

УДК.621.923.1

## **ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЕ МИКРОНЕРОВНОСТЕЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЁС**

Пронина Елена Павловна

*Магистр 1 года,  
кафедра «Технологии и оборудование машиностроения»  
Московский политехнический университет*

*Научный руководитель: А.С. Калашиников,  
кандидат технических наук, профессор кафедры «Технологии и оборудование  
машиностроения»*

Совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих микрорельеф боковых поверхностей зубьев, является важнейшим показателем качества зацепления зубчатых передач и оказывает существенное влияние на повышение вибраций и уровня звукового давления зубчатой передачи [1].

Поэтому цель данной работы является выявить пути снижения величин шероховатости поверхности зубьев.

Задачами данной работа является:

1. Рассмотреть шумы зубчатых колёс;
2. Выяснить каким наилучшим методом можно снизить шероховатость рабочих поверхностей зубьев;
3. Рассмотреть и исследовать различные технологии шлифования.

Виброакустическая активность зубчатой передачи определяется уровнем её вибраций под воздействием спектра собственных частот и спектра возмущающих сил. Модификации по профилю и длине зубьев, а также погрешность их изготовления являются основной причиной возникновения разницы угловых скоростей сопряжённых элементов зубчатой передачи. Силы, действующие в зацеплении зубьев, пропорциональны этому угловому ускорению, они передаются через валы, подшипники, корпус редуктора, вызывая вибрацию всей конструкции узла, механизма, машины.

Возникающие при зацеплении зубчатых колёс вибрации вызывают шум, который принято называть шумом зубчатых колёс. В широкополосном частотном спектре уровня звукового давления доминирующими являются основная частота (первая гармоника), а также вторая и третья гармоники.

Анализ существующих технологических процессов и достигаемой точности зубчатых колёс показал, что наиболее эффективным и широко применяемым методом чистовой обработки рабочих поверхностей зубьев является зубошлифование [2].

Шлифование относится к процессам скоростного микрорезания, возникающего в результате воздействия на обрабатываемую поверхность инструментов (шлифовальных кругов) с геометрически неопределённой режущей кромкой. Характерной особенностью режущих элементов шлифовальных кругов является их отрицательный передний угол  $\gamma$  (рис. 1).

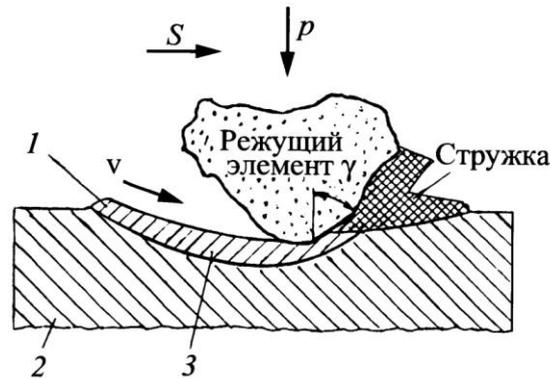


Рис. 1. Схема образования стружки геометрически неопределённой режущей кромкой при шлифовании.

В первоначальный момент резания, когда режущий элемент внедряется в заготовку 2 с окружной скоростью  $V$ , подачей  $S$  и под давлением  $P$ , происходит вздутие 1 поверхности заготовки в результате упругих деформаций 3. При дальнейшем продвижении шлифовального круга относительно заготовки 2 спереди, по бокам и снизу режущего элемента дополнительно к упругим возникают пластические деформации. При выходе режущего элемента из резания происходит разрушение металла и образование стружки. На поверхности заготовки образуются характерные для зубошлифования следы резов, которые образуют микронеровность боковых поверхностей зубьев. Величина и структура микронеровностей зависит от режимов резания, размеров и свойств режущих элементов, а также их стойкости [3].

