

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПОЛОЖЕНИЯ УСЛОВНОЙ ПЛОСКОСТИ СДВИГА В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

В.В. Смирнов, А.М. Фирсов, А.Г. Овчаренко

БТИ АлтГТУ, г. Бийск

В работе представлены методика и результаты численного эксперимента по определению действующих в процессе резания сил и соответствующего им положения условной плоскости сдвига. Актуальность исследований обусловлена тем, что силы резания являются одним из ключевых факторов процесса стружкообразования, следовательно, качества обработки поверхности, а также нагружают элементы технологической системы: заготовку, приспособление, инструмент. Для выполнения численных расчётов использована формулировка метода конечных элементов, основанная на минимизации интегральной величины, связанной с работой напряжений и внешней приложенной нагрузки – потенциальной энергии. Результатом компьютерных вычислений является картина напряжённо-деформированного состояния элемента стружки при заданном соотношении составляющих сил резания. Данная методика вычислительного эксперимента может быть использована для расчёта сил резания при проектировании режущего инструмента, технологической оснастки и оценки жёсткости технологической системы.

Ключевые слова: обработка резанием, условная плоскость сдвига, численный эксперимент.

ВВЕДЕНИЕ

От эффективности процесса стружкообразования зависят многие характеристики технологического процесса механической обработки, в том числе работа и мощность резания, рабочий ресурс режущего инструмента, качество обрабатываемой поверхности. Поэтому исследование этого процесса постоянно привлекает внимание отечественных и зарубежных специалистов в области технологии машиностроительного производства. Изучением зоны резания занимались Г.И. Грановский, А.И. Исаев, Н.И. Ташлицкий, М.Э. Иткин, Н.Г. Абуладзе и др. Обобщая экспериментальные данные, Н.Н. Зорев и А.И. Бетанели вывели формулы для определения контактных напряжений [1] на передней поверхности режущего инструмента. Используя метод линий скольжения на основе теории жестко-пластического тела Т.Н. Лоладзе оценивал контактное давление вблизи режущей кромки путем анализа напряженного состояния в зоне стружкообразования [2]. М.Х. Полетика показал возможность решения контактной задачи при резании как смешанной задачи упругости о воздействии на упругое тело жесткого индентора (штампа), используя методы теории функций комплексных переменных [3]. С.С. Силин анализировал контактные явления на основе уравнений баланса энергий и применении методов теории подобия [4].

На новый этап исследования контактных задач при резании выведены применением численных методов и методики вычислительного эксперимента. Современные программные средства, разработанные на основе метода конечных элементов, предоставляют простые и эффективные инструменты решения задач напряжённо-деформированного состояния с учетом слож-

ной геометрии, условий нагружения и характера деформирования [5, 6].

В работе [7] для решения задачи методом конечных элементов и отыскании узловых значений перемещений использован подход, который основывается на минимизации интегральной величины, связанной с работой напряжений и внешней приложенной нагрузки – потенциальной энергии:

$$\Pi = W_D + W_P,$$

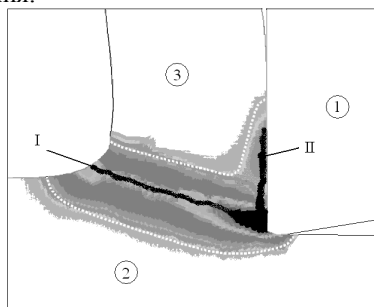
где W_D – энергия деформаций, W_P – потенциальная энергия приложенных сил.

После того, как перемещения определены, вычисляются компоненты тензоров деформаций и напряжений.

Рассматривая механические явления, возникающие в зонах первичной и вторичной деформации (см. рис. 1) под действием силы резания, нетрудно заметить, что в области внедрения режущей кромки возникают большие деформации и наблюдаются напряжения, превышающие предел прочности материала заготовки. Причём наибольшие пластические деформации наблюдаются в так называемой плоскости сдвига. Поэтому определение ее пространственного положения является актуальной задачей.

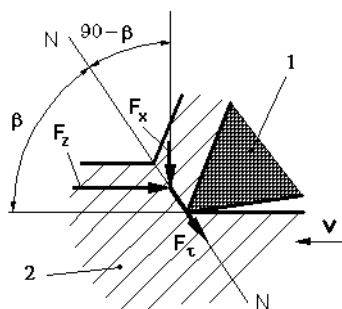
Указанная задача обычно сводится к определению угла наклона β условной плоскости сдвига N-N к направлению скорости главного движения резания v (см. рис. 2) и решается многими авторами либо экспериментально, либо методами теории подобия [4], либо с использованием вариационных принципов [6]. В работе [8] предложен способ определения положения условной плоскости сдвига путём численного моделирования с помощью метода конечных элементов, позволяющий, кроме того, прогнозировать положение в пространстве основного источника тепловыделения при обработке материалов резанием.

