

УДК 621.9.014.8:621.9.015

*В.В. Максаров*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНИЗОТРОПНЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВИБРОУСТОЙЧИВОГО ИНСТРУМЕНТА**

Можно выделить широкий класс изделий машиностроения, автоматизация и управление механической обработкой которых требует особого подхода при решении задач по повышению эффективности процесса резания. Повышение производительности токарной обработки, увеличение скоростей главного движения и подач, выполнение высоких требований по точности и качеству обрабатываемых поверхностей обуславливают необходимость проведения новых систематических исследований поведения технологической системы при тонком точении. Динамическая устойчивость технологической системы, снижение уровня вибраций, возникающих в процессе резания, — залог стабильности стружкообразования, обеспечивающей выполнение этих требований, что особенно важно при автоматизации технологического процесса. Следует также отметить, что вибрации, возникающие в процессе механической обработки, существенно затрудняют эксплуатацию технологического оборудования, работающего в автоматизированном цикле, являются причиной преждевременного износа инструмента, аварий станков и приспособлений. Таким образом, задача обеспечения устойчивости технологической системы за счет снижения уровня автоколебаний — одна из важнейших в области лезвийной обработки. Она приобретает особую актуальность при чистовой обработке изделий на автоматических станках и станках с ЧПУ [1, 2].

Одним из наиболее эффективных способов, позволяющих обеспечивать устойчивость парциальной технологической подсистемы «инструмент» при чистовой обработке тел вращения, является создание демпфированного инструмента, который оснащен многослойной державкой, обладающей анизотропными свойствами. Особенность процесса точения таким инструментом заключается в снижении уровня автоколебаний, которые возникают в процессе резания за счет упорядоченной разориентации текстуры анизотропных пластин сборной много-

слойной державки, позволяющей эффективно рассеивать энергию колебательной волны на границе перехода между пластинами державки. Данный метод существенно повышает стойкость режущей кромки инструмента и расширяет технологические возможности по выбору эффективных режимов резания, обеспечивающих выполнение требований по размерной и геометрической точности, качеству обрабатываемой поверхности.

Рассмотрим сущность метода создания демпфирующего инструмента с многослойной державкой, обладающей анизотропными свойствами. Материал пластин державки, изготовленных из стали 45 (ГОСТ1080–88), состоящий из множества кристаллических зерен, ориентированных произвольно, в целом изотропен или почти изотропен; его анизотропия проявляется в результате обработки давлением. Пластическая деформация прокаткой, не создавая полосчатости (неравномерности) микроструктуры, приводит к изменению направления волокон макроструктуры, образуя текстуру (рис. 1). Державка режущего инструмента изготовлена из пакета пластин, собранных между собой по плоскостям, параллельным опорной поверхности державки. Пластины вырезаны из листового проката с продольной, поперечной и вертикальной ориентацией по плоскости относительно направления их прокатки и собраны в пакет с углом разориентировки текстуры (рис. 2, а). При колебаниях, возникающих в процессе механической обработки, характеристика поведения стержня державки при малых деформациях принимается соответственно закону Гука с учетом сопротивлений трения в неподвижных соединениях между пластинами и внутреннего трения в материале державки. Обусловленные наличием текстуры материала неупругие эффекты внутреннего трения, связанные с перемещениями дислокаций, вызывают необратимые гистерезисные потери энергии внутри металла державки при механических колебани-

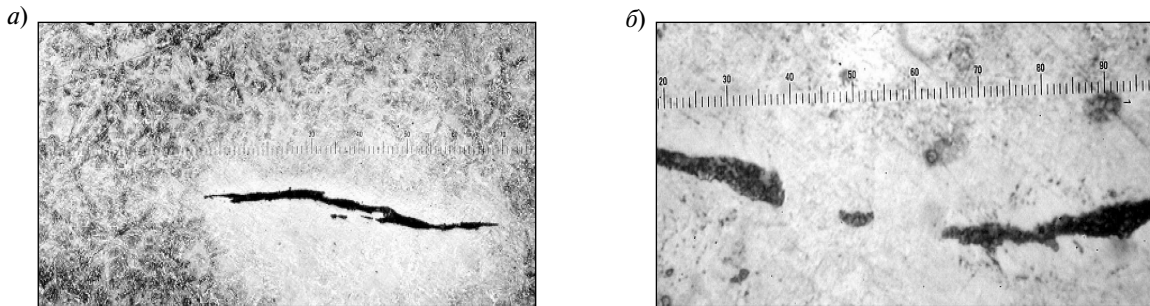


Рис. 1. Фрагменты включений, образующие ориентированную в направлении проката текстуру образца заготовки (сталь 45 ГОСТ1080–88), при увеличении в 200 (а) и 1000 (б) раз

