

КОНТРОЛЬ ШЕРОХОВАТОСТИ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС

Шероховатость поверхности пары трения является важным показателем качества поверхностного слоя деталей, определяющим их ресурс. Поэтому совершенствование технологии изготовления ответственных деталей предполагает контроль параметров шероховатости поверхностей трения для приближения их значения к параметрам оптимальной равновесной шероховатости. Прогнозируется широкое использование приборов для измерения параметров шероховатости в связи с перспективой внедрения стандарта

Так, при отработке технологии изготовления синхронизирующих зубчатых колёс роторных насосов серий НМ, НР, ВЗ-ОР2-А-2 возникла необходимость измерения шероховатости эвольвентных поверхностей данных колёс после зубонарезания и зубошлифования.

Как известно, форма и размеры неровностей, измеренные в различных направлениях, могут существенно отличаться [1]. Высота неровностей поверхности, измеренная в направлении движения резания вдоль обрабаточных рисок (при строгании на продольно-строгальном станке в направлении возвратно-поступательного движения стола, при точении и круглом шлифовании по винтовой линии), характеризует продольную шероховатость поверхности. Высота неровностей, измеренная перпендикулярно к движению резания (по направлению поперечной подачи при строгании, точении, шлифовании и т.п.), характеризует поперечную шероховатость поверхности. В связи с тем, что такие факторы, как геометрическая форма режущего инструмента и величина подачи, отражаются только на поперечной шероховатости, размеры поперечной шероховатости обычно в два-три раза превышают продольную шероховатость. Вследствие этого оценку степени шероховатости поверхности заготовки обычно производят на основании измерения поперечной шероховатости. При некоторых методах обработки (торцовое фрезерование, доводка) продольная и поперечная шероховатости имеют одинаковые значения и могут измеряться в обоих направлениях.

При определенных условиях обработки, в частности при возникновении вибраций или высокой степени пластической деформации поверхностного слоя металла, продольная шероховатость может резко возрасти и превысить поперечную шероховатость. Совершенно очевидно, что в подобных случаях оценку шероховатости поверхности следует производить на основании измерений не поперечной, а продольной шероховатости.

Применительно к эвольвентным рабочим поверхностям прямозубых колес за направление измерения было принято направление вдоль эвольвенты, соответствующее относительному обкатному движению при работе. При таком выборе особенностью контроля шероховатости рабочих поверхностей зубьев зубчатых колёс является необходимость измерения по криволинейной (эвольвентной) траектории в условиях ограниченного пространства впадины зубьев с модулем 2 мм.

Измерение шероховатости производилось портативным прибором для профильного измерения шероховатости TR200 (Time Group Inc.), который позволяет контролировать тринадцать параметров шероховатости, отвечающих стандартам ISO, DIN, ANSI и JIS. Помимо имеющихся в ГОСТ 24773-81 шести параметров, измеряются, выводятся на дисплей или вводятся в персональный компьютер параметры: R_q – среднеквадратическое отклонение профиля, $R_z(\text{DIN})$ – наибольшая высота профиля, R_t – общая высота неровностей, R_p – высота наибольшего выступа профиля, R_m – глубина наибольшей

впадины профиля, S_k – асимметрия профиля, R_{3z} – высота неровностей по трем максимальным значениям. Также прибор позволяет выводить на дисплей кривые профиля поверхности и коэффициента опорной длины l_p .

Измеритель шероховатости TR200 позволяет производить измерения с использованием четырёх фильтров:

- профильные фильтры RC (соответствует фильтру λ_s по ИСО 4287:1996), PC-RC, Гаусса (DIN4777) – отделяют шероховатость от волнистости;
- D-P (прямой фильтр) – выбор средней линии с помощью алгоритма наименьших квадратов.

Прямой фильтр D-P соответствует профилю, не подвергнутому фильтрации (соответствует фильтру λ_s по ИСО 4287:1996). Для отстройки профиля эвольвенты при измерениях использовался RC-фильтр.

При определении параметров шероховатости в поперечном направлении с помощью данного прибора возникла следующая проблема: штатный щуп профилометра не мог измерить шероховатость из-за его размеров ввиду малого пространства впадины зубчатых колес.

Для обеспечения доступа к поверхности измерения зубчатые колеса были разрезаны на электроэрозионном станке. Однако измерение шероховатости таким способом не всегда приемлемо, так как колеса больше не пригодны к использованию.

