

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОНЦЕВЫМИ РАДИУСНЫМИ ФРЕЗАМИ С УЧЕТОМ ПРОЧНОСТИ ИНСТРУМЕНТА

Пономарев Б.Б., Нгуен Д.В.

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск*

Ключевые слова: концевая радиусная фреза, рациональные режимы резания, подача на зуб, коэффициент запаса прочности, ABAQUS, ANSYS.

Аннотация. В статье представлен способ определения рациональных режимов резания при обработке поверхностей концевыми радиусными фрезами по рекомендованному интервалу коэффициента запаса прочности инструмента. В качестве основного параметра, влияющего на производительность процесса и качество обработки, принята подача на зуб. Определение коэффициента запаса прочности инструмента выполняется на основе результатов расчетов силы резания и напряжений, проводимых с помощью программ ABAQUS и ANSYS. При вхождении величины этого коэффициента в рекомендованный интервал его значений дает основание технологу для заключения о правильности принятого решения. В противном случае требуется внесение изменений в программу обработки с последующей проверкой по предложенной методике.

DETERMINATION OF RATIONAL CUTTING MODES WHEN PROCESSING SURFACES WITH RADIUS END MILLS TAKING INTO ACCOUNT THE STRENGTH OF THE TOOL

Ponomarev B.B., Nguyen D.V.

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk

Keywords: radius end mill, rational cutting mode, orientation, strength, ABAQUS, ANSYS.

Abstract. The article presents a method for determining rational cutting modes when machining surfaces with end radius milling cutters according to the recommended interval of the tool safety factor. The feed per tooth adopted as the main parameter affecting the productivity of the process and the quality of machining. The tool safety factor is determined based on the results of cutting force and stress calculations carried out using the ABAQUS and ANSYS programs. When the value of this factor enters the recommended range of its values, it gives the technologist grounds for concluding that the decision taken is correct. Otherwise, changes must be made to the machining program with subsequent verification using the proposed method.

Предлагаемая методика выбора рациональных режимов резания при чистовой обработке поверхностей концевыми радиусными фрезами (КРФ) с учетом прочности режущей кромки инструмента основана на использовании рекомендованного авторами работы [1] диапазона коэффициента запаса прочности инструмента $K_{з_рек}$. Рассматриваемая методика предполагает по рекомендованному диапазону коэффициента запаса прочности инструмента $K_{з_рек}$ определить с учетом первоначального рабочего состояния инструмента и выбранных по справочникам или каталогам режимов возможность эксплуатации инструмента, в противном случае принять решение об изменении режимов.

Коэффициент запаса прочности инструмента K_z определяется отношением допускаемого предельного напряжения инструментального материала при растяжении $[\sigma_\epsilon]$ к максимальному эквивалентному напряжению $\sigma_{\text{экв}}^{\text{макс}}$, возникающему в зоне растяжения на поверхностях инструмента под воздействием сил сопротивления материала заготовки при образовании стружки:

$$K_{z_рек} = \frac{[\sigma_\epsilon]}{\sigma_{\text{экв}}^{\text{макс}}}. \quad (1)$$

Допускаемое предельное напряжение инструментального материала при растяжении $[\sigma_\epsilon]$ может быть определено по справочникам или получено экспериментально, максимальное эквивалентное напряжение $\sigma_{\text{экв}}^{\text{макс}}$ только путем теоретических расчетов. Для обеспечения работы инструмента с высоким уровнем надежности коэффициент запаса прочности инструмента K_z по мнению авторов упомянутой работы должен находиться в пределах некоторого рекомендованного численного диапазона, определяемого многими факторами, в том числе режимами резания, свойствами материалов инструмента и заготовки, конструктивными особенностями инструмента и другими. При обработке поверхностей КРФ рекомендованный диапазон коэффициента запаса прочности инструмента $K_{z_рек}$ составляет от 2 до 3. Если это условие выполняется, тогда режимы резания можно считать как не требующими корректировки и соответствующими условиям обработки и механическим свойствам материалов, задействованных в процессе.

