

мени и в пространстве в широких пределах. Все это определяет сложность конструкции инструмента и степень его надежности. Составляя таблицу определяющих параметров нескольких сравниваемых конструкций инструмента, а также устанавливая характер взаимовлияния параметров и возможный диапазон изменения их значений, можно произвести качественную оценку сравниваемых конструкций инструмента и выбрать более надежную из них по следующим трем важнейшим направлениям: 1) уменьшение числа определяющих параметров; 2) снижение взаимовлияния этих параметров; 3) уменьшение интервала варьирования значений определяющих параметров.

Приведем в качестве примера качественный анализ надежности напайной и сборной (с неперетачиваемыми пластинами) конструкций токарного резца. Перечень определяющих параметров сравниваемых конструкций с отметкой об их наличии или отсутствии представлен в табл. 1.

Как видно из табл. 1 и рис. 2, сборный резец отличается от напайного меньшим числом определяющих параметров, более простой их взаимосвязью и меньшими интервалами колебаний их значений. Сборные конструкции резцов по сравнению с напайными обладают большей потенциальной надежностью.

УДК 621.833.1.002:621.914

М.М.КАНЕ, канд.техн.наук (БПИ)

НОВЫЙ СПОСОБ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Автором совместно с Ю.П.Черничкиным и Г.Н.Самаровым предложен новый способ фрезерования зубьев цилиндрических зубчатых колес, который может быть реализован с помощью червячной или дисковой модульной фрезы. Его отличие от известных способов фрезерования зубьев цилиндрических зубчатых колес [1] ... [3] с использованием указанных инструментов заключается в том, что движение подачи заготовки или инструмента параллельно оси нарезаемого колеса производится импульсами с постоянными частотой и амплитудой, согласованными с частотой вращения и положением фрезы. При этом число импульсов подачи в минуту рассчитывается по формуле

$$n_{\text{имп}} = \frac{n_0 z_0}{K},$$

где n_0 — частота вращения фрезы, мин^{-1} ; z_0 — число реек червячной или зубьев дисковой модульной фрезы; K — целое число, не кратное z_0 .

Импульсное движение подачи фрезы 1 или заготовки 2 (рис. 1) происходит в момент пересоприжения зубьев фрезы в ее поперечном сечении с заготовкой, т. е. в момент, когда зуб 3 фрезы закончил либо скоро закончит резание, а последующий зуб 4 еще не вступил в контакт с заготовкой. Следовательно, движение импульсной подачи S заготовки или фрезы происходит на участке $b - c$ или $b' - c$ (на рисунке не показан) пути зуба 4 фрезы. Сплошной

линией на рисунке показано угловое положение фрезы, когда зуб 3 закончил резание и действующая на него сила резания упала до нуля, а пунктирной — положение фрезы, при котором действующая на зуб 3 сила резания снизилась до максимально допустимой с точки зрения необходимого увеличения периода стойкости фрезы при использовании данного способа. Значение этой силы резания определяется экспериментальным путем.

Применение данного способа фрезерования позволяет увеличить период стойкости режущего инструмента по сравнению с известными способами зубофрезерования червячной или дисковой модульной фрезой, а при сохранении периода стойкости инструмента на прежнем уровне — ужесточить режимы обработки и повысить производительность труда на операции зубофрезерования. Увеличение периода стойкости инструмента при использовании предложенного способа обеспечивается улучшением условий его работы, что обусловлено следующими особенностями реализации.

1. Поскольку импульсы движения подачи заготовки или фрезы производятся после поворота фрезы на K реек (зубьев), не кратное общему числу реек (зубьев) фрезы, то повышается равномерность действия сил резания на зубья фрезы. При этом каждый зуб фрезы снимает стружку максимальной толщины значительно реже, чем при непрерывном движении подачи заготовки или фрезы в период резания, и тепловой режим работы зубьев фрезы улучшается.

2. Так как процесс резания происходит в основном при отсутствии относительного осевого перемещения заготовки и фрезы, то исключается дополнительное давление заготовки на зубья фрезы, переменное по контуру зуба, т.е. снижается общая нагрузка на зубья фрезы и повышается равномерность этой нагрузки в процессе зубонарезания. Неравномерность нагрузки в различных точках задней поверхности зуба фрезы при непрерывно перемещающейся относительно него заготовке связана с изменением в этих точках угла между направлением силы давления заготовки и касательной к задней поверхности зуба в точке приложения этой силы. Изменение направления касательной к задней поверхности зуба фрезы в разных точках этой поверхности связано с криволинейной формой последней.

