

«Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – №54(1027). – С.134-143.

5. Ламнауер Н.Ю. Управление качеством технологического процесса обработки деталей за параметром точности линейного размера вероятностно-статистическими методами / Н.Ю. Ламнауер // Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», м. Київ, 29 червня – 1 липня 2017 р.: Матеріали конференції. – Київ: 2017. – С.243-245.

УДК 621.923

Рябченко С.В., канд. техн. наук
Гржибовский Б.Б., вед. инженер
Сильченко Я.Л., вед. инженер
Федоренко В.Т., вед. инженер

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, s.giabchenko@ukr.net

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ШЛИФОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС КРУГАМИ ИЗ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

Шлифование высокоточных зубчатых колес производится методом обката на зубошлифовальных станках, работающих двумя абразивными кругами. Одним из путей повышения качества обработки зубчатых колес является применение кругов из кубического нитрида бора (КНБ) [1].

Шлифование зубчатых колес осуществляли на специальном стенде, созданном на базе зубошлифовального станка модели 5891 [2]. Скорость шлифовального круга – $v_k = 27$ м/с, глубина шлифования – $t = 0,01-0,1$ мм, время обката на одном зубе – $\tau = 3-12$ с. При шлифовании использовали круги типа 12A2 - 20° 225x3x3x40 КР 125/100 на органической (B2-08), керамической (C10) и металлической (M2-09) связках. Шлифовали зубчатые колеса из стали ХВГ (60 HRC) модуль $m = 6$ мм, число зубьев $z = 21$ зуб. Качество зубчатых колес после шлифования кругами из КНБ сравнивали с результатами шлифования кругами из белого и хромистого электрокорунда, наиболее часто применяемых при шлифовании зубчатых колес.

Результаты показали, что шероховатость обработанной поверхности при шлифовании кругами из КНБ на органической связке B2-08 при черновых режимах обработки достигает Ra 1,50–1,70, а при финишном шлифовании кругами из КНБ шероховатость обработанной поверхности достигает Ra 1,00–1,10. Такое значение шероховатости при шлифовании кругами из КНБ объясняется присутствием крупных агрегированных зерен КНБ с покрытием стеклом размером до 0,5–1 мм.

Шлифование кругами из КНБ на керамической связке C10 снижает шероховатость эвольвентной поверхности зубчатого колеса до 30 % и достигает значений Ra 0,60–0,70 на финишных режимах.

Аналогичное снижение шероховатости наблюдается при шлифовании кругами из КНБ на металлической связке, которое составляет на финишных режимах Ra 0,65–0,75. При одинаковой зернистости КНБ 125/100, шлифовальные круги на керамической связке обеспечивают меньшую шероховатость, чем круги на металлической связке. Применение хромистого электрокорунда повышает шероховатость эвольвентного профиля зубчатого колеса до 10 % по сравнению с кругом из электрокорунда белого. Глубина резания на всех исследуемых диапазонах не оказывала существенного влияния на шероховатость поверхности. Хотя тенденция к возрастанию шероховатости поверхности при повышении глубины резания наблюдалась, причем для кругов из электрокорунда более заметно.

Металлографические и рентгеноструктурные исследования поверхностного слоя зубчатых колес показали, что шлифование кругами из КНБ с охлаждением при $t = 0,01$ мм приводит к формированию поверхностного слоя зубьев с микроструктурой, не

отличающейся от структуры глубинных слоев металла. При послойном рентгеноструктурном анализе в железном и медном излучении градиент концентрации остаточного аустенита в поверхностном слое отсутствует, практически одинакова и ширина рентгеновских линий. Следовательно, при финишном шлифовании зубчатых колес кругом из КНБ с охлаждением температура в зоне обработки значительно ниже точки A_{1c} и изменение структуры не обнаруживается используемыми методами исследований.

Дальнейшее повышение глубины резания до 0,1 мм приводит к образованию слоя вторичной закалки, что ясно видно по количеству остаточного аустенита (в железном излучении) и появлению отдельных участков слоя вторичной закалки. Характерно, что рентгенограммы поверхности в железном излучении после шлифования кругом из КНБ без охлаждения с глубиной до 0,03 мм существенно не отличаются от рентгенограмм, снятых при работе с охлаждением. Только в медном излучении наблюдается заметное повышение количества остаточного аустенита, а на микрошлифах после шлифования с $t = 0,05$ мм видны следы вторичной закалки.

Исследования состояния поверхности зубьев после шлифования кругами из белого электрокорунда без охлаждения показало, что температура на всех режимах выше, чем в случае обработки кругами из КНБ. При минимальной глубине резания $t = 0,01$ мм в железном излучении наблюдается существенное сужение рентгеновских линий и повышение до 25 % количества остаточного аустенита. Дальнейшее повышение глубины резания до 0,1 мм приводит к образованию слоя вторичной закалки.

В результате комплексного металлографического и рентгеноструктурного анализов поверхностного слоя зубчатых колес установлено, что шлифование с глубиной резания $t = 0,1$ мм и более нецелесообразно, так как глубина дефектного слоя превышает припуск на обработку и составляет 200 мкм, который не может быть удален на последующих финишных операциях обработки. При шлифовании кругами из КНБ без охлаждения такая величина дефектного слоя возникает уже при глубине резания более 0,05 мм. Поэтому черновое шлифование зубчатых колес из железоуглеродистых сталей кругами из КНБ с $t = 0,05$ мм без охлаждения нецелесообразно, ввиду образования дефектного слоя, не удаляемого на последующих финишных операциях обработки. Черновое шлифование зубчатых колес с $t = 0,05$ мм кругами из КНБ возможно с применением охлаждения, так как дефектный слой в этом случае составляет всего 20–30 мкм, который вполне можно удалить при следующих финишных операциях зубошлифования.