В работе [1,2] приведены результаты анализа влияния основных параметров режимов резания на производительность процесса обработки: глубина резания – t ; подача на зуб – f_z ; скорость резания – V и поперечная подача – $S_{\text{поп}}$. Установлено, что основным фактором, влияющим на производительность процесса обработки, является подача на зуб f_z , поэтому в рамках настоящего исследования в качестве изменяемого принят именно этот параметр. Блок-схема алгоритма определения рациональной величины подачи на зуб $f_{z_рац}$ с учетом рекомендованного диапазона коэффициента запаса прочности инструмента $K_{z_рек}$ представлена на рисунке 1. Эта последовательность представляет собой цикл, начинающийся от задания величины подачи на зуб f_z , затем выполнения двух сложных последовательных расчетов (1 – расчет проекций сил резания, действующих на поверхностях инструмента F_x, F_y, F_z , при заданной подаче на зуб f_z ; 2 – расчет напряжений $\sigma_{\text{экв}}, \sigma_{\text{норм}}, \tau$, возникающих в режущей кромке под действием силы резания). Цикл заканчивается проверкой выполнения условия по диапазону значений инструмента путем сравнения рассчитанного коэффициента K_z с рекомендованным $K_{z_рек}$. При выполнении условия нахождения коэффициента запаса прочности в пределах выбранного диапазона параметры режимов резания,

в том числе и подача на зуб f_z считаются удовлетворяющими условию (рациональными).

