

Исследование оптимального угла наклона концевой сферической фрезы относительно обрабатываемых поверхностей деталей сложной формы с переменной жесткостью

*Национальный технический университет «ХПИ», Харьков
ООО Научно-производственное предприятие «Квант-Эфир», Киев*

Обоснована возможность применения технологии высокоскоростного концевой фрезерования при обработке деталей переменной жесткости. Экспериментально исследованы четыре схемы резания с различными вариантами наклона оси фрезы относительно обрабатываемой поверхности: A0B+, A0B-, A+B0 и A-B0. Результаты эксперимента оценены по величине продольной и поперечной шероховатости поверхности после реализации каждой из схем обработки элементов с переменной жесткостью.

Ключевые слова: высокоскоростное фрезерование, точность, качество, жесткость детали, угол наклона инструмента.

Введение

Главными задачами конкурентоспособного производства сегодня становится снижение материалоемкости изделий и обеспечение высокого качества продукции в соответствии с мировыми стандартами. Одним из направлений этой тенденции является увеличение в общей номенклатуре изделий деталей машин и узлов с тонкостенными, нежесткими элементами и изготовление таких изделий на основе применения материалосберегающих технологий.

Технология изготовления деталей с переменной жесткостью зачастую предусматривает необходимость введения в технологический процесс дополнительных операций шлифования и доводки, что не только увеличивает себестоимость изготовления деталей, но и обуславливает появление прижогов, трещин, шаржирования поверхностей, и это, в свою очередь, может вызвать температурную деформацию и увеличить погрешность обработки.

Анализ возможности получения высокого качества поверхности путем применения концевой фрезерования показывает, что такая технология может сократить количество технологических операций при изготовлении детали или вообще исключить последующие доводочные операции из технологического процесса [1]. Необходимо отметить, что многие детали с переменной жесткостью подвергаются термообработке и обладают повышенной поверхностной твердостью, что затрудняет использование для их формообразования лезвийных методов механообработки. С другой стороны, известно, что использование технологии высокоскоростной обработки дает возможность не только снизить температуру в зоне резания, но и обрабатывать материалы повышенной твердости при обеспечении высоких показателей точности и качества поверхностей [1]. Поэтому применение высокоскоростного концевой фрезерования при обработке деталей переменной жесткости является перспективным. Кроме того, в связи с повышенной хрупкостью и способностью к деформации тонкостенных элементов предъявляются особые требования к жесткости технологической системы и обеспечению точности траектории перемещения инструмента. Метод NURBS интерполирования траектории режущего инструмента на поверхности позволяет путем определения местоположения

точки O_1 (которая находится в патроне и непосредственно корректирует перемещение настроечной точки режущего инструмента O_2), а также ориентации шпиндельной головки и управляемого поворотного стола точно контролировать след инструмента по контактным точкам на обрабатываемой поверхности [2] и, таким образом, в полной мере использовать потенциальные возможности современных обрабатывающих центров при решении задачи получения качественных элементов деталей сложной формы с переменной жесткостью.

