

УДК 621.913:621.633

А. В. Кривошея, В. Е. Мельник, В. В. Возный, С. В. Рябченко, кандидаты технических наук; **В. Н. Бычихин¹, Т. Е. Третьяк²**

¹*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г.Киев,*

²*Национальный технический университет «ХПИ», г.Харьков, Украина*

ФИНИШНАЯ ОБРАБОТКА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС АЛМАЗНЫМИ ЭЛАСТИЧНЫМИ ЧЕРВЯЧНЫМИ ХОНАМИ

Рассмотрен способ финишной обработки цилиндрических зубчатых колес червячными инструментами в машиностроении.

Ключевые слова: *зубчатое колесо, червячный хон, финишная обработка.*

В массовом производстве наиболее распространенной финишной операцией обработки цилиндрических эвольвентных зубчатых колес 6-8-й степени точности после их термообработки является зубохонингования дисковыми зубчатыми хонами, в том числе алмазными эластичными [1; 2].

Основной функцией зубохонингования является снятие дефектного слоя после термообработки и обеспечения необходимых параметров шероховатости при той же практически точности.

Применяемое, как в нашей стране, так и за рубежом традиционное зубохонингование цилиндрических эвольвентных зубчатых колес после термообработки дисковыми зубчатыми хонами, в том числе и алмазными эластичными, зачастую не соответствует требованиям современного машиностроения по ряду показателей, а именно [1]:

- сложность конструкции и технологии изготовления дискового зубчатого хона, особенно алмазного;
- значительная динамическая нагрузка при обработке приводящая к разрушению зубцов дискового зубчатого хона;
- вследствие сложности обеспечения выхода головки зуба дискового зубчатого хона, при обработке в зоне ножки зуба обрабатываемого зубчатого колеса образуется ступенька, являющаяся концентратором напряжения;
- неравномерная скорость скольжения зубьев инструмента относительно обрабатываемого зубчатого колеса по высоте зуба, не обеспечивает равномерность шероховатости по высоте зуба.

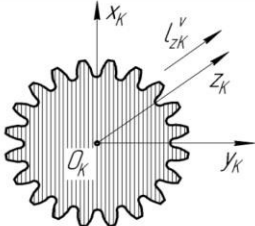
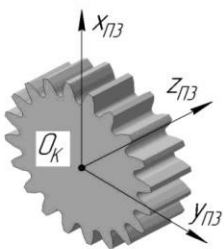
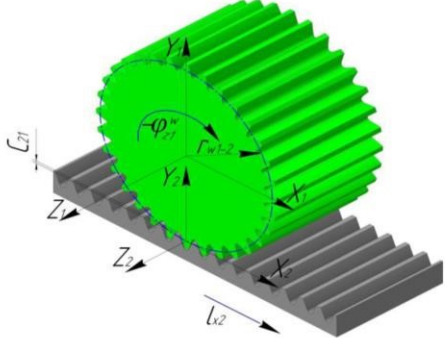
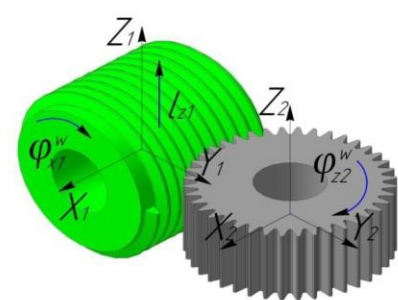
Как показывают результаты проведенных ранее в Институте сверхтвердых материалов (ИСМ) НАН Украины, теоретические исследования устранить указанные недостатки зубохонингования можно применением червячных хонов [1]. Однако, практические исследования или внедрение зубохонингования червячными хонами либо алмазными червячными эластичными хонами нам неизвестны. В этой связи исследование и внедрение зубохонингования цилиндрических зубчатых колес алмазными эластичными червячными хонами являются актуальными для отечественного машиностроения.

