

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ПРИМЕРЕ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Рычков Д. А., Янюшкин А. С., Лобанов Д. В., Ковалевский С. В., Мишура Е. В.

Рассмотрена методика определения периода стойкости сборного инструмента в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, конструктивных особенностей инструмента и режимов резания на примере фрезерования. Определены силы, действующие на режущий элемент, и произведен расчет давления на его кромку в процессе фрезерования. Сокращение сроков проведения расчетов обеспечивается с помощью программных модулей, позволяющих создавать базу данных для учета номерного инструмента и хранения информации об имеющихся конструкциях, а также выполнить их сравнительный анализ в зависимости от задаваемых условий производства для выявления оптимального варианта.

Розглянута методика визначення періоду стійкості збірному інструменту залежно від фізико-механічних властивостей оброблюваного та інструментального матеріалів, конструктивних особливостей інструменту і режимів різання на прикладі фрезерування. Визначені сили, що діють на ріжучий елемент, розроблено розрахунок тиску на його кромку у процесі фрезерування. Скорочення термінів проведення розрахунків забезпечується за допомогою програмних модулів, що дозволяють створювати базу даних для обліку номерного інструменту та зберігання інформації про наявні конструкції, а також виконати їх порівняльний аналіз залежно від умов виробництва для виявлення оптимального варіанту, що задається.

The technology of the period of the modular tool durability depending on physic mechanical properties of processed and tool materials, design features of the tool and cutting modes on a milling example is considered. The forces operating on cutting element are defined, and calculation of pressure upon its edge in the course of milling is made. Reduction of calculation terms to be carried out is provided by means of the program modules, allowing to create a database for the account of the number tool and storage of the information on available designs, and also to make their comparative analysis depending on set conditions of manufacture for revealing of an optimum variant.

Рычков Д. А.

аспирант БрГУ
dielektrik84@mail.ru

Янюшкин А. С.

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой БрГУ
yanyushkin@brstu.ru

Лобанов Д. В.

канд. техн. наук, доц. БрГУ
mf_nauka@brstu.ru

Ковалевский С. В.

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ТиУП ДГМА
prorector@dgma.donetsk.ua

Мишура Е. В.

канд. техн. наук, доц. кафедры ТиУП ДГМА
jane.mishura@inbox.ru

БрГУ – Братский государственный университет, г. Братск, Россия

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

УДК 621.9

Рычков Д. А., Янюшкин А. С., Лобанов Д. В., Ковалевский С. В., Мишура Е. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ПРИМЕРЕ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

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 [1].

Высокая вариативность конструкций режущего инструмента, особенно сборных, которыми располагает современная промышленность, а также неоднозначность потребностей в нем при изготовлении изделий в каждом конкретном случае создает трудности при выборе инструмента, соответствующего условиям производства. В связи с этим оптимизация выбора и подготовки режущего инструмента является актуальной задачей 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 [2].

Одним из параметров, влияющих на значения перечисленных критериев, является период стойкости инструмента. Сложность определения этой величины заключается в том, что затруднительно получить достоверное значение при варьировании обрабатываемого и инструментального материалов без проведения экспериментов и разработки математической модели, что приводит к неоправданным затратам времени и средств [3]. Поэтому необходимо создание методики, позволяющей произвести расчет периода стойкости режущего инструмента с учетом различных факторов процесса резания.

Эта проблема решена нами путем создания единой методики, позволяющей произвести расчет периода стойкости на примере фрезерования, учитывая конструктивные параметры режущего инструмента, прочностные характеристики обрабатываемого и инструментального материалов и режимы резания.

Кроме того, из-за наличия широкой номенклатуры режущих инструментов, возникает проблема хранения и обработки информации об их характеристиках [4], которая решена путем разработки программного модуля, позволяющего создавать базы данных конструктивных решений.

Целью данного исследования будет являться разработка и обоснование методики теоретического определения периода стойкости сборного инструмента.

Для решения поставленной в исследовании задачи, выявим основные процессы, влияющие на стойкость инструмента при фрезеровании, для чего воспользуемся положениями кинестатики. Выделим момент времени, когда силы, действующие на систему режущий инструмент – деталь будут иметь максимальные значения (рис. 1) и уточним их.

При резании материала на срезаемый слой со стороны режущего инструмента действует сила трения $F_{тр}^{кр}$, которая связана с упругим сопротивлением обрабатываемого материала и возникновением реакции $N_{кр}$. Направление силы трения $F_{тр}^{кр}$ совпадает с направлением, образованным пересечением задней и боковой поверхностей режущего элемента, а направление $N_{кр}$ перпендикулярно направлению $F_{тр}^{кр}$. 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 срезаемого слоя материала на режущий элемент действует сила трения по передней поверхности $F_{тр}^{nep}$,

которая связана с упругим сопротивлением инструментального материала и возникновением реакции $N_{неp}$. Направление силы $F_{mp}^{неp}$ совпадает с направлением пересечения передней и боковой поверхностей режущей кромки, а направление $N_{неp}$ перпендикулярно направлению $F_{mp}^{неp}$.

