JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES
ЖУРНАЛ ІНЖЕНЕРНИХ НАУК
ЖУРНАЛ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК
Web site: http://jes.sumdu.edu.ua/
Volume 4, Issue 1 (2017)

УДК 621.913:621.633

Анализ процесса зубохонингования зубчатых колес модулем m = 2,625 мм гидронасосов

А. В. Кривошея[1)], В. В. Возный[1)], В. Е. Мельник[1)]

[1)] *Институт сверхтвердых материалов им. В. М. Бакуля НАН Украины, ул. Автозаводская, 2, 04074, г. Киев, Украина*

Article info:
Paper received: April 2, 2017
The final version of the paper received: May 28, 2017
Paper accepted online: May 30, 2017

Correspondent Author's Address:
ism20@ism.kiev.ua

В статье рассматривается способ финишной обработки цилиндрических зубчатых колес алмазными червячными хонами в машиностроении на широкоуниверсальном фрезерном станке. Для обработки разработано специальное приспособление, предусматривающее упругую связь в паре инструмент – деталь. Разработаны и изготовлены алмазные инструменты с различными параметрами зернистости, использующиеся при обработке. В качестве критерия оценки обработки зубчатых колес использовались параметры шероховатости, которые измеряли до и после обработки. Измерения проводили как по профилю, так и вдоль линии зуба обрабатываемого зубчатого колеса. При проведении работ использовались динамометры, профилометр, штангензубомер, нормалемер. Для статистической оценки полученных данных были построены кривые распределения. В результате проведения исследований по зубохонингованию поверхностей зубьев шестерен установлены рациональные параметры: зернистость алмазного хона, режимы обработки, а также схема обработки.

Ключевые слова: цилиндрические зубчатые колёса, зубохонингование, шероховатость.

1. ВВЕДЕНИЕ

Эффективность процесса любой механической обработки деталей в первую очередь характеризуется стабильностью получения параметров обработанной поверхности. Применительно к процессу алмазного зубохонингования шестерен гидронасосов это можно интерпретировать как обеспечение качественных и количественных характеристик шероховатости поверхности зубьев при их крупносерийном и массовом производствах.

Зубохонингование относится к группе методов, выполняющих микрорезание твёрдых поверхностных слоёв зубьев большим числом не ориентированных в пространстве режущих элементов [1].

Сам процесс алмазного зубохонингования поверхности зубьев зубчатых колес является низкоскоростным (V = 0,5–5 м/с) и, как следствие, характеризуется большой стойкостью инструмента, что, в свою очередь, должно позитивно отражаться на стабильности получения результатов механической обработки поверхностей.

Составными частями процесса алмазного зубохонингования также являются режимы обработки и качество поставляемых заготовок для дальнейшей их механической обработки. Определение влияния качества поверхностей шестерен перед алмазным зубохонингованием и режимов процесса обработки является актуальной задачей.

Цель работы – определение влияния параметров червячного алмазного хона и режимов обработки на шероховатость обрабатываемого зубчатого колеса.

Для определения степени влияния перечисленных выше качественных и количественных параметров деталей и процесса хонингования провели испытания по следующей методике.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Методика испытаний

В качестве заготовок для процесса алмазного хонингования использовали шестерни гидронасосов модулями m = 2,625 мм после термообработки (цементация HRC 58–63) и чистового фрезерования червячными фрезами фирмы «LMT FETTE» на новом зубофрезерном станке фирмы «LIEBHERR». Исходные параметры поверхности зубьев перед обработкой сведены в табл. 1, 2.

