

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБОРНОГО ИНСТРУМЕНТА

В статье представлена методика определения производительности обработки, которую может обеспечить режущий инструмент в зависимости от его физико-механических характеристик на основе экспериментальных данных. Сокращение сроков проведения расчетов обеспечивается с помощью программного модуля, позволяющего выполнять сравнительный анализ конструкций режущего инструмента в зависимости от задаваемых условий производства для выявления оптимального варианта.

Ключевые слова: автоматизация, производительность обработки, период стойкости.

Для любого типа производства характерно непрерывное совершенствование технологий изготовления продукции, внедрение прогрессивных способов и методов подготовки и осуществления технологического процесса, применение широкого спектра современных режущих инструментов. Рациональный выбор режущего инструмента во многом определяет достижение высоких качественных и точностных характеристик изделия, оказывает влияние на себестоимость и производительность обработки.

Высокая вариативность конструкций режущего инструмента, особенно сборных, которыми располагает современная промышленность, а также неоднозначность потребностей в нем при изготовлении изделий в каждом конкретном случае создают трудности при выборе инструмента, соответствующего условиям производства. В связи с этим оптимизация выбора и автоматизация подготовки режущего инструмента являются актуальными задачами на сегодняшний день.

Выбор оптимальной конструкции режущего инструмента реализуется через соотношение значимости критериев: производительности обработки, работоспособности инструмента и экономической целесообразности его применения, а также качества обработанной поверхности [1, 2].

Производительность обработки, которую способен обеспечить режущий инструмент в соответствии с допустимыми режимами резания для конкретного инструментального материала, является важным критерием при оценке его конструкции. Она зависит от режимов резания и для фрезерного инструмента определяется по формуле:

$$\begin{aligned} \Pi &= S_z z t \cdot b \frac{V}{\pi d} \text{ или} \\ \Pi &= S_z z n t b, \text{ м}^3/\text{мин.}, \end{aligned} \quad (1)$$

где S_z – подача на зуб, м/зуб; z – число режущих элементов; t – глубина резания, м; b – ширина режущих элементов, м; V – скорость резания, м/мин.; d – диаметр резания, м; n – число оборотов инструмента в минуту, об/мин.

В данном случае трудности представляют оп-ределение и выбор режимов резания для каждого

случая, что затрудняет расчет и в некоторых случаях делает его невозможным вследствие отсутствия справочной информации. В связи с этим целесообразно ввести в формулу (1) поправочные коэффициенты, определяющие изменение режимов резания и производительности в зависимости от применяемых инструментальных и обрабатываемых материалов. Исходные оптимальные значения режимов резания, с которыми производится расчет производительности искомых инструментов с учетом поправочных коэффициентов, определяются возможностями некоторой исходной конструкции режущего инструмента, выявленными в ходе исследования.

Таким образом, формула (1) примет вид:

$$\begin{aligned} \Pi_i &= (S_z^{\text{опт}} K_S) z_i (t_{\text{опт}} K_t) \times \\ &\times b_i (n_{\text{опт}} K_n) \text{ м}^3/\text{мин.}, \end{aligned} \quad (2)$$

где Π_i – производительность i -той конструкции инструмента; K_S – коэффициент, определяющий изменение подачи; K_t – коэффициент, определяющий изменение глубины резания; K_n – коэффициент, определяющий изменение скорости резания; z_i, b_i – характеристики i -той конструкции инструмента; $S_z^{\text{опт}}, t_{\text{опт}}, n_{\text{опт.}}$ – оптимальные режимы резания для исходной конструкции инструмента.

Произведение поправочных коэффициентов K_S, K_t, K_n можно представить в виде коэффициента изменения производительности K_{Π} :

$$K_{\Pi} = K_S K_t K_n. \quad (3)$$

Для определения коэффициента изменения производительности обратимся к методике вычисления периода стойкости в зависимости от физико-механических свойств инструментального и обрабатываемого материалов, разработанной нами. Согласно этому способу, период стойкости определяется значениями давления на режущую кромку в процессе обработки и твердости инструментального и обрабатываемого материалов в

* - автор, с которым следует вести переписку.

