

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ФРЕЗЫ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Высокоскоростная обработка (High Speed Machining, HSM) в последние годы стала одним из самых быстроразвивающихся направлений в механообработке. Связано это, в первую очередь, с ее высокой производительностью. Второй важной особенностью HSM является высокая чистота обработанной поверхности, что позволяет в ряде случаев отказаться от финишного шлифования и электроэрозионной обработки.

С точки зрения движения фрезы, самым главным требованием к HSM является обеспечение плавной, без резких изменений направления, траектории движения инструмента. Траектория такого вида призвана обеспечить постоянное сечение стружки и постоянную нагрузку на фрезу. Выяснилось, что гладкие траектории, характерные для HSM-обработки, могут существенно (в несколько раз) увеличивать стойкость инструмента и при обработке с традиционными режимами резания [1]. К сожалению, такой эффект достигается не всегда, более того, в некоторых случаях стойкость инструмента при движении по HSM-траектории может даже упасть. Особенно часто падение стойкости наблюдается при обработке алюминия и алюминиевых сплавов.

Традиционно причины подобных неудач связывают с характеристиками оборудования, например, с низкой жесткостью станка. К сожалению, отсутствуют конкретные рекомендации, какая все-таки минимальная жесткость станка необходима при заданной траектории движения фрезы или как изменить параметры траектории при заданных параметрах жесткости станка. Попытаемся их сформулировать.

Остановимся только на одном, но принципиально важном аспекте оценки минимально необходимой жесткости станка. Точнее, на минимально необходимых для обеспечения гладкой траектории движения инструмента требованиях к приводам подачи станка. Например, при движении инструмента по дуге привод должен обеспечить на отрезке длиной R (радиус дуги), с одной стороны, торможение по оси X от величины рабочей подачи до 0, с другой стороны, разгон по оси Y от 0 до номинальной рабочей подачи. При разгоне или торможении на привод действуют динамические нагрузки, весьма существенно превышающие собственно силы резания. Если эти динамические нагрузки превышают значение предельно допустимой динамической грузоподъемности привода, то подача автоматически снижается. В результате подача на зуб (при фрезеровании) катастрофически падает, зубья фрезы начинают затирать по задней поверхности, что в итоге приводит к падению ресурса инструмента. Таким образом, необходимым (но не достаточным) условием обеспечения условия работы на HSM-подобных траекториях является соответствие радиуса кривизны траектории максимально теоретически возможному ускорению движения инструмента, которое способны обеспечить привода станка.

Оценим минимально возможный радиус поворота траектории инструмента, исходя из предельных значений ускорения, обеспечиваемых приводами станка. Скорость перемещения оси инструмента (минутная подача) V_F , м/мин, равна:

$$V_F = \frac{V_{PEЗ} \times f_Z \times Z}{\pi \times d}, \quad (1)$$

тогда минимально возможный радиус R_{MIN} , мм, на траектории движения инструмента равен:

$$R_{MIN} = \frac{V_F^2}{3,6 \times a}, \quad (2)$$

где $V_{РЕЗ}$ – скорость резания (окружная скорость), м/мин;

f_Z – подача на зуб, мм;

Z – число зубьев;

d – диаметр фрезы, мм;

a – максимально допустимое ускорение, обеспечиваемое приводами станка, m/c^2 .

На рис. 1, а приведена номограмма, по которой можно определить минимально возможный радиус R_{MIN} , мм, при известном максимально допустимом ускорении a , m/c^2 , обеспечиваемом приводами станка для разных скоростей движения центра фрезы (минутной подачи) V_F , м/мин.