ях. Линии диаграммы «напряжение — деформация» при нагрузке и разгрузке из-за неполной упругости металлов не совпадают, а образуют петлю гистерезиса (рис. 2, б). Ее площадь характеризует энергию, рассеянную за один цикл нагружения. Внутреннее трение обусловлено статическим гистерезисом, когда форма и площадь его петли не связаны с временными релаксационными процессами и поэтому не зависят от частоты колебания, но сильно зависят от его амплитуды и свойств материала державки. Для достижения наибольшего демпфирующего эффекта разориентация текстуры деформации в двух соседних пластинах должна быть максимальна. Тогда колебательная волна при переходе границы раздела меняет свое направление, в результате чего происходит рассеяние энергии колебаний.

При малой величине разориентации текстуры деформации диссипация энергии незначительна. Поэтому в предлагаемом техническом

решении пластины державки ориентируют таким образом, чтобы при переходе от одной пластины к другой текстура деформации изменялась на  $90 \pm 10^\circ$  относительно действия на державку основной — тангенциальной — составляющей силы резания. Под действием силы резания в верхних слоях державки возникают преимущественно максимальные растягивающие напряжения  $\sigma_p$ , а в нижних, опорных, — сжимающие напряжения  $\sigma_{сж}$  [2, 3].

Поэтому для стабилизации прочности различных зон и увеличения прочности и надежности всей державки необходимы дополнительные условия по ориентации текстуры деформации в пластинах сборной державки относительно сил резания. Известно, что максимальное сопротивление растягивающим напряжениям прокатанный металл оказывает в продольном направлении, а минимальное — в вертикальном направлении относительно направления про-

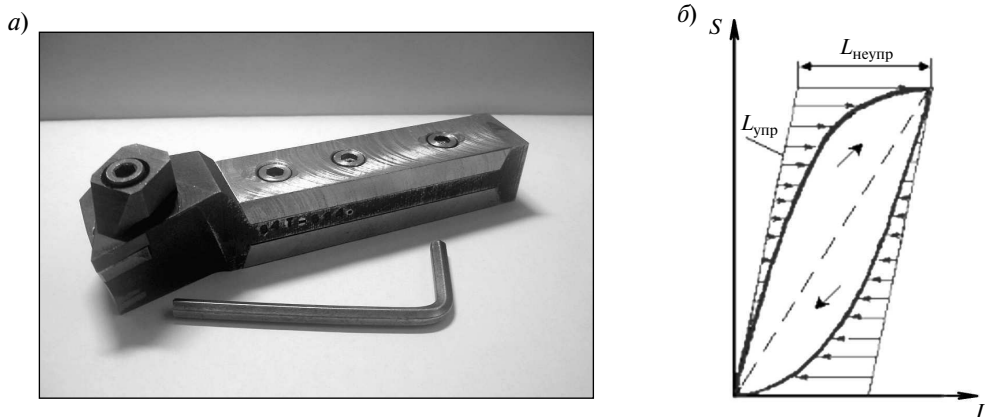


Рис. 2. Экспериментальный резец с многослойной державкой (а) и петля гистерезиса диаграммы «напряжение  $S$  — деформация  $L$ » (б)

катки. Наоборот, максимальным сопротивлением сжимающим напряжениям прокатанный металл обладает в вертикальном направлении, а минимальным — в продольном [3, 4]. Сопротивление металла в поперечном направлении и растягивающим, и сжимающим напряжениям имеет промежуточные значения. В связи с этим направления прокатки в опорной пластине ориентировано параллельно тангенциальной составляющей этой силы. В верхней пластине направление прокатки ориентировано параллельно радиальной составляющей силы резания, а плоскость прокатки располагается перпендикулярно тангенциальной составляющей силы резания. Направление прокатки в средней пластине параллельно действию осевой составляющей силы резания.

Для анализа технологических свойств многослойной державки и ее поведения в системе станка разработана математическая модель технологической системы при чистовом точении резцом. Математическая модель динамических свойств технологической системы, выбор схемы которой связан, прежде всего, с выделением подсистем и выявлением структуры связей между ними, определением числа степеней свободы и вида обобщенных координат, необходимых для полного описания процессов, происходящих в рассматриваемой системе, позволяет провести качественный анализ динамических процессов технологической системы в целом. Для выявления возможности управления процессом резания, а также анализа динамических свойств технологической системы необходимо осуществить переход от сложной многомерной модели к упрощенной динамической модели, эквивалентной исходной относительно спектральных характеристик, с использованием обоснованного критерия близости в заданном частотном диапазоне [1].