Таблица 1 – Параметры шестерен перед обработкой

Обрабатываемая деталь	Чертеж GM6K-4-00-04
Модуль	2,625 мм
Количество зубьев	12
Ширина зубчатых венцов	10–60 мм
Угол наклона линии зуба	0°
Характеристика профиля	Эвольвента
Параметры исходного контура	ГОСТ 13755-81
Коэффициент смещения исходного контура	0,1
Степень точности	По DIN3962 8-8-7

A

Испытания процесса зубохонингования алмазными червячными эластичными хонами проводили в лабораторных условиях отдела № 20 Института сверхтвердых материалов на широкоуниверсальном фрезерном станке мод. 6М82Ш с использованием специального приспособления, обеспечивающего упругую связь в паре инструмент – деталь. Для измерения и контроля силы прижатия использовали динамометр ДОСМ-3-01, протарированный эталонным динамометром. Зубохонингование проводили на шестернях гидронасосов модулем 2,625 мм с числом зубьев z = 12, HRC 58–63.

Все шестерни нумеруют и измеряют по параметрам шероховатости боковых поверхностей зубьев на новом измерительном комплексе, оснащенном профилометром ПМ-10 фирмы «Микротех» в ИСМ НАН Украины (рис. 1).

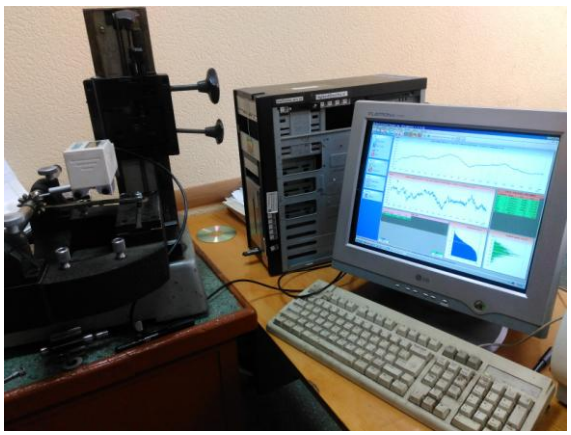

Рисунок 1 – Комплекс для измерения параметров шероховатости

Таблица 2 – Исходные параметры точности и шероховатости шестерен по чертежу

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение
Суммарная ошибка профиля	F_a	мкм	≤28
Ошибка формы профиля	f_{fa}	мкм	≤28
Ошибка наклона профиля	f_{ha}	мкм	≤±20
Накопленная ошибка шага	F_p	мкм	≤40
Радиальное биение венца	F_r	мкм	≤32
Форма направляющей профиля боковой поверхности зуба	$f_{f\beta}$	мкм	10,0
Шероховатость вдоль эвольвентного профиля боковой поверхности зуба	R_{a1}	мкм	0,5
Шероховатость вдоль направляющей боковой поверхности зуба (вдоль линии зуба)	R_{a2}	мкм	0,35-0,15

Каждую шестерню перед измерением шероховатости тщательно промывают в растворе уайт-спирита, просушивают и протирают.

На каждой шестерне до и после зубохонингования замеряют шероховатость на 2 зубьях, с обеих боковых поверхностей зубьев вдоль линии зуба и по профилю.

На каждой шестерне замерялась шероховатость по профилю на трассе 0,75 мм при шаге отсечки 0,25 мм, а при измерении вдоль линии зуба – на трассе 3,2 мм при шаге отсечки 0,8 мм.

Профиль и шероховатость до и после зубохонингования при каждом измерении записываются и обрабатываются на ПЭВМ (рис. 1).

Определяются и записываются следующие параметры профиля: *Ra*, *Rq*, *Rt*, *Rz*, *Rc*, *Rsm*, а также опорная кривая.

Определение величины съема припуска при зубохонинговании осуществлялось измерениями толщины зуба штангензубомером и контролировалось нормалемером ЛИЗ.

Характеристика инструмента – алмазного хона – приведена в табл. 3, режимы процесса алмазного хонингования – в табл. 4.

