



Рис. 7. Цифровий промисловий рефрактометр

Стационарні рефрактометри (рис. 6) застосовуються у лабораторіях для досліджень, коли необхідно забезпечити високу точність та достовірність результатів вимірювання. За їх допомогою визначаються властивості нових матеріалів та досліджуються параметри, які залежать від показника заломлення.

Промислові рефрактометри (рис.7), що використовуються безпосередньо у виробництві, можуть бути встановлені та технологічних трубопроводах, ємкостях для постійного аналізу речовин у потоці. Часто у промисловості застосовуються цифрові рефрактометри, що значно спрощують зняття показів. Цифрові рефрактометри оснащуються акумуляторною батареєю, що дозволяє в середньому виконувати більше 1000 вимірювань без підзарядки.

Отже, застосування рефрактометрів для аналізу різного роду речовин забезпечує високу точність та достовірність виконання вимірювань. В основі роботи рефрактометрів лежать ґрунтовні теоретичні положення фізико-хімічних властивостей речовин. Недоліком реалізації методу є значна складність у обробленні результатів вимірювань, а тому хороші перспективи розвитку вимірювань у цьому напрямі може забезпечити широке впровадження елементів мікропроцесорної техніки.

#### Інформаційні джерела

1. Дорохова Е.Н., Прохорова Г.В., Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа, М., 1991. – 426 с.
2. Ключникова М.Н., Ключников К.П. Проектирование оптико-механических приборов. – М.: Машиностроение, 1997. – 215 с.
3. Юинг Г. Инструментальные методы химического анализа. Пер. с англ. 5 изд. – М.: Мир, 1989. – 608 с.

УДК 621.822:681.2:369.64

**В.І. Марчук**, д.т.н., **Л.М. Равенець**, аспірант, **Ештеві Абдулсалам Мусбах**, аспірант  
Луцький національний технічний університет

#### ПРО ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ КІЛЕЦЬ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИСОКОТОЧНИХ РОЛИКОВИХ ПІДШИПНИКІВ

*Розглядаються питання управління точністю формоутворення кілець роликотідишпників на операціях безцентрового шліфування поверхонь обертання. Встановлено залежність відхилення параметрів хвилястості шліфованих поверхонь від параметрів вібрації в зоні шліфування.*

*Рассматриваются вопросы управления точностью формообразования колец роликотидишпников на операциях бесцентрового шлифования поверхностей вращения. Установлена зависимость отклонения параметров волнистости шлифованных поверхностей от параметров вибрации в зоне шлифования.*

*The questions of precision roller forming rings in operations Centre less grinding surfaces of revolution. The dependence of the deviation parameters polished surface waviness parameters of vibration in the grinding zone.*

*Вступ.* Якість продукту планується під час розроблення ТП, а також під час його реалізації, тобто його виготовлення. Дана стадія виготовлення продукції з заданими споживачем вимогами відповідає на виробництві розробленню конструкторсько-технологічної документації. Надалі виробник у процесі виготовлення намагається відтворити продукт з запланованими значеннями параметрів якості, які називаються показниками якості. Коли в процесі виробництва починають втілювати якість, заплановану в технічних умовах і, в свою чергу, закладену в конструкторській

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

документації, іноді трапляється, що виріб не вдається виготовити у відповідності з цією документацією. Якщо розглянути комплект виробів, то виявимо відхилення значень у вихідних показниках якості. На багатьох підприємствах різних країн успішно функціонують системи управління якістю продукції, такі як SQC (Статистичний Контроль якості), TQC (Total Quality Management), ISO 9000 і PI (продуктові Інновації) і ряд інших [1]. Проте, в виготовленій продукції спостерігаються варіації якості деталей і повторюваність випадків виникнення дефектів одного роду, високі витрати на підтримку якості, недостатня надійність і складність обладнання.

Якість машинобудівної продукції цілому і підшипникового виробництва зокрема, визначається якістю ТП, який повинен мати високий ступінь надійності і гарантовано забезпечувати технічні параметри виробів, що виготовляються. Найважливішою складовою частиною ТП сучасного підшипникового виробництва є автоматизовані металорізальні верстати (МРВ), технічний рівень яких визначає можливості підприємства з конкурентоспроможною продукцією та ефективність виробництва [2].

Одним із способів управління якістю шліфування є моніторинг ТП. У АТ «СКФ Україна» (публічне) використовують новий метод статистичного управління процесами - моніторинг технологічних процесів шліфування. Поняття моніторингу, включає діагностику, ідентифікацію, прогнозування та управління станом верстатної системи на основі аналізу інформації, а також прийняття рішення про коригування. Моніторинг процесу шліфування спрямований на забезпечення якості деталей технологічними засобами, коли результати вимірювань визначальних параметрів сприяють попередженню появи браку замість його фіксування. Однією з актуальних задач є розроблення методу автоматизованої оцінки технічного стану шліфувального обладнання за віброакустичними коливаннями (ВА), а також коригування на основі отриманих даних маршруту технологічного процесу кілець роликотпідшипників в системі механооброблення[4].

Якість оброблення під час шліфування в багатьох випадках визначається рівнем і спектром відносних коливань абразивного круга і заготовки. Найбільш потужним джерелом вібрації в зоні різання є дисбаланс круга, що безперервно змінюється за час оброблення і викликає вимушені коливання на частоті обертання круга і кратних їй частотах. Результати вимірювань рівня вібрацій шліфувального верстата SWaAGL-125 при різних значеннях дисбалансу круга і точності оброблення кілець роликотпідшипників 6-7205A (хвилястість) наведено на рис. 1.