3. Поскольку движение подачи происходит импульсами, имеет место эффект увеличения толщины стружки, что, как известно из опыта фрезерования с попутной подачей и применения инструмента с прогрессивной схемой резания, способствует уменьшению удельной силы резания и в конечном счете приводит к увеличению периода стойкости инструмента.

4. Резание с переменной подачей, как показали исследования для различных видов обработки [4], способствует, как правило, снижению интенсивности изнашивания инструмента и повышению производительности обработки.

Наиболее благоприятные условия для реализации описанного способа фрезерования зубьев цилиндрических зубчатых колес возникают при попутной подаче заготовки (см. рис. 1) или фрезы параллельно оси заготовки. При этом усилия, необходимые для осуществления подачи, минимальны, а в механизме подач отсутствуют зазоры, что позволяет производить движение подачи импульсами с высокой частотой и малой амплитудой.

Рассмотрим основные условия применения и параметры предложенного способа фрезерования зубьев цилиндрических зубчатых колес.

Наилучшие условия для реализации этого способа будут иметь место, ког-

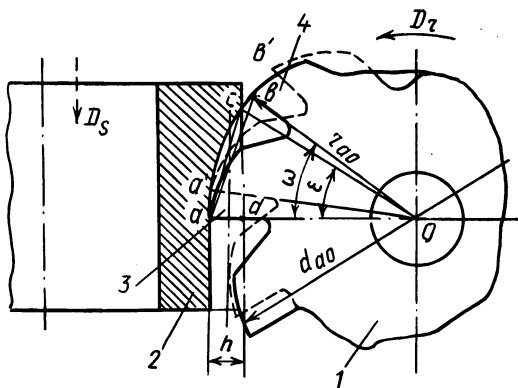


Рис. 1. Схема реализации способа фрезерования зубьев цилиндрических зубчатых колес с импульсным движением подачи:

D_r и D_s — направления движения резания и подачи

да длина дуги ab больше bc (см. рис. 1). Это условие может быть записано, как

$$\frac{\pi r_{a0} \omega}{180} > \frac{\pi r_{a0} \epsilon}{180} \quad (1)$$

или

$$\omega > \epsilon. \quad (2)$$

Найдя значение ϵ из треугольника Ocd (см. рис. 1), условие (2) можно записать в виде

$$\frac{360^\circ}{z_0} > \arcsin \frac{\sqrt{r_{a0}^2 - (r_{a0} - h)^2}}{r_{a0}},$$

где r_{a0} — радиус вершины зубьев фрезы, мм; h — высота нарезаемого зуба, мм.

При соблюдении условий (1), (2) будет иметь место момент, когда один зуб закончил резание (прошел точку a), а другой еще не вступил в контакт с заготовкой (не дошел до точки c). Однако импульс движения подачи может производиться и в момент, когда вершина зуба 3 фрезы еще не прошла точку a , так как направления движения подачи заготовки и вращения фрезы совпадают и уменьшение скорости главного движения резания из-за большой разности скоростей движения подачи и главного движения резания, что показано ниже, будет незначительным.

Расчет длин дуг L_{a-b} и L_{a-c} с достаточной точностью может быть заменен расчетом длин хорд L'_{a-b} и L'_{a-c} . Тогда необходимо, чтобы

$$L'_{a-b} > L'_{a-c}. \quad (3)$$

Условие (3) можно записать следующим образом:

$$\sqrt{2r_{a0}h} > 2r_{a0} \sin(\pi/z_0).$$

Для детали 130-1701112 ($m = 4,25$ мм, $z = 45$, $h = 7,896$ мм), изготавливаемой на Минском заводе шестерен с помощью червячной фрезы, имеющей $z_0 = 10$, $r_{a0} = 50$ мм, длина пути вершины зуба фрезы, на котором может происходить импульс движения подачи, составляет при расчете по зависимости $L = L_{a-b} - L_{a-c} = 2,9$ мм, а при расчете по зависимости $L' = L'_{a-b} - L'_{a-c} = 2,86$ мм. Расчеты показывают, что наилучшие условия применения способа наблюдаются при прочих равных условиях, если у нарезаемого зубчатого колеса $m < 4,5$ мм или если зубчатое колесо имеет отрицательную высотную коррекцию (при $m > 4,5$ мм, $h < 10$ мм). С уменьшением количества реек фрезы до 9 сдвигается допустимое значение h до 12 мм при $m = 5$ мм. Однако и при $m = 4,5$ мм, $h = 10$ мм, $d_{a0} = 100$ мм ($L = -0,6$ мм) возможна реализация данного метода, так как незначительное уменьшение скорости резания на длине $L = 0,6$ мм не может ухудшить режущие свойства червячной фрезы и качество обработки.

