

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА СДВИГА СТРУЖКИ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ТОЧЕНИИ С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ВИДЕОСЪЕМКИ

М.П. Козочкин, Н.В. Солис

Кафедра технологии машиностроения,
металлорежущих станков и инструментов
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

Определяется угол сдвига стружки при ультразвуковом резании с помощью аппаратуры для высокоскоростной видеосъемки.

Ключевые слова: ультразвуковое точение, ультразвуковое резание, угол сдвига, высокоскоростная съемка, лезвийная обработка.

Ультразвуковая механическая обработка металлов, в частности ультразвуковое точение, является одним из перспективных направлений машиностроения. Главными преимуществами ультразвукового точения являются: существенное снижение силы резания и высокое качество получаемой поверхности. В ранее опубликованных работах [1; 2; 3] отмечались возможные причины снижения сил резания при ультразвуковой механической обработке, а также преимущества этого метода обработки и его связи с качеством получаемой поверхности.

Характеристикой ультразвукового точения является постоянное формирование сливной стружки, что указывает на снижение затрачиваемой энергии пластической деформации поверхностного слоя при резании, а, следовательно, снижается и сила резания.

Для появления эффекта снижения силы резания нужно соблюдать условие прерывности [4]:

$$V_{\text{рез}} < 120 \pi A f \text{ (м/мин)}, \quad (1)$$

где A — амплитуда колебания инструмента, м; f — частота колебания инструмента, Гц, $V_{\text{рез}}$ — скорость резания, м/мин.

Без соблюдения этого условия при ультразвуковом резании не будет присутствовать эффект снижения силы резания и процесс будет протекать, как обычное резание.

Разными исследователями в попытках нахождения причин снижения силы резания, а также механизма формирования стружки при ультразвуковом резании были использованы различные методы исследования. В выполненном исследовании использовалась аппаратура высокоскоростной видеосъемки для получения картины формирования стружки. Высокоскоростная видеосъемка выполнена с помощью камеры Photron FASTCAM SA-4, предоставленной фирмой СЕДАТЕС (рис. 1). Эта камера позволяет получать изображения со скоростью 3600 кадров в секунду при мегапиксельном (1024×1024) разрешении. При уменьшенном разрешении скорость возрастает до 500 000 кадров в секунду [6; 7].

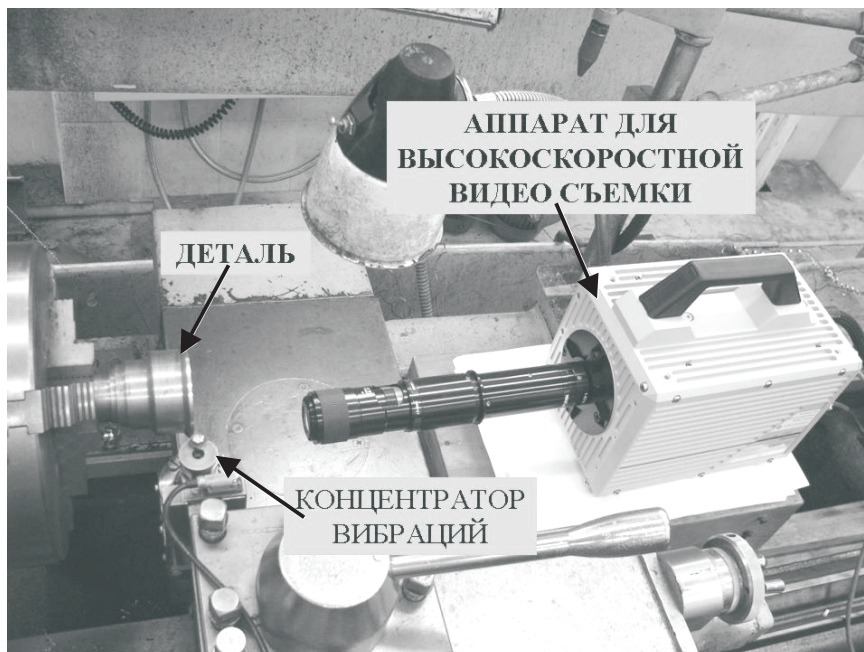


Рис. 1. Установка детали, концентратора колебаний и камеры для высокоскоростной видеосъемки при обработке ультразвуком

Возбудитель колебаний режущего инструмента состоит из генератора колебаний и головки концентратора (рис. 2). Это разработка национальной технологической группы, она позволяет колебать режущий инструмент с частотой 21 кГц и амплитудой 10 мкм.