Таблица 3 – Характеристика червячных алмазных эластичных хонов

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Численное значение
Модуль	m	мм	2,625
Внешний диаметр	De	мм	125
Шаг по нормали до профиля	P	мм	8,242
Угол профиля исходного контура	a	град.	20
Число заходов	K	шт.	1
Количество витков	n	шт.	3
Размеры профиля в нормальной плоскости	H	мм	3,28
	S	м	4,0
Связка	1.В3-20 СТП 90.468-83	–	–
Зернистость	–	мкм	80/63–28/20

A

Таблица 4 – Режимы зубохонингования

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение
Частота вращения хона	n	об/хв	200
Продольная подача	S	мм/хв	25
Количество рабочих ходов	N	шт	4–12
Радиальная нагрузка в зацеплении	Q	Н	100
Время одного проходу хонингования при ширине венца B = 10 мм и размером подачи S = 25 мм в мин	t	сек	40

СОТС-керосин–90 %, индустриальное масло–20 – 10 %.

Установка и непосредственно сам процесс обработки представлены на рисунке 2.

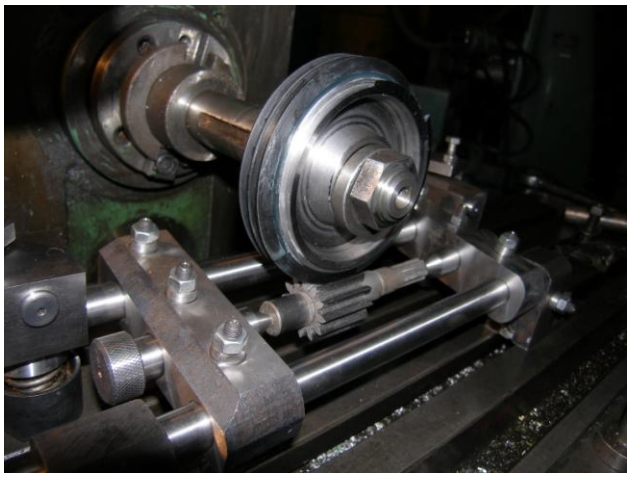

Рисунок 2 – Экспериментальная установка и процесс хонингования поверхностей зубьев шестерни модулем m = 2,625 мм

Как видно из рисунка 2, шестерня крепится в центрах, которые стоят на четырех опорах, две из них опираются на пружины, что обеспечивает упругую связь в паре инструмент – деталь. Перед обработкой шестерни обязательным является выставление угла скрещивания 1° в паре инструмент – деталь для равномерной обработки. В процессе обработки для одинаковой обработки зубьев шестерен с обеих сторон применялся реверс инструмента, т. е. вращение алмазного зубчатого хона по часовой и против часовой стрелки.

2.2. Обсуждение результатов

После механической обработки шестерни гидронасосов тщательно промывали и проводили замеры шероховатости согласно описанной методике.

Исследование шероховатости проводили с упором на параметры *Ra*, *Rmax*, *Rq*, *Rz*. Сравнивали параметры шероховатости необработанных поверхностей зубьев с поверхностями после алмазного хонингования.

Ниже в таблице приведены данные по замеру шероховатостей поверхностей до и после обработки алмазным хонингованием (рисунки 3–4).

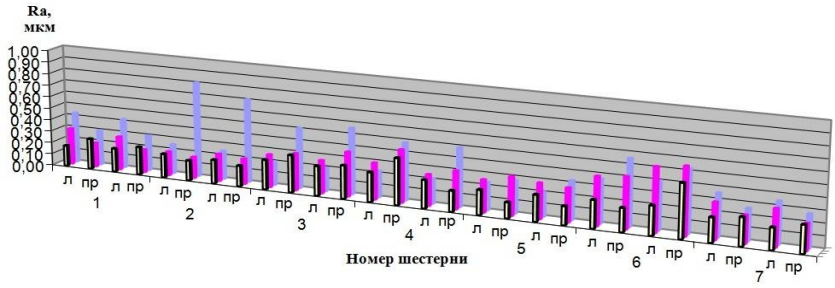

Рисунок 3 – Среднее значение шероховатости по профилю после зубофрезерования (синий цвет), после зубохонингования 4 проходов (розовый цвет) и 12 проходов (бежевый цвет). Характеристика хона АСМ 28/20: модуль 2,625 мм, $V_{пр}$ = 25 мм/мин, n = 200 об/мин, $S_{рад}$ = 0,5 мм ($P_{ос}$ = 50–100 Н с учетом упругой связи)