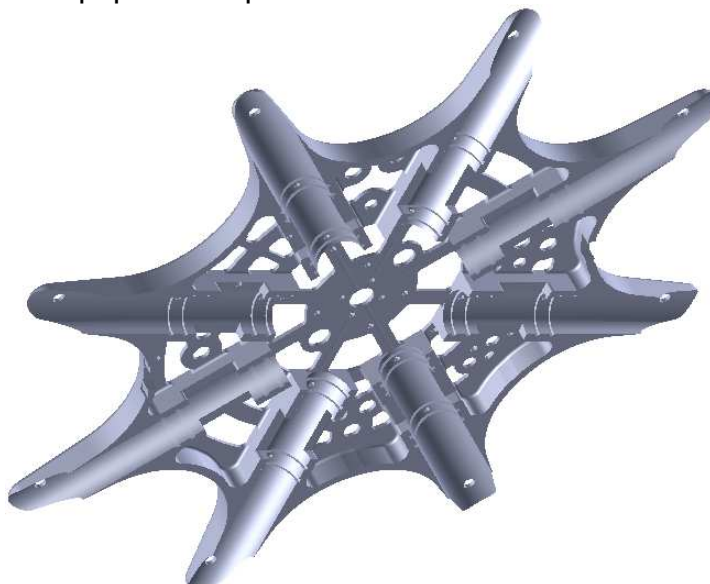


Рис. 1. Представитель исследуемой группы деталей с переменной жесткостью

Однако комбинация углов наклона рабочих органов обрабатывающего центра, используемых при обработке деталей сложной формы с переменной жесткостью, может вызвать дополнительную деформацию тонкостенных элементов, отжим детали и потерю качества обрабатываемых поверхностей, что недопустимо на чистовых и отделочных операциях. Поэтому целью представляемой работы является определение области существования оптимальных углов наклона концевой сферической фрезы относительно обрабатываемой сложнопрофильной поверхности детали переменной жесткости с учетом метода NURBS интерполирования траектории перемещения инструмента на поверхности.

Для достижения поставленной цели нами выполнены исследования влияния угла наклона инструмента на формирование шероховатости поверхности в продольном и поперечном направлениях (рис. 2).

Исследования проводили на пятикоординатном фрезерном центре HAAS MV-2 при скоростях шпинделя 10000 и 15000 об/мин инструментом из мелкозернистых карбидов фирмы SECO диаметром 16 мм. Обработку осуществляли на заготовке из стали 40X твердостью 40-41 HRC, под разными углами наклона инструмента к обрабатываемой поверхности (15° , 30° , 45° , 60°). Режимы обработки: ширина между соседними проходами – 0,3 мм; глубина резания – 0,2 мм; подача на зуб – 0,1 мм. Эффективную скорость резания рассчитывали по формулам (1) – (2) [1] (таблица):

$$V_{\text{eff}} = \frac{\pi \cdot N \cdot D \cdot \sin\left(\theta_n + \arcsin\left(\frac{a_e}{2 \cdot R}\right)\right)}{1000} \text{ при условии } \arccos\left(\frac{R - a_p}{R}\right) < \theta_n \leq 90 ; (1)$$

$$V_{\text{eff}} = \frac{\pi \cdot N \cdot D \cdot \sin\left(\theta_n + \arccos\left(\frac{R - a_p}{R}\right)\right)}{1000} \text{ при условии } \arcsin\left(\frac{a_e}{2R}\right) < \theta_n \leq 90 - \arccos\left(\frac{R - a_p}{R}\right). \quad (2)$$

Пересчет эффективной скорости резания

№ п/п	Угол наклона инструмента к обрабатываемой поверхности, град	Скорость вращения шпинделя, об/мин	Эффективная скорость резания, м/мин
1	15	10000	234,6
2		15000	352
3	30	10000	341,8
4		15000	512,7
5	45	10000	425,3
6		15000	638
7	60	10000	480,3
8		15000	750,52

Были исследованы четыре схемы резания с различными вариантами наклона оси фрезы относительно обрабатываемой поверхности: A0B+, A0B-, A+B0 и A-B0 (рис. 2).

