, как показывает практика, не могут быть компенсированы на последующих этапах проектирования.

Научно-обоснованное решение указанных задач обеспечивает интенсификацию процессов обработки резанием. Следует отметить, что данное направление менее исследовано по сравнению с традиционными направлениями интенсификации процессов обработки. В этой связи актуальна разработка основ синтеза эффективных технологий формообразования сложных поверхностей. Ей посвящена работа [2], выполненная по заданию межвузовской программы фундаментальных исследований “Машиностроение”. Ниже рассмотрены некоторые аспекты данной проблемы.

Возможность обработки любой поверхности разными технологическими методами обуславливает необходимость проведения на этапе проектирования станка их сравнительного анализа для выбора более эффективного. Невыполнение такого анализа

является, видимо, причиной создания для предварительной обработки однотипных по форме и размерам поверхностей, например лопастей гребных винтов, станков, работающих торовой, концевой сферической, наклоненной торцевой фрезами или строганием. Выбор метода обработки сложной поверхности должен осуществляться исходя из разрешающей возможности режущего инструмента по критериям, учитывающим особенности процесса ее формообразования и характеристики процесса резания, определяющие эксплуатационные требования к проектируемому станку [3].

Основой сравнительного анализа служат геометрический и кинематический анализ методов обработки, при котором определяются:

– кинематические и геометрические параметры схемы резания, в частности, ширина b и толщина a среза, их средние b_{cp} , a_{cp} и максимальные b_{max} , a_{max} значения;

$$– \text{ время обработки } T_0 = Ft(1 + \mu) (Va_p m_0)^{-1}$$

где F – площадь формируемой поверхности, t – припуск, μ – отношение скоростей рабочего и холостого ходов при цикловой обработке, V – скорость резания, m_0 – длина образующих поверхностей резания, создаваемых одновременно работающими зубьями;

– показатели неравномерности $K_a = a_{cp}/a_{max}$, $K_b = b_{cp}/b_{max}$, $K_{ab} = K_a K_b$ соответственно по толщине, ширине и площади среза, характеризующие динамику процесса резания;

– коэффициент непрерывности P процесса резания, отражающий соотношение времени контакта режущих элементов с заготовкой и общего времени обработки;

– погрешность формообразования, равная максимальному отклонению h обработанной поверхности от номинальной поверхности изделия.

Исходя из указанных показателей сравнительный анализ методов обработки проводится по критериям производительности $K_T = T_{ин}/T_{нп}$, неравномерности $K_{ab} = K_{abi}/K_{abj}$ и непрерывности $K_p = P_i/P_j$, процесса резания, точности формообразования $K_h = h_i/h_j$ с учетом решающей возможности инструментов, параметров номинальной поверхности изделия и схемы ее обработки.

Данная методика является универсальной, позволяет на основе сравнительного анализа установить область рационального применения возможных методов обработки и выявить наиболее эффективные из них для реализации проектируемым станком.

Заданная поверхность может быть обработана принятым методом по множеству схем формообразования, различающихся расположением инструмента и заготовки, траекторией их относительного перемещения, формой инструментальной поверхности, методом генерации поверхности изделия, кинематикой формообразования. Схема формообразования, как основа кинематической схемы станка, определяет координатные перемещения его исполнительных органов и влияет на эффективность способа обработки [4], что обуславливает необходимость ее обоснования на стадии проектирования обрабатываемой системы. Синтез схемы формообразования состоит в определении

лении указанных ее компонентов, исходя из их влияния на производительность и точность формообразования.

Особенностью обработки сложных поверхностей является возможность зачистую только циклового генерирования образующих, что характерно для способов строчечной обработки. В этом случае при межстрочечной подаче S и скорости V движения формообразования производительность формообразования $Q = K_u V S$, где $K_u = (1 + \mu + V t_n / F)^{-1}$ – коэффициент цикловой непрерывности [4]. Он зависит от отношения m скоростей рабочего и холостого ходов в цикле, потери времени t_n между циклами, длины образующей l и площади F номинальной поверхности обрабатываемого изделия. Значение K_u и следовательно, производительности зависит от направления движения формообразования. Поэтому данный коэффициент служит количественной оценкой совершенства схем обработки по критерию непрерывности процесса формообразования.

При обработке сложных поверхностей характеристический образ инструмента обычно не конгруэнтен образующей номинальной поверхности изделия, т.е. имеет место приближенное формообразование с максимальным отклонением обработанной поверхности от номинальной, равным высоте h межстрочечных гребней. Она зависит от формы контакта производящей поверхности инструмента с номинальной поверхностью изделия и ширины строчек (элементарных поверхностей). Управление точностью профилирования за счет регулирования межстрочечной подачи снижает технологическую производительность, поэтому более эффективным является стабилизация формы контакта данных поверхностей за счет управления характеристическим образом инструмента [5] для обеспечения постоянства величины $|K_1 + K_2|$ где K_1, K_2 – кривизна образующей номинальной (элементарной) поверхностей. В этом случае производительность формообразования зависит от степени приближения элементарных поверхностей к номинальной, так как межстрочечная подача $S = (8h(|K_1 + K_2|)^{-1})^{0.5}$

Величина $|K_1 + K_2|$ численно определяет соответствие форм образующих указанных поверхностей и является количественной характеристикой критерия оптимального контакта. Минимизация и стабилизация величины $|K_1 + K_2|$ при обработке поверхности переменной кривизны обеспечивается управлением характеристическим образом инструмента (величиной K_2) за счет параметров настройки или введения дополнительного корректирующего или ориентирующего движения. Фактором, ограничивающим значение $|K_1 + K_2|$ является условие проходимости инструмента, исключающее пересечение его исходной инструментальной поверхности с номинальной поверхностью изделия. В этой связи основой для определения параметров схемы формообразования является исследование геометрии и условий контактирования данных поверхностей. При невыполнимости обоих критериев выбор общих схем обработки должен осуществляться по обобщенному критерию, оптимальному значению которого соответствует максимум выражения $K_u / |K_1 + K_2|$ Указанные критерии позво-

ляют обоснованно подойти к выбору направления и траектории движения формообразования и оптимизировать схему обработки.