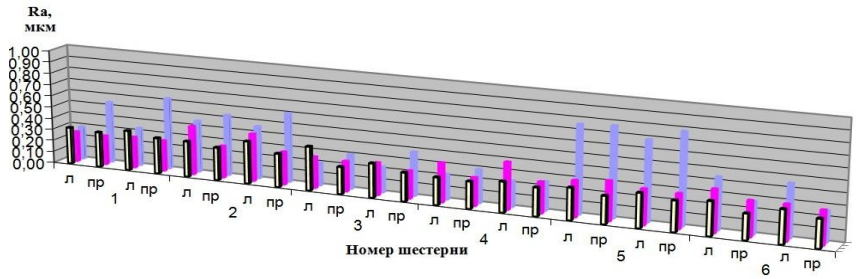

Рисунок 4 – Среднее значение шероховатости по профилю после зубофрезерования (синий цвет), после зубохонингования 4 проходов (розовый цвет) и 12 проходов (бежевый цвет). Характеристика хона АС6 80/63: модуль 2,625 мм, $V_{пр}$ = 25 мм/мин, n = 200 об/мин, $S_{рад}$ = 0,5 мм. ($P_{ос}$ = 50–100 Н с учетом упругой связи)

A

Полученные данные замеров шероховатостей поверхностей зубьев до и после обработки подвергали статистическому анализу с целью определения стабильности получения качественно обработанной поверхности.

В зависимости от направления измерения шероховатости поверхности и исходной зернистости инструмента построены графики рассеивания (Гаусса) по профилю зуба и вдоль направляющей зуба.

Полученные кривые сгруппированы в четыре графика (рисунки 4–7).

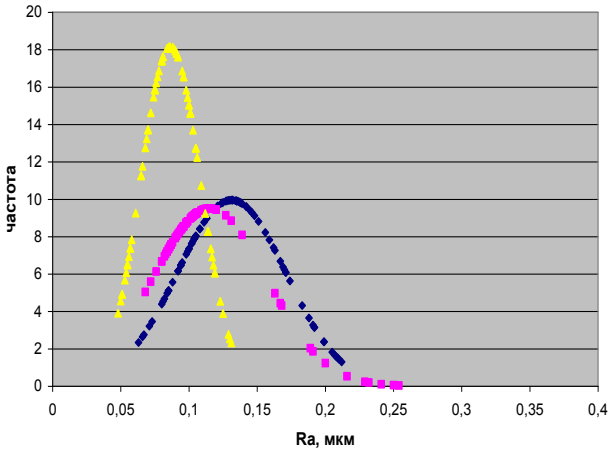

Рисунок 5 – Кривая рассеивания (Гаусса) шероховатости вдоль линии зуба (Ra) после «твердого» фрезерования (синий цвет), после зубохонингования 4 проходов (розовый цвет) и 12 проходов (желтый цвет)

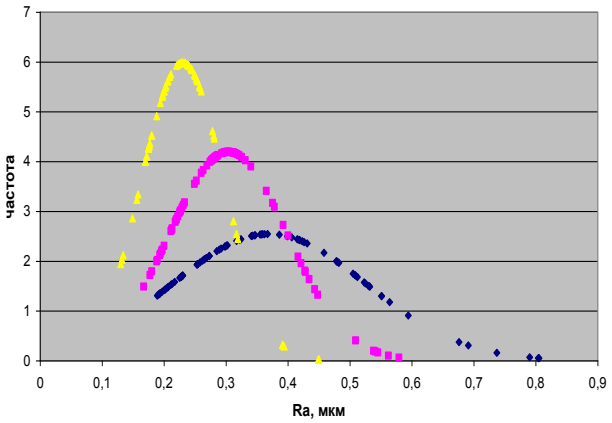

Рисунок 6 – Кривая рассеивания (Гаусса) шероховатости по профилю зуба (Ra) после «твердого» фрезерования (синий цвет), после зубохонингования 4 проходов (розовый цвет) и 12 проходов (желтый цвет)

Характеристика хона АСМ 28/20 модуль 2,625 мм. Режимы обработки $V_{пр}$ = 25 мм/мин, n = 200 об/мин.