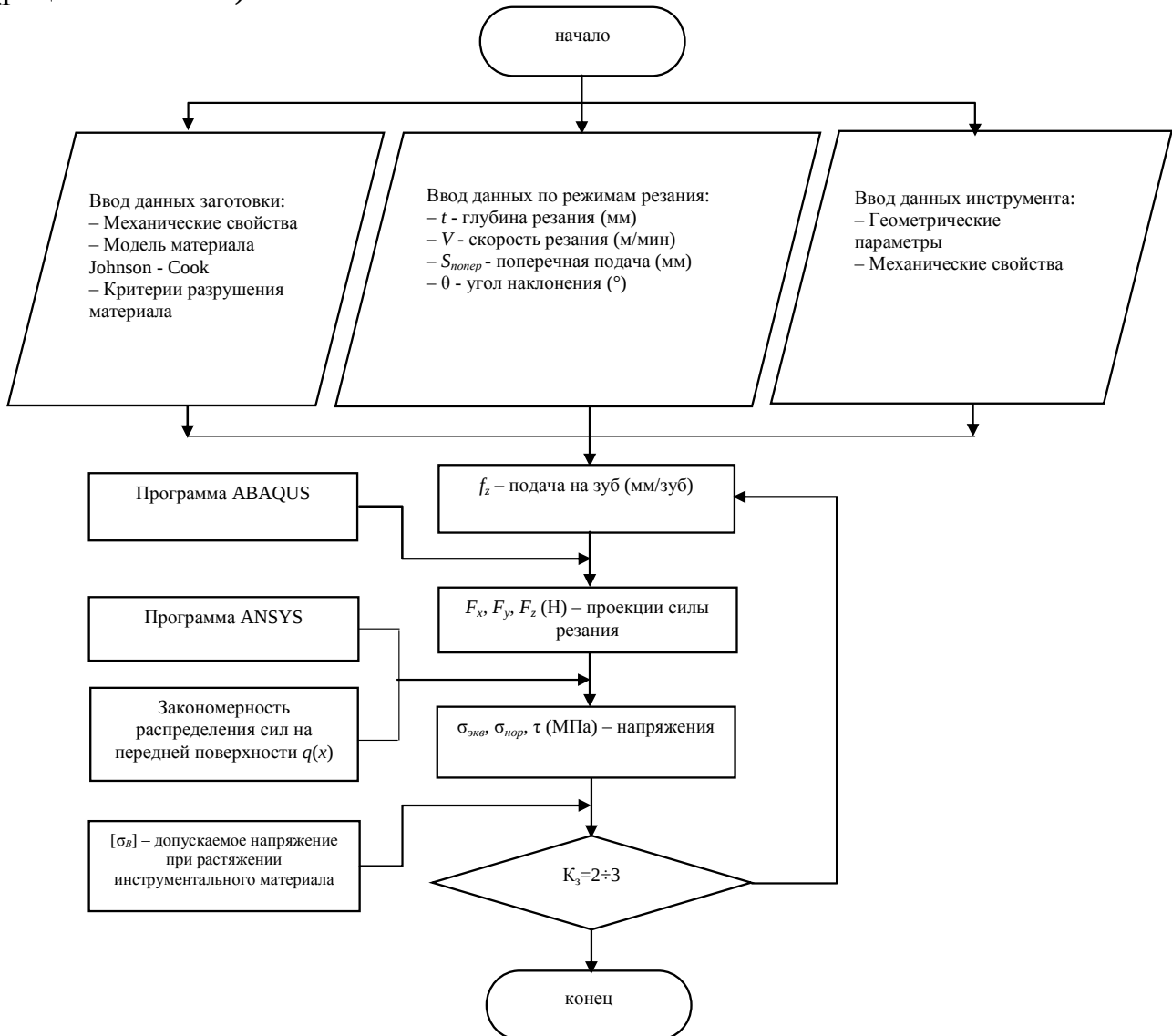


Рис 1. Методика выбора рациональных режимов резания при обработке поверхностей КРФ с учетом прочности инструмента

Расчет проекций силы резания F_x, F_y, F_z производится с помощью программного комплекса ABAQUS для чего в систему должны быть загружены трехмерные модели заготовки и инструмента, схема обработки, свойства материалов заготовки и инструмента, параметры режимов резания и другие данные. При этом подача на зуб f_z может быть изменена в соответствии с результатами проведенных расчетов по рекомендованному диапазону коэффициента запаса прочности инструмента $K_{з_рек}$. При создании трехмерной модели инструмента необходимо учитывать величину радиуса округления режущей кромки ρ [3], а модель заготовки должна быть разбита на части, учитывающие срезаемый слой припуска, при этом пластические механические свойства и критерий разрушения материала должны описываться моделью Johnson – Cook [4]. Сетки элементов инструмента и заготовки генерируются с применением элемента трехгранного типа с малыми размерами (10^{-7} мм). Для

расчета напряжений $\sigma_{экв}, \sigma_{норм}, \tau$ требуется произвести преобразование системы полученных проекций силы резания F_x, F_y, F_z в систему нормальных и касательных сил, действующих на поверхности инструмента N, F, N', F' и распределить эти силы по зонам контакта инструмента с заготовкой [5]. Зоны контакта поверхностей инструмента определяются в зависимости от толщины удаляемого с заготовки слоя материала [6]. В результате расчета получают значения $\sigma_{экв}, \sigma_{норм}, \tau$ и их распределение на поверхностях инструмента. По распределению нормального напряжения $\sigma_{норм}$ определяется зона растяжения, (знак «+») [7]. Эта зона расположена на передней поверхности зоны контакта со стружкой [7], что наглядно демонстрируют рисунки 2, 3. В зоне растяжения выбирается максимальное эквивалентное напряжение $\sigma_{экв}^{макс}$ (рис. 4), позволяющее определить коэффициент запаса прочности инструмента K_s по формуле (1).