Объектами контроля являлись фрезерованные и шлифованные приработанные и неприработанные зубчатые колеса с модулем $m = 2$ мм и числом зубьев $z = 40$. С помощью встроенного интерфейса RS232 результаты измерения заносились в персональный компьютер.

На рисунке 1 приведены кривые профиля реальной поверхности (Original) и прошедшей обработку через фильтр (Filtered) фрезерованного и шлифованного колес. Численные значения параметров шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев приведены в таблице 1.

Очевидно, что при контроле шероховатости рабочих поверхностей зубьев мелкозубчатых колес более удобным является измерение в продольном направлении вдоль оси колеса.

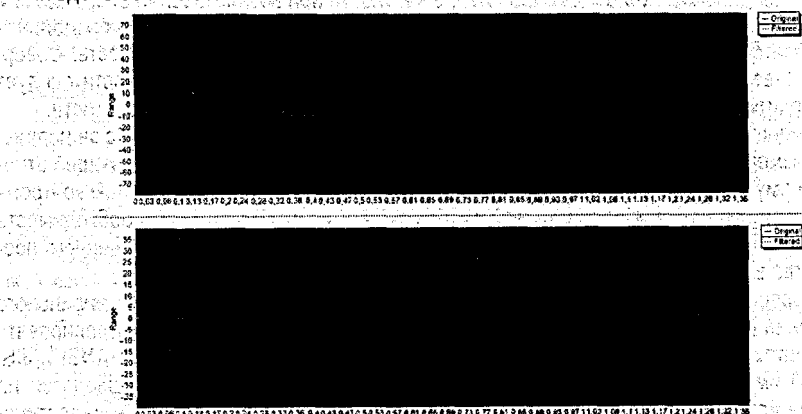


Рисунок 1 – Профиллограммы фрезерованной (сверху) и шлифованной (снизу) поверхностей: Original – реальная поверхность; Filtered – поверхность, прошедшая обработку через фильтр

С целью установления возможности неразрушающего контроля была предпринята попытка установления функциональной зависимости значений параметров продольной и поперечной шероховатости.

Проверка зависимости параметров продольной и поперечной шероховатости производилась с помощью корреляционного анализа [2]. Корреляционный анализ представляет собой меру зависимости переменных, т.е. насколько достоверно различие между ними. Чем больше по абсолютной величине коэффициент корреляции (от -1 до +1), тем сильнее зависимость между величинами. Проверка на достоверность найденного коэффициента корреляции производится по критерию Стьюдента t_n

$$t_n = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (1)$$

где n – количество измерений; r – коэффициент корреляции.

Критическое значение критерия Стьюдента $|t_n|$ определяется по таблицам ([2]) в зависимости от заданной вероятности и количества измерений. Если имеет место неравенство $|t_n| < t_n$, то принимают $r = 0$ и делают вывод, что связи между величинами нет. В противном случае утверждают обратное.

Корреляционный анализ производился для различных параметров шероховатости (R_a , R_z , R_m , S , S_m) фрезерованных, шлифованных, зубчатых колёс прошедших приработку при следующих значениях величин: число измерений $n = 5$, вероятность $p = 0,9$, критическое значение критерия Стьюдента $|t_n| = 2,353$.

Результаты измерений шероховатости в двух направлениях и корреляционного анализа параметров приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерений шероховатости и корреляционного анализа