В ИСМ НАН Украины на базе теории отображения аффинного пространства разработаны обобщающие унифицированные математические модели математического описания и формообразования зубчатых колес и зубообрабатывающих инструментов различных классов, видов и типов [3]. На основе этой теории разработаны математические

модели формообразования червячных инструментов с точечным и линейным контактами. Червячные хоны с точечным контактом пригодны для хонингования зубчатых колес одного нормального шага с различным числом зубьев, с линейным контактом - только для зубчатых колес одного нормального шага с конкретным количеством зубьев. При этом торцевой профиль червячного зубчатого хона для обработки эвольвентного цилиндрического зубчатого колеса с точечным контактом также должен быть эвольвентным. Однако с учетом упругости алмазного червячного эластичного хона для зубохонингования эвольвентных зубчатых колес можно использован архимедовый червяк, профиль которого в осевой плоскости соответствует профилю исходной формообразующей рейки. Для определения профиля червячного инструмента с линейным контактом необходимо решить уравнения математической модели формообразования червяка эвольвентным зубчатым колесом.

Математическая модель зубчатого колеса, кинематическая схема и математическая модель формообразования профиля червячного инструмента с точечным и линейным контактами приведены в табл. 1 [3].

Таблица 1. Математические модели зубчатого колеса и формообразования

 $m_{rK} = m_{r\Pi 1} \cup m_{\varphi_{zK}^*} \cup m_{r\Pi 1} \cup$ $\cup m_{2\varphi_{zK}^*} \cup m_{r\Pi 1} \cup \dots$ $\dots \cup m_{(z-1)\varphi_{zK}^*} \cup m_{r\Pi 1}$ <p>m_{rK} – матричное уравнение осевого контура; Z – количество зубьев.</p>	 $m_{r\Pi 3} = m_{l_{zK}^v} m_{rK},$ $0 \leq l_{zK}^v \leq B,$ <p>B – ширина зубчатого венца.</p>
	$m_{r\Pi(1-2)} = m_{l_2} m_{C_{y12}} m_{\varphi_{z1}^w} m_{r\Pi(1)}$ $-\frac{\pi}{4} \leq \varphi_{z1}^w \leq \frac{\pi}{4}$ $l_{x2} = K_{lx2} \varphi_{z1}^w$ $K_{lx2} = -r_{w(1-2)}$ $C_{y12} = -r_{w(1-2)}$ $n_x \cdot v_x + n_y v_y = 0$
	$m_{r\Pi(1-2)} = m_{\varphi_{z2}^w} m_{C_{y12}} m_{\varphi_{z1}^w} m_{r\Pi(1)}$ $-\frac{\pi}{4} \leq \varphi_{z1}^w \leq \frac{\pi}{4}$ $\varphi_{z2}^w = K_{\varphi_{z2}^w} \varphi_{z1}^w$ $K_{\varphi_{z2}^w} = -\frac{r_{w(2-1)}}{r_{w(1-2)}}$ $C_{y12} = r_{w(2-1)} - r_{w(1-2)}$ $n_x \cdot v_x + n_y v_y = 0$

В ИСМ НАН Украины были спроектированы и изготовлены алмазные эластичные червячные хоны с профилем архимедова червяка и точечным контактом в паре инструмент - деталь (рис. 1). Характеристика алмазных эластичных червячных хонов приведена в табл. 2.



Рис. 1. Общий вид алмазного эластичного червячного хона с профилем архимедова червяка

Таблица 2. Характеристика алмазных эластичных червячных хонов

Параметры	Обозначение	Единица	Числовое значение при $m = 2,625$
1	2	3	4
Наружный диаметр	D_e	мм	125
Шаг по нормам к профилю	P	мм	8,242
Угол профиля исходного контура	a	град.	20
Количество заходов	K	шт	1
Количество витков	n	шт	3
Размеры профиля в нормальном сечении	H	мм	3,28
	S	м	4,0
Связка	V3-20 СТП 90.468-86 V3-0.1-1	–	–
Зернистость	–	МКМ	80/63–50/40

Для подтверждения работоспособности алмазных эластичных червячных хонов в ИСМ НАН Украины были проведены лабораторные исследования по зубохонингованию вал-

шестерен гидронасосов из стали 18 ХГТ с модулем 2,625 мм, количеством зубьев $z = 12$, твердостью HRC 58–62, алмазными эластичными червячными хонами с профилем архимедова червяка. Зубья шестерен предварительно обработали шевингованием и термически (цементацией и закалкой).

