УДК 621.9.048.6:621.951.7(043.3)

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТРАДИЦИОННОЙ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКЕ Мелкомодульных зубчатых колес

Ю.И. СИДЯКИН, доктор техн. наук, профессор, С.И. АГАПОВ, канд. техн. наук, доцент, А.Ф.ТРУДОВ, канд. техн. наук, доцент, Л.М. ГУРЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент, А.С. СЕРОВ, магистрант (ВолгГТУ, г. Волгоград)

Статья поступила 16 декабря 2011 года

Агапов С.И. – 400131, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, Волгоградский государственный технический университет, e-mail: @vstu.ru

Приведены результаты исследований по влиянию скорости резания на процесс стружкообразования при традиционном и ультразвуковом зубофрезеровании мелкомодульных колес. Установлены величины микротвердости заторможенного слоя и основной части стружки.

Ключевые слова: стружкообразование, зубчатые колеса, ультразвуковые колебания.

Влияние большинства условий резания на основные факторы стружкообразования, а следовательно, и на сам процесс стружкообразования, связано с соответствующим изменением контактных процессов на передней поверхности инструмента, что определяет их важное значение. Контактные процессы на передней поверхности инструмента имеют большое влияние на ряд важных характеристик процесса резания, в частности, на характер и интенсивность износа инструмента, направление сил резания, качество обработанной поверхности и точность обработки детали [1].

Из-за особенностей процесса резания скольжение стружки по передней поверхности может происходить в самых различных условиях, начиная с граничного трения без существенных вторичных пластических деформаций контактного слоя стружки и кончая полным схватыванием контактных поверхностей с интенсивной пластической деформацией слоя стружки, прилегающего к передней поверхности инструмента.

Введение в зону резания ультразвуковых колебаний нарушает равномерность процесса резания, степень изменения зависит от амплитуды, частоты и направления вибраций, а также от режимов обработки при резании. Вибрации при лезвийной обработке могут изменять физическую картину превращения отдельных элементов срезаемого слоя в стружку. Эти изменения могут касаться основных физических процессов, определяющих резание, а также процессов трения на контактирующих поверхностях, что изменяет механику формирования отдельных элементов стружки. В некоторых случаях введение ультразвуковых колебаний не изменяет процесс резания, тогда процесс стружкообразования по сравнению с традиционной обработкой приводит только к тому, что формирование отдельных элементов стружки происходит при различных рабочих углах резания. В этом случае существенных изменений ни в характере резания, ни в механике формирования отдельных элементов стружки не происходит. В работе исследовалось влияние скорости резания при зубофрезеровании колес из стали 40Х как при традиционном резании, так и при введении ультразвуковых колебаний в зону резания на структуру и микротвердость стружки.

#### ТЕХНОЛОГИЯ

Для приготовления микрошлифов стружки использовалась заливка эпоксидным компаундом. Метод микротвердости предназначен для определения твердости очень малых (микроскопических) объемов материалов отдельных фаз или структурных составляющих, а также разницы в твердости отдельных участков этих составляющих. Микротвердость измерялась на приборе ПМТ-3М алмазным индентором с измерительной нагрузкой в пределах от 0,2 до 0,5 H. Микроструктура исходной заготовки из стали 40Х показана на рис. 1 и представляет собой сорбитный перлит.



*Рис. 1.* Фотография микроструктуры исходной заготовки из стали 40X (X200)

На рис. 2 представлены фотографии микрошлифов стружек, полученных при традиционном и ультразвуковом зубофрезеровании со скоростями резания от 0,25 до 0,5 м/с. На приведенных фотографиях видно, что стружка, полученная при зубофрезеровании мелкомодульных зубчатых колес, состоит из двух частей: основной части и тонкого слоя, прилегающего к передней поверхности инструмента, который называется заторможенным слоем.