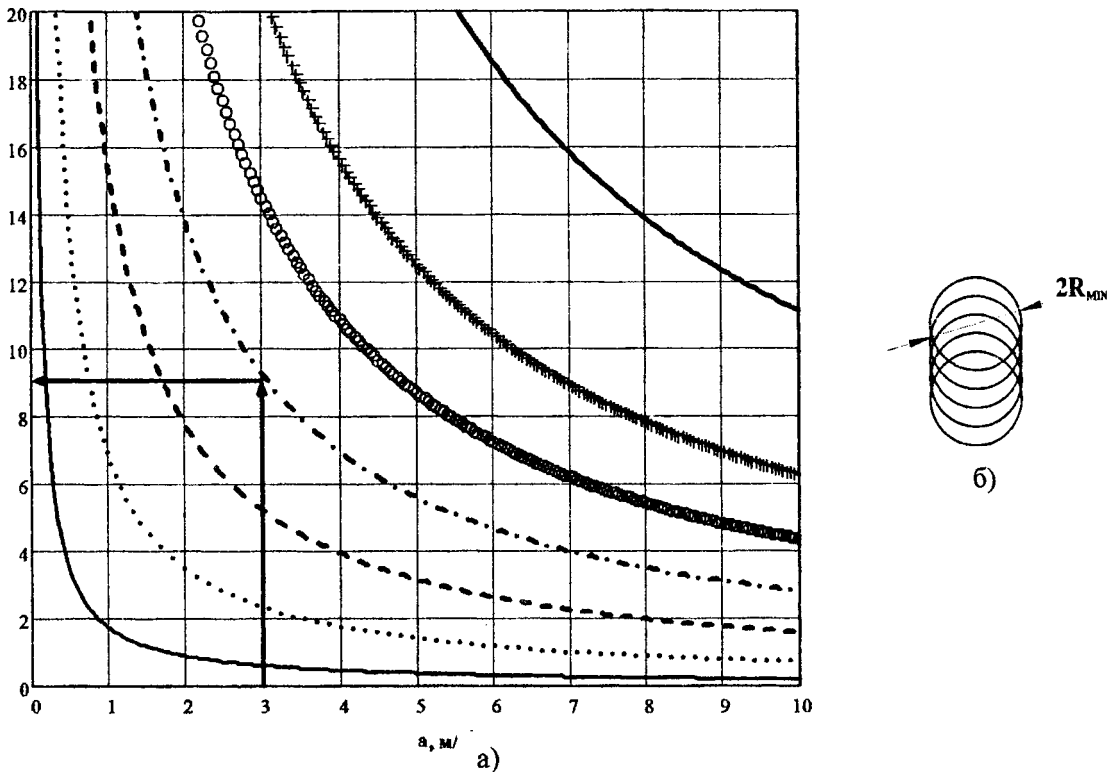


Рис. 1. Номограмма для определения минимально возможного радиуса траектории фрезы

Покажем, как определить по номограмме минимально допустимый радиус трохойдальной траектории (рис. 1, б) для торцевой фрезы SogoMill 390 диаметром $d=12$ мм, укомплектованной двумя пластинами H13A ($Z=2$), скорость резания $V_{РЕЗ}=925$ м/мин с подачей на зуб $f_Z=0,2$ мм [2], при обработке на станке с максимально допустимым ускорением $a=3$ m/c^2 . Тогда минутная подача V_F равна:

$$V_F = \frac{925 \times 0,2 \times 2}{\pi \times 12} \approx 10 \text{ м/мин.}$$

Для оценки минимально допустимого радиуса траектории восстановим перпендикуляр от значения ускорения, равного 3 на оси «а» до пересечения с кривой скорости «10» и из точки пересечения проводим горизонтальную линию до пересечения с осью « R_{MIN} » (показано стрел-

ками на рис. 1). Значение радиуса получилось равным ≈ 9 мм. Если в соответствии с рекомендациями [2] назначить радиус трохоиальной траектории равным $0,7 \times d$ или, в нашем случае, равным 8,4 мм, то при попытке движения по траектории с таким радиусом закругления фреза будет тормозиться. Таким образом, выбранная фреза непригодна для обработки на данном станке по классической трохоиальной траектории.

Затруднения может вызвать и определение возможности движения инструмента по трохоиальной траектории, исходя из значений максимальных ускорений по осям, обеспечиваемых станком. Для новых, высокопроизводительных станков с ЧПУ эти значения приводятся в паспорте и, более того, являются одним из наиболее рекламируемых параметров. В качестве примера в таблице 1 приведены значения максимальных ускорений для некоторых станков.

Следует специально отметить, что описанная методика оценки параметров траектории движения фрезы пригодна только для случая, когда силами резания допустимо пренебречь по сравнению с динамическими нагрузками (например, при чистовой обработке). Если же используются достаточно жесткие режимы обработки, то необходимо дополнительно учитывать нагрузку от силы резания, соответствующим образом корректируя значения максимально допустимого ускорения. В первом приближении представляется возможным уменьшить расчетное значение ускорения пропорционально отношению «сила резания (вдоль выбранной оси)» / «динамическая грузоподъемность привода». Кроме того, нежелательно, чтобы станок длительное время работал при максимально допустимых ускорениях или, что то же самое, при максимально допустимой динамической грузоподъемности привода. Поэтому допустимое значение ускорения, принимаемое при расчетах, $a_{РАСЧ}$, желательно корректировать, используя, например, следующую зависимость:

$$a_{РАСЧ} = a_{ПАСП} \times K_{ПРИВ} \times \frac{C - P_{РЕЗ}}{C}, \quad (3)$$

где $a_{ПАСП}$ – паспортное значение максимально допустимого ускорения, обеспечиваемое приводами станка, $м/с^2$;

$K_{ПРИВ}$ – поправочный коэффициент, учитывающий требования к режиму нагружения привода; в первом приближении допустимо принимать $K_{ПРИВ} = 0,8$;

$P_{РЕЗ}$ – расчетная сила резания по направлению оси привода, Н;

C – динамическая грузоподъемность привода, Н.