Испытания зубохонингования алмазными червячными эластичными хонами проводили в лабораторных условиях отдела № 20 ИСМ НАН Украины с помощью горизонтально-фрезерного станка модели 6М82Ш, с использованием специального приспособления, обеспечивающего упругую связь в паре инструмент – деталь (рис. 2).

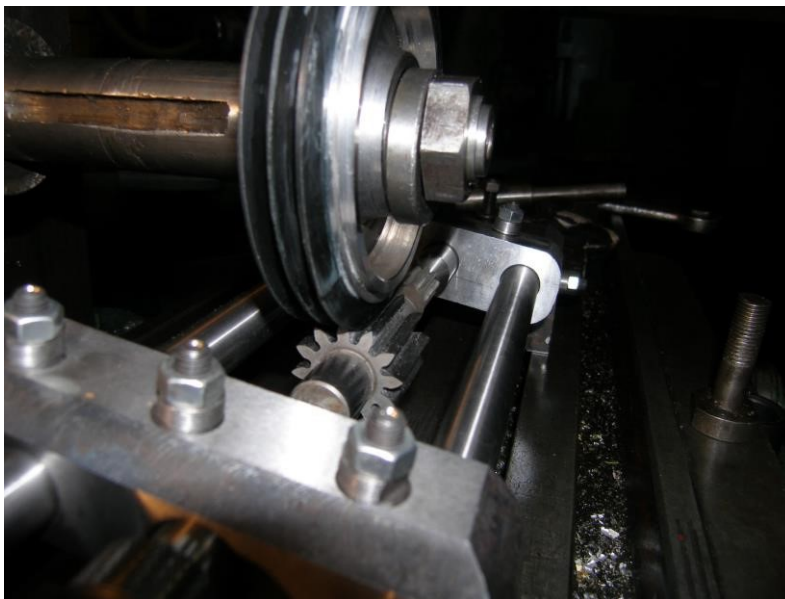


Рис. 2. Общий вид рабочей зоны зубохонингования

Цель лабораторных исследований – уточнить характеристики алмазного червячного эластичного хона, влияние схемы обработки (жесткой или упругой), СОТС и режимов обработки на выходные параметры процесса зубохонингования.

Результаты испытаний и их обсуждение

В результате испытаний по жесткой схеме (для этого в приспособлении заблокировали пружины) при использовании только упругих свойств связки без СОТС на обработанной поверхности зафиксировали царапины, повышенный шум при обработке, налипание на хон (засаливание) продуктов его износа и продуктов снятого дефектного слоя (в виде шлама). В этой связи дальнейшие исследования проводили с использованием упругой схемы обработки и применением СОТС.

При обработке использовали СОТС: индустриальное масло 20 и керосин с 10 %-м содержанием индустриального масла И-20А. Диапазон режимов зубохонингования приведен в табл. 3.

Использование СОТС способствует удалению из зоны обработки продуктов износа хона и шлама, что обеспечивает устранение засаливания зубчатого хона и царапин на обработанной поверхности, повышение производительности, стойкости хона и качества обработки. Были испытаны два состава СОТС - индустриальное масло 20 и керосин с 10%-м содержанием индустриального масла И-20А. Лучшие результаты (отсутствие царапин) были получены при использовании СОЖ - керосина с 10%-м содержанием индустриального масла И-20А.

