

выбора доводочных материалов зависит готовность изделия к успешной эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чигринова, Н.М. Конспект лекций по КТОП. / Н.М. Чигринова. – Минск, 2020.
2. Суперфиниширование и микрофиниширование, понятие и особенности процессов, основные движения и наиболее распространенные схемы суперфиниширования. – Режим доступа: <https://auto.kombat.com.ua / super-finis hirovanie- mikrofinishiro vanie-ponyatie-osobennosti-protseссов osnovnyie/>.
3. Какие материалы применяются сегодня для обработки металла. – Режим доступа: <https://www.cncpals.ru/promotions-and-articles/articles/kakie-materialy-i-primenyayutsya-segodnya-dlya-obrabotki-metalla/>
4. Абразивные и смазочные материалы для доводки и притирки». – Режим доступа: <http://pereosnastka.ru/articles/abrazivnye-i-smazochnye-materialy-dlya-dovodki-i-pritirki>.

УДК621.833

ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

*М.А. Пинчук, студент группы 10506118 ФММП БНТУ,
научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Н.М. Чигринова*

Резюме – В статье описаны два новых метода обработки зубчатых колес (InvoMilling и пяти осевая обработка с использованием gear MILL), которые позволяют использовать стандартные многозадачные машины и стандартные инструменты для решения этих проблем.

Summary – This article describes two new methods of gear processing (Invo Milling and five-axis processing using gear MILL) that allow you to use standard multitasking machines and standard tools to solve these problems.

Введение. Стратегии, исторически используемые для обработки зубьев зубчатых колес, основывались на специализированных станках и режущих инструментах. Уровни качества, сроки производства и связанные с этими решениями были в целом приемлемыми, но другие элементы коммерческой ситуации – нет. В частности, отсутствие гибкости для повторного развертывания машин для различных типов зубчатых колес. Длительное время, необходимое для приобретения инструментов и машин, и высокая стоимость оборудования не позволяли производителям зубчатых колес реализовывать бизнес-планы, основанные на гибкости. Недавно разработанные альтернативы используют стандартные станки и стандартные режущие инструменты для резки зубьев шестерни. Двумя решениями, ко-

торые были особенно эффективны для того, чтобы позволить обрабатывающим центрам продуктивно резать зубчатые колеса, являются InvoMilling (рисунок 1) [1], стратегия резки инструмента и инструмент, разработанный Sandvik, и gear MILL. Программное решение, разработанное DMG Mori Pfronten, InvoMill использует торцевой инструмент для интерполяции эвольвентного зуба зубчатого колеса. Контакт между плоскостью поверхности инструмента и эвольвентой зуба описывается линией или хордой, разделяющей плоскость поверхности инструмента.

Основная часть. Траектория инструмента радиальная, как правило, от вершины до корня. Следовательно, основные переменные зубчатого колеса (модуль, угол давления и угол наклона) определяются траекторией инструмента, а не самим инструментом, а также характеристикой, обычно ассоциируемой с торцевым или боковым фрезерованием, а не зубофрезерными, зазубринными или формующими инструментами. В отличие от концевых фрез, которые режут гребешок с каждым проходом, нет корреляции между расстоянием между ступенями и текстурой поверхности для хорды контакта InvoMill. Это позволяет делать большие переходы, обычно от 5 до 15 мм, для наиболее распространенных зубчатых колес в диапазоне от 3 до 6.

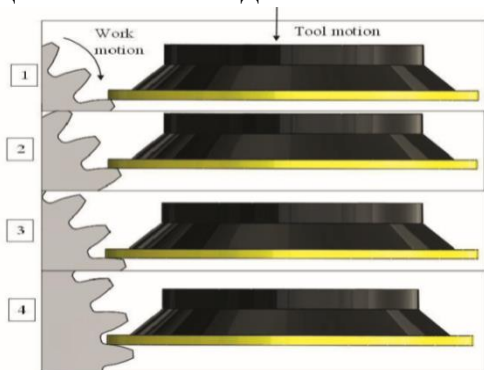


Рисунок 1 – Процесс Invo Milling
Источник: [3]

Для сравнения, конечная фреза будет ограничена переходами от 0,1 до 0,3 мм. В результате производительность Invo Milling может быть на 1- 2 порядка выше, чем резание зуба на фрезерном станке.

Однако InvoMill разделяет ограничение с концевыми фрезами, заключаемое в сложности подготовки траектории инструмента для программы ЧПУ.

Традиционные решения CAM (англ. Computer- aided manufacturing) не эффективны, так как надежные модели профилей зубчатых колес, от которых они зависят, как правило, недоступны.

Этому есть несколько причин; одна из них заключается в том, что многие устаревшие конструкции зубчатых колес предшествуют твердотельному моделированию, поэтому доступны только чертежи и параметры зубчатых колес. Поскольку системы программирования для традиционного оборудования для генерации зубчатых колес использовали параметры зубчатого колеса и не требовали надежной модели, было мало оправданий для попыток точно смоделировать сложность зуба зубчатого колеса с его тонкими усложнениями, такими как коронка, зазор наконечника и корневые модификации. Эта проблема была решена с помощью разработки программного обеспечения GearMILL для создания твердо-

тельной модели надводных передач, что позволяет программировать зубчатые колеса, в которых отсутствуют модели, и те, которые не смоделированы [2]. Процесс InvoMilling и процесс фрезерования сопоставимы процессы, потому что оба в основном используются для обработки цилиндрических зубчатых колес.