№ п/п	R_a пр., мкм	R_a поп., мкм	R_z пр., мкм	R_z поп., мкм	R_m пр., мкм	R_m поп., мкм	S пр., мм	S поп., мм	S_m пр., мм	S_m поп., мм
Шлифованные зубья										
1	0,221	3,827	0,634	3,19	0,62	8,25	0,123	0,1066	0,2	0,5333
2	0,257	3,754	0,785	3,65	0,779	10,85	0,0571	0,0842	0,1777	0,0533
3	0,139	3,811	0,43	2,969	0,32	10,05	0,0727	0,0761	0,32	0,8
4	0,1	4,002	0,194	3,345	0,279	7,639	0,0592	0,0941	0,4	0,533
5	0,126	3,825	0,44	3,71	0,6	10,09	0,0666	0,0727	0,1333	0,32
r	-0,7160		0,2543		0,5256		0,6824		0,6230	
t_n	1,7765		0,4555		1,0700		1,6168		1,3795	
Шлифованные зубья, прошедшие приработку										
1	0,262	2,589	0,694	3,289	1,019	6,079	0,16	0,0347	0,2285	0,2666
2	0,172	2,239	0,494	3,359	0,419	5,4	0,0941	0,038	0,2	0,2666
3	0,235	1,697	0,494	4,139	0,62	4,599	0,1066	0,0258	0,2666	0,16
4	0,223	2,029	0,714	4,639	0,64	6,199	0,123	0,04	0,1777	0,2
5	0,188	2,922	0,525	3,599	0,32	7,119	0,1	0,0533	0,2285	0,2666
r	-0,2140		0,2921		-0,1873		-0,2488		-0,3169	
t_n	0,3794		0,5290		0,3302		0,4450		0,5786	
Фрезерованные зубья										
1	1,182	6,047	3,714	10,47	2,299	14,52	0,08	0,08	0,16	0,2666
2	0,912	5,634	2,299	10,77	1,9	15,27	0,0666	0,08	0,16	0,2
3	1,697	6,906	4	8	6,119	22,28	0,1142	0,0727	0,16	0,4
4	2,239	5,723	8,055	9,359	10,6	14,19	0,2285	0,0888	0,2285	0,266
5	0,701	6,671	2,579	5,079	2,2	13,76	0,08	0,0615	0,1333	0,4
r	-0,1492		0,1760		0,1764		0,6028		-0,4141	
t_n	0,2613		0,3097		0,3104		1,3087		0,7879	

Как видно из таблицы, корреляционная связь между измеренными параметрами отсутствует, т.е. функциональная зависимость между значениями параметров продольной и поперечной шероховатости не выявлена.

Альтернативными методами неразрушающего определения параметров шероховатости эвольвентных поверхностей зубчатых колес может служить метод слепков, либо использование специального щупа TS120 к профилометру TR200 с мини-иглой для измерения шероховатости в каналах диаметром от 2-х мм.

В результате выполненной работы разработана цеховая методика профильного контроля шероховатости эвольвентных поверхностей прямозубых колес, пригодная для использования при отработке технологии.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Суслев, А.Г. Назначение, обозначение и контроль параметров шероховатости поверхностей деталей машин / А.Г. Суслев, И.М. Корсакова – М.: Издательство МГИУ, 2010. – 111 с.
2. Филонов, И.П. Вероятностно-статистические методы оценки качества в машиностроении: учебное пособие / И.П. Филонов, А.И. Медведев – Мн.: Тесей, 2000. – 128 с.

УДК 681.5

Громада В.В., Янкович Е.И.

Научный руководитель: доцент Прокопеня О.Н.

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ДВУХЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА

Сложность задачи синтеза обусловлена тем, что приводы отдельных звеньев оказывают влияние друг на друга при совместной отработке перемещений. В результате характер результирующего движения может не соответствовать показателям качества переходных процессов, обеспечиваемым каждым приводом в отдельности при независимой работе. Это должно учитываться при проектировании. Оно может осуществляться двумя способами. В первом случае система рассматривается как взаимосвязанная с двумя входами и двумя выходами. Расчет такой системы является достаточно сложным. Для проектирования необходимо использовать математическую модель, учитывающую наличие всех приводов и взаимосвязей между ними.

Во втором случае приводы проектируются как независимые системы автоматического регулирования (САР) по перемещению. Это позволяет рассчитывать каждый привод отдельно, что значительно упрощает расчет. Следует отметить, что даже в этом случае САР обычно является многоконтурной, так как помимо главной обратной связи по перемещению используют обратные связи по скорости, току двигателя и другим переменным. Качество работы такой системы на практике будет зависеть от того, насколько сильно взаимное влияние приводов будет проявляться при реальной работе. Для того чтобы исключить нежелательные ситуации при работе системы, желателен заранее исследовать ее поведение в различных режимах. Для этого опять же требуется полная математическая модель.

Таким образом, при любом подходе задачу синтеза системы управления манипулятором целесообразно решать с использованием математической модели, учитывающей взаимосвязь между приводами отдельных звеньев. Созданию такой модели посвящена данная работа. Задача решалась для двухзвенного манипулятора с шарнирно сочлененной рукой, схема которого представлена на рис. 1.