Рис. 2. Прибор для точения с применением ультразвуковых колебаний, разработанный национальной технологической группой:
1 — резец; 2 — вибратор; 3 — державка; 4 — усилитель мощности

В качестве заготовки использовали вал из стали 40Х диаметром 75 мм. Для обработки заготовки на токарном станке 16К20 был выбран режим резания: $V_{рез} = 25$ м/мин, $s = 0,52$ мм/об, $t = 0,25$ мм. Режущим инструментом служила многогранная пластина фирмы «Sandvik Coromant» CCMM120408-PR 4025 с износостойким покрытием.

При обработке ультразвуком соблюдается условие прерывности (1): $2\pi Af = 79$ м/мин, так как скорость резания составляет 25 м/мин.

Запись высокоскоростного видео производилась со скоростью 30 000 кадров в секунду. После обработки видеogramм получены кадры, на которых хорошо виден угол сдвига стружки при обработке с ультразвуком и без него (рис. 3, 4).



а



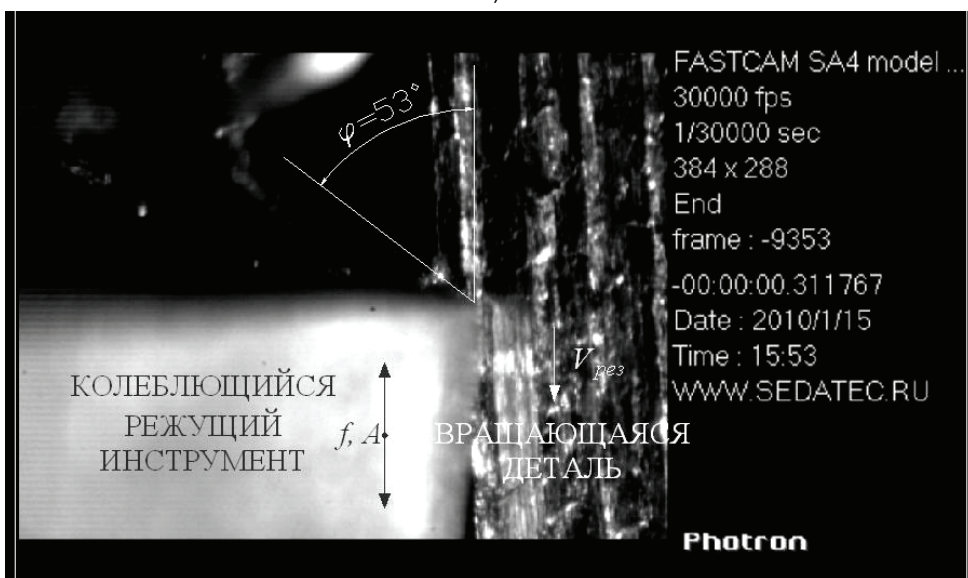
б

Рис. 3. Кадры обработки без ультразвука:

$V_{рез} = 25$ м/мин; $s = 0,52$ мм/об; $t = 0,25$ мм



а)



б)

Рис. 4. Кадры обработки без ультразвука:

$$V_{рез} = 25 \text{ м/мин}; s = 0,52 \text{ мм/об}; t = 0,25 \text{ мм};$$
$$f = 21 \text{ кГц}; A = 10 \text{ мкм}$$

На рисунке 3 показаны два кадра с изображением процесса обработки резанием без применения ультразвуковых колебаний. На этих кадрах видно, что при обработке без ультразвука угол сдвига маленький $\varphi = 28^\circ \dots 29^\circ$, что указывает на большие деформации сжимаемого поверхностного слоя в направлении поверхности сдвига. А при обработке ультразвуком угол сдвига значительно больше и составляет $\varphi = 50 \dots 53^\circ$ (см. рис. 4), что указывает на незначительные деформации и соответственно на небольшие силы резания.