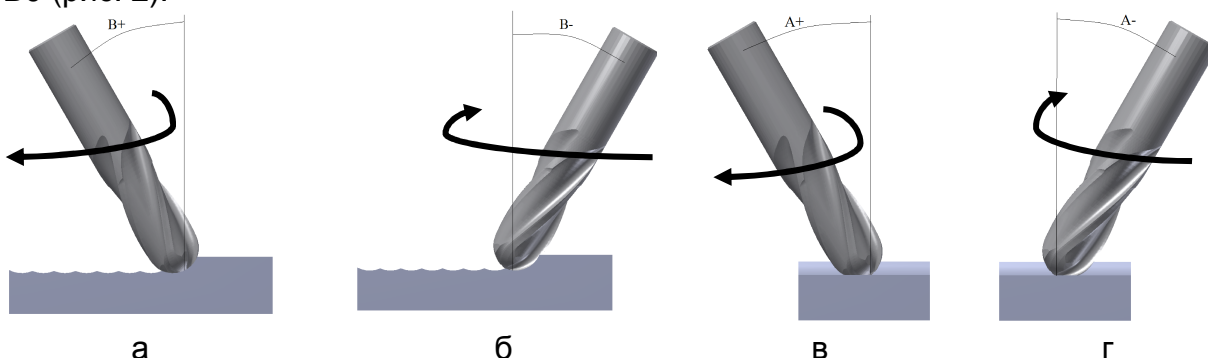
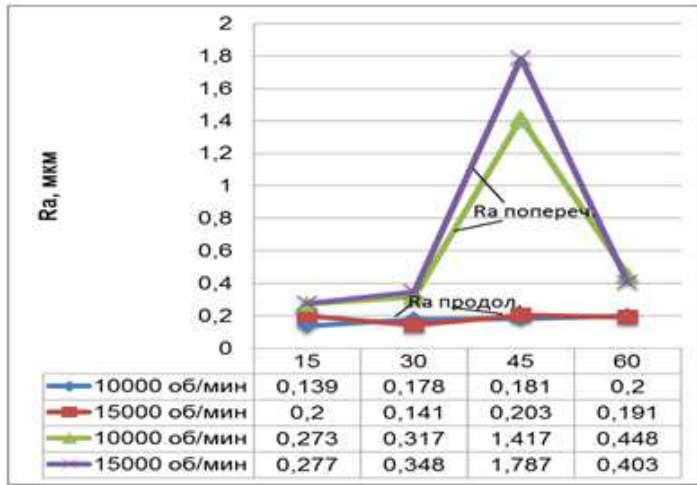


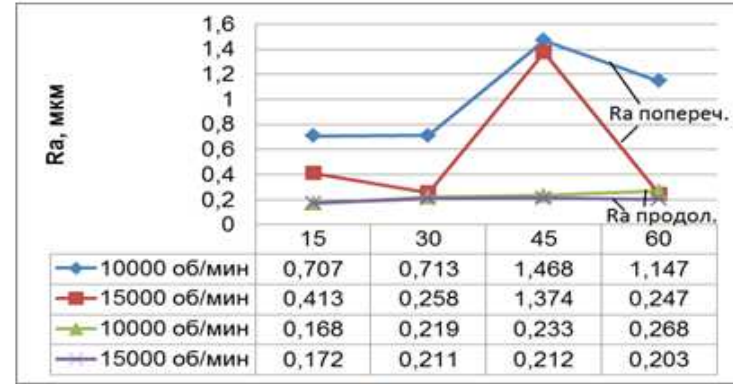
Рис. 2. Реализация схем резания при различных направлениях наклона оси инструмента относительно плоскости обрабатываемой поверхности: а – A0B+; б – A0B-; в – A+B0; г – A-B0

По результатам эксперимента (рис. 3) установлено, что при фрезеровании концевыми сферическими фрезами величины продольной и поперечной шероховатости поверхности сильно отличаются. Величина поперечной шероховатости $Ra_{\text{попереч}}$ может превышать значение продольной $Ra_{\text{продол}}$ в несколько раз, что объясняется наличием остаточных гребешков между соседними проходами фрезы. Полученные результаты коррелируют с результатами исследований, приведенных в работе [1].

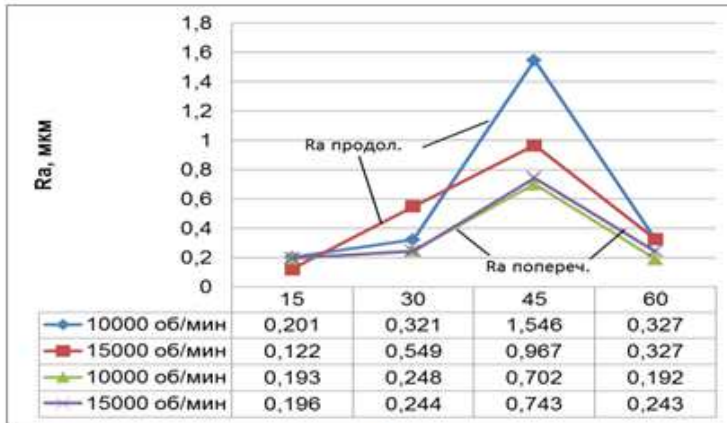
Анализ полученных результатов показывает, что при реализации любой схемы обработки наиболее приемлемым является угол наклона оси инструмента относительно обрабатываемой поверхности в 15° . Такой угол позволил получить значение шероховатости как в продольном, так и поперечном направлениях в пределах 8–9-го классов.



