

**А.Ю.Беляева, инж.**

**НТУ Украины "Киевский политехнический институт", г. Киев, Украина**

**РАСЧЕТ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТАТИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЗЦЕДЕРЖАТЕЛЕЙ ДЛЯ  
ДРОБЛЕНИЯ СТРУЖКИ**

---

*В статті розглядаються розрахунки кільцевих пружних елементів різцетримача для дроблення стружки за допомогою метода скінченних елементів та програмою MSC/NASTRAN for Windows.*

*In the article the calculations of circular resilient elements of toolholder are examined for crushing of shaving by the method of eventual elements and by the program MSC/NASTRAN for of Windows.*

---

При обработке многих материалов, особенно таких, как высоколегированные стали и ряд сплавов цветных металлов, стружка имеет характер длинной непрерывной ленты или спирали. Наличие такой стружки, получившей название "сливной", является отрицательным фактором обработки металлов резанием в силу того, что навивание и запутывание стружки на детали и рабочие органы затрудняет эксплуатацию автоматизированного оборудования. Вследствие затрат времени на удаление сливной стружки из зоны обслуживания станка снижается производительность труда, что является основной причиной травматизма рабочих на станочных операциях. Указанными факторами и объясняется непрерывный поиск мероприятий по дроблению сливной стружки.

Вибрационное резание является одним из эффективных и надежных методов дробления стружки в процессе резания и основывается на том, что на обычно принятую для данной операции кинематическую схему накладывается дополнительное вибрационное движение инструмента относительно заготовки. При резании с вибрациями режущая часть инструмента совершает главное движение, движение подачи и вибрационное движение.

При резании с вибрациями возможна обработка в двух режимах — непрерывное и прерывистое резание. Процесс прерывистого резания, который осуществляется за счет изменения скоростей за один период колебаний, состоит из резания и паузы. При любых режимах резания и вибраций отрыв инструмента происходит в тот момент, когда скорость движения инструмента относительно обрабатываемой поверхности детали равна нулю.

Дробления стружки во время обработки на токарно-револьверном станке может быть обеспечено специальным резцедержателем с упругими элементами, который устанавливается в револьверной головке и связывается с приводом инструментального шпинделя. Упругие элементы выполняют функцию упругих направляющих или шарниров, соединяя корпус резцедержателя и отгибаемую часть с резцом.

Учитывая то, что жесткость резцедержателя с упругими элементами меньше жесткости, штатного резцедержателя станка, необходимо определить влияние конструктивных параметров упругих элементов на статическую жесткость этого резцедержателя.

На рис. 1 приведена схема резцедержателя для дробления стружки в направлении продольной подачи с кольцевыми упругими элементами [6]. Резцедержатель состоит из корпуса 1 соединенного кольцевым упругим элементом 3 с отгибаемой частью 4, несущей резец 5. Резцедержатель установлен в револьверную головку 2 токарно-револьверного станка и соединен с приводом инструментального шпинделя.

Изменение частоты колебаний резца осуществляется бесступенчато в диапазоне до 50 Гц за счет регулирования частоты вращения привода 7 от системы управления станка.

Для обеспечения требуемой жесткости отгибаемой части резцедержателя необходимо определить геометрические размеры кольцевых упругих элементов. С этой целью были выполнены предварительные расчеты упругих элементов аналитическими методами (методом Ритца и начальных параметров), анализ результатов которых [1], при сравнении расчетов вызвал большую погрешность с экспериментальными данными. Известный метод расчета оболочек [2, 3, 4] также не может быть использован

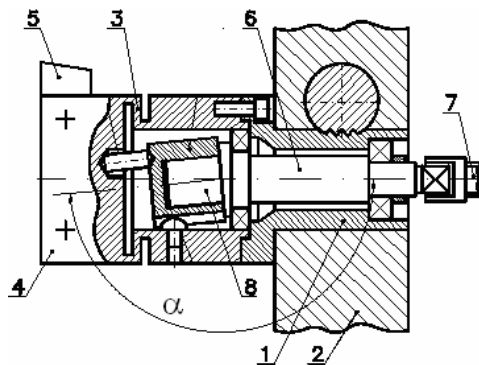


Рис. 1. Схема резцедержателя для дробления стружки в направлении продольной подачи

1 – корпус, 2 – револьверная головка токарно-револьверного станка, 3 – кольцевой упругий элемент, 4 – отгибаемая часть 5 – резец, 6 – приводной вал, 7 – привод инструментального шпинделя

для расчета статических характеристик упругих кольцевых элементов резцедержателей в следствии существенного отличия толщин пластин и стенок оболочек. Так как предложенные выше методы не дали ожидаемой точности расчетов, целесообразным является расчет такого типа упругих элементов численными методами, а именно методом конечных элементов (МКЭ).