Одновременно с металлографическими и рентгенографическими исследованиями изучалось распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя зубчатых колес. После шлифования в тонком поверхностном слое (1–5 мкм) возникают значительные напряжения сжатия. При обработке кругами из электрокорунда они достигают 300 ± 10 МПа, а в случае применения кругов КНБ – 1000 ± 10 МПа.

В целом можно отметить, что при зубошлифовании кругами из КНБ растягивающие остаточные напряжения в 2 раза меньше, чем при обработке кругами из электрокорунда. При зубошлифовании на финишных режимах, при $t = 0,01$ мм кругами из КНБ формируются остаточные напряжения сжатия величиной до 200 ± 10 МПа.

В результате проведенных работ установлено, что на всех исследуемых режимах обработки характерно увеличение шероховатости поверхности при уменьшении времени обката зубчатого колеса. Шероховатость обработанной поверхности после шлифования кругами из электрокорунда на 20% ниже по сравнению со шлифованием кругами из КНБ. Установлено, что при финишном шлифовании кругами из КНБ формируется поверхностный слой зубьев с микроструктурой, не отличающейся от структуры глубинных слоев металла, а черновое шлифование глубиной резания более $t = 0,05$ мм нецелесообразно, ввиду образования дефектного слоя. При зубошлифовании в тонком поверхностном слое (1–5 мкм) зуба формируются значительные напряжения сжатия,

которые на глубине 5–8 мкм переходят в растягивающие и составляют на глубине 20 мкм 100–400±10 МПа.

Список ссылок

1. Мишнаевский Л.Л., Сагарда А.А., Емельянов В.М. и др. Высокопроизводительное зубошлифование кругами из кубического нитрида бора / Л.Л. Мишнаевский, А.А. Сагарда, В.М. Емельянов и др. // Синтетические алмазы. – 1970. – №5. – С. 40 – 42.
2. Рябченко С.В. Шлифование зубчатых колес тарельчатыми кругами из СТМ / С.В. Рябченко // Сверхтвердые материалы – 2014. – № 6. – С. 81– 89.

УДК 621.9.06

Струтинський В.Б., докт. техн. наук, професор
Скрипник В.С., студент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», kvm_mmi@ukr.net

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ НАЗЕМНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ НА ОСНОВІ РАЦІОНАЛЬНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ ШВИДКИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ВИКОНАВЧОГО ОРГАНУ ТА ЙОГО ТОЧНИХ МІКРОПЕРЕМІЩЕНЬ

Наземні роботизовані комплекси призначені для роботи з небезпечними об'єктами. При цьому реалізуються системи телекерування комплексами. Оператор знаходиться на значній відстані і має обмежену інформацію про умови виконання технологічних операцій. Відеосупровід дає можливість наближено оцінити кінематичні параметри взаємодії виконавчого органу комплексу (маніпулятора) та небезпечного об'єкта. Це приводить до зниження функціональних можливостей комплексу або до суттєвих похибок виконання технологічних операцій.

Для підвищення показників точності роботизованих комплексів, запропоновані методи керування які встановлюють раціональні співвідношення швидких переміщень виконавчого органу та точних мікропереміщень. Методи базуються на розробленні алгоритмів керування комплексів із введенням зворотніх зв'язків по кінематичним параметрам при безпосередній реалізації технологічних операцій. Для введення зворотніх зв'язків проводяться виміри параметрів просторового руху виконавчого органу. Опис швидких просторових переміщень виконавчого органу здійснюється за допомогою векторної величини у вигляді поступального переміщення полюса та повороту навколо миттєвої осі обертання. Раціональним напрямком переміщення полюса є його рух вздовж миттєвої осі обертання. З метою вибору раціональних геометричних параметрів переміщення виконавчого органу маніпулятора вводяться обмеження на компоненти кінематичного гвинта у вигляді швидкості руху полюса та кутової швидкості обертання виконавчого органу навколо миттєвої осі. Дані обмеження стають більш жорсткими при зменшенні абсолютної величини відстані виконавчого органу маніпулятора та небезпечного об'єкта.

Обґрунтування вибору раціональних співвідношень швидких переміщень виконавчого органу та точних мікропереміщень здійснено на основі математичного моделювання. Проведено моделювання кінематичних характеристик маніпулятора. Для цього використані матрично-векторні залежності переміщень характерних точок маніпулятора від змін керованих координат. Мікропереміщення враховані шляхом визначення матриці Якобі, що пов'язує просторові переміщення виконавчого органу із малими приростами керованих координат. На основі розроблених моделей виконані розрахунки змін взаємного положення маніпулятора та об'єкта.

Кінематичні параметри відносного руху маніпулятора і об'єкта надаються оператору у візуалізованій формі і застосовуються для корегування переміщення маніпулятора. Одночасно виміряні параметри вводяться в систему керування в якості зворотніх зв'язків