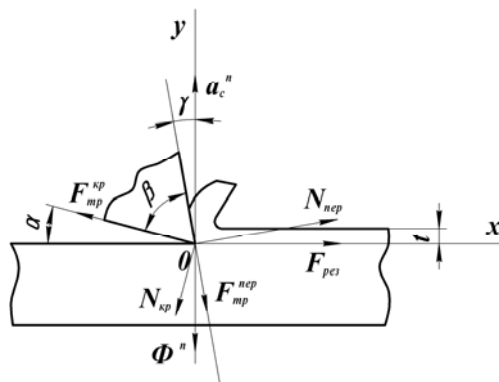


Рис. 1. Распределение сил при фрезеровании материала

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

Для определения $F_{рез}$ 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:

$$\sum F_i(x) = 0; \quad N_{неp} \cdot \cos \gamma - N_{kp} \cdot \sin \alpha + F_{mp}^{неp} \cdot \sin \gamma - F_{mp}^{kp} \cdot \cos \alpha + F_{рез} = 0; \tag{1}$$

$$\sum F_i(y) = 0; \quad -N_{kp} \cdot \cos \alpha - F_{mp}^{неp} \cdot \cos \gamma - \Phi^n + F_{mp}^{kp} \cdot \sin \alpha + N_{неp} \cdot \sin \gamma = 0, \tag{2}$$

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

$$F_{mp}^{kp} = N_{kp} \cdot f; \tag{3}$$

$$F_{mp}^{неp} = N_{неp} \cdot f, \tag{4}$$

f – коэффициент трения между материалами.

Учитывая то, что реакции N_{kp} и $N_{неp}$ зависят от упругих свойств инструментального и обрабатываемого материалов, получим:

$$N_{kp} = \sigma_{сж}^{обр} \cdot S_{обр};$$

$$N_{неp} = \sigma_{сж}^{инстр} \cdot S_{инстр},$$

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 $N_{кр}$, м²;

$S_{инстр} = B \cdot t$ – площадь сечения режущего элемента, на контактирующей поверхности, м²; B – ширина режущего элемента, м; t – глубина резания, м.

Таким образом, получим:

$$N_{кр} = \frac{B \cdot t}{\cos \alpha} \cdot \sigma_{сж}^{обр}; \quad (5)$$

$$N_{пер} = B \cdot t \cdot \sigma_{сж}^{инстр}. \quad (6)$$

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:

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

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;

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

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

$$Q_{вс} = a_{вс} \cdot b_{вс} \cdot c_{вс},$$

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

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

$$\Phi^n = \left[\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot B \cdot \rho_{корп} + a_{вс} \cdot b_{вс} \cdot c_{вс} \cdot \rho_{вс} \right] \cdot \frac{V^2}{R}. \quad (7)$$

Подставив (3) и (4) в (2), получим:

$$- N_{кр} \cdot \cos \alpha - N_{пер} \cdot f \cdot \cos \gamma - \Phi^n + N_{кр} \cdot f \cdot \sin \alpha + N_{пер} \cdot \sin \gamma = 0;$$

$$f = \frac{\Phi^n + N_{кр} \cos \alpha - N_{пер} \cdot \sin \gamma}{N_{кр} \cdot \sin \alpha - N_{пер} \cdot \cos \gamma}. \quad (8)$$

Подставив (3) и (8) в (1), получим:

$$N_{nep} \cdot \cos \gamma - N_{кр} \cdot \sin \alpha - (N_{кр} \cdot \cos \alpha - N_{nep} \cdot \sin \gamma) \cdot \left(\frac{\Phi^n + N_{кр} \cos \alpha - N_{nep} \cdot \sin \gamma}{N_{кр} \cdot \sin \alpha - N_{nep} \cdot \cos \gamma} \right) + F_{рез} = 0;$$

$$F_{рез} = N_{кр} \cdot \sin \alpha - N_{nep} \cdot \cos \gamma + (N_{кр} \cdot \cos \alpha - N_{nep} \cdot \sin \gamma) \cdot \left(\frac{\Phi^n + N_{кр} \cos \alpha - N_{nep} \cdot \sin \gamma}{N_{кр} \cdot \sin \alpha - N_{nep} \cdot \cos \gamma} \right),$$

где $N_{кр}$, N_{nep} , Φ^n определяются по формулам (5), (6) и (7) соответственно.