В реальних конструкціях підшипників робочі поверхні доріжок кочення і тіл обертання мають похибки форми, хвилястість, відхилення за параметрами шорсткості. Ці похибки є основною причиною виникнення радіального та осевого биття кільця, що обертається. Певний вплив на величину биття підшипників кочення мають і похибки виготовлення тіл кочення та їх різномірність в комплекті. Але внаслідок значної кількості тіл кочення в комплекті роликотпідшипників, а також того, що допуск на виготовлення тіл кочення на порядок менший допуску на виготовлення поверхонь кочення кілець, різниця діаметрів тіл кочення в значній мірі компенсується пружними деформаціями в місцях контакту. Вважається, що за існуючих технологічних вимог щодо виготовлення тіл кочення та сортування комплектів, впливом похибок виготовлення тіл кочення на величину биття підшипника можна знехтувати.

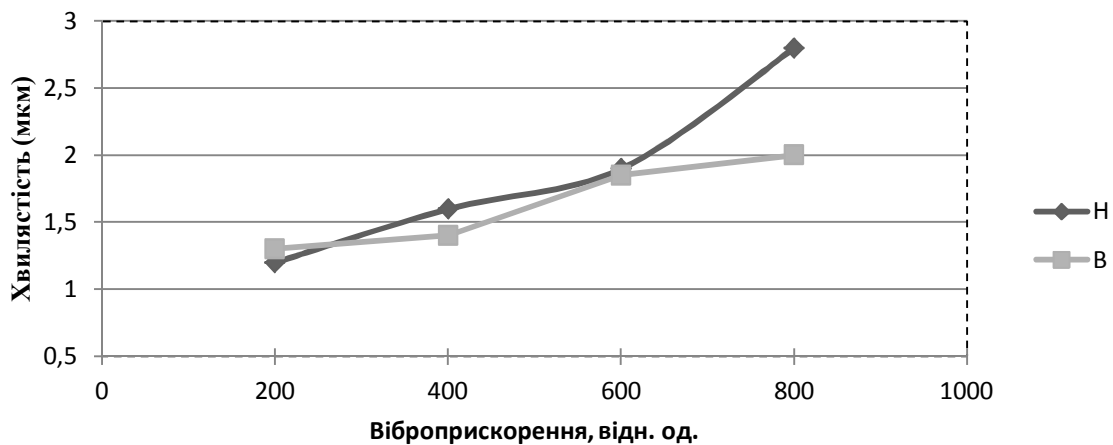


Рис. 1. Залежність хвилястості від віброприскорення в зоні шліфування.

Допустимі відхилення розмірів, форми та взаємних розміщень з'єднувальних поверхонь деталей підшипникових опор, які під час несприятливого сполучення в процесі складання (монтажу) можуть значно погіршити точність та надійність роботи підшипників і їх сполучень в опорах кочення. У процесі складання таких виробів підшипникові кільця, внаслідок власної відносно

невеликої шорсткості, набувають форми, близької до сумарної форми спряжених посадочних поверхонь.

Оцінка ступеня спотворення форми доріжок кочення кілець підшипників здійснюється за допомогою коефіцієнта передачі похибки форми з посадочної поверхні на доріжку кочення.

$$K_{\phi} = \frac{\Delta r_{вих}}{\Delta r_{вх}} \quad (1)$$

де  $\Delta r_{вих}$  - відхилення від круглості доріжки кочення кільця після його монтажу на вал чи в корпус опори;  $\Delta r_{вх}$  - приведенне відхилення від круглості посадочної поверхні вала чи корпуса, що дорівнює сумі відхилень від круглості посадочних поверхонь вала (корпуса) і внутрішнього (зовнішнього) кільця підшипника.

Аналогічно визначаються коефіцієнти передачі для окремих гармонік похибок форми посадочних поверхонь (овальність, огранка).

Результати досліджень [1] доводять, що на формування вихідної некруглості доріжок кочення кілець переважно впливають низькочастотні складові похибок форми посадочних поверхонь підшипникових вузлів – вала і корпуса (овальність, трьох- і чотирьохгранність). При цьому інтенсивність копіювання похибки форми залежить від величини натягу посадки. Найбільша ступінь копіювання відповідає натягу, чисельно рівному або більшому приведеного (сумарного) відхилення від круглості посадочної поверхні вала чи корпуса  $\Delta r_{вх}$ . Найбільшим рівнем копіювання похибок форми посадочних поверхонь характеризуються радіально-упорні та радіальні двохрядні роликові підшипники (залежно від типорозмірів підшипників  $K_{\phi}=0,75 \div 0,95$  для зовнішніх кілець,  $K_{\phi}=0,7 \div 0,9$  для внутрішніх кілець). Найменш чутливим до передачі похибок форми посадочних поверхонь є конічні роликові підшипники ( $K_{\phi}=0,65 \div 0,75$  для зовнішніх кілець,  $K_{\phi}=0,6 \div 0,7$  для внутрішніх кілець).

Однією з вагомих причин незадовільної роботи підшипників і зниження точності опор є також і взаємний перекус кілець підшипників, що виникає внаслідок похибок розміщення посадочних поверхонь вала та корпуса, деформацій згину, непаралельності бортів кілець базовим торцям тощо. Радіальні роликпідшипники досить чутливі до перекосу кілець, починаючи з величин