Следовательно, в условиях, характерных для обработки цилиндрических зубчатых колес в автотракторостроении ($m = 3 \dots 5$ мм, $d_{a0} = 80 \dots 150$ мм), применение предлагаемого способа зубофрезерования принципиально возможно и при использовании стандартных червячных фрез.

Частота импульсов движения подачи заготовки или фрезы при $n_0 = 100 \text{ мин}^{-1}$, $z_0 = 10$, $K = 3$ составляет 333 импульса в минуту.

Допустимую продолжительность импульса движения подачи (мин) можно определить по формуле

$$t_{\text{имп}} = \frac{L}{v_r \cdot 1000},$$

где L — длина пути зуба фрезы, на котором происходит импульс движения подачи, мм; v_r — скорость главного движения резания, м/мин.

При обработке детали 130-1701112 с $v_r = 30$ м/мин $t_{\text{имп}} = 0,0058$ с.

Импульс движения подачи определяется по формуле

$$l = S_0 \frac{n}{n_{\text{имп}}} = S_0 \frac{K}{z z_0 i},$$

где S_0 — подача на оборот заготовки, мм/об; n — частота вращения заготовки, об/мин; z — число зубьев нарезаемого зубчатого колеса; i — число заходов червячной фрезы.

При $S_0 = 4$ мм/об $K = 3$ $l = 0,026$ мм.

Скорость движения импульсной подачи (м/мин)

$$v_S = \frac{l}{1000 t_{\text{имп.д}}},$$

где $t_{\text{имп.д}}$ — действительная продолжительность импульса движения подачи, мин.

При обработке детали 130-1701112 и использовании спроектированного нами устройства к станку 5В312 $v_S = 0,43$ м/мин.

Следовательно, скорость движения импульсной подачи во много раз (при-

мерно в 72 раза) меньше скорости главного движения резания. Поэтому импульс движения подачи без ухудшения условий резания может происходить с опережением, т. е. до момента, когда один зуб фрезы придет в точку a . При этом будет лишь незначительно уменьшаться мгновенная скорость резания. Главное, чтобы в момент импульса зуб 4 еще не начал резание.

Минутная подача заготовки или фрезы

$$S_{\text{мин}} = l n_{\text{имп}} = l n_0 \frac{z_0}{K}.$$

Для предложенного нами устройства к станку 5В312 при $K = 3$ $n_0 = 100$ об/мин, $S_{\text{мин max}} = 26$ мм/мин, $S_{\text{мин min}} = 3$ мм/мин, т. е. можно обеспечить увеличение $S_{\text{мин}}$ по сравнению с принятыми в настоящее время режимами обработки ($S_0 = 1,5 \dots 2,5$ мм/об, $v_f = 30$ м/мин) почти в 5 раз.

Рассмотренный способ фрезерования зубьев цилиндрических зубчатых колес был реализован в условиях Минского завода шестерен и подтвердил свою высокую эффективность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овумян Г.Г., Адам Л.И. Справочник зубореза. — М., 1983. — 223 с. 2. Аленин М.П. Осуществление прерывистых осевых подач на зубофрезерных станках//Станки и инструмент. — 1967. — № 3. — С. 32. 3. А.с. 729928 (СССР). Система управления приводом подач зубофрезерного станка/С.Б.Фраймович, В.И.Шляхецкий, Ю.А.Лукашев. 4. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. — М., 1977. — 304 с.

УДК 621.923.77(088.8)

И.Л.БАРШАЙ, канд.техн.наук,
А.Л.АБУГОВ (БПИ)

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРИ СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКЕ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИЕМ И ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Применение комбинированных устройств, сочетающих иглофрезы и деформирующие элементы, требует решения задачи, связанной с определением оптимальных параметров режима обработки. В частности, необходимо определить минутную подачу такого устройства, зависящую от подачи деформирующих элементов и обеспечивающую требуемые параметры шероховатости поверхности [1]. Работа указанных совмещенных устройств [2] основана на выполнении следующих кинематических движений (рис. 1): главное движение резания иглофрез $D_{rн}$, движение круговой подачи иглофрез $D_{Sн}$, главное движение деформирующих элементов D_d , движение продольной подачи детали D_S . Направления движений $D_{Sн}$ и D_d совпадают. Указанные кинематические движения обеспечивают требуемое качество обработанной поверхности цилиндрических деталей.

Вместе с тем при невысоких скоростях движения круговой подачи игло-