ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.9.048.6

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-8-255-7-9

С. И. Агапов, А. С. Прохвятилов, А. Ф. Толстяков, Д. В. Заярный

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТРАДИЦИОННОМ И УЛЬТРАЗВУКОВОМ ЗУБОНАРЕЗАНИИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: stanki@vstu.ru

Рассматриваются вопросы особенности процесса механической обработки при нарезании мелко модульных зубчатых колес с наложением ультразвуковых колебаний на заготовку.

Ключевые слова: нарезание мелко модульных зубчатых колес, ультразвуковые колебания.

S. I. Agapov, A. S. Prokhvatilov, A. F. Tolstyakov, D. V. Zayrny

PECULIARITIES OF THE PROCESS OF ULTRASONIC VIBRATION MASHINING

Volgograd State Technical University

The paper discusses the distinctive features of the machining process during low-module gear cutting with ultrasonic vibration of the blank.

Keywords: fine-pitch gear cutting, ultrasonic vibration.

Контактные явления, происходящие при нарезании мелко модульных зубчатых колес с наложением ультразвуковых колебаний (УЗК), сопровождаются интенсивным трением на передней и задней поверхностях инструмента, которое оказывает существенное влияние на ряд важных характеристик процесса резания: на характер и интенсивность износа, качество обработанной поверхности, силы резания, точность обработки.

При традиционном зубонарезании отделение стружки сопровождается ее скольжением по передней поверхности в условиях либо граничного трения без существенных вторичных пластических деформаций контактного слоя, либо при полном схватывании контактных поверхностей с интенсивной пластической деформацией этого слоя [1]. При этом прерывистость процесса резания обусловлена в основном естественным чередованием режущих кромок инструмента. При введении в зону резания УЗК равномерность процесса резания нарушается даже в пределах толщины заготовки, при этом степень неравномерности зависит от начальной амплитуды и частоты УЗК, а также технологических режимов обработки.

Высокочастотные вибрации при лезвийной обработке изменяют физическую картину и механизм превращения отдельных элементов срезаемого слоя в стружку. Эти изменения касаются, главным образом, основных физических процессов стружкообразования: пластического деформирования и разрушения обрабатываемого материала, а также трения на контактирующих поверхностях, что, несомненно, должно отразиться на и механизме формирования отдельных элементов стружки.

Реакция трибологической системы при введении УЗК в зону резания осуществляется в основном через изменение молекулярной составляющей эффективного коэффициента трения и, таким образом, зависит от всех тех факторов, которые в той или иной степени влияющих на адгезионное взаимодействие сопряженных элементов контактной области. При осевых по отношению к заготовке УЗК с амплитудами 3...6 мкм молекулярная составляющая коэффициента трения в контактной зоне уменьшается соответственно в 1,2...1,4 раза, причем характер зависимости довольно устойчивый и сохраняется вплоть до амплитуды колебаний 10 мкм, при которой это уменьшение приближается уже к трем [2].

На рисунке представлены фотографии поверхностей стружек контактирующих и не контактирующих с передней поверхностью инструмента. Если при традиционном зубофрезеровании мелко модульных зубчатых колес поверхность стружек, прилегающая к передней поверхности инструмента, после контакта имеет вследствие повышенного трения грубые задиры, на ней видны следы от срыва нароста, то

при совмещенной с УЗК обработке эти поверхности относительно гладкие. Аналогичная картина наблюдается и на поверхностях стружек, не контактирующих с передней поверхностью инструмента, на которых хорошо просматриваются следы скалывания, а при УЗК – даже оплавления, несмотря на пониженное трение, поскольку срезаются относительно тонкие и насквозь прогреваемые слои металла.

а

б

в

г

Фотографии поверхностей стружек, контактирующих (а, б) и не контактирующих (в, г) с передней поверхностью инструмента ($\times 20$).

Заготовка: сталь 40Х; фреза: Р6М5, $m = 0,9$ мм; режим резания: $S = 0,48$ мм/об, $V_p = 0,5$ м/с:

а, в – традиционная обработка; б, г – обработка с УЗК в зоне резания

Определенный интерес исследование влияния скоростного режима традиционного и совмещенного с УЗК зубонарезания на микротвердость отдельных частей поверхности стружек и, в конечном счете, на микротвердость рабочих поверхностей зубчатого колеса.

Для приготовления микрошлифов использовалась заливка стружек эпоксидным компаундом с последующей их шлифовкой и поли-

ровкой. Такой метод подготовки поверхностей для измерения микротвердости предназначен для очень малых (микроскопических) объемов материала отдельных фаз или структурных составляющих и ликвидации разницы в уровне твердости отдельных участков.

Результаты показывают, что стружка, полученная при зубофрезеровании мелко модульных зубчатых колес, состоит из двух частей: основ-

ной части и тонкого слоя, прилегающего к передней поверхности инструмента, который называется «заторможенным» слоем.

Заторможенный слой при малых скоростях обработки имеет сравнительно небольшую протяженность с периодическим повторением, возможен также срыв нароста, который находится между заторможенным слоем и основной стружкой.

При введении УЗК в зону резания процесс стружкообразования облегчается, поэтому зона вторичной деформации располагается по всей длине стружки без видимых следов разрыва [3]. Между срезаемым слоем и образовавшейся стружкой существует более или менее отчетливо выраженная переходная зона. При обработке, 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 фотографиях микрошлифов. Из этого можно сделать вывод: на участке пластического контакта поверхность стружки настолько плотно прижата к передней поверхности инструмента, что часть стружки перемещается не по передней поверхности инструмента, а по заторможенному слою, вследствие чего в средней части стружек может образовываться прорыв металла, который неоднократно наблюдался и ранее [4,5] при тради-

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марков, А. И. Ультразвуковая обработка материалов / А. И. Марков. – М. : Машиностроение, 1980. – 237 с.
2. Подураев, В. Н. Обработка резанием с вибрациями / В. Н. Подураев. – М. : Машиностроение, 1970. – 350 с.
3. Агапов, С. И. Нарезание мелкозубчатых колес с использованием энергии ультразвуковых колебаний : монография / С. И. Агапов, Ю. И. Сидякин ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – 287 с.
4. Agapov, S. I. Operating Efficiency of Worm Gears Under Ultrasonic Vibration Imposition in the Cutting Region / S.I. Agapov, Yu.I.Sidyakin, A. F. Tolstyakov // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019) (Sochi, Russian Federation, March 25-29, 2019). Vol. II, part 2 / ed. by A. A. Radionov [et al.] ; South Ural State University (National Research University), Moscow Polytechnic University, Platov South-Russian State Polytechnic University, Volgograd State Technical University. – Cham (Switzerland) : Springer Nature Switzerland AG, [2020]. – P. 1137-1147. – URL : <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-22063-1>. – (Book ser.: Lecture Notes in Mechanical Engineering – LNME).
5. Agapov, S. I. Calculation of Roughness Parameters during Ultrasonic Hobbing from the Viewpoint of the Theory of Elastic-Plastic Contact / S.I. Agapov, Yu.I.Sidyakin, O.F. Korpelyanskiy // Materials Science Forum. - 2019. - Vol. 973 : IX Int. Sci. and Techn. Conf. on Engineering – Innovation Technol. in Eng.: From Design to Production of Competitive Products (Volgograd, Sept. 2017) : Proc. / eds. A. Suslov, V. Lysak, Ju. Chigirinskiy [et al.] ; Volgograd St. Techn. Univ. - P. 170-173.