Таблица 1 – Динамические характеристики приводов некоторых станков с ЧПУ

Станок (производитель)	Максимальная подача, м/мин	Максимальное ускорение (по осям), $м/с^2$
C 40 (HERMLE)	45	6
DHP 80 (DIXI Group)	10	2...5
FH-S (TOYODA)	≤ 50	7...8
IMPALA 200 (LANG)	2,6...5,2	0,14
IMPALA 800S (LANG)	15	5
JIG 1200 (DIXI Group)	10	1...2,5
JIG 700 (DIXI Group)	20	2,5...5
M (SERRTECH)	30	5,5...7,5
MAM72-63V (MATSUURA)	50	(X/Y/Z) 6,1 / 7,7 / 9,4
SPEEDCENTER (PAMA)	30...40	3...4
VL-8A (OLYMPIC SEIKI)	(X/Z) 36/72	(X/Z) 10/12
ИС 800 (Ивановский завод тяжело-го машиностроения)	40	8

Динамические свойства приводов подачи станка – это только одна, пусть даже критически важная характеристика станочной системы. Для обеспечения высокоскоростной обработки необходимы также система управления, обеспечивающая требуемую скорость управления

органами станка, адекватная САМ-система подготовки управляющих программ и т.д. Но все же, определяющим критерием оценки принципиальной возможности обработки по заданной траектории для HSM-обработки является динамическая характеристика приводов подачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов, А. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве // CAD/CAM/CAE Observer. – 2003. – №3(12); №4(13); №5(14). 2. Металлорежущий инструмент Sandvic Coromant. Основной каталог. 2009.

УДК 621.91.01

Бжезинский А.А., Колесников Л.А.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ САМ-ПАКЕТОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Использование программных продуктов (пакетов) при разработке программ для станков с ЧПУ (Computer Aided Manufacturing или САМ), в особенности для фрезерных, в настоящее время является одним из наиболее эффективных способов повышения эффективности машиностроительного производства. Для оптимального выбора того или иного пакета для нужд конкретного производства полезно представлять основные тенденции развития этого класса программных продуктов.

Хотя в мире существуют десятки САМ-пакетов, действительно новые возможности широко внедряют, как правило, только большие и богатые компании-разработчики. Если вдруг хорошая идея и родилась в маленькой фирме, то эту фирму (вместе с идеей) практически сразу покупают такие компании. Поэтому с точки зрения анализа тенденций развития САМ-пакетов достаточно рассмотреть инновации, внедряемые весьма ограниченным кругом компаний. Это, в первую очередь, разработчики САПР высшего уровня CATIA (Dassault); Pro/Engineer Wildfire (PTC); Siemens PLM Solution (NX, Unigraphics), а также «чистых» САМ (CAD/CAM) пакетов – Power Solution (Delcam) и Mastercam (CNC Software). Подавляющее большинство инженеров-технологов в Европе и Америке работают именно в этих пакетах.

Анализ тенденций развития САМ-пакетов проводился на основе перечня новых возможностей, предлагаемых выбранными компаниями в очередных версиях своих пакетов, а также по информационным сообщениям в сети Интернет за период 2005...2009 годы. При этом специально не выделялось, кто именно первым предложил то ли иное нововведение. Связано это с тем, что действительно хорошая идея или новая полезная функциональность, предлагаемая какой-либо фирмой-разработчиком, очень быстро внедряется конкурентами.

По результатам проведенного анализа в настоящий момент можно выделить следующие основные направления совершенствования САМ-пакетов (или САМ-модулей в интегрированных САПР):

- улучшение интерфейса;
- повышение интероперабельности;
- совершенствование САД-составляющей;
- совершенствование возможностей по высокоскоростной механообработке (HSM);
- расширение поддержки многосековой обработки;
- расширение поддержки технологии автоматической разработки программ (Feature);
- расширение предопределенных типов траекторий движения инструмента;
- расширение областей применения пакетов;