В данной статье рассматривается создание вычислительной модели, взаимоувязывающей пространственное положение плоскости сдвига (соответствующее предельным сдвиговым напряжениям) и пропорциональное соотношение между составляющими силы резания.



1 – режущий элемент, 2 – заготовка, 3 – стружка

Рис. 1. Зоны первичной (I) и вторичной (II) деформации при резании



1 – режущий клин; 2 – обрабатываемый материал

Рис. 2. Схема резания: F_{τ} – сдвигающая сила, F_x и F_z – её составляющие

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основой проведения численных экспериментов служило задание расчетных нагрузок максимально приближенных к реально действующим нагрузкам. При этом очевидно угол β (см. рис. 2) при резании будет таким, что значения действующих в обрабатываемом материале напряжений достигнут предела прочности на сдвиг. Проверка этого предположения осуществлялась с помощью анализа трёхмерного напряженно-деформированного состояния элемента стружки. Рассматриваемые деформации возникают под действием сил резания в обрабатываемом материале, резец считается абсолютно твёрдым телом.

Расчетная область (элемент стружки) аппроксимировалась с помощью 272 узлов расчетной сетки 125 тетраэдральными элементами. В качестве граничных условий задавались нулевые перемещения для узлов расчетной сетки, принадлежащих условной плоскости сдвига, а также нулевые перемещения для узлов, контактирующих с поверхностью инструмента; принято что, на ту же поверхность действует распределенная

нагрузка от силы резания, прочие поверхности приняты свободными от нагрузок. В качестве обрабатываемого конструкционного материала была принята сталь с содержанием углерода 0,13% и пределом прочности на сдвиг 480 МПа. Площадь условной поверхности сдвига принята 5 мм². Значение сдвигающей силы $F_{\tau}=2400$ Н задавалось тремя составляющими F_x , F_y и F_z , равными по абсолютной величине соответствующим силам сопротивления резанию [2].

На рис. 3 приведена общая картина распределения напряжений в деформированном элементе стружки для условий работы с охлаждением, при нулевых значениях переднего угла γ режущего инструмента, угла наклона режущей кромки λ и главного угла в плане ϕ .

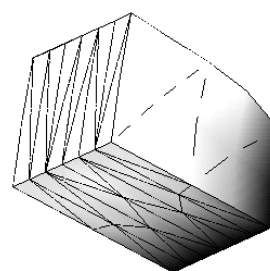


Рис. 3. Общая картина напряжений и деформаций в элементе стружки

Расчеты в интерактивном режиме проводились для выбранной схемы обработки при $\phi = 45^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\gamma = 15^\circ$ и отношении глубины резания к подаче на один оборот $t/s > 10$. Значение сдвигающей силы $F=2400$ Н задавалось тремя составляющими (проекциями на координатные оси) F_x , F_y , F_z , максимальные напряжения. Выбирались соотношения составляющих сдвигающей силы, при которых действующие в условной плоскости сдвига напряжения начинают превышать предел прочности на сдвиг.

Путём вычислительного эксперимента определено, что наклону плоскости сдвига $\beta \approx 10^\circ$, с погрешностью, не превышающей 12%, соответствуют отношения $F_x/F_z \approx 0,25$ и $F_y/F_z \approx 0,45$, что хорошо согласуется с экспериментальными данными по определению угла сдвига [4] и справочными значениями составляющих сил резания [9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно сделать вывод, что для предлагаемая методика численного анализа процесса резания, основанная на определении взаимосвязи между пространственным положением условной плоскости сдвига (на которой фиксируются сдвигающие напряжения) при резании и отношениями между составляющими силы резания дает удовлетворительные результаты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Развитие науки о резании металлов [Текст] / В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев, А.И. Исаев и др. – М.: Машиностроение, 1967. – 416 с.
2. Лоладзе, Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента [Текст] / Т.Н. Лоладзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
3. Полетика, М. Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента [Текст] / М.Ф. Полетика. – М.: Машиностроение, 1969. 114 с.
4. Силин, С.С. Метод подобия при резании металлов [Текст] / С.С. Силин. – М.: Машиностроение, 1979, - 152 с.
5. Strenkowski J. S. A finite element model of orthogonal metal cutting / J. S. Strenkowski, J. T. Carroll // Journal of Engineering for Industry : Trans. of ASME. – 1985. – Vol. 107. – P. 349–354.
6. Криворучко, Д.В. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы: монография [Текст] / Д.В. Криворучко, В.А. Залого. – Сумы: Университетская книга, 2012. – 496 с.
7. Смирнов, В.В. Численные модели процессов теплопереноса в элементах технологических систем обработки резанием [Текст] / В.В. Смирнов // Вестник молодых ученых. – 2001. -№7 // Серия: Технические науки. – 2001. – №2. – С. 85-89.
8. Смирнов, В.В. Пространственное положение условной плоскости сдвига при обработке резанием / В.В. Смирнов, Ф.Ф. Спиридонов. // Инженерно-физический журнал. Том 77, – 2004. – № 6. – С. 46-47.
9. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Сулова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова- 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 944 с.