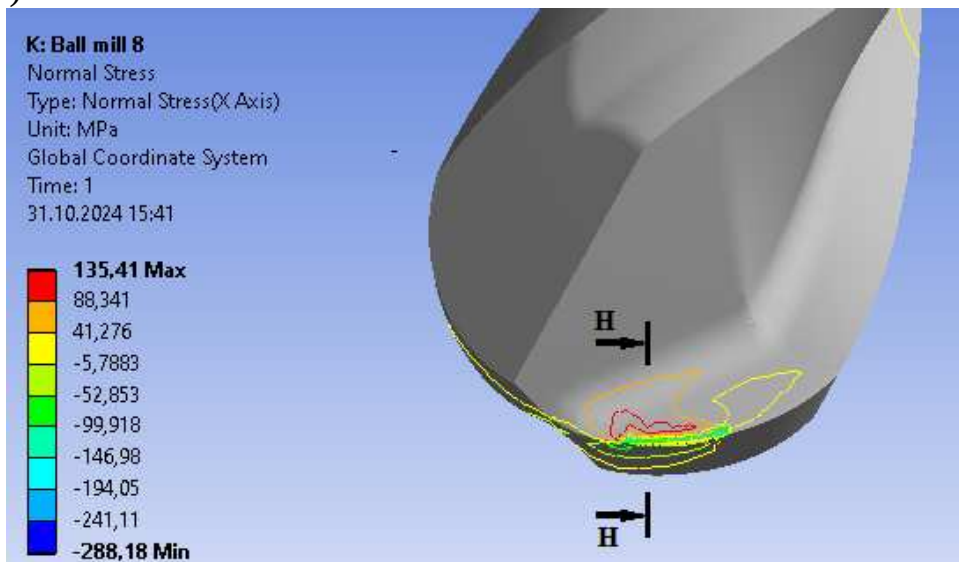


Рис. 2. Распределение нормального напряжения $\sigma_{норм}$ на поверхностях инструмента при обработке с примером режима резания:
 $t = 0,5 \text{ мм}; V = 125 \text{ м/мин}; f_z = 0,06 \text{ мм/зуб}; S_{нон} = 0,5 \text{ мм}$

