

2. Расчет экономического эффекта от снижения расходов на эксплуатацию и ремонт тракторов МТЗ в народном хозяйстве

По данным МТЗ средние удельные затраты на эксплуатацию и ремонт тракторов МТЗ составляют 300 тыс. бел. руб./мото-час при годовой наработке тракторов порядка 1300 мото-часов. Приняв долю цилиндрических зубчатых колес от общего числа деталей трактора МТЗ равную 0,01, увеличение сроков службы шестерен на 8,2% при повышении их точности на 25%, найдем экономический эффект от снижения расходов на эксплуатацию и ремонт трактора МТЗ в год:

$$Э_{\text{эк.р.}} = 300000 \cdot 0,082 \cdot 0,01 \cdot 1300 = 319800 \text{ бел. руб.}$$

Для современной годовой программы выпуска тракторов МТЗ эта величина составит примерно 16 млрд. бел. руб. в год.

Таким образом, суммарный годовой экономический эффект в народном хозяйстве от повышения качества цилиндрических шестерен тракторов МТЗ на 25% может составить примерно 17,4 млрд. бел. руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование долговечности тракторных трансмиссий. – НАТИ, г. Москва, - ОНТИ, 1962. –165с. 2. Исследование коробок передач автомобиля ЗИЛ-130 с целью определения влияния точности изготовления зубчатых колес на уровень шума и вибраций и установление предельно допустимых уровней вибраций. – М.: НАМИ – ЗИЛ, отчет по теме №11-2, 1969. – 87 с. 3. Кане, М.М. Технологическое обеспечение качества высоконагруженных передач с эвольвентными цилиндрическими зубчатыми колесами. Диссертация на соискание ученой степени докт. техн. наук. – Мн., БГПА, 1996. –506 с. 4. Кане, М.М., Иванов, Б.В., Медведев, А.И. Эффективность повышения точности обработки цилиндрических зубчатых колес на предприятии – изготовителе./ Республиканский межведомственный сб. науч. трудов "Машиностроение", вып 21, том 1; -Мн.: БНТУ, 2005. – с.202 – 208.

УДК 621.9.91 (035)

Клавсуть П.Н., Присевок А.Ф., Каишальян И.А.

ВЫСОКОСКОРОСТНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА В СОВРЕМЕННОМ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*Белорусский Национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Технология высокоскоростной обработки (ВСО) материалов резанием предполагает не просто повышение скорости резания, а пересмотр всей концепции обработки. Основной эффект ВСО заключается не в сокращении машинного времени за счет интенсификации режимов резания, а в общем упрощении технологического процесса и в повышении качества обработки. Главные отличия высокоскоростной обработки от обычной заключаются в увеличении скорости резания, увеличении подачи, уменьшении сечения стружки, сокращении до минимума температуры на режущей кромке, уменьшении усилий резания, уменьшении износа инструмента. Потенциальные возможности высокоскоростной обработки обусловлены следующими ее особенностями: большой удельный сьем материала в единицу времени; высокое качество обработки материала; уменьшение силы резания; уменьшение нарушения целостности верхних слоев материала. Применение технологии высокоскоростной обработки

предъявляет дополнительные требования к инструменту, станку и процессу подготовки производства.

ВСО используется, главным образом, в трех секторах промышленности:

- авиационно-космическая промышленность, в которой производится механообработка крупногабаритных деталей из алюминиевых сплавов, часто с тонкими стенками;
- инструментальная промышленность, в которой требуется производить чистовую обработку твердых материалов;
- промышленность, которая имеет дело с механообработкой алюминиевых сплавов для производства компонентов автомобилей, корпусов для приборов или медицинских устройств.

Наиболее полно принципы и возможности ВСО реализуются при 5-ти осевом фрезеровании.