Считается, что многомерная и упрощенная системы эквивалентны, причем упрощенная модель оптимальна, если выполняются два условия:

$$\rho(W, W_M) \leq \varepsilon; \quad (1)$$

$$\rho(W, W_M) = \min \rho(W, W_M), \quad (2)$$

где  $W, W_M$  — матрицы частотных характеристик соответственно исходной и упрощенной модели;

$\rho(W, W_M)$  — метрика, задающая расстояние между  $W$  и  $W_M$ ;  $\varepsilon$  — малая наперед заданная величина допустимой ошибки.

Выполнение условий (1) и (2) обеспечивает близость амплитудно-частотных и фазовых характеристик (АЧХ и ФЧХ) обобщенной и упрощенной моделей. На рис. 3 представлена четырехконтурная динамическая модель технологической системы механической обработки малой размерности с диссипативными характеристиками, учитывающими конструктивное демпфирование и реологические процессы рассматриваемой глобальной модели, которой соответствуют две подсистемы с четырьмя обобщенными координатами: а) подсистема заготовки  $Z$  с координатами  $u, w$ ; б) подсистема инструмента  $I$  с координатами  $x, y$ .

Реологическая модель технологической системы механической обработки учитывает как процесс первичной пластической деформации в зоне срезаемого слоя, так и процессы вторичной деформации и трения при движении стружки по передней поверхности режущего инструмента. Моделирование на основе кусочно-линейной аппроксимации процесса стружкообразования позволило сформировать основы для построения дифференциальных уравнений, описывающих динамические свойства технологической системы механической обработки. Исходя из этого поведение выбранной динамической четырехконтурной модели в соответствии с принятой реологической моделью стружкообразования удобно представлять в векторно-матричной форме:

$$T\dot{q} + N(q)q = 0, \quad (3)$$

где  $q$  — вектор-функция (размера  $n \times 1$ ) обобщенных координат системы;  $T$  — диагональная матрица размера  $n \times n$ ;  $N(q)$  — матрица размера  $n \times n$ . В рассматриваемой модели  $n = 10$ ; при этом число контуров  $n$  соответствует размерности модели.

Система дифференциальных уравнений (3) описывает динамические процессы в технологической системе механической обработки с учетом упругопластических свойств в динамике контактного взаимодействия инструмента с заготовкой и реологических особенностей процесса стружкообразования в зоне активного

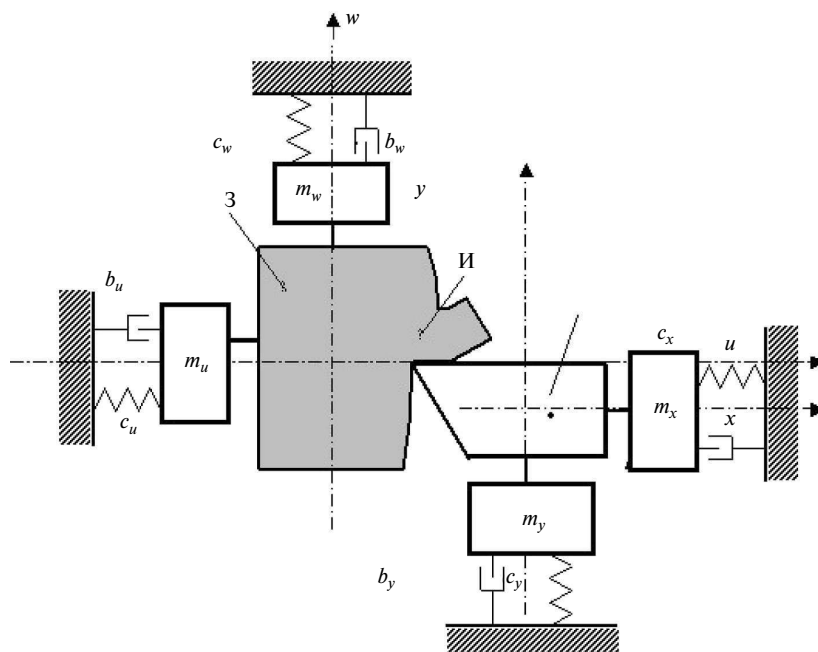


Рис. 3. Динамическая модель четырехконтурной технологической системы: 3 — подсистема «заготовка»; И — инструмент;  $A_c$  — оператор стружкообразования

пластического деформирования. На основе полученной системы уравнений разработана программа расчетов максимально допустимых значений ширины срезаемого слоя в зависимости от скорости резания. С использованием программного обеспечения COSMOS Work проведены расчеты упругих деформаций державки. Эпюры суммарного статического перемещения резца с многослойной державкой и резца-аналога приведены на рис. 4.