Стружки, полученные при традиционном зубофрезеровании, представлены на рис. 2, *a*, *в*, и  $\partial$ . Из рис. 2, *a* видно, что заторможенный слой имеет сравнительно небольшую протяженность с периодическим повторением, а на рис. 2, *в* и  $\partial$ зафиксирован срыв нароста, который находится между заторможенным слоем и основной стружкой. Данный эффект можно объяснить увеличением скорости резания. При введении ультразвуковых колебаний в зону резания (рис. 2, *б*, *г*, и *е*) процесс стружкообразования облегчается, поэтому зона вторичной деформации располагается по всей длине стружки без разрыва.



ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ



*а* – получена при традиционной обработке, V = 0.25 м/с;  $\delta$  – получена при введении УЗК в зону резания, V=0.25 м/с; *в* – получена при традиционной обработке, V = 0.4 м/с; *г* – получена при введении УЗК в зону резания, V=0.4 м/с;  $\delta$  – получена при традиционной обработке, V = 0.5 м/с; *е* – получена при введении УЗК в зону резания, V=0.5 м/с;

№ 1 (54) 2012 25

#### ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Металлографические исследования проводились на модульном моторизованном оптическом микроскопе BX-61 фирмы «Olympys» с фиксацией микроструктур цифровой камеры DP-12 при увеличении от 50 до 1000.

Полученные результаты можно объяснить следующим образом. Между срезаемым слоем и образовавшейся стружкой существует отчетливо выраженная переходная зона. Схема образования стружки представлена на рис. 3. Между передней поверхностью инструмента и контактной поверхностью стружки происходит деформирование зерен, так как между этими поверхностями существует трение. Вследствие этого зерна материала, находящегося в непосредственной близости от контактной поверхности стружки, продолжают деформироваться и после выхода из зоны первичной деформации, которая ограничена зоной АОВ. Зона контакта стружки с передней поверхностью инструмента ограничивается размером С<sub>1</sub>. Ширина зоны вторичной деформации ОД приблизительно равна половине площадки контакта С/2, а максимальная высота  $\Delta_1$  составляет примерно одну десятую от толщины стружки. Зерна срезаемого слоя, проходя через зону вторичной деформации, значительно искажаются.



Рис. 3. Схема образования стружки

Степень деформации для зубофрезерования мелкомодульных зубчатых колес, по нашим данным, составляет 1,47...1,70 при традиционной обработке и 1,12...1,25 – при введении ультразвуковых колебаний.

Наличие зоны вторичной деформации приводит к неоднородности конечной деформации стружки [2, 3]. На большей части толщины стружки степень деформации зерен одинакова, а в слое толщиной  $\Delta_1$  наблюдается резкое увеличение степени деформации. Размеры зоны вторичной деформации и степень деформации зерен материалов в этой зоне определяются интенсивностью трения по передней поверхности. Чем меньше сила трения по передней поверхности, тем меньше размеры зоны вторичной деформации и интенсивность деформации.

Зона первичной деформации по своей толщине соизмерима с толщиной срезаемого слоя только при малых передних углах и низких скоростях резания. Это позволяет считать, что сдвиговые деформации локализуются в очень тонком слое толщиной  $\Delta_2$ . Кроме этого здесь также присутствуют деформации сжатия. В настоящее время отсутствуют точные сведения о численной величине слоя  $\Delta_2$ , в котором протекает деформация. Однако приближенные расчеты позволяют утверждать, что скорости деформации при резании очень велики, они достигают значений порядка  $10^4 \dots 10^6$  1/с.

Таким образом, процесс резания характеризуется не только очень высокой интенсивностью деформации, но и огромными скоростями деформации.

В зоне пластического контакта (зона ОД) у большей части стружек текстура идет параллельно друг другу, сохраняя неизменную конфигурацию, однако в слое стружки, прилегающем к передней поверхности инструмента, линии текстуры теряют свою конфигурацию. Данное явление связано с тормозящим действием, оказываемым передней поверхностью инструмента. Чем больше сила трения, действующая на передней поверхности, тем сильнее тормозится контактный слой стружки и тем больше искривляется линия текстуры, прилегающая к передней поверхности инструмента. Искривление линии текстуры является следствием вторичной контактной деформации срезаемого слоя при прохождении деформированных зерен через зону вторичной деформации.

