

УДК 621.9.048.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

А. Ю. ЗЕНЕНКОВ

Научный руководитель В. М. ШЕМЕНКОВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В последнее время в высокотехнологичных отраслях, таких как аэрокосмическая, медицинская и энергетическая, растет применение труднообрабатываемых материалов: жаропрочных сплавов на основе никеля и титана, композитов, керамики и закаленных сталей. Их исключительные эксплуатационные свойства сочетаются с крайней сложностью обработки классическими лезвийными методами. Традиционное точение, фрезерование или сверление сталкивается с возникающими высокими силами резания, интенсивным износом и частым выходом из строя дорогостоящего инструмента, низкой производительностью, высокими температурами, приводящими к структурным изменениям в материале, а также с низким качеством поверхности и риском появления дефектов.

Решением этих проблем является внедрение ультразвуковой обработки (Ultrasonically Assisted Machining – UAM). Это гибридная технология, в которой высокочастотные колебания (от 10 до 40 кГц) малой амплитуды (от 5 до 50 мкм) подаются на режущий инструмент вдоль или перпендикулярно направлению резания. Как правило, эти колебания генерируются пьезоэлектрическим или магнитострикционным преобразователем и передаются через концентратор-волновод [1].

Применение ультразвуковых колебаний режущих кромок инструмента коренным образом меняет механику процесса за счет его прерывистого характера. Инструмент периодически контактирует с заготовкой и выходит из контакта. Это ключевое отличие приводит к нескольким фундаментальным эффектам. Во-первых, происходит снижение сил резания от 40 %, поскольку в моменты отсутствия контакта стружка и инструмент успевают остыть, а смазочно-охлаждающая жидкость лучше проникает в зону резания, радикально снижая трение. Во-вторых, эффективное отведение тепла и меньшая пластическая деформация приводят к снижению температуры в зоне резания до 50 %. В-третьих, ультразвуковые колебания снижают коэффициент трения между инструментом, стружкой и обработанной поверхностью. Наконец, меняется сам механизм образования стружки: она становится более хрупкой и легче удаляется благодаря меньшей пластической деформации [2].

Преимущества ультразвуковой обработки носят комплексный характер. Для технологического процесса это повышение производительности до 2 раз за счет возможности увеличения скоростей резания и подач, а также возможность обработки ранее неподдающихся лезвийной обработке материалов, таких как керамика. Для режущего инструмента характерно значительное, до 10 раз, увели-

чение стойкости благодаря снижению сил, температуры и всех видов износа. Для конечного изделия ключевым результатом является высокое качество поверхности, проявляющееся в снижении шероховатости в 2–4 раза, отсутствии дефективного поверхностного слоя в виде микротрещин и наклепа, что в итоге повышает усталостную прочность детали. Совокупность этих факторов приводит к существенному экономическому эффекту, снижая стоимость обработки за счет увеличения стойкости инструмента, роста производительности и сокращения брака [3].

Области применения UAM охватывают все основные виды лезвийной обработки. Наиболее распространенным является ультразвуковое точение, особенно для обработки жаропрочных аустенитных никель-хромовых жаропрочных сплавов и титановых сплавов. Активно развивается ультразвуковое фрезерование для обработки пазов, контуров и трехмерных поверхностей. Ультразвуковое сверление позволяет получать глубокие и точные отверстия с высоким качеством поверхности стенок. Также технология применяется в шлифовании, где колебания подаются на абразивный инструмент, повышая его эффективность и предотвращая засаливание [4].

Ультразвуковая обработка является перспективным высокоэффективным методом, кардинально улучшающим процесс резания труднообрабатываемых материалов. Технология обеспечивает синергетический эффект, одновременно повышая производительность, качество и стойкость инструмента. Ее внедрение позволяет расширить технологические возможности машиностроительных производств, снизить себестоимость продукции и обеспечить выпуск высокотехнологичных изделий с улучшенными характеристиками.

Перспективы развития технологии лежат в области создания более компактных и мощных ультразвуковых шпинделей для интеграции в стандартные станки с числовым программным управлением (ЧПУ), совмещения UAM с другими перспективными методами, такими как вихревое охлаждение, а также в развитии систем адаптивного управления параметрами ультразвука непосредственно в процессе обработки для дальнейшей оптимизации результатов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rotary ultrasonic machining of structural ceramics / F. Ning [et al.] // *Ceramics International*. – 2017. – № 43 (1). – P. 476–490.
2. **Brehl, D. E.** Review of vibration-assisted machining / D. E. Brehl, T. A. Dow // *Precision Engineering*. – 2008. – № 32 (3). – P. 153–172.
3. **Maurotto, A.** Ultrasonically assisted turning of aviation materials / A. Maurotto, V. I. Babitsky // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2011. – № 211 (10). – P. 1590–1597.
4. **Mitrofanov, A. V.** Ultrasonically assisted turning of advanced materials. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B / A. V Mitrofanov, V. I. Babitsky, V. V. Silberschmidt // *Journal of Engineering Manufacture*. – 2005. – № 219 (6). – P. 489–495.