Таблица 3. Режимы обработки зубчатых колес

Наименование	Обозначение	Ед. измерения	Числ значение	Примечание
Частота вращения хона	n	об./мин	200–400	
Продольная подача	S	мм/мин	50–200	
Количество рабочих ходов	N	–	2–4–6	
Радиальная нагрузка в зацеплении	Q	Н	100–300	
Время одного прохода хонингования при ширине венца $B = 39$ мм и подаче S в мм /мин	T	с	13	200
			26	100
			39	150
			52	50

Обработка без реверса вращения инструмента в конце каждого прохода не обеспечивает равномерной обработки левой и правой сторон зуба. При безреверсной обработке на поверхности зуба обрабатываемой шестерни, прилегающей к вершине у стороны противоположной направлению вращения шестерни, иногда наблюдаются полосы необработанных отсеков.

При более мягкой связке ВЗ-0.1-1 допускаются более высокая скорость хонингования (при частоте вращения хона $n = 400$ об./мин, скорость $v =$ до 3 м/с) и продольная подача до 100 мм/мин, а следовательно, более высокая производительность, однако меньшая стойкость по сравнению с применением более жесткой связки ВЗ-20. К тому же червячный хон на более мягкой связке после обработки 20–30 шестерен прирабатывается и превращается в квазиглобoid. В этой связи для более равномерного износа, после зубохонингования 5–6 шестерен, необходимо передвинуть хон вдоль его оси на половину шага.

Более износостойкой (в 3 раза) является связка ВЗ-20, при которой допускается более низкая скорость хонингования (частота вращения хона $n = 200$ об./мин при относительной скорости скольжения $v = 1,5$ м/с). Однако для равномерности износа всех витков хона необходимо его периодически передвигать хон вдоль оси на половину осевого шага, после обработки 15–20 шестерен.

При зубохонинговании дефектный слой эффективно удаляется после термообработки.

Зернистость алмазного порошка в пределах 80/63–50/40 не оказывает существенного влияния на шероховатость обработанной поверхности.

При продольной подаче $S_{пр} = 3,0$ мм на оборот шестерни на обработанной поверхности вдоль линии зуба шестерни наблюдается волна регулярного микрорельефа. В этой связи рекомендуемая продольная подача $S_{пр} = 1,5–3,0$ мм.

При радиальной нагрузке более 300 Н (30 кг) повышается температура резания, износ алмазного червячного эластичного хона шероховатость не изменяется. Таким образом, рекомендуемая величина радиальной нагрузки 150–200 Н.

Зернистость алмазного порошка 80/63–50/40 (см. табл. 3) не существенно влияет на шероховатость обработанной поверхности, которая составляет $R_a = 0,15–0,1$ мкм при исходной шероховатости $R_a = 0,4–0,3$ мкм.

Расчетный съем припуска при хонинговании составляет 3–5 мкм на сторону зуба по хорде.

Выводы

1. Изготовленные и отлаженные в ИСМ НАН Украины оснастка и измерительная система для исследования зубохонингования червячными алмазными эластичными хонами на горизонтально-фрезерном станке модели 6М82Ш работоспособны и пригодны для дальнейших исследований.
2. Алмазное хонингование следует проводить при упругой схеме обработки с радиальным усилием 150–200 Н (15-20 кг).
3. При зубохонинговании обязательно применение СОЖ – керосин + 10 % индустриального масла И-20А.
4. Станок для зубохонингования (при промышленных испытаниях) должен быть оснащен автоматической продольной и периодической поперечной подачами, а также автоматическим реверсом вращения инструмента.
5. При зубохонинговании более износостойкой является связка В3-20 (СТП 90.468-86), которая и рекомендуется для изготовления хонів.
6. При использовании более жесткой эластичной связки (В3-20 по СТП 90.468-86) обеспечивается повышенная стойкость алмазного червячного хона и при оптимальных режимах обработки - удаление дефектного слоя, снижение параметров шероховатости с $R_a = 0,35-0,4$ мкм., до $R_a = 0,1-0,15$ мкм.
7. Зернистость алмазного порошка 80/63–50/40 не оказывает существенно влияет на шероховатость обработанной поверхности.
8. Съем припуска при хонинговании составляет 3-5мкм на сторону зуба.
9. Режимы обработки:
 - оптимальная радиальная нагрузка 150–200 Н;
 - частота вращения алмазного червячного хона 150–200 об/мин;
 - продольная подача $S_{пр} = 1,5-3,0$ мм;
 - количество продольных проходов – 4;
 - в конце каждого прохода требуется реверс вращения червячного хона.
10. Результаты лабораторных исследования показали перспективность зубохонингования алмазными эластичными червячными хонами в целях для повышения качества цилиндрических зубчатых передач. Для внедрения зубохонингования испытания необходимо продолжить в производственных условиях, что и предусмотрено в дальнейшем.