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

$$P = \frac{F_{рез}}{B \cdot t}. \tag{9}$$

Таким образом, расчетный период стойкости режущего инструмента при фрезеровании определяется по формуле:

$$T = T_{\text{Э}} \cdot K_T,$$

где $T_{\text{Э}}$ – период стойкости, полученный экспериментально, мин; K_T – коэффициент стойкости, зависящий от параметров инструментального и обрабатываемого материалов, исследуемых и полученных экспериментально;

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

где P и $P_{\text{Э}}$ – расчетные значения давления на режущую кромку соответственно для исследуемой системы «инструмент – деталь» и основанное на имеющихся экспериментальных данных, Н/м²;

$H_{обр}$, $H_{инстр}$ – твердость обрабатываемого и инструментального материалов для исследуемой системы «инструмент – деталь», HRA;

$H_{обр}^{\text{Э}}$, $H_{инстр}^{\text{Э}}$ – твердость обрабатываемого и инструментального материалов, на которых был получен экспериментальный период стойкости, HRA.

Рассчитанное по приведенной методике значение периода стойкости используется при определении критериев работоспособности инструмента и экономичности [2].

Методика сравнительного анализа реализована в виде автоматизированной программы определения оптимальной конструкции, интерфейс которой позволяет работать с базами данных, а также производить расчет и определение оптимальной конструкции режущего инструмента при заданных условиях производства.

Диалоговое окно модуля программы, предназначенного для выбора оптимальной конструкции инструмента, представлено на рис. 2. Разработанный программный продукт включает в себя 2 модуля. Первый модуль позволяет создавать базу данных сборных инструментов [3], второй – производить сравнительный анализ конструкций и выбирать режущий инструмент, наиболее подходящий в зависимости от задаваемых условий производства [4].

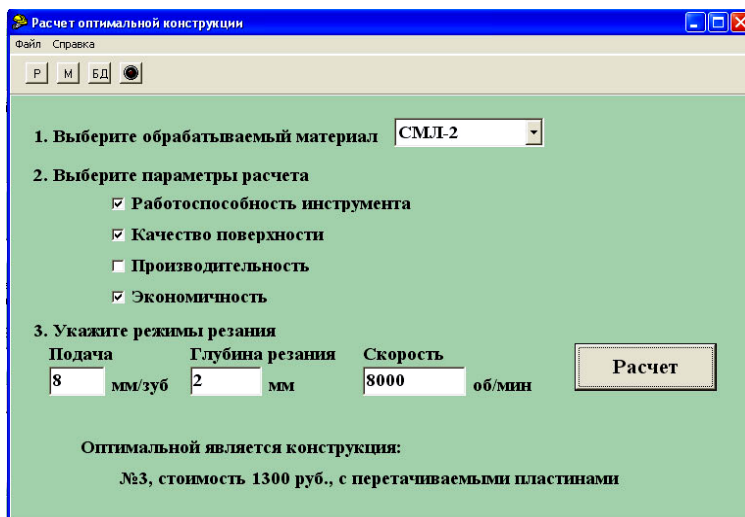


Рис. 2. Распределение сил при фрезеровании материала

Программа позволяет в диалоговом режиме задавать исходную информацию, необходимую для анализа, критерии для расчета и режимы резания. В зависимости от введенной информации, производится расчет, результат которого выводится в нижней части диалогового окна в виде оптимального варианта конструкции режущего инструмента с описанием его номера в базе данных, стоимости и конструктивного исполнения режущей части.

Реализация представленной методики дает возможность повысить уровень автоматизации инструментального обеспечения на предприятиях, сократить время на поиск рационального варианта конструкции для варьируемых условий производства практически в два раза.

ВЫВОДЫ

Таким образом, представленная методика позволяет получить численное значение периода стойкости режущего инструмента без необходимости проведения дополнительных экспериментальных исследований и оценить конструкции инструмента в зависимости от задаваемых условий производства. Решена важная задача хранения и обработки информации по конструкциям режущих инструментов, имеющихся в распоряжении предприятия. В результате применения методики сравнительного анализа, реализованной в виде программного обеспечения, резко 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. Оптимизация выбора режущего инструмента на основе методов сравнительного анализа / Д. В. Лобанов, А. С. Янюшкин, Д. А. Рычков // *Фундаментальные и прикладные проблемы машиностроения «Технология – 2010»: материалы XII Международной научно-технической конференции, 7–11 июня 2010 г, Орел. – ОГТУ: Орел. – 362 с.*
2. Янюшкин А. С. Сравнительный анализ конструкций фрезерного инструмента для обработки композиционных материалов / А. С. Янюшкин, Д. В. Лобанов, Д. А. Рычков // *Системы. Методы. Технологии. – 2009. – № 3. – С. 83–85.*
3. Рычков Д. А. Программные продукты для автоматизации подготовки инструментального производства на предприятиях / Д. А. Рычков, А. С. Янюшкин, Д. В. Лобанов // *Научно-техническое творчество молодых. Ползуновский альманах. – Алтайский гос. техн. университет им. И. И. Ползунова: Барнаул, 2008. – № 4. – С. 214–216.*
4. Комплексная автоматизация проектирования, подготовки и управления инструментальным производством / А. С. Янюшкин, Д. В. Лобанов, Д. А. Рычков, Т. Е. Лисова // *Современные проблемы механики: материалы международной научно-технической конференции: Ташкент, 2009. – 416 с.*