Из теории резания материалов известна связь угла сдвига и коэффициента усадки стружки

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\cos \gamma}{KL - \sin \gamma}, \quad (2)$$

где φ — угол сдвига, γ — передний угол инструмента, KL — коэффициент усадки стружки.

Если принять передний угол инструмента при ультразвуковом резании постоянным и равным нулю, то можно рассчитать коэффициент усадки стружки по формуле (2). Поскольку передний угол принимали равным нулю, со временем он изменялся незначительно, и для упрощения расчета этим изменением можно пренебречь. Результаты расчета даны в таблице.

Таблица

Вид обработки	Показатель			
	φ	$\operatorname{tg} \varphi$	γ	KL
Без ультразвука	29°	0,55	0°	1,8
	28°	0,53	0°	1,88
С ультразвуком	50°	1,19	0°	0,84
	53°	1,33	0°	0,75

Из таблицы видно, что значения коэффициентов KL для обработки с ультразвуком меньше единицы. Это объясняется тем, что получаемая стружка длиннее того участка, с которого была снята. Другими словами, площадь поперечного сечения стружки меньше, чем площадь поперечного сечения среза [5]. Коэффициенты KL для обработки без ультразвука больше единицы, т.е. имеют место значительные пластические деформации снимаемого слоя, и, соответственно, используется больше энергии, т.к. площадь сечения поверхности сдвига больше.

Выводы. Применение ультразвуковых колебаний способствует уменьшению силы резания и соответственно работы, затрачиваемой на деформацию поверхностного слоя при формировании стружки. Этот факт был доказан выполненной серией экспериментов с помощью высокоскоростной видеосъемки. На видеокдрах хорошо виден угол сдвига материала при обработке резанием, как с ультразвуком, так и без него.

При ультразвуковом резании угол сдвига больше, чем при традиционной обработке. При больших углах сдвига площадь сечения поверхности сдвига меньше и, следовательно, меньше затрачиваемая энергия. При малых углах наблюдается противоположная картина.

Для появления эффекта снижения силы резания при ультразвуковом резании нужно соблюдать условие прерывности. Без соблюдения этого условия не будет присутствовать эффект снижения силы резания, и процесс будет протекать как при обычном резании.

Принимая допущение о том, что передний угол колебательного инструмента равен нулю и не меняется, можно использовать связь между углом сдвига и коэффициентом усадки стружки, чтобы определить величину коэффициента усадки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Козочкин М.П., Солис Н.В.* Исследование связи вибраций при резании с качеством получаемой поверхности // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». — 2009. — № 2. — С. 16—23.
- [2] *Солис Н.В.* Исследование процесса точения с применением ультразвуковых колебаний инструмента и их влияния на качество поверхности // Материалы XXI Международной инновационно ориентированной конференции молодых ученых и студентов. — МИКМУС—2009. 16—18 ноября 2009. — С. 200.
- [3] *Солис Н.В.* Применение ультразвукового эллиптического резания для обработки труднообрабатываемых материалов // Материалы XXI Международной инновационно ориентированной конференции молодых ученых и студентов. — МИКМУС—2009. 16—18 ноября 2009. — С. 201.
- [4] *Кумабе Д.* Вибрационное резание / Пер. с яп. — М.: Машиностроение, 1985.
- [5] *Аршинов В.А., Алексеев Г.А.* Резание металлов и режущий инструмент: Учебник для машиностроительных техникумов. — М.: Машиностроение, 1976.
- [6] <http://www.sedatec.ru/products/hsi/625972/863884/>
- [7] http://www.sedatec.ru/files/PHOTRON/FASTCAM_SA4.pdf

DEFINITION OF THE SHEAR ANGLE OF CHIP AT ULTRASONIC VIBRATION TURNING BY MEANS OF HIGH SPEED VIDEO CAMERA

M.P. Kozochkin, N.W. Solis

Department of Mechanical Engineering, Machine Tools and Tooling
Faculty of Engineering
Peoples' Friendship University of Russia
Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093

Article is devoted to definition of the shear angle of chip at ultrasonic vibration turning by means of equipment for a high-speed video shooting.

Key words: ultrasonic turning, ultrasonic cutting, shear angle, high speed video, edge cutting machining.