

ние» в среде геометрического проектирования системы Pro/Engineer.

Далее, основываясь на рекомендациях по выбору материала электрода-инструмента [2], его изготавливают на токарном станке с ЧПУ высокой точности, чтобы сохранить исходные параметры гайки по точности и формообразованию.

Материалы, применяемые для изготовления электрода-инструмента, можно разделить на две группы: 1) графитовые и 2) металлические. Область применения электрода-инструмента из графитовых материалов обусловлена плотностью (пористостью), размерами зерен и пор, а также прочностью этих материалов. Электродные материалы на основе меди составляют основную часть металлических материалов. Наиболее часто используют электролитические меди М1 и М2, имеющие высокую электропроводность и теплопроводность.

В настоящее время разработаны композиционные материалы на основе меди с дисперсными добавками окислов, боридов и нитратов, позволяющие улучшить эксплуатационные свойства электрода-инструмента. При изготовлении электродов-инструментов из таких материалов применяют методы пористой металлургии, благодаря чему существенно повышается экономическая эффективность обработки деталей из твердых, жаропрочных и титановых сплавов, а также из термически обработанных сталей.

Съем материала с заготовки при электроэрозионной прошивке происходит благодаря линейному и вращательному движениям инструмента внутри подготовленного отверстия в заготовке. Итогом рассматриваемого процесса формообразования является гайка (рис. 5) с внутренней винтовой поверхностью.

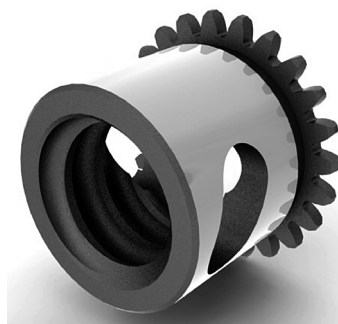


Рис. 5. Гайка с внутренней винтовой поверхностью

В процессе электроэрозионной обработки происходит износ электрода-инструмента, что в итоге влияет на точность изготовления гайки. Поэтому при определении стратегии обработки заготовки необходимо учитывать степень износа инструмента (относительный износ) в зависимости от объема материала, снимаемого с заготовки в единицу времени. Если износ инструмента будет существенно влиять на конечную точность обрабатываемого изделия, то не исключено использование в процессе обработки нескольких моделей электродов-инструментов, процесс проектирования которых должен быть продолжен по изложенной методике графического моделирования инструмента.

Список литературы

1. **Аверьянова И. О., Виноградов А. В., Продан Р. К.** Построение геометрической модели и разработка управляющей программы: Учеб. пособие. — М.: МГИУ, 2009. — 35 с.
2. **Аверьянова И. О.** Обработка деталей концентрированными потоками энергии: Учеб.-метод. пособие. — М.: МГИУ, 2005. — 88 с.

Снижение уровня деформаций срезаемых слоев при зубофрезеровании путем изменения схемы резания червячных фрез

к.т.н. Е. М. Болотина // МГИУ, г. Москва

Одним из эффективных путей роста производительности труда в машиностроительной промышленности и в металлообработке является создание новых конструкций высокопроизводительных режущих инструментов.

В большинстве машин и механизмов применяют зубчатые колеса (ЗК), а из всех современных процессов зубообработки, зубофрезерование — один из наиболее распространенных способов нарезания цилиндрических ЗК.

В результате большого цикла научно-исследовательских работ, выполненных на протяжении последних 35 лет в ВолгГТУ (г. Волгоград), был предложен ряд конструкций червячно-модульных фрез с модифицированными схемами резания, к числу особых преимуществ которых следует отнести возможность (без каких-либо существенных дополнительных затрат на изготовление) значительно (в 1,5–2 раза) повысить производительность зубообработки и примерно во столько же раз —

стойкость инструмента. Также были проведены исследования эффективности применения таких фрез.

Цель данных исследований — нахождение путей снижения степени деформации срезаемых слоев для повышения производительности зубофрезерования и стойкости зуборезных фрез.

В связи с этим актуальность исследований определялась необходимостью разработки математического аппарата и программного обеспечения метода определения износа h червячно-модульных фрез в зависимости от основных показателей интенсивности деформаций срезаемых слоев при имитационном моделировании зубофрезерования. Модель, в качестве инструмента исследования, позволяет с высокой точностью получить большой объем экспериментальных данных по разным схемам резания.