Возможности программного обеспечения CAD/CAM являются ключевыми в обеспечении эффективной ВСО. Технология ВСО начинается с создания соответствующих управляющих программ, поэтому с появлением ВСО возникли новые требования к САМ системам и навыкам технологов-программистов.

Основные критерии разработки управляющих программ для ВСО:

- условие сохранения постоянной толщины стружки;
- сопряжение по радиусу острых углов траектории для поддержания постоянной рабочей подачи и наилучших условий резания;
- плавное соединение концов траекторий при позиционировании.

Продукты САМ сегодня бурно совершенствуются, чтобы удовлетворить специфические потребности в создании новых стратегий движения инструмента для ВСО. Для выполнения высокоскоростной обработки, САМ система должна обеспечить:

- постоянство условий резания;
- минимальные потери рабочей подачи;
- максимальную скорость отработки программы системой ЧПУ.

В связи с этими требованиями САМ система должна создавать проходы с маленьким шагом на очень больших рабочих подачах. Должны быть исключены резкие повороты, потому что функция предварительного просмотра «look-ahead» системы управления автоматически уменьшает рабочую подачу, когда обнаруживает приближение точки смены направления движения.

Для получения оптимальной траектории движения инструмента в функциональные возможности системы САМ должны входить следующие опции: исследование расстояния между слоями по оси Z; плавное соединение концов траекторий без потери подачи; контроль наклона стенок детали и идентификация специфики геометрии.

Система САМ должна изменять расстояния между слоями по оси Z, чтобы после предварительной обработки достигнуть почти окончательной формы с гарантированным определенным значением припуска. Для этого система САМ должна воспринимать изменения в рельефе поверхности между слоями. По значению остающегося припуска система должна определять необходимость дополнительных проходов. Такие функциональные возможности могут исключить получистовую обработку, уменьшить время цикла обработки и износ режущего инструмента.

При ВСО должны быть достигнуты две главные цели: высокая скорость удаления металла и обеспечение высокой стойкости инструмента. Процесс фрезерования наиболее оптимально осуществлять монолитными фрезами из твердого сплава, либо сборными фрезами со вставками из твердого сплава. Геометрия режущих кромок должна способствовать снижению сил резания, чтобы фрезерование можно было осуществлять с высокой рабочей подачей. Жесткость, а, следовательно, и стойкость такого инструмента достаточно высока, что делает возможным обрабатывать закаленную сталь. Высокая скорость резания и большая температура в зоне резания способствуют уменьшению сил резания.

Таблица 1. Опытные параметры резания

Материал	Скорость резания (м/мин)			
	Твердость	Обычная обработка	ВСО (черновая)	ВСО (чистовая)
Сталь	150 НВ	<300	>400	<900
	300 НВ	<200	>250	<600
	330 НВ	<100	>200	<400
	39–48 HRC	<80	>150	<350
	48–58 HRC	<40	>100	<250
Алюминий	60–75 НВ	<1000	>2000	<5000
Цветные сплавы	100 НВ	<300	>1000	<2000

При применении ВСО параметры резания варьируются довольно широко, в зависимости от обрабатываемого материала. Небольшие глубины резания характерны только для ВСО труднообрабатываемых материалов. Приведем в качестве примера результаты опроса шести ведущих германских экспертов в области резания и специалистов авиационной промышленности (табл.1, табл.2).

Таблица 2. Скорость резания при обработке разных типов материалов

Материал	Скорость резания, (м/мин)	Охлаждение
Алюминий	1000 – 5000	СОЖ или масляный туман
Латунь	1000 – 2500	СОЖ или масляный туман
Медь	600 – 1500	СОЖ или масляный туман
Титановый сплав	100 – 200	СОЖ или масляный туман
Графит	1000 – 4000	Сжатый воздух
Углеродистые волокна	250 – 500	Сжатый воздух
Пластмассы	300 – 1000	Сжатый воздух
Стали	300 – 700	СОЖ или масляный туман
Чугун	500 – 750	СОЖ или масляный туман
Жаропрочная сталь	75 – 100	СОЖ или масляный туман

