

РАЦИОНАЛЬНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ЗАГОТОВКИ КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Смирнов В.А.

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (Национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия, e-mail: sm@amsp.susu.ac.ru

Показана возможность снижения энергии, потребляемой приводами фрезерного станка, за счет рационального расположения (ориентации) заготовки. Приведены требования к траекториям движения фрезы, обеспечивающим максимальное снижение потребления энергии.

Ключевые слова: фрезерование, снижение затрат энергии.

EFFICIENT ORIENTATION OF A BILLET AS A FACTOR OF A DECREASE OF ENERGY CONSUMPTION DURING THE MILLING

Smirnov V.A.

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, e-mail: sm@amsp.susu.ac.ru

The possibility of the decrease of energy, consumed drives of the milling machine by means of efficient orientation of a billet is shown. The requirements to tool paths providing the maximum reduction of energy consumption is presented.

Key words: milling, decrease of consumed energy.

В современном производстве повышение качества продукции сопровождается ужесточением требований к затратам энергии на ее производство. В связи с этим актуальной научной проблемой является поиск факторов, способствующих снижению энергозатрат оборудования.

Рассмотрим процесс выполнения операции плоского фрезерования, при котором обеспечивается элементарное перемещение центра фрезы вдоль направления, задаваемого вектором $d\vec{L}$. При фрезеровании на фрезу будет действовать сила \vec{P} – сила резания, которая может быть представлена следующими составляющими: \vec{P}_τ – тангенциальной, параллельной направлению движения центра фрезы, и \vec{P}_n – нормальной, перпендикулярной направлению движения центра фрезы, M – моментом, возникающим при переносе составляющих \vec{P}_τ и \vec{P}_n в заданную точку. Работа, совершаемая силой резания на перемещении dL , будет определяться только ее тангенциальной составляющей:

$$A_{\text{рез}} = \vec{P}_\tau d\vec{L}.$$

Рассмотрим случай фрезерования, при котором вектор $d\vec{L}$ не параллелен ни одной из координатных осей (рис. 1), т.е. фрезерование, при котором движение фрезы осуществляется за счет работы обоих приводов. Систему координат свяжем с

неподвижным столом, на котором закреплена заготовка. Направление вектора $d\vec{L}$ задается углом φ , откладываемым от оси OX .

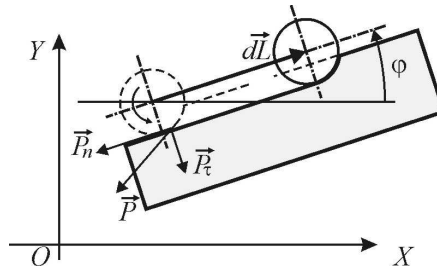


Рис. 1. Элементарное перемещение фрезы

При перемещении фрезы каждый из приводов преодолевает усилия, формируемые составляющими P_τ и P_n силы резания; соответствующие слагаемые будут присутствовать в выражениях для элементарных работ каждого из приводов:

$$dA_X = dL(P_\tau \cos^2 \varphi - P_n \sin \varphi \cos \varphi), \quad dA_Y = dL(P_\tau \sin^2 \varphi + P_n \sin \varphi \cos \varphi).$$

Суммарная работа приводов $dA_{\text{Прив}} = dA_X + dA_Y = P_\tau dL$, т.е. равна элементарной работе силы резания. Отсутствие в выражении для $dA_{\text{Прив}}$ составляющей P_n силы резания с физической точки зрения соответствует процессу рекуперации: положительная работа $dLP_n \sin \varphi \cos \varphi$ одного из приводов требует потребления энергии из некоторого источника, отрицательная работа $-dLP_n \sin \varphi \cos \varphi$ другого привода соответствует возврату такого же количества энергии в источник. Однако приводы, используемые в реальном технологическом оборудовании, способны только потреблять энергию от внешнего источника, следовательно, рекуперация энергии в реальном оборудовании наблюдаться не будет.

Введем понятие полезной энергии, потребляемой приводом. Данная энергия $dW_{\text{Прив}}^{\text{Полезн}}$ является частью полной потребляемой приводом энергии и используется для совершения работы по элементарному перемещению фрезы при действии внешней силы. В связи с отсутствием рекуперации будем считать полезную энергию положительной величиной:

$$dW_{\text{Прив.X}}^{\text{Полезн}} = |dA_X| = |(P_\tau \cos^2 \varphi - P_n \sin \varphi \cos \varphi)dL|;$$

$$dW_{\text{Прив.Y}}^{\text{Полезн}} = |dA_Y| = |(P_\tau \sin^2 \varphi + P_n \sin \varphi \cos \varphi)dL|.$$