Оценку интенсивности шлифовального процесса очень часто производят с помощью эквивалентной толщины стружки  $h_{\text{экв}}$ . При непрерывном обкатном шлифовании зубьев эквивалентная толщина стружки представляет собой отношение толщины слоя снятого материала одним витком червячного шлифовального круга (одно- и многозаходного) -  $Q_m^*$  к скорости резания -  $V$

Величину эквивалентной толщины стружки определяют по формуле

$$h_{\text{экв}} = Q_m^* \cdot 10^3 / V, \text{ мкм.}$$

Проведённые исследования позволили установить зависимость шероховатости боковых поверхностей зубьев  $Ra$  от эквивалентной толщины стружки  $h_{\text{экв}}$  при зубошлифовании (рис.3). Исследование производили с использованием абразивных высокопористых шлифовальных кругов с зернистостью 8 – 12 (кривая 1) и 12 – 20 (кривая 2). Полученные результаты позволяют определить высоту микронеровностей поверхности зубьев на стадии проектирования технологического процесса [4].

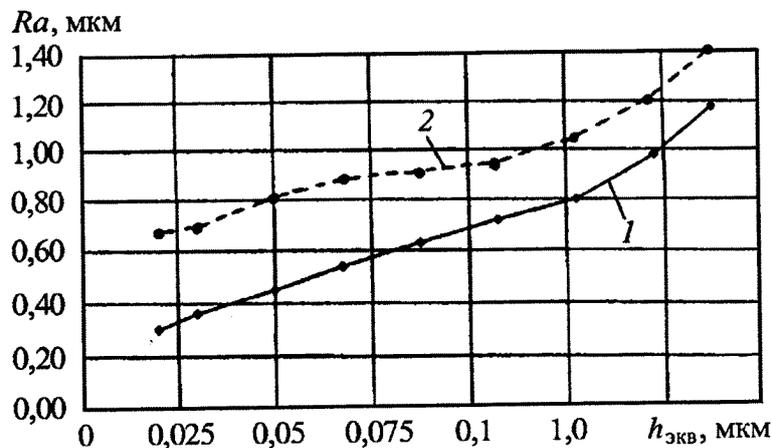


Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхности зубьев от эквивалентной толщины стружки

При непрерывном обкатном зубошлифовании на поверхности зубьев цилиндрических колёс может быть создан нерегулярный (стохастический) микрорельеф со структурой подобной структуре микрорельефа, получаемой при зубохонинговании. Систематические шлифовальные резы 1 (рис. 3, а), характерные для непрерывного обкатного зубошлифования, разрушаются при диагональном движении подачи червячного шлифовального круга, витки которого прошли специальную правку.

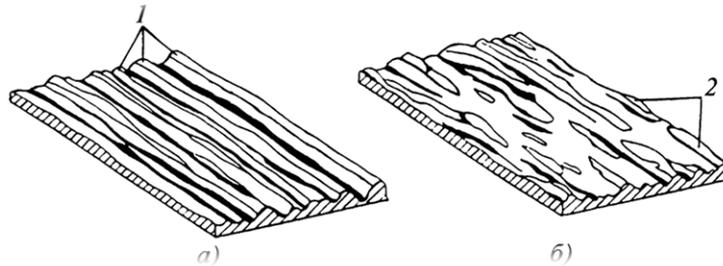


Рис. 3. Структура микрорельефа боковых поверхностей зубьев

Следы резов 2 по длине значительно сокращаются, высота микронеровностей уменьшается (рис. 3, б). При такой структуре боковых поверхностей зубьев их опорная поверхность существенно увеличивается и повышается плавность зацепления цилиндрических зубчатых передач.

Эффективным средством повышения производительности зубошлифования является применение многозаходных червячных шлифовальных кругов. Многозаходные червячные круги имеют две и более производящие поверхности, они получили широкое распространение в промышленности. Если за один оборот однозаходного червячного шлифовального круга у заготовки обрабатывают одну впадину зубьев, то за один оборот двухзаходного круга – две впадины зубьев, трёхзаходного круга – три впадины зубьев и т. д.