Высокоскоростная механическая обработка часто происходит без охлаждающей эмульсии. Геометрия высокоскоростной фрезы рассчитана с условием далекого отброса стружки. Что касается остального, то для инструмента лучше постоянная высокая температура, чем ее колебания, которые может вызвать охлаждающая эмульсия. Охлаждающийся эффект эмульсии не востребован в процессе ВСО, но эффект смазывания достаточно эффективен. При обработке вязких материалов (алюминиевые сплавы или мягкая сталь) охлаждающая эмульсия помогает скольжению стружки по режущей кромке без теплообмена. Также можно применить охлаждающую эмульсию при резании сферическим инструментом, когда происходит резание концом фрезы, а скорость резания в оси инструмента равна нулю. При резании на очень малой глубине горячий материал может привариться к инструменту, что скажется на качестве обработанной поверхности. Охлаждающая эмульсия (или масляный туман) минимизирует этот эффект. Целесообразность использования охлаждающей эмульсии на водной основе при ВСО увеличивается с уменьшением скорости резания.

Стойкость инструмента при фрезеровании обусловлена материалом режущего инструмента, качеством поверхностного покрытия, точностью и особенностями геометрии. Характеристики режущего инструмента для ВСО могут быть классифицированы следующим образом.

1.Способность сопротивляться высоким механическим и тепловым воздействиям. Мелкозернистый карбид (размер частиц карбида от 1 до 0.4 микрона) с покрытием на основе карбида

титана — это наилучшая комбинация, обеспечивающая износостойкость, сопротивление высокой температуре, низкий коэффициент трения и защиту от трения стружкой.

2. Более точная геометрия, чем у обычного режущего инструмента. Значение предела точности (допуск) на диаметр 0.02 мм (.0007") и значение предела точности радиуса режущей кромки 0.01 мм (.0004") — вдвое меньше, чем предел точности обычного инструмента.

3. Фрезы, предназначенные для ВСО закаленных сталей, имеют центральные стержни большего диаметра и более мелкие зубья, чем обычные фрезы. За счет этого инструмент обладает большей жесткостью, а значит — имеет лучшие характеристики сопротивляемости деформации и вибрации. Угол наклона спирали (длина режущей кромки) зуба должен быть наибольшим из возможных.

Высокая скорость вращения шпинделя увеличивает влияние вибрации инструмента на процесс резания. Чтобы стойкость инструмента и качество поверхности были удовлетворительными, необходимо использовать жесткий инструмент, причем каждый лишний миллиметр вылета имеет большое значение. Инструмент с малым вылетом имеет наименьшую деформацию и менее подвержен вибрации.

При ВСО используются инструменты в основном из твердого сплава. При выборе сорта твердого сплава нужно учитывать не только его твердость, но и значение сопротивления изгибу, так как обработка производится с высокой частотой ударов режущей кромки о металл. Воздействие вибрации и температурных колебаний на высоких скоростях еще более усугубляют общую картину. Инструмент из твердого сплава с более высоким значением сопротивления изгибу менее подвержен повреждениям или трещинам в результате ударов о металл или стружку.

Хорошим сочетанием достаточного значения твердости и удовлетворительного значения сопротивления изгибу обладают твердые сплавы с зерном маленького размера (менее 0.5 микрона).

Правильно выбранное покрытие значительно удлиняет жизнь инструмента, обеспечивая дополнительную защиту твердого сплава от трения и высокой температуры. Обычно используются три типа покрытия:

Алюмонитрид титана (TiAlN). Служит превосходным теплоизолятором в операциях обработки, характеризующихся высокими температурами, в том числе без применения СОЖ. Это покрытие характеризуется следующим:

1. Сопротивление высокотемпературному износу. Покрытие TiAlN позволяет инструменту сохранять сопротивление износу при высокой температуре, так как имеет температуру плавления приблизительно на 35% больше, чем нитрид титана (TiN).