При резании, когда условия трения на передней поверхности особенно тяжелы, тормозящее действие, оказываемое режущим инструментом, становится настолько большим, что приводит к плотному присоединению части стружки к передней поверхности и образованию заторможенного слоя, что отчетливо видно на полученных фотографиях. Из этого можно сделать следующий вывод: на участке пластического контакта поверхность стружки настолько плотно прижата к передней поверхности инструмента, что часть стружки перемещается не по инструменту, а по



*Рис. 4.* Измерения величины микротвердости стружки в зависимости от скорости резания. Материал: заготовка–сталь 40Х; инструмент – P6M5; m = 0,9 мм, S = 0,48 мм/об:

I – заторможенный слой, полученный при традиционном резании;
2 – заторможенный слой, полученный с применением вибраций;
3 – основная часть стружки, полученная при традиционном резании;
4 – основная часть стружки, полученная с применением вибраций

заторможенному слою, прикрывающему переднюю поверхность. О величине действующих сил присоединения заторможенного слоя к передней поверхности инструмента и трудности взаимного перемещения между ними свидетельствует прорыв стружки в ее середине.

В зоне упругого контакта (зона  $C-C_1$ ) стружка после выхода за пределы первой зоны трется о переднюю поверхность инструмента. Соотношение  $C_1/C$  обычно не превышает значения 0,5 для обычных материалов.

Заторможенный слой образуется при резании пластических и вязких материалов при малых передних углах и скоростях резания, а также при отсутствии или недостаточном охлаждении.

Графики измерения величины микротвердости основной части стружки и заторможенного слоя в зависимости от скорости резания приведены на рис. 4.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что микротвердость основной части стружки при введении ультразвуковых колебаний по ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

CM

сравнению с традиционной обработкой изменяется от 1,16 до 1,09, а заторможенного слоя от 1,38 до 1,49 в диапазоне скоростей 0,25...0,50 м/с, что свидетельствует об уменьшении коэффициента трения, причем большее значение относится к максимальной скорости.

Воздействие ультразвуковых колебаний на процесс резания проявляется в следующем:

 периодическом изменении величины и направления вектора фактической скорости резания;

 периодическом изменении переднего и заднего углов инструмента;

периодическом изменении толщины срезаемого слоя;

 изменении характера приложения нагрузки (зона стружкообразавания и режущий инструмент вместо статистической нагрузки испытывают знакопеременную динамическую);

 изменении формирования поверхностного слоя детали в процессе обработки заготовки;

 – улучшении условий проникновения смазочно-охлаждающий технологических средств в зону резания.

На основании полученных результатов можно сделать вывод: введение ультразвуковых колебаний в зону резания улучшает условия работы инструмента, что особенно важно для такого дорогостоящего инструмента, как зуборезный, и повышает качество изготовления зубчатых колес.

### Список литературы

1. Агапов С. И. Нарезание зубчатых колес с использованием ультразвука: монография / С.И. Агапов, Ю.И. Сидякин. – Волгоград: ИУНЛ, ВолгГТУ, 2010. – 148 с.

2. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.

3. Медведицков С. Н. Экспериментальные исследования деформации срезаемых слоев смежными кромками резца / С.Н. Медведицков // Технология и автоматизация машиностроения: научн. тр.; ВолгГТУ. – Волгоград, 1972. – С. 157–165.

## Research on process of chip formation during traditional and ultrasonic machining of small-module gears.

J.I. Sidyakin, S.I. Agapov, A.F. Trudov, L.M. Gurevich, A.S. Serov

Researches on influence of cutting speed on process of chip formation during traditional and ultrasonic milling of small-module gears were conducted. Values of micro hardness of stagnated layer and main part of chip were established.

Key words: chip formation, gears, ultrasonic vibrations.

27