Розглянуто спосіб фінішного оброблення циліндричних зубчастих коліс черв'ячними інструментами в машинобудуванні.

Ключові слова: зубчасте колесо, черв'ячний хон, фінішне оброблення.

FINISHING SPUR GEARS WORM DIAMOND ELASTICITY HONS

In the article the method of finishing of cylindrical worm gears in mechanical instruments.

Key words: gear, hon, finishing.

Литература

1. Сторчак М. Г. Синтез технических систем для отделочной обработки зубчатых колес: Дис. докт. техн. наук. – Киев, 1994. – 466 с.
2. Производство зубчатых колес: [Справочник под общей редакцией Б. А.Тайца. 3-е изд. перераб. и дополн.]. – М.: Машиностроение, 1990. – 464 с.

3. Кривошея А. В., Данильченко Ю. М., Сторчак М. Г., Мельник В. Е. Совершенствование обобщенной унифицированной математической модели формообразования и обработки зубчатых колес. // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2010. – № 4 (127). – С. 46–51.

Поступила 25.05.16

УДК 666.11.01

С. А. Кухаренко, канд. техн. наук; **В. Н. Ткач**, д-р физ.-мат. наук

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

МЕХАНИЗМ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ДИФФУЗИИ ИОНОВ В СИЛИКАТНЫХ СТЕКЛООБРАЗУЮЩИХ РАСПЛАВАХ

Предложен качественно новый подход к формированию контактной зоны, ответственной за прочность композита и образованной частицами стекол различного состава. Обоснован механизм многокомпонентной диффузии. Предложена модель диффузии атомов посредством возникновения разрывов межатомных связей и их переключения на соседние атомы.

Ключевые слова: *стекло, диффузия, механизм диффузии, ширина диффузионной зоны, межатомные связи.*

Введение

Вопросы разработки и исследования абразивных композитов составляют особую, своеобразную область материаловедения. Принципиальное отличие подходов к формированию структуры абразивсодержащих материалов от конструкционных обусловлено качественно различными задачами, которые решают изделия из этих материалов в условиях их эксплуатации. Если конструкционные материалы призваны максимально противостоять разрушению, то абразивсодержащие материалы предназначены именно для того, чтобы в процессе работы разрушаться, причем определенным заранее заданным образом.

В целях получения абразивсодержащих стеклокомпозиционных материалов со специальными свойствами используют способ соединения при термообработке стекол различного химического состава, например, силикатных и свинецсодержащих. В процессе термообработки более легкоплавкое стекло растворяет тугоплавкое. Стекла в системе $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ отличаются высокой кристаллизационной способностью и низкой температурой трансформации. Как правило, их используют в качестве легкоплавкого стеклообразного связующего для изготовления стеклокомпозитов из cBN [1].

При использовании смеси двух и более стекол в различных многокомпонентных оксидных системах с разной температурой трансформации получают композиционные материалы с высокими эксплуатационными характеристиками. При этом температура изготовления композитов намного ниже температуры для таковых на основе чистых стекол, что позволяет существенно повысить энергосбережение с одновременным улучшением физико-механических свойств композитов вследствие использования стеклоосновы различного химического состава [2].

В этой связи исследование взаимодействия, выражающегося в диффузионных процессах при контакте различных многокомпонентных стекол, представляет значительный интерес.