Усилие радиального прижима в паре инструмент-деталь P_{oc} = 50-100Н, с учетом упругой связи.

Характеристика хона АС6 80/63 модуль 2,625 мм. Режимы обработки $Vпр$ = 25 мм/мин, n = 200об/мин.

Усилие радиального прижима в паре инструмент-деталь P_{oc} = 50–100 Н с учетом упругой связи.

Характеристика хона АС6 80/63 модуль 2,625 мм. Режимы обработки $V_{пр}$ = 25 мм/мин, n = 200 об/мин.

Усилие радиального прижима в паре инструмент-деталь Рос = 50–100 Н с учетом упругой связи.

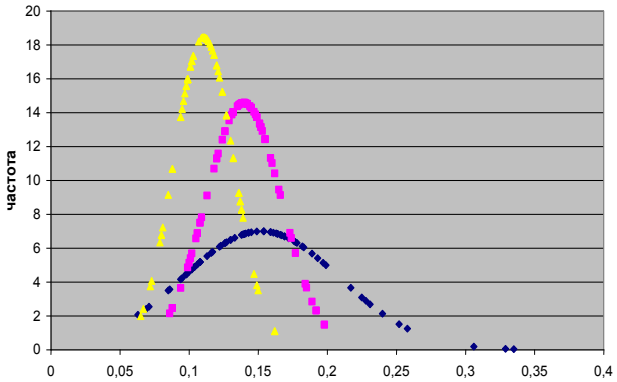

Рисунок 7 – Кривая рассеивания (Гаусса) шероховатости вдоль линии зуба (Ra) после «твердого» фрезерования (синий цвет), после зубохонингования 4 проходов (розовый цвет) и 12 проходов (желтый цвет)

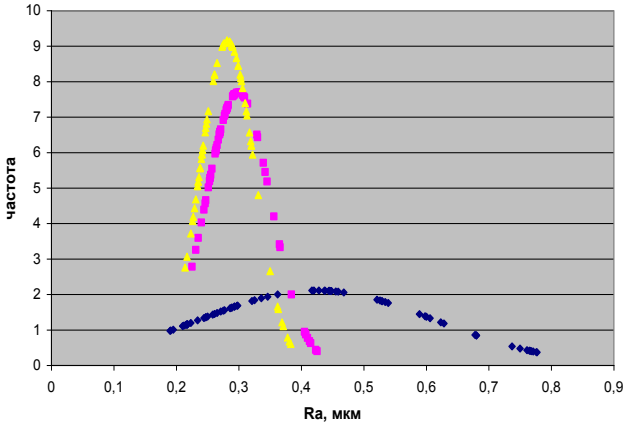

Рисунок 8 – Кривая рассеивания (Гаусса) шероховатости по профилю зуба (Ra) после «твердого» фрезерования (синий цвет), после зубохонингования 4 проходов (розовый цвет) и 12 проходов (желтый цвет)

3. ВЫВОДЫ

В результате проведения исследований по зубохонингованию поверхностей зубьев шестерен гидронасосов установлены рациональные параметры: зернистость алмазного хона, режимы обработки, а также схема обработки.