Таким образом, выбор схемы формообразования включает исследование геометрии номинальной поверхности изделия, определение с учетом проходимости формы характеристического образа и производящей поверхности инструмента, задание его положения, направления и траекторий перемещения относительно формируемой поверхности, введение движений для управления характеристическим образом инструмента.

Кинематика формообразования, являясь основой кинематической схемы обработки, в значительной степени определяет кинематику станка, его производительность, универсальность и другие показатели эффективности. Поэтому ее разработка относится к основным этапам концептуального проектирования станка. Кинематика формообразования сложных поверхностей обусловлена одновременностью множества взаимосвязанных элементарных движений, создающих исполнительные движения с переменными параметрами их траекторий. Задачами синтеза кинематики формообразования являются определение количества, структуры и параметров исполнительных движений исходя из реализуемого метода формообразования поверхности и рационального распределения функции формообразования между инструментом и кинематикой станка. Следует учитывать, что перенесение функции формообразования на инструмент позволяет существенно упростить кинематику станка, однако ограничивает его универсальность и возможность управления процессом резания.

В структуре исполнительных движений предпочтительны комбинации нереверсивных движений, обеспечивающих лучшие динамические условия работы механизмов станка. Исключение реверсивных движений возможно конструктивными и кинематическими методами. На этом основаны прогрессивные способы обработки некруглых поверхностей и зубчатых колес с бочкообразными зубьями [6,7]. Сложная структура исполнительных движений обуславливает множество возможных кинематических схем обработки и соответствующих им кинематических схем проектируемого станка. Общие приемы оптимизации кинематики формообразования сложных поверхностей и построения кинематических схем обработки рассмотрены в [1, 8].

Принятая кинематическая схема обработки поверхности реализуется кинематической структурой станка, представляющей основу для проектирования его кинематики и компоновки, в значительной степени определяющих производительность, точность, универсальность и другие технико-экономические показатели. Поэтому синтез оптимальной кинематической структуры является важным условием обеспечения высокой эффективности станка. Синтез включает построение внешних и внутренних связей кинематических групп и рациональное размещение в них органов настройки с учетом принятого способа соединения групп [9]. Оптимизация кинематической структуры станков для обработки сложных поверхностей предполагает обоснованность решений по каждому этапу синтеза [10], исходя из неравномерности движений испол-

нительных органов и наличия ориентирующих движений, необходимости обеспечения как процесса формообразования, так и оптимальных условий резания. Синтез кинематической структуры упрощается при использовании типовых кинематических модулей [11]. На этой основе разработаны структуры станков, реализующих прогрессивные способы формообразования винтовых поверхностей переменного шага, некруглых зубчатых колес и колес с бочкообразными зубьями, профильных и прерывистых моментопередающих поверхностей [8, 10, 12, 13].

Изложенные принципы интенсификации процессов формообразования использованы при создании выпускаемого Витебским станкостроительным заводом им. Коминтерна широкоуниверсального станка модели ВС-50 и инструментального оснащения к нему для обработки сложнопрофильных изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Г.Н. Автоматизация проектирования металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1987. – 280 с.
2. Разработка и моделирование эффективных способов формообразования и процессов резания непрерывных и прерывистых поверхностей деталей машин в условиях автоматизированного производства: Отчет о НИР (заключ.) / Полоцкий гос. ун-т.; Руководитель работы В.А. Данилов; №ГР19974051. – Новополоцк, 1999. – 220 с.
3. Данилов В.А. Сравнительный анализ методов фрезерования сложных поверхностей // Машиностроение. – Мн., 1985. – Вып. 10. – С. 102-106.
4. Данилов В.А. Влияние схем формообразования на эффективность обработки резанием сложных поверхностей // Изв. вузов. Машиностроение. – 1982. – № 6. – С. 105–108.
5. Данилов В.А., Данилова Л.А. Определение рациональных схем профилирования сложных поверхностей // Машиностроение. – Мн., 1986. – Вып. 11. – С. 63–67.
6. Данилов В.А. Схемы формообразования некруглых цилиндрических поверхностей при обработке резанием // Изв. вузов. Машиностроение. – 1984. – № 12. – С. 100–104.
7. Данилов В.А. Прогрессивные способы обработки колес с бочкообразными зубьями // Вестник машиностроения, 1996. – № 6. – С. 12–14.
8. Данилов В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием. – Мн.: Наука і тэхніка, 1995. – 264 с.
9. Федотенок А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1970. – 403 с.
10. Данилов В.А. Некоторые пути совершенствования кинематической структуры станков для обработки сложных поверхностей // Изв. вузов. Машиностроение. – 1984. – № 8. – С. 152–157.
11. Данилов В.А. Синтез и оптимизация кинематической структуры станков с использованием типовых модулей // СТИН. – 1999. – № 7. – С. 9–15.
12. Данилов В.А. Усовершенствованные станки для нарезания колес с бочкообразными зубьями // Машиностроитель. – 1990. – № 15. – С. 14–15.
13. Данилов В.А. Станки для обработки профильных поверхностей, передающих момент // Техника машиностроения. – 1998. – № 4. – С. 102–105.