2. Скользящий эффект. Наружный слой покрытия TiAlN представляет собой оксид алюминия, который является одновременно твердым и скользящим. Хорошо защищая инструмент от износа, оксид алюминия как бы смазывает горячую стружку, чтобы она скользила по поверхности фрезы без теплопередачи и прилипания. Низкий коэффициент трения делает это покрытие эффективным для обработки графита, чугуна и других абразивных материалов.

Нитрид карбида титана (TiCN). Толстое, многослойное покрытие, которое преимущественно применяется для обработки стали. Недостаток этого покрытия состоит в том, что его нельзя наносить повторно. Инструменты, покрытые однажды TiCN, обычно повторно покрываются TiN.

Покрытие TiCN — недорогое, применяется там, где твердость заготовки меньше 42 HRC и скорость резания не больше 240 м/мин. При этих условиях резания рекомендуется использовать охлаждающую эмульсию.

Нитрид титана (TiN). Это покрытие очень дешевое и хотя не может работать в условиях, в которых работают предыдущие два покрытия, оно является самым универсальным и рентабельным.

Типичные параметры резания для монокристаллических твердосплавных концевых фрез с покрытием Ti (C, N) или TiAlN для закаленной стали (HRC 54–58) приведены в табл. 3.

При ВСО особую роль играют такие факторы, как концентричность и баланс системы «шпиндель — цанговый патрон — режущий инструмент». Концентричность влияет на то, что режущие кромки всех зубьев будут вращаться по одному радиусу и срезать одинаковый сьем. Баланс влияет на то, что вес будет распределен равномерно, и центробежная сила не создаст вибрацию, которая повредит процессу.

Таблица 3. Параметры резания для концевых фрез с покрытием

Тип обработки	скорость резания v (м / мин)	глубина резания t (%)*	ширина резания b (%)*	подача на зуб f_z (мм / зуб)
Черновая	100	6 – 8	35 – 40	0,01 – 0,1
Получистовая	150–200	3 – 4	20 – 40	0,05–0,015
Финишная и суперфинишная	200–250	0,1-0,2**	0,1 – 0,2**	0,02 – 0,2

* – в % от диаметра фрезы
 ** – в мм

Биение шпинделя является очень критичной величиной для достижения требуемой точности. Биение режущей кромки должно быть максимум 10 мкм. Каждые 10 мкм биения уменьшают стойкость инструмента на 50%. Даже если инструмент, цанговый патрон и шпиндель точно сбалансированы в отдельности, все равно существуют несколько источников общей несбалансированности. Одним из них может оказаться технологический зазор между конусом цангового патрона и шпинделем, если в него попадет стружка или грязь.

Чтобы концевая фреза вращалась с частотой 20000 об/мин, она может иметь момент дисбаланса порядка 20 гмм, а при 5 гмм скорость вращения может быть намного больше. Момент дисбаланса напрямую зависит от вибрации подшипника, частоты вращения шпин-

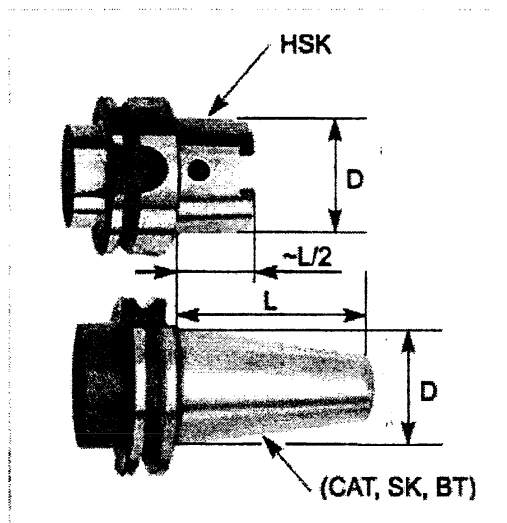


Рисунок 1 - Типы инструментальных патронов

деля и общего веса патрона и инструмента.