Анализ конструкций с использованием вариационно-сеточного метода, а особенно его варианта - МКЭ является в настоящее время общепринятым подходом для прочностных и других видов расчетов конструкций. Основой этого служит универсальность МКЭ, позволяющая единым способом рассчитывать различные по конфигурации конструкции с учетом свойств материала.

У МКЭ вся область делится на подобласти (конечные элементы), которые не перекрывая одна другую плотно ее заполняют. Далее определяются базисные функции в каждом конечном элементе отдельно, причем базисные функции конечных элементов за его границами тоже определены, но при этом тождественно равны нулю.

Выбранная программа MSC/NASTRAN for Windows [5] ориентирована в первую очередь на подготовку полноценной конечно-элементной модели с максимальными

возможностями моделирования, учета особенностей геометрического, силового характера и выполнение различных видов расчетов.

Для расчета твердотельной модели область разбивают на конечное число малых элементов, обычно в виде треугольников для плоской задачи и многогранников для пространственной задачи. В пределах элемента перемещения представляются суммой аппроксимирующих функций [7]. Например

$$u(x, y, z) = \sum_{r=1}^V a_r \cdot f_r(x, y, z),$$

где  $f_r(x, y, z)$  - заранее выбранные функции,  $a_r$  - неизвестный параметр. Число параметров  $V$  выбирается равным числу узлов элементов, что дает возможность выразить смещения как линейные функции узловых смещений этого же элемента.

Для элемента в виде тетраэдра принимают, что смещение представляет линейную функцию координат

$$u(x, y, z) = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot x + \alpha_3 \cdot y + \alpha_4 \cdot z$$

Описанный выше метод применен для расчета упругого кольцевого элемента резцедержателя для дробления стружки, показанного на рис. 1.

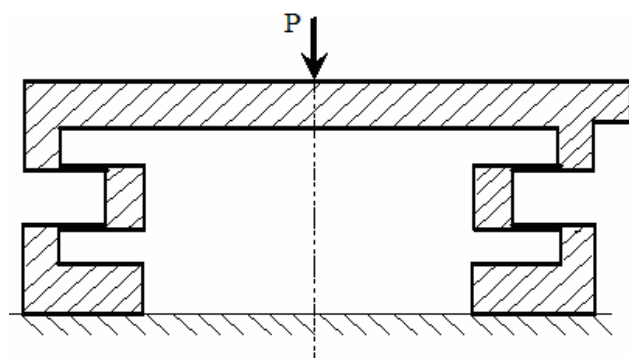


Рис. 2. Схема упругого элемента с центральной нагрузкой

Для проверки погрешности между результатами расчетов и результатами экспериментальных исследований проведены испытания натурального образца упругого кольцевого элемента, схема которого показана на рис. 2.

В соответствии с геометрическими размерами натурального образца создана твердотельная модель. Модель подвергнута разбивке на конечные элементы с учетом жесткого закрепления у основания и

нагружена сосредоточенной осевой силой. Далее при помощи МКЭ определялись деформации упругого элемента, и рассчитывалась жесткость кольцевых пластин. На рис. 3 в виде графиков зависимости деформаций  $w$  кольцевой пластины от силы  $P$  приведены результаты сравнения данных теоретических и экспериментальных исследований.

На основании графика, показанного на рис. 3, можно сделать вывод о хорошей сходимости результатов расчета и эксперимента и возможности использования программы MSC/NASTRAN for Windows для дальнейших исследований упругих элементов данного типа.

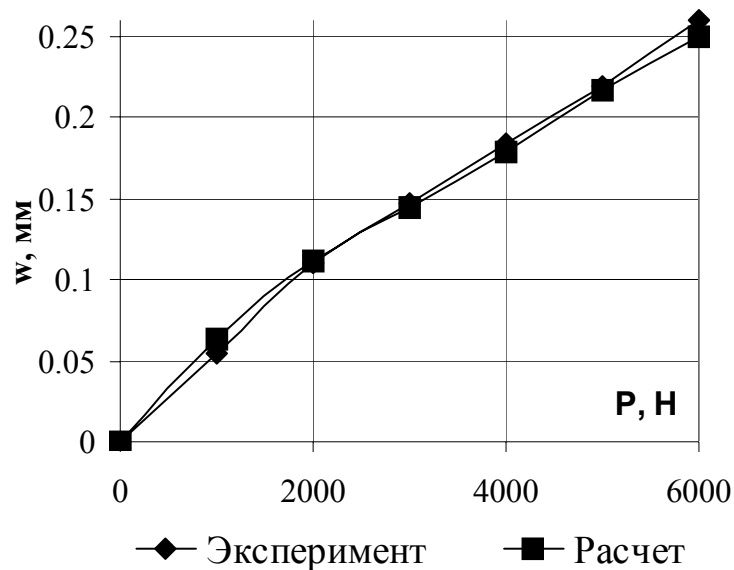


Рис. 3 Графики зависимости перемещения  $w$  от силы  $P$  при центральном нагружении