Как показывают результаты испытаний и анализа полученных результатов после чистового зубофрезерования закаленных шестерен шероховатость боковых поверхностей зубьев вдоль эвольвентного профиля после фрезерования колеблется в пределах 0,97–0,23 мкм, а после зубохонингования – 0,38–0,22 мкм, шероховатость вдоль линии зуба после зубофрезерования колеблется в пределах 0,28–0,1 мкм, а после зубохонингования – в пределах 0,2–0,08 мкм.

При анализе полученных поверхностей и кривых Гаусса установлено, что процесс алмазного зубохонингования обеспечивает высокую стабильность получения качественных и количественных характеристик поверхности.

Использование процесса алмазного зубохонингования поверхностей зубьев шестерен позволяет получить качественную деталь даже при использовании заготовок с разбросом количественных параметров шероховатости поверхности в широком диапазоне.

Точность при зубохонинговании практически не меняется.

Указанные преобразования параметров шероховатости были достигнуты при рекомендованной характеристике алмазных червячных хонов (табл. 3) и рекомендуемых режимах обработки (табл. 4).

Analysis of the gear tooth gearing by the module m = 2.625 mm of hydraulic pumps

A. V. Krivosheya[1)], V. V. Voznyy[1)], V. E. Melnyk[1)]

[1)] *Institute of Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2 Avtozavodska St., 04074, Kyiv, Ukraine*

The article deals with the method of finishing the cylindrical gears with diamond worm gear in mechanical engineering on a wide-universal milling machine. For processing, a special device has been developed, which provides for elastic coupling in a tool-detail pair. Diamond tools with different grain parameters, which are used in processing, have been developed and manufactured. As a criterion for evaluating the treatment of gears, roughness parameters were used, which were measured before and after treatment. The measurements were made, both along the profile and along the tooth line of the treated gear. During the work, dynamometers, profilometer, barbell gauge, normalizer were used. For the statistical evaluation of the data obtained, distribution curves were constructed. As a result of research on tooth gearing of gear teeth surfaces, rational parameters of granularity of diamond hone, processing modes, as well as the processing scheme are established.

Keywords: cylindrical gears, tooth gearing, roughness.

Аналіз процесу зубохонінгування зубчастих коліс модулем m = 2,625 мм гідронасосів

А. В. Кривошея[1)], В. В. Возний[1)], В. Є. Мельник[1)]

[1)] *Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська, 2, 04074, м. Суми, Україна*

У статті розглядається спосіб фінішного оброблення циліндричних зубчастих коліс алмазними черв'ячними хонами в машинобудуванні на широкоуніверсальному фрезерному верстаті. Для оброблення розроблене спеціальне пристосування, що передбачає пружний зв'язок у парі інструмент–деталь. Розроблені та виготовлені алмазні інструменти з різними параметрами зернистості, що використовуються під час оброблення. За критерій оцінювання оброблення зубчастих коліс використовували параметри шорсткості, які вимірювали до і після обробки. Вимірювання проводили як за профілем, так і вздовж лінії зуба оброблюваного зубчастого колеса. Під час проведення робіт використовували динамометри, профілометр, штангензубоміри, нормалемір. Для статистичного оцінювання одержаних даних були побудовані криві розподілу. В результаті проведення досліджень із зубохонінгування поверхонь зубів шестерень установлені раціональні параметри: зернистість алмазного хона, режими оброблення, а також схема оброблення.

Ключові слова: циліндричні зубчасті колеса, зубохонінгування, шорсткість.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННІХ ИСТОЧНИКОВ

1. Калашников А. С. Современные методы обработки зубчатых колёс / А. С. Калашников, Ю. А. Моргунов, П. А. Калашников. – Москва : Спектр, 2012. – 238 с.

2. Корн Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – Москва : Наука, 1974. – 831 с.

REFERENCES

1. Kalashnikov A. S., Morgunov Yu. A., Kalashnikov P. A. (2012). Sovremennyie metody obrabotki zubchatyh kolyos. *Moscow, Spektr* [in Russian].

2. Korn G., Korn T. (1974). Spravochnik po matematike. *Moscow, Nauka* [in Russian].

A