При использовании многозаходных червячных шлифовальных кругов появляется возможность производить различную правку витков круга. Если все витки шлифовального круга, за исключением одного или двух, правятся обычным правящим инструментом, то один или два витка круга правят правящим инструментом, прошедшим специальную обработку [5].

Проведённые испытания на контрольно-обкатном станке показали уровень вибраций зубчатых зацеплений, окончательную обработку которых производили различными методами (рис. 4):

1. Непрерывным обкатным методом зубошлифования с созданием нерегулярного микрорельефа на боковых поверхностях зубьев;
2. непрерывным профильным зубошлифованием и последующим зухонингованием абразивным хонем с внешним зацеплением на одном станке;
3. зубохонингованием абразивным хонем с внутренним зацеплением;
4. непрерывным обкатным зубошлифованием металлическим кругом с однослойным покрытием кубическим нитридом бора;
5. непрерывным обкатным зубошлифованием металлическим кругом с однослойным покрытием кубическим нитридом бора;

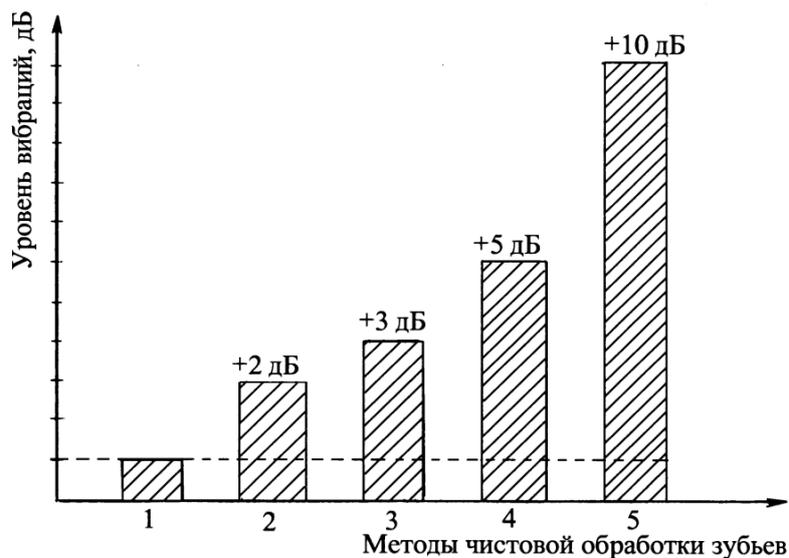


Рис. 4. Уровень вибраций при зацеплении цилиндрических зубчатых колёс

В современных условиях развития машиностроительной продукции скорости вращения и передаваемые нагрузки постоянно повышаются. В связи с этим всё большее внимание уделяют величине и структуре шероховатости боковых поверхностей зубьев. Проведённые теоретические и экспериментальные исследования показали:

1. Снижение величин шероховатости поверхности зубьев, может быть, достигнуто снижением эквивалентной толщины стружки и применением абразивных мелкозернистых высокопористых шлифовальных кругов;
2. Благоприятную, нерегулярную (стохастическую) структуру микрорельефа боковой поверхности зубьев получают, например, с помощью движения инструмента – шлифовального круга, зубчатого хона и др.

### Литература

1. Bausch Tomas. Innovative Zahnradfertigung. Expert Verlag GmbH, D-71262, Renningen, Germany, 2006. 778 p.
2. Darle Dudley. Gear Handbook. McGRAW-HILL BOOK COMPANY, New York, 1962, 820 p.
3. Калашников А. С., Моргунов Ю. А., Калашников П. А. Современные методы обработки зубчатых колёс. М.: Издательский дом «Спектр», 2012. 238 с.
4. Калашников А. С., Моргунов Ю. А., Калашников Р. А. Современные методы зубошлифования цилиндрических колёс // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2010. № 5. С. 21 – 26.
5. Вальтер Граф. Шлифование и полирование зубчатых колёс. Журнал «РИТМ». 2016. № 6. С. 27 – 28.