Далее производился расчет жесткости упругого элемента в зависимости от радиуса  $R_{np}$ . расположения шарнирной опоры по схеме, показанной на рис. 4, которая установлена в точке действия привода колебательных движений (см. рис. 1). На схеме (рис. 4) остаются те же граничные условия, что и на рис. 2, но меняется место приложения силы, а также имеется возможность учета жесткости привода колебательных движений.

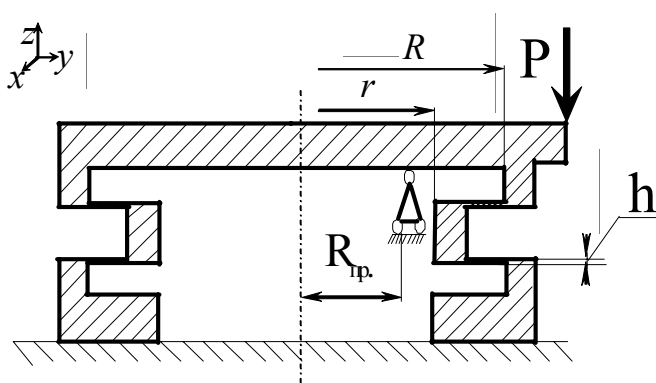


Рис. 4 Расчетная схема упругого элемента с шарнирной опорой

По результатам расчета получены зависимости жесткости  $C$  по направлению действия силы  $P$  от радиуса  $R_{np}$ . при переменной толщине пластины  $h$ . Анализ графиков показывает, что чем ближе находится опора к центру, тем больше жесткость упругого элемента. Для дальнейших расчетов принята величина  $R_{np} = 25$  мм.

Изменим геометрические характеристики пластин (толщины, разницы радиусов, количество пластин) используя расчетную схему, показанной на рис. 4, при тех же граничных условиях и при такой же нагрузке. Определение жесткости упругого элемента в зависимости от геометрических характеристик и местонахождения шарнира дает возможность найти наиболее подходящие геометрические размеры кольцевого упругого элемента с минимальным разрушением при циклическом нагружении. В результате получены графики зависимостей, показанные на рис. 6.