Очень трудно сбалансировать инструмент совершенно точно, поэтому в качестве оптимального обычно принимается то значение баланса, при котором дальнейшая балансировка не влияет на точность и шероховатость обработанной поверхности.

Широко применявшиеся на станках с ЧПУ патроны с конусом 7:24 имеют слишком большую массу, что приводит к появлению осевой составляющей центробежной силы, сопоставимой с силой закрепления хвостовика инструмента в шпинделе. Так как эти силы направлены в противоположные стороны, то происходит раскрепление инструмента, нарушение его базирования и, следовательно, потеря его точности и жесткости. Поэтому был пред-

ложен ряд конструкций, позволяющих значительно снизить указанные потери. После промышленных испытаний выбор был сделан в пользу полых конических хвостовиков HSK (рис.1), которые можно применять для любого обрабатывающего центра, работающего при 12000 об/мин и выше.

В заключение можно сказать, что успех ВСО целиком зависит от технолога-программиста, хорошо владеющего САМ-системой, поскольку сложность программ для ВСО значительно больше, чем при традиционной обработке. Внедрение новых подходов и стратегий, разработанных для ВСО, в обычную обработку благоприятно скажется на качестве обработки и снизит вероятность поломки инструмента. Освоение технологий ВСО обеспечит такое качество обработки, которое позволит исключить финишные операции ручной полировки, а также даст возможность выполнять работы, которые при традиционных методах вызывали определенные проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Насад, Т.Г., Игнатъев, А.А. Высокоскоростная обработка труднообрабатываемых материалов с дополнительными потоками энергии в зоне резания. Саратов: Изд-во Саратовского ГТУ, 2002. – 112 с.
2. Режимы резания металлов: Справочник / Ю.В. Барановский, Л.А. Брахман, А.И. Гдалевич и др. – М.: НИИТ автопром, 1995. – 456 с.
3. Hans, V. Kief // CNC for Industry. 2000. - p. 198.
4. Aronson, R. // Modern Machine Shop. 2001. v. 74. Nr.5.
5. Krieg, T. // Perspektiven der Zerspantechnik. Aachen, 2002. - p.147.
6. Gühring, D. // International Journal of Machine Tools & Manufacture. 2002. V. 42. Nr.6.

УДК 621.923

Кривко Г.П.

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОПРОФИЛЯ БОЧКООБРАЗНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РОЛИКОВ НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЯХ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Рассмотрены особенности обеспечения в условиях реального производства минимальной шероховатости ($Ra\ 0,2$) образующей поверхности бочкообразных роликов роликовых радиальных сферических подшипников.

The paper considers the peculiarities of assurance of the minimum roughness ($Ra0,2$) of element of Barrel-type roller surface of roller radial spherical bearing in actual production.

В деталях подшипников существует много фасонных рабочих поверхностей, механическая обработка которых осуществляется на специальном оборудовании. Специальное оборудование дорогостоящее и практически не изготавливается для обработки деталей подшипников в Республике Беларусь.

Такое оборудование выпускают ряд машиностроительных заводов стран СНГ, а также много иностранных фирм: "Лядинс" (США), "Томпсон" (США), "Цинтинатти" (США), "Супфина" (ФРГ), "Джустина" (Италия), "НСК" (Япония), "СКФ" (Швеция) и др. Стоимость единицы такого оборудования превышает 500 тыс. долларов.

От схемы обработки [1,2] фасонных поверхностей колец и роликов, используемого абразивного и алмазного инструментов зависит качество обработанной поверхности и себестоимость операции. Существует определенная проблема обеспечения шероховатости поверхности в пределах $Ra\ 0,16-0,32$ мкм методом шлифования из-за дороговизны абразивного и алмазного инструментов.