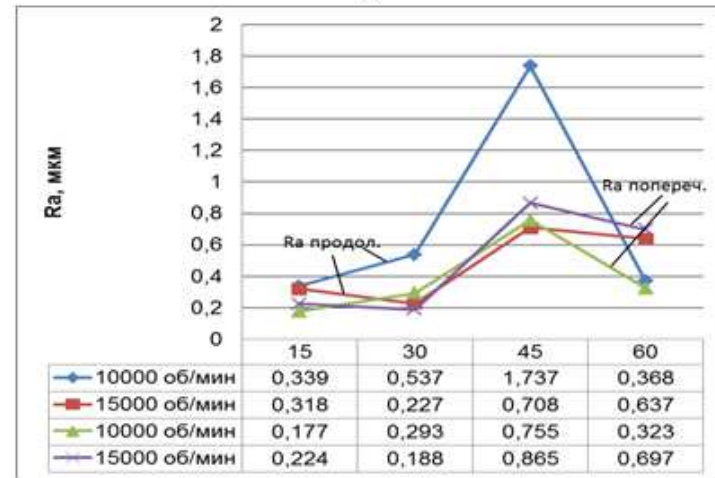
а



б



в



г

Рис. 3. Экспериментальное определение оптимального угла наклона инструмента относительно обрабатываемой детали и исследование формирования шероховатости поверхности при реализации различных схем резания: а – A0B+, б – A0B-, в –A+B0, г – A-B0

При обработке с наклоном оси инструмента относительно обрабатываемой поверхности 45° наблюдалось резкое ухудшение параметров шероховатости как в продольном, так и поперечном направлениях, что объясняется потерей жесткости инструмента в процессе обработки.

Список литературы

1. Басова, Е. В. Технологическое обеспечение качества и точности поверхностей деталей из закаленных хромомolibденовых сталей методом высокоскоростного фрезерования: дис.... канд. техн. наук : 05.02.08 / Басова Евгения Владимировна. – Х., 2014. – 236 с.
2. Басова, Е. В. Обеспечение точности изготовления сложнопрофильных поверхностей концевыми фрезами на обрабатывающих центрах / Е. В. Басова // Проблемы проектирования и автоматизации в машиностроении – 2015: сб. науч. тр. [Текст] / Закрытое акционерное общество «ОНИКС». – Ирбит: ЗАО «ОНИКС», 2015. – С. 153 – 162.

Поступила в редакцию 07.09.2015

Дослідження оптимального кута нахилу кінцевої сферичної фрези щодо оброблюваних поверхонь деталей складної форми зі змінною жорсткістю

Обґрунтовано можливість застосування технології високошвидкісного кінцевого фрезерування при обробленні деталей змінної жорсткості. Експериментально досліджено чотири схеми різання з різними варіантами нахилу осі фрези щодо оброблюваної поверхні: A0B+, A0B-, A+ B0 і A-B0. Результати експерименту оцінено за величиною поздовжньої і поперечної шорсткості поверхні після реалізації кожної зі схем оброблення елементів зі змінною жорсткістю.

Ключові слова: високошвидкісне фрезерування, точність, якість, жорсткість деталі, кут нахилу інструменту.

Research optimal value of inclination angle in ball end milling relative to machined surfaces parts complex shapes with variable stiffness

Use of high-end milling technology in the processing of variable stiffness parts was possibility. Four cutting schemes with various options with respect to the tilt axis milling machined surface were experimentally investigated. Experimental results were evaluated according to the magnitude of the longitudinal and transverse surface roughness after the implementation of each of the processing circuits elements with variable stiffness.

Keywords: high-speed milling, precision, quality, rigidity parts, the angle of the tool.