Суммарная полезная энергия, потребляемая приводами, равна:

$$dW_{\text{Прив}}^{\text{Полезн}} = dW_{\text{Прив.X}}^{\text{Полезн}} + dW_{\text{Прив.Y}}^{\text{Полезн}} = |dA_X| + |dA_Y|.$$

Так как сумма модулей двух чисел не меньше модуля суммы этих чисел, то $dW_{\text{Прив}}^{\text{Полезн}} \geq |dA_{\text{Прив}}|$, или, с учетом равенства $dA_{\text{Прив}}$ и $dA_{\text{Рез}}$,

$$dW_{\text{Прив}}^{\text{Полезн}} \geq |dA_{\text{Рез}}|,$$

т.е. модуль работы силы резания определяет минимум энергии, которая может быть затрачена приводами на совершение заданного элементарного перемещения при известном внешнем воздействии. Очевидно, что степень приближения $dW_{\text{Прив}}^{\text{Полезн}}$ к $|dA_{\text{Рез}}|$ будет определяться соотношением P_{τ} и P_n , а также углом φ .

На рис. 2 показаны результаты расчетов полезной энергии, которая будет потребляться приводами при различных направлениях движения фрезы, определяемых углом φ . Принято, что $P_{\tau} = 100 \text{ Н}$, $P_n = 100 \text{ Н}$, $dL = 1 \text{ мм}$. Как видно из графика, за счет изменения направления движения фрезы полезная энергия может быть снижена вплоть до величины $|dA_{\text{Рез}}|$.

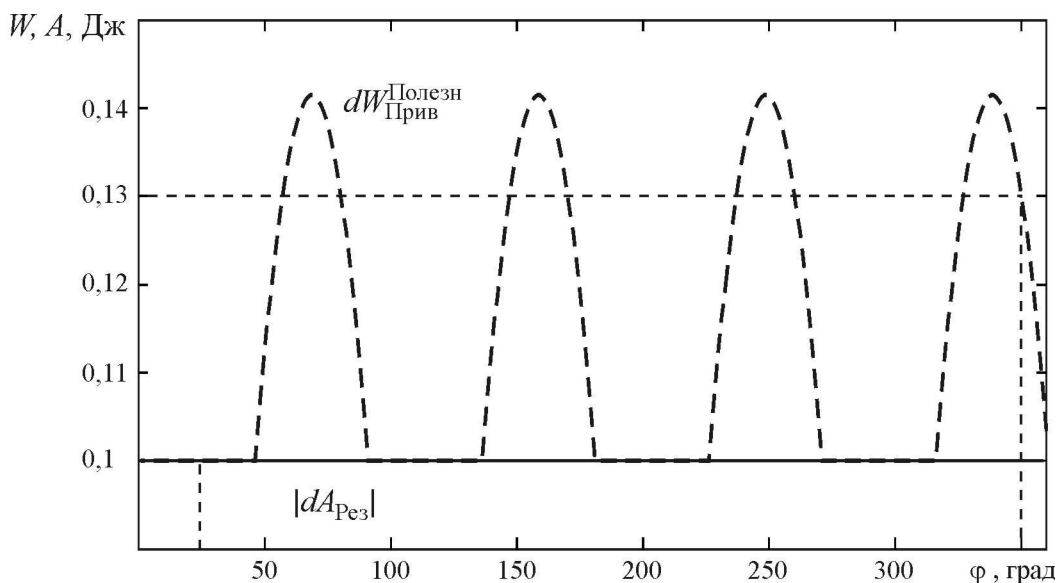


Рис. 2. Зависимость энергии, потребляемой приводами, от направления перемещения фрезы

Траектория движения фрезы определяется положением заготовки на столе станка. На рис. 3 показаны два из множества возможных положений заготовки, при которых обрабатывается одна и та же ее поверхность. Однако траектории движения фрезы для этих вариантов ориентации заготовки различны, различным является и потребление энергии. Для варианта I $\varphi = 20^\circ$ и $dW_{\text{Прив}}^{\text{Полезн}} = 0,1 \text{ Дж}$, для варианта II $\varphi = -10^\circ = 350^\circ$ и $dW_{\text{Прив}}^{\text{Полезн}} = 0,13 \text{ Дж}$ (см. рис 2).