Расчетные виброперемещения при обработке подсистемы инструментного, оснащенного многослойной державкой, показали снижение уровня автоколебаний в процессе резания. Проводившиеся в этой области экспериментальные исследования виброперемещений при обработке заготовки из стали 45 подтвердили правильность теоретической модели и доказали эффективность применения резцов с анизотропной демпфирующей державкой при чистовом точении.

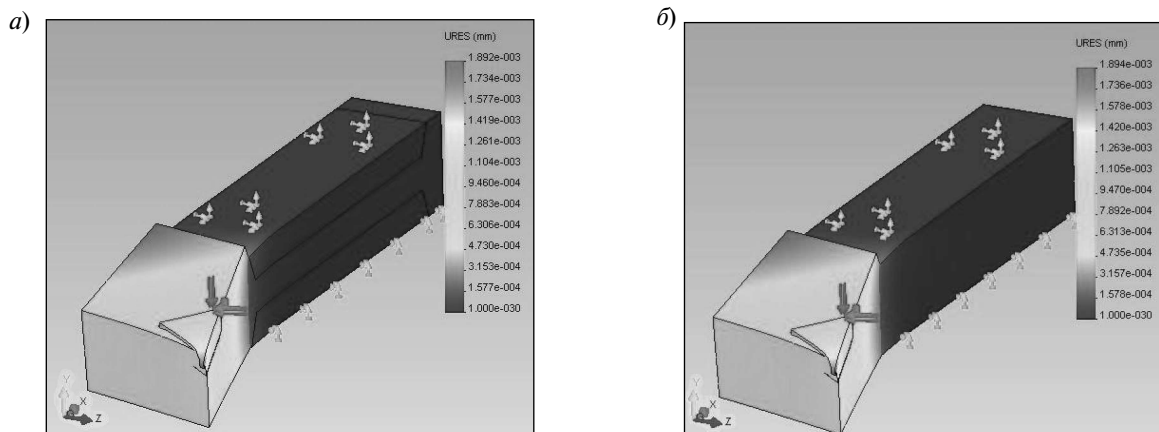


Рис. 4. Эпюры суммарного статического перемещения резца с многослойной державкой (а) и резца-аналога (б)

Разработан метод повышения устойчивости процесса резания при чистовом точении, основанный на использовании анизотропных свойств пластически деформированной конструкционной стали и явления диссипации колебательной волны при переходе раздела между разорентированными по текстуре пластинами державки инструмента. На основании изученных физических анизотропных свойств стального проката создан инструмент, оснащенный многослойной демпфирующей державкой.

Предложена обобщенная математическая модель процесса стружкообразования, позво-

ляющая описать процесс с учетом упруго-пластических свойств в динамике контактного взаимодействия инструмента с заготовкой и реологических особенностей парциальной системы «инструмент».

Экспериментальные исследования вибропеременений при обработке заготовки из стали 45 подтвердили правильность теоретической модели и доказали эффективность применения резцов с анизотропной демпфирующей державкой при чистовом точении.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вейц, В.Л.** Моделирование процесса стружкообразования при лезвийной механической обработке [Текст] / В.Л. Вейц, В.В. Максаров // Станки и инструмент.— 2002. № 4.— С. 13–15.

2. **Максаров, В.В.** Повышение эффективности процесса тонкой лезвийной обработки при точении за счет анизотропных свойств режущего инструмента [Текст] / В.В. Максаров, П.В. Леонидов, Ю. Ольт,

А.Н. Шарашов // Металлообработка.— 2010. № 1.— С. 16–23.

3. **Maksarov, V.** Materjalide Loiketeooria ja Loikurid [Текст] / V. Maksarov, J. Olt.— Tartu: Eesti Maaulikool, 2008.— 132 lk.

4. **Микляев, П.Г.** Анизотропия механических свойств металла [Текст] / П.Г. Микляев, Я.Б. Фридман.— М.: Металлургия, 1986.— 224 с.