зависимости от имеющихся опытных данных и определяется по формуле:

$$T = K_T T_{\text{Э}}, \text{ мин,}$$

где K_T – экспериментальный коэффициент резания, выражающий отношение характеристик исследуемых материалов к характеристикам материалов, на которых был произведен эксперимент; $T_{\text{Э}}$ – период стойкости, полученный экспериментальным путем, мин.;

$$K_T = \frac{P_{\text{Э}} \left(1 - \frac{H_{\text{обр}}}{H_{\text{инстр}}} \right)}{P \left(1 - \frac{H_{\text{обр}}^{\text{Э}}}{H_{\text{инстр}}^{\text{Э}}} \right)}, \quad (4)$$

где P и $P_{\text{Э}}$ – расчетные значения давления на режущую кромку соответственно для исследуемой системы «инструмент – деталь» и основанные на имеющихся экспериментальных данных, зависящих от физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, Н/м²; $H_{\text{обр}}$, $H_{\text{инстр}}$ – твердость обрабатываемого и инструментального материалов для исследуемой системы «инструмент – деталь», HRA; $H_{\text{обр}}^{\text{Э}}$, $H_{\text{инстр}}^{\text{Э}}$ – твердость обрабатываемого и инструментального материалов, на которых был получен экспериментальный период стойкости, HRA.

Величины давления на режущую кромку P и $P_{\text{Э}}$ определяются по разработанной нами методике равновесия сил в системе «инструмент – деталь».

Для определения процессов, влияющих на стойкость инструмента при фрезеровании, воспользуемся положениями кинестатики. Выделим момент времени, когда силы, действующие на систему «режущий инструмент – деталь» будут иметь максимальные значения (рис. 1) и уточним их.

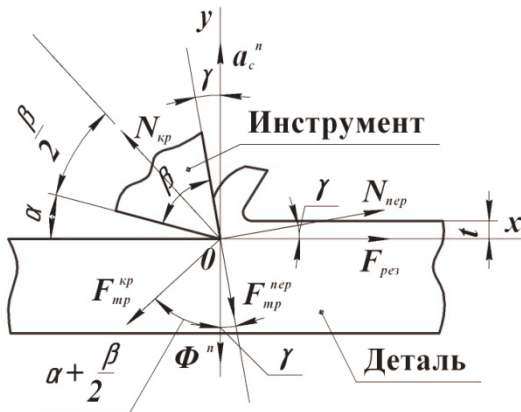


Рис. 1. Распределение сил при фрезеровании материала.

При резании материала на режущую кромку инструмента со стороны срезаемого слоя действует сила трения $F_{\text{тр}}^{\text{кр}}$, которая оказывает влияние на износ инструмента и образование фаски износа. Эта сила связана с упругим сопротивлением инструментального материала и возникновением реакции $N_{\text{кр}}$. Направление силы трения $F_{\text{тр}}^{\text{кр}}$ определяется направлением поверхности фаски износа, которое принято перпендикулярным биссектрисе угла заострения β , а направление $N_{\text{кр}}$ перпендикулярно направлению $F_{\text{тр}}^{\text{кр}}$.

В результате вращения фрезы и наличия центробежного ускорения a_c^n на кромке инструмента возникает сила инерции Φ^n , направленная в противоположную сторону относительно a_c^n . Со стороны режущей кромки на срезаемый слой действует сила трения $F_{\text{тр}}^{\text{пер}}$, которая связана с упругим сопротивлением обрабатываемого материала и возникновением реакции $N_{\text{пер}}$. Направление силы $F_{\text{тр}}^{\text{пер}}$ совпадает с направлением пересечения передней и боковой поверхностей режущей кромки, а направление $N_{\text{пер}}$ перпендикулярно направлению $F_{\text{тр}}^{\text{пер}}$.

Определяя период стойкости инструмента, необходимо учесть влияние на его режущую кромку всех перечисленных сил, которое выражается через действие результирующей силы $F_{\text{рез}}$, в дальнейшем определяющей величину давления P на режущий элемент, влияющего на износ инструмента в процессе обработки. В этом случае сила $F_{\text{рез}}$ характеризует момент, возникающий при резании материала.

Для определения $F_{\text{рез}}$ воспользуемся принципом Даламбера. Выделим в системе «инструмент – деталь» оси проекций: ось y направлена перпендикулярно оси фрезы; ось x направлена перпендикулярно направлению оси y .