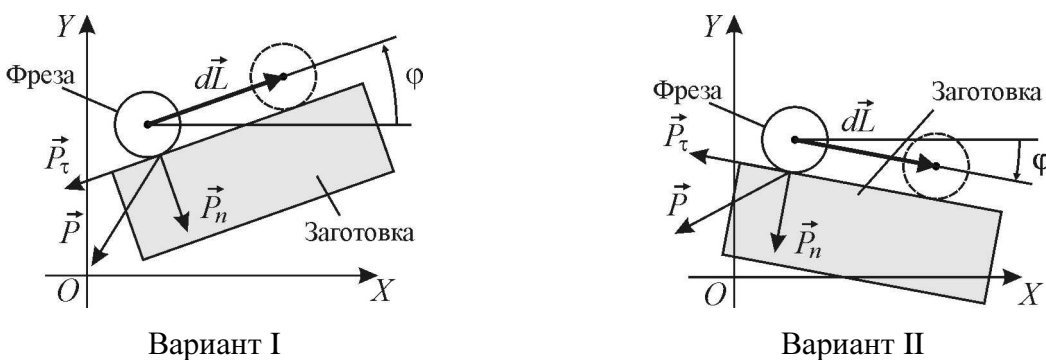


Рис. 3. Варианты реализации технологической операции

Следовательно, может ставиться и решаться задача рационального размещения (ориентации) заготовки на столе фрезерного станка с целью снижения затрат энергии на выполнение операции фрезерования.

Анализ графика на рис. 2 и выражений для полезных энергий приводов показывает, что обеспечение минимума потребляемой приводами полезной энергии достигается при:

1) совпадении знаков работ dA_X и dA_Y :

$$\text{sign}(dA_X) = \text{sign}(dA_Y); \quad (1)$$

2) равенстве одной из работ нулю:

$$dA_X = 0 \text{ или } dA_Y = 0. \quad (2)$$

В последнем случае перемещение инструмента осуществляется только за счет работы одного из приводов ($\varphi=0, 90, 180, 270$ градусов на рис. 2).

Таким образом, для снижения затрат энергии при фрезеровании целесообразно располагать заготовку на столе станка таким образом, чтобы при обработке выполнялись условия (1) или (2). С учетом того, что обычно во фрезерном оборудовании работа одного из приводов приводит к изменению одной из координат, выполнение условия (2) обеспечить проще. В этом случае траектория движения фрезы должна быть параллельна одной из осей системы координат станка.

Криволинейные траектории движения фрезы могут рассматриваться как совокупность элементарных прямолинейных участков. В этом случае для выполнения условий (1) или (2) на каждом элементарном прямолинейном участке потребуется осуществлять поворот заготовки в процессе фрезерования, что может быть осуществлено на станке, имеющем дополнительную управляемую координату C . Так как привод координаты C также является потребителем энергии, то снижение потребляемой приводами станка энергии может не наблюдаться. Это является ограничением рассмотренного подхода к снижению потребления энергии оборудованием, построенным по характерным для обрабатывающих станков разомкнутым кинематическим схемам.

Подход к снижению затрат энергии был расширен на класс обрабатывающего оборудования с параллельными приводами, построенного на основе замкнутых кинематических схем [1–4]. Экспериментальные исследования на многокоординатном станке-гексапode КИМ-1000 (координатно-измерительная машина с функцией многокоординатного фрезерования) показали возможность снижения затрат энергии, потребляемой приводами, на 8,1% [3]. При этом заготовка оставалась неподвижной, оптимизировался характер движения инструмента.

Выводы

Ориентация заготовки на столе фрезерного станка является фактором, влияющим на потребление энергии приводами станка.

Рациональное размещение заготовки позволяет снижать энергию, потребляемую приводами станка.

Для уменьшения потребления энергии следует стремиться к тому, чтобы при фрезерной обработке траектория движения фрезы была параллельна одной из осей системы координат станка.

Снижение затрат энергии при обработке криволинейных поверхностей на фрезерном оборудовании требует наличия дополнительной поворотной координаты.

Подход к снижению затрат энергии, потребляемой приводами, может быть расширен на класс оборудования с параллельными приводами.

Список литературы

1. Смирнов В.А. Избыточность координат как фактор возможности оптимального управления оборудованием с параллельными приводами / Информационные технологии моделирования и управления. Научно-технический журнал. – Воронеж : Научная книга. – 2010. – № 1 (60). – С. 126–131.

2. Смирнов В.А. Кинестатическое моделирование энергоэффективного управления оборудованием с параллельной кинематикой // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2010. – Вып. 16. – № 29 (205). – С. 65–70.

3. Смирнов В.А. Энергоэффективное управление оборудованием с параллельными приводами // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 2. URL: www.science-education.ru/96-4620 (дата обращения: 31.07.2011).

4. Смирнов В.А. Повышение энергоэффективности оборудования с параллельными приводами // Современные проблемы информатизации в анализе и синтезе программных и телекоммуникационных систем : сб. трудов (по итогам XV международной открытой научной конференции) / под ред. д.т.н., проф. О.Я. Кравца. – Воронеж : Научная книга, 2010. – Вып. 15. – С. 383–387.

Рецензенты:

Курдюков В.И., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» ФГБОУ ВПО «Курганский государственный университет», г. Курган.

Герасимов В.Я., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Теоретическая механика и сопротивление материалов» ФГБОУ ВПО «Курганский государственный университет», г. Курган.

Работа получена 12.09.2011