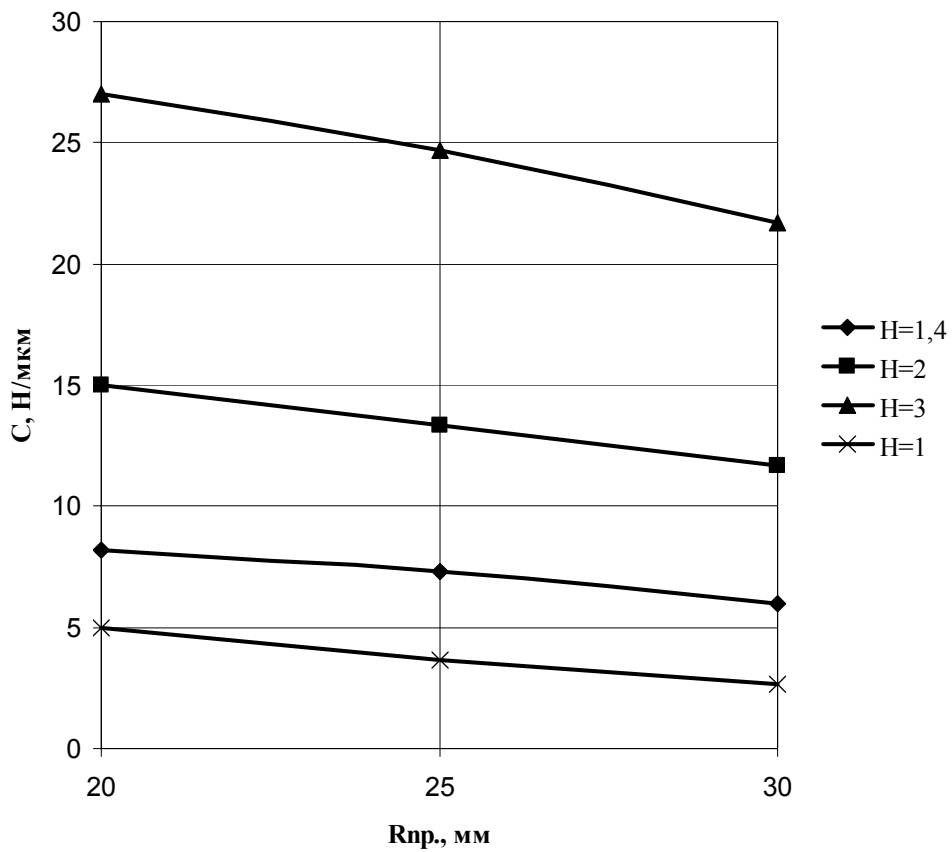


Рис. 5 Зависимость жесткости упругого элемента от точки приложения

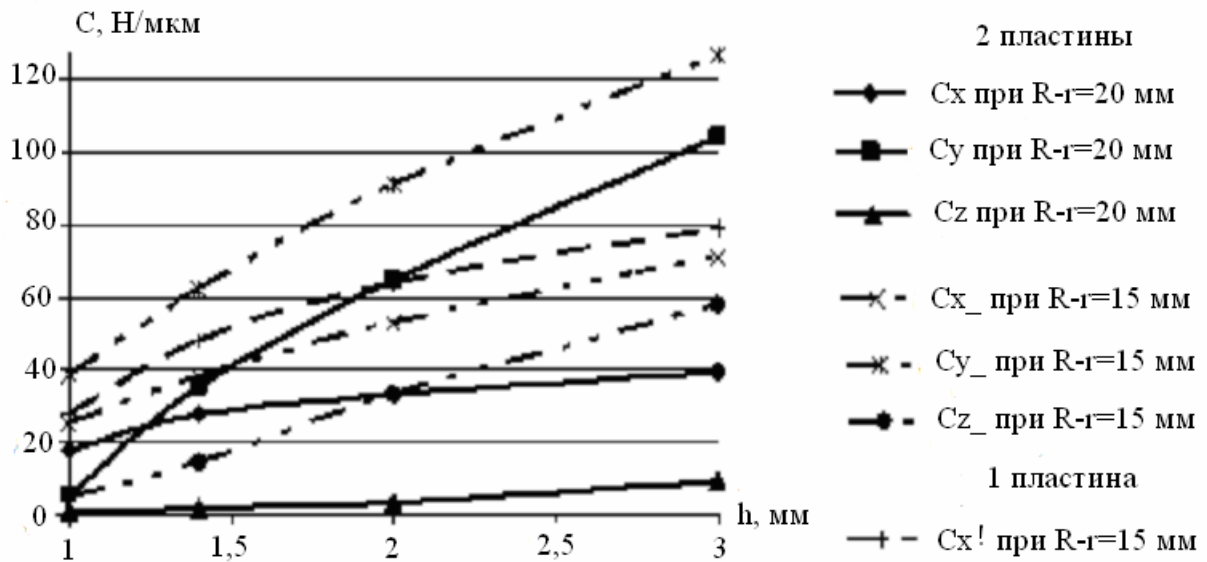


Рис. 6 Зависимость жесткости  $C$  от длины  $R - r$ , толщины  $h$  и количества пластин

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод о том, что при увеличении разницы радиусов  $R - r$ , толщины пластин  $h$ , а также при уменьшении количества пластин жесткость увеличивается.

При резании с осевой подачей наиболее эффективны для дробления стружки осевые вибрации, обеспечивающие надежное дробление при сравнительно малой амплитуде колебаний. Исходя из графиков, показанных на рис. 6, рекомендуется для станков среднего типоразмера выбирать наиболее жесткий упругий элемент, а именно толщину пластины  $h = 3$  мм, количество пластин – 2 штуки, разницу между максимальным и минимальным радиусом -  $R - r = 15$  мм поскольку возможно подобрать ту амплитуду при которой вибрации в осевом направлении не будут превышать вибраций при работе самого станка.

Результаты исследований подтвердили эффективность использования резцедержателей с упругой подвеской резца и приводом колебательных движений для дробления стружки в процессе резания. Поэтому поиск и исследования новых высокоэффективных методов дробления стружки являются актуальной, научной и технической задачей.

#### Список использованной литературы

1. Беляева А.Ю. Методы расчета резцедержателей с упругими элементами для дробления стружки при точении./ Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”, Машиностроение, вып. 46, Киев, 2005. с. 98 - 99.
2. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек. — М.: Наука, 1974. — 446 с.
3. Василенко А.Т., Григоренко Я.М. Методы расчета оболочек. Киев: Наук. думка, 1981. — 544 с.
4. Власов В.З. Общая теория оболочек и ее приложения в технике.- М.,Л.- Гостехиздат, 1949.-874 с.
5. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. – М.: ДМК Пресс, 2003. – 448 с., ил. (Серия "Проектирование").
6. Патент України № 56855А. Різцетримач / Бюл.№ 5, 2003р., В23В25/02.
7. Расчет на прочность деталей машин. Справочник / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с., ил.