Смирнов Виталий Васильевич – доцент кафедры технологии машиностроения и качества, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854)435302, e-mail: smirnov.vv@bti.secna.ru.

Фирсов Александр Максимович – доцент кафедры технологии машиностроения и качества, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854)435302, e-mail: mrsii@bti.secna.ru.

Овчаренко Александр Григорьевич – профессор кафедры технологии машиностроения и качества, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854)435302, e-mail: shura@bti.secna.ru.

NUMERICAL ANALYSIS TO POSITION A CONDITIONAL SHEAR PLANE IN CUTTING

V.V. Smirnov, A.M. Firsov, A.G. Ovcharenko

Biysk Technological Institute, Biysk

Abstract – The authors of the paper describe the methods and results of a numerical experiment by means of which the forces acting in the process of cutting are determined. The relevance of research is due to the fact that the cutting forces are one of the key factors in the chip formation process. The forces influence the quality of the surface treatment, load the elements of the technological system: workpiece, tool, tool. To perform numerical calculations, the authors used the formulation of the finite element method based on minimizing the integral value associated with the operation of voltages and the external applied load-the potential energy. The result of computer calculations is the picture of the stress-strain state of the chip element for a given ratio of cutting forces. This technique of computational experiment can be used to calculate the cutting forces in the design of the cutting tool, the tooling and the evaluation of the rigidity of the technological system.

Index terms: machining, plane shift, numerical experiment.

REFERENCES

1. Razvitie nauki o rezanii metallov [Tekst] / V.F. Bobrov, G.I. Granovskij, N.N. Zorev, A.I. Isaev i dr. – M.: Mashinostroenie, 1967. – 416 p.
2. Loladze, T.N. Prochnost' i iznosostojkost' rezhushchego instrumenta [Tekst] / T.N. Loladze. – M.: Mashinostroenie, 1982. – 320 p.
3. Poletika, M. F. Kontaknyye nagruzki na rezhushchih poverhnostyah instrumenta [Tekst] / M.F. Poletika. – M.: Mashinostroenie, 1969. 114 p.
4. Silin, S.S. Metod podobiya pri rezanii metallov [Tekst] / S.S. Silin. – M.: Mashinostroenie, 1979, - 152 p.
5. Strenkowski J. S. A finite element model of orthogonal metal cutting / J. S. Strenkowski, J. T. Carroll // Journal of Engineering for Industry : Trans. of ASME. – 1985. – Vol. 107. – P. 349–354.
6. Krivoruchko, D.V. Modelirovanie processov rezaniya metodom konechnykh ehlementov: metodologicheskie osnovy: monografiya [Tekst] / D.V. Krivoruchko, V.A. Zaloga. – Sumy: Universitetskaya kniga, 2012. – 496 p.
7. Smirnov, V.V. CHislennyye modeli processov teploperenosa v ehlementah tekhnologicheskikh sistem obrabotki rezaniem [Tekst] / V.V. Smirnov // Vestnik molodyh uchenyh. – 2001. -№7 // Seriya: Tekhnicheskie nauki. – 2001. – №2. – P. 85-89.
8. Smirnov, V.V. Prostranstvennoe polozhenie uslovnoj ploskosti sdviga pri obrabotke rezaniem / V.V. Smirnov, F.F. Spiridonov. // Inzhenerno-fizicheskij zhurnal. Tom 77, – 2004. – № 6. – P. 46-47.
9. Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya. T. 2 / Pod red. A. M. Dal'skogo, A, G. Suslova, A. G. Kosilovoj, R. K. Meshcheryakova- 5-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 2001. – 944 p.

Smirnov Vitaliy Vasilievich – associate professor at the char of machine building technology and quality, Biysk Technological Institute, (3854)435302, e-mail: smirnov.vv@bti.secna.ru.

Firsov Alexandr Maximovich – associate professor at the char of machine building technology and quality, Biysk Technological Institute, (3854)435302, e-mail: mrsii@bti.secna.ru.

Ovcharenko Alexandr Grigirievich – professor at the char of machine building technology and quality, Biysk Technological Institute, (3854)435302, e-mail: shura@bti.secna.ru.