Таким образом, сумма проекций сил на оси x и y будет равна нулю:

$$\begin{aligned} \sum F_i(x) &= 0; \\ N_{\text{пер}} \cos \gamma - N_{\text{кр}} \cos \left(\alpha + \frac{\beta}{2} \right) + F_{\text{тр}}^{\text{пер}} \sin \gamma - \\ &- F_{\text{тр}}^{\text{кр}} \sin \left(\alpha + \frac{\beta}{2} \right) + F_{\text{рез}} = 0; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \sum F_i(y) &= 0; \\ N_{кр} \sin\left(\alpha + \frac{\beta}{2}\right) - F_{тр}^{пер} \cos \gamma - \Phi^n &- (6) \\ - F_{тр}^{кр} \cos\left(\alpha + \frac{\beta}{2}\right) + N_{пер} \sin \gamma &= 0, \end{aligned}$$

где γ и α – передний и задний углы режущего элемента;

$$F_{тр}^{кр} = N_{кр} f ; \quad (7)$$

$$F_{тр}^{пер} = N_{пер} f , \quad (8)$$

f – коэффициент трения между материалами.

Учитывая, что реакции $N_{кр}$ и $N_{пер}$ зависят от упругих свойств инструментального и обрабатываемого материалов, получим:

$$N_{кр} = \sigma_{сж}^{инстр} S_{инстр} ;$$

$$N_{пер} = \sigma_{сж}^{обр} S_{обр} ,$$

где $\sigma_{сж}^{обр}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, МПа; $\sigma_{сж}^{инстр}$ – предел прочности на сжатие инструментального материала, МПа; $S_{обр} = \frac{B \cdot t}{\cos \alpha}$ – площадь сечения срезаемого слоя в направлении, перпендикулярном действию силы $N_{пер}$, м²; $S_{инстр} = B \cdot r$ – площадь сечения режущего элемента в направлении, перпендикулярном действию силы $N_{кр}$, м²; B – ширина режущего элемента, м; t – глубина резания, м; r – ширина фаски износа.

Таким образом, получим:

$$N_{кр} = Br\sigma_{сж}^{инстр} ; \quad (9)$$

$$N_{пер} = \frac{Bt}{\cos \alpha} \sigma_{сж}^{обр} . \quad (10)$$

Сила инерции Φ^n режущего инструмента определяется по формуле:

$$\Phi^n = m \frac{V^2}{R} ,$$

где V – скорость резания, м/мин.; R – радиус резания, м; m – масса инструмента, кг.

Для дальнейших расчетов введем некоторые допущения. Объемы корпусной и режущей частей инструмента будем рассматривать укрупнено, как объемы простых геометрических тел:

$$m = \rho_{корп} Q_{корп} + \rho_{вс} Q_{вс} ,$$

где $\rho_{корп}$, $\rho_{вс}$ – плотности материалов корпуса и режущей части сборного инструмента, кг/м³;

$Q_{корп}$, $Q_{вс}$ – укрупненные объемы корпусной и режущей частей инструмента, м³.

$$Q_{корп} = \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right) B ,$$

где D – диаметр корпусной части, м; d – диаметр посадочного отверстия, м;

$$Q_{вс} = a_{вс} b_{вс} c_{вс} ,$$

где $a_{вс}$ – длина вставки, м; $b_{вс}$ – ширина вставки, м; $c_{вс}$ – толщина вставки, м;

$$m = \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right) \cdot B \rho_{корп} + a_{вс} b_{вс} c_{вс} \rho_{вс} ;$$

$$\Phi^n = \left[\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) B \rho_{корп} + \right] \frac{V^2}{R} . \quad (11)$$

Подставив (7) и (8) в (6), получим:

$$\begin{aligned} N_{кр} \sin\left(\alpha + \frac{\beta}{2}\right) - N_{пер} f \cos \gamma - \Phi^n &- \\ - N_{кр} f \cos\left(\alpha + \frac{\beta}{2}\right) + N_{пер} \sin \gamma &= 0, \end{aligned}$$

откуда

$$f = \frac{\Phi^n - N_{кр} \sin\left(\alpha + \frac{\beta}{2}\right) - N_{пер} \sin \gamma}{- N_{кр} \cos\left(\alpha + \frac{\beta}{2}\right) - N_{пер} \cos \gamma} . \quad (12)$$

Подставив (7) в (5), получим:

$$\begin{aligned} N_{пер} \cos \gamma - N_{кр} \cos\left(\alpha + \frac{\beta}{2}\right) + \\ + \left(N_{пер} \sin \gamma - N_{кр} \sin\left(\alpha + \frac{\beta}{2}\right) \right) f + F_{рез} &= 0, \end{aligned}$$

откуда

$$\begin{aligned} F_{рез} = -N_{пер} \cos \gamma + N_{кр} \cos\left(\alpha + \frac{\beta}{2}\right) - \\ - \left(N_{пер} \sin \gamma - N_{кр} \sin\left(\alpha + \frac{\beta}{2}\right) \right) f, \end{aligned}$$

где $N_{кр}$, $N_{пер}$, Φ^n , f определяются по формулам (9), (10), (11) и (12) соответственно.