Были разработаны программы по расчету слоев, срезаемых несколькими смежными режущими кромками зуба червячной фрезы и аналитического определения его износа. С помощью этих программ определили стойкость фрез и износ их зубьев в зависимости от большого числа факторов: скорости резания; подачи; времени работы, числа зубьев и модуля.

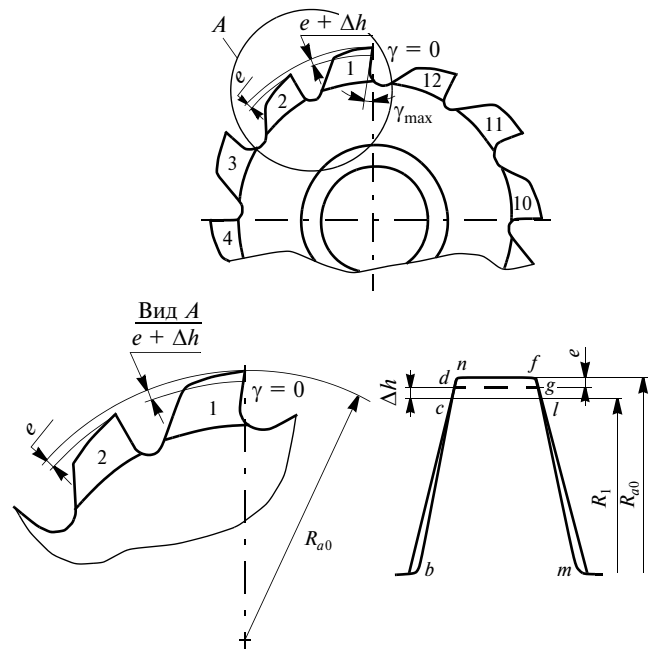
На основе полученных данных предположили, что интенсивность деформаций срезаемых слоев при работе фрез с модифицированными схемами резания существенно меньше, чем стандартных фрез. Следовательно, создание червячно-модульных фрез с модифицированными (а это — прогрессивная профильно-угловая фреза) схемами резания — основная возможность снижения уровня деформаций срезаемых слоев. Дальнейшие исследования проводили в целях подтверждения сделанного предположения.

На рисунке представлена конструкция червячной зуборезной фрезы с прогрессивной профильно-угловой схемой резания, режущие зубья которой выполнены уменьшенными по толщине и чередующимися через один с режущими зубьями, выполненными по заниженной высоте. Каждый из зубьев имеет общий участок профиля на протяжении $0,025$ модуля по высоте (а также ниже вершины головки заниженного зуба и радиальной плоскости фрезы), но отличаются тем, что передняя поверхность зубьев, уменьшенных по толщине, выполнена в виде двух участков. Один из которых примыкает к периферийной режущей кромке и ограничен радиусом, значение которого рассчитывается по формуле:

$$R_1 = R_{a0} - (e + 0,025m),$$

где R_{a0} — радиус наружного цилиндра фрезы; e — значение занижения зубьев; m — модуль фрезы.

Другой участок расположен под тупым углом к периферии и образует максимальный передний угол.



Конструкция червячной зуборезной фрезы с прогрессивной профильно-угловой схемой резания

Такая конструкция позволяет улучшить условия работы зубьев, уменьшенных по толщине, изменив путем введения максимального переднего угла на участке ниже линии пересечения передней поверхности образующей цилиндра радиуса R_1 направление схода стружки, срезаемой боковыми режущими кромками и тем самым, снизив их давление на стружку, срезаемую периферийной режущей кромкой.

Разработанные математический аппарат и программы позволяют теоретически исследовать основные показатели интенсивности деформаций срезаемых слоев, такие как угол β сдвига, коэффициент K усадки стружки и другие, что дает возможность прогнозировать значение износа h червячных фрез с разными схемами резания, не прибегая к дорогостоящим производственным экспериментам.

Была получена формула для аналитического определения максимального износа h по выходной боковой режущей кромке фрезы из быстрорежущей стали P6M5

$$h = \delta \frac{\sin 2\alpha \sin \beta (K - \sin \gamma) - \sin \gamma \cos \beta (1 + \cos 2\alpha)}{2 \sin \beta \cos \alpha (K - \sin \gamma)}.$$

Кроме того, по программе расчета износа h фрезы (с использованием системы Mathcad), проведены численные стойкостные исследования червячно-модульных фрез со стандартной (С), прогрессивной (П) и с прогрессивной профильно-угловой (ППУ) схемами резания.

Результаты расчета приведены в таблице (ξ_1 — относительный сдвиг срезаемых слоев).

Схема резания	h , мм при	
	ξ_1	$\beta_1 = 5,8$, градус
С	0,54	0,46
П	0,45	0,35
ППУ	0,34	0,39

Аналогичная тенденция выявлена и в зависимости износа h от коэффициента K усадки стружки. Следовательно, износ h прогрессивных и прогрессивных профильно-угловых фрез значительно ниже, чем стандартных фрез из-за более низких показателей интенсивности деформаций срезаемых слоев в процессе резания, что подтверждает первоначальное предположение.

Стойкостные исследования червячно-модульных фрез с различными схемами резания показали следующее.

1. Износ модифицированных червячных фрез значительно ниже, чем износ стандартных фрез.

2. При работе модифицированной червячной фрезы, в частности, с прогрессивной профильно-угловой схемой резания, график кривой ее износа поднимается полого до значений более 1 мм по задней грани. Поэтому фрезы такой конструкции могут работать до затупления в 1 мм по задним граням, в отличие от стандартных фрез, у которых при достижении износа $h = 0,8$ мм наступает ускоренный износ.

3. Износ прогрессивной профильно-угловой фрезы протекает медленнее в 2,4 раза, чем износ стандартной фрезы и в 1,6 раза медленнее, чем износ прогрессивной.

4. Значение модуля оказывает практически одинаковое влияние на стойкость стандартных, прогрессивных и прогрессивных профильно-угловых фрез, что подтверждает целесообразность расширения области применения прогрессивных профильно-угловых фрез при зубофрезеровании зубчатых колес.

5. Значения переднего угла в пределах от 8 до 14° на высотных зубьях прогрессивной профильно-угловой червячной фрезы обеспечивают повышение стойкости данной фрезы в 1,8 раза по сравнению со стойкостью про-

грессивной фрезы с нулевыми передними углами, или в 2,7 и более раза по сравнению со стойкостью стандартной фрезы.

Результаты исследования обрабатывали методами математической статистики. По результатам численных исследований были получены эмпирические зависимости и построены соответствующие графики:

$$h = 0,87 \cdot 10^{-7} v^{2,5} s^{0,14} m^{0,79} z^{-0,89} t^{1,55},$$

$$T = 0,89 \cdot 10^5 v^{-1,62} s^{-0,09} m^{-0,51} z^{0,58} k_m k_y k_{\alpha},$$

где v — скорость резания при зубофрезеровании, м/мин; s — подача фрезы, мм/об; m и z — модуль и число зубьев фрезы; t — глубина резания, мм; T — стойкость фрезы, k_m и k_{α} — коэффициенты, учитывающие влияние на стойкость физико-механических свойств материала ЗК и фрезы соответственно; k_y — коэффициент, учитывающий значение переднего угла фрезы.

Проведены экспериментальные исследования составляющих силы резания при зубофрезеровании ЗК червячными зуборезными фрезами с различными схемами резания. Эксперименты проводили на зубофрезерном станке мод. 5312. Нарезали ЗК из стали 45 (229 *HB*) модулей 3,5; 4 и 5 мм с числами зубьев 20; 30; 40 и 60. Химический состав и механические свойства стали соответствовали состоянию поставки по ГОСТ 1050—88.

Обработку производили при встречном и попутном зубофрезеровании с подачами 1,5—3 мм/об и скоростями резания 37—46 м/мин.

Согласно полученным результатам экспериментов следует, что при работе червячных фрез с модифицированными схемами силы резания значительно (в 1,11—1,12 раз) меньше стандартных зуборезных фрез в аналогичных условиях, что связано со значительно меньшим уровнем деформационных процессов.

По результатам исследований было доказано, что методом снижения уровня деформаций срезаемых слоев в процессе зубонарезания является использование червячно-модульных фрез с модифицированным профилем зубьев.

Основными областями применения обобщенных результатов натуральных экспериментов и имитационного моделирования являются области, связанные с разработкой и оптимизацией конструкций червячно-модульных фрез.

Уважаемые читатели!

Дополнительную информацию о журнале "СТИН" Вы можете получить на сайте: www.stinyournal.ru.
В разделе "Обратная связь" можно дать свои комментарии и задать интересующие Вас вопросы.

Редакция