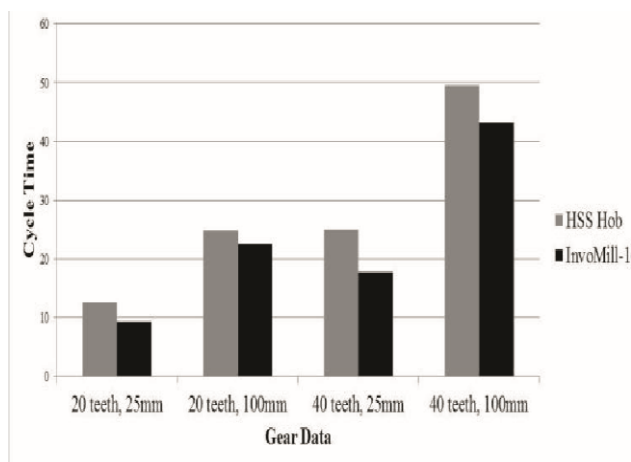


Рисунок 2 – Модуль 3 сравнения времени цикла

Источник: разработка авторов на основе [2]

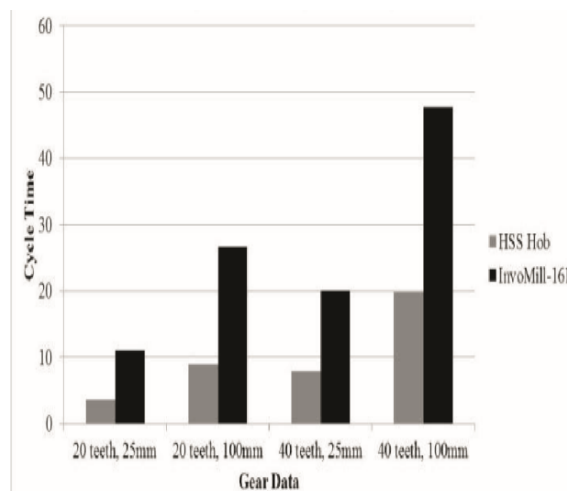


Рисунок 3 – Модуль 6 сравнения времени цикла

Источник: разработка авторов на основе [2]

Для сравнения времени цикла с использованием двух методов рассчитываются времена обработки для зубчатых колес модуля 3 и модуля 6 (рисунок 2).

Время цикла на рисунке 3 сравнивает высокоскоростную стальную варочную поверхность с двойной резкой с InvoMilling для цилиндрических зубчатых колес модуля 6 [3]. Как видно из рисунков 2 и 3, с уменьшением ширины поверхности зубчатого колеса уменьшается разрыв производительности между фрезерованием и InvoMilling. Это связано с тем, что при фрезеровке всегда требуется расстояние подачи и выброса.

Производительность InvoMilling также улучшается с увеличением размера зуба. Как видно из рисунок 3, InvoMilling становится более продуктивной, чем двойная резка зубофрезерованием для модуля шестерни передач. Та же тенденция будет продолжаться для модулей размером более шести, и для некоторых размеров модулей ниже шести.

Параметры, зубофрезерования и InvoMilling приведены в таблице 1.

В InvoMilling вычисления времени цикла были получены с использованием Suite – программного обеспечения виртуальной машины моделирования. Производственные процессы, используемые для создания зубчатых колес, имеют определенные ограничения, когда дело доходит до достижимого качества. Некоторые из переменных, которые изменяют качество получаемого зубчатого колеса, это станок, процесс резки, рабочее приспособление, резец, оправка, обработанные заготовки и параметры резки.

Таблица 1. – Сравнительные параметры зубонарезания.

Процесс фрезерования			
Модуль	Диаметр плиты, мм	Подача на оборот мм	Скорость резки
3	82,5	2,54	60
6	114,3	1,52	60
Invomillingпроцесс			
Модуль	Диаметр плиты, мм	Скорость подачи в мин	Скорость резки
3	80	1000	244
6	135	1000	244

Источник – разработка авторов на основе [3]

Станки обеспечивают гибкость обработки мелких и крупных модульных деталей InvoMilling. Следовательно, пользователи могут оптимизировать свой производственный процесс. Кроме того, в приведенном выше анализе учитывается только время цикла, для оценки которого использовали уравнение 1 [4]:

$$T = \frac{Z * L}{N * K * F}, \quad (1)$$

где T – время цикла в минутах Z – количество зубьев шестерни; L – длина реза в миллиметрах; N – число оборотов фрезы в минуту; K – количество пусков фрезы; F – скорость подачи в миллиметрах в минуту.

Заключение. Если учитывать общее время, которое состоит из времени наладки и времени обработки, традиционные методы имеют значительные ограничения из-за более длительного времени наладки. Поскольку многоцелевые станки могут применять несколько процессов резки и использовать различные инструменты, пользователь имеет гибкость в выборе процесса резки на основе требований к качеству и производительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щербарт, С. Зуборез и способ резки зуба зубчатых элементов. Заявка на патент DE102010042835A1.
2. Эндой, Роберт. Зубофрезерование, обработка и бритье. Общество инженеров-технологов. Отдел развития публикаций, 1991. – с. 27 – 28.
3. Обзор процессов изготовления зубчатых колес. URL: drishtikona.files.wordpress.com/2012/08/cha4.pdf.
4. Кавалец, А., Расчет напряжения корня зуба внутренних цилиндрических зубчатых колес / А. Кавалец, Я. Виктор – 2004, Материалы Учреждения Инженеры-механики, Часть В: Инженерный журнал. Производство 2004, вып. 218: – с. 1153-1166.