Давление, которое оказывает сила $F_{рез}$ на режущую кромку инструмента при фрезеровании, определяется по формуле:

$$P = \frac{F_{рез}}{Bt \cos \gamma} . \quad (13)$$

Тогда коэффициент изменения производительности для i -той конструкции определится следующим образом:

$$K_{\Pi}^i = \frac{T_i}{T_{\Sigma}} = K_T^i, \quad (14)$$

где K_T^i определяется по формуле (4) для i -той конструкции инструмента; T_i – период стойкости i -той конструкции инструмента, мин.; T_{Σ} – период стойкости эталонной конструкции инструмента, мин.

Таким образом, можно получить значение производительности, которую способен обеспечить инструмент и скорректировать оптимальные режимы резания.

Нами предлагается для упрощения расчетов равновесная корректировка режимов резания. Согласно формулам (2) и (3), учитывая, что от коэффициента изменения производительности зависят только режимы резания, получим:

$$K_s = K_t = K_n = \sqrt[3]{K_{\Pi}^i};$$

$$S_z^i = S_z^{\text{опт}} \sqrt[3]{K_{\Pi}^i}, \text{ мм/зуб};$$

$$t_i = t_{\text{опт}} \sqrt[3]{K_{\Pi}^i}, \text{ мм};$$

$$n_i = n_{\text{опт}} \sqrt[3]{K_{\Pi}^i}, \text{ об/мин.}$$

Подставив полученные значения в формулу (2), получим значение производительности обработки, которую может обеспечить режущий инструмент, для i -той конструкции:

$$\Pi_i = (S_z^{\text{опт}} \sqrt[3]{K_{\Pi}^i}) z_i (t_{\text{опт}} \sqrt[3]{K_{\Pi}^i}) b_i \times \\ \times (n_{\text{опт}} \sqrt[3]{K_{\Pi}^i}) \text{ м}^3 / \text{мин.}$$

Для сокращения затрат времени, связанных с проведением расчетов, нами разработана программа, объединяющая в себе два модуля [3]. Один из них позволяет создавать базу данных сборных инструментов [4], второй – производить сравнительный анализ конструкций и выбирать режущий инструмент, оптимальный для заданных условий производства [5].

Таким образом, представленные методики позволяют получить численные значения производительности обработки и периода стойкости ре-

жущего инструмента без необходимости проведения экспериментов, а также оценить конструкции инструментов в зависимости от задаваемых условий производства.

Использование программных модулей позволит решить важную задачу хранения и обработки информации по конструкциям режущих инструментов, имеющихся в распоряжении предприятия. В результате применения методики сравнительного анализа [2], реализованной в виде программного обеспечения, сокращается время на поиск наиболее рационального варианта конструкции режущего инструмента. Кроме того, совмещение модулей, позволяющих создавать базу данных инструментов и проводить сравнительный анализ конструкций, дает возможность рассчитать и выявить оптимальную конструкцию режущего инструмента на основе данных, имеющихся на предприятии.

Литература

1. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А. Оптимизация выбора режущего инструмента на основе методов сравнительного анализа // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2010. № 5-2 (283). С. 23 – 31.
2. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А. Сравнительный анализ конструкций фрезерного инструмента для обработки композиционных материалов // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 3. С. 83 – 85.
3. Формирование базы данных инструментов с возможностью выбора оптимальной конструкции фрезерного инструмента для заданных условий производства (DB Tools v.2.0): программа для ЭВМ / А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, Д.А. Рычков. Св. ГР. № 2010615966; зарег. в Реестре программ 13.09.2010.
4. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А. Моделирование сборного инструмента для автоматизации его проектирования и управления подготовкой производства // Проблемы механики современных машин: материалы четвертой междунар. конф. Улан-Удэ, 2009. Т.3. 284 с.
5. Комплексная автоматизация проектирования, подготовки и управления инструментальным производством / А.С. Янюшкин [и др.] // Современные проблемы механики: материалы междунар. науч.-техн. конф. Ташкент, 2009. 416 с.