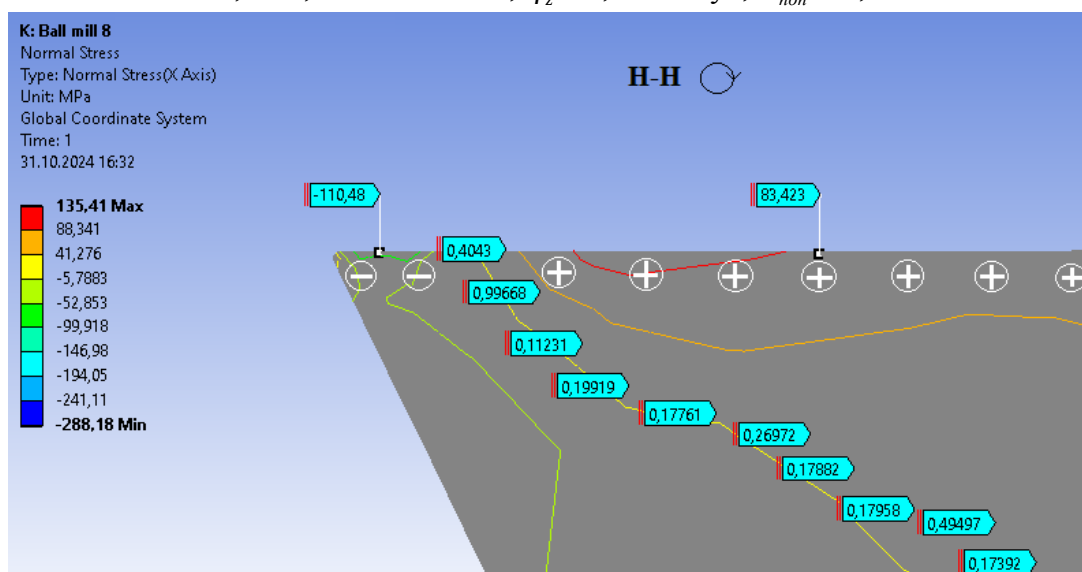


Рис. 3. Зоны сжатия и растяжения на передней поверхности инструмента в сечении

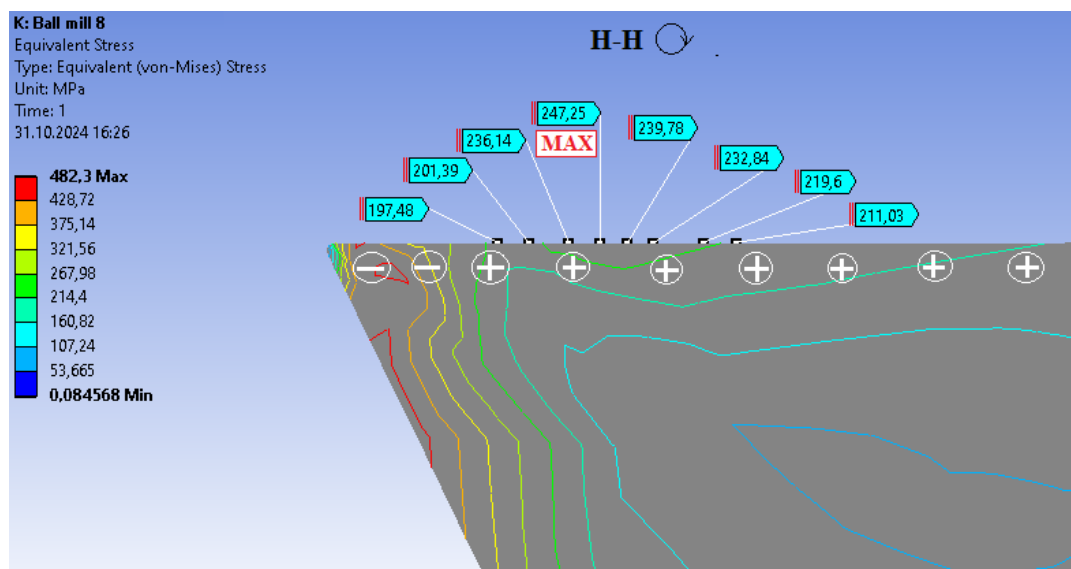


Рис. 4. Распределение эквивалентного напряжения в зоне растяжения

По результатам проверки выполнения условия нахождения рассчитанного значения K_z в пределах рекомендованного диапазона запаса прочности инструмента делается заключение о потребности в корректировке подачи на зуб f_z . Если значение этого параметра находится в диапазоне $f_{z_рац}^{нач}, \dots, f_{z_рац}^{кон}$, тогда корректировка не требуется.

Авторы приходят к выводу, что разработанный способ для определения рациональных режимов резания по рекомендованному диапазону коэффициента прочности инструмента при обработке КРФ позволяет повысить производительность процесса резания и дает возможность обоснованно прогнозировать период работоспособности инструмента при чистовом фрезеровании сложных поверхностей.

Список литературы

1. Бетанели А.И. Прочность и надежность режущего инструмента. – Тбилиси, Сабчота Сакартвело, 1973. – 301 с.
2. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
3. Пономарев Б.Б., Нгуен Ван Дык, Свинин В.М. Расчет силы резания при формообразовании сложных поверхностей концевыми радиусными фрезами. Часть 2 // Металлообработка. – 2023. – №6. – С. 12-21. – DOI: 10.25960/mo.2023.6.3.
4. Johnson G.R., Cook W.H. Fracture Characteristics of Three Metals Subjected to Various Strains, Strain rates, Temperatures and Pressures // Engineering Fracture Mechanics. 1985, vol. 21, no. 1, pp. 31-48.
5. Полетика Ф.М. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. – М.: Машиностроение, 1969. – 148 с.
6. Пономарев Б.Б., Нгуен В.Д. Моделирование напряженного состояния концевой радиусной фрезы при формообразовании сложной поверхности // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2023. – №7. – С. 64-76. – doi.org/10.18698/0536-1044-2023-7-64-76.
7. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.

Сведения об авторах:

Пономарев Борис Борисович – д.т.н., профессор кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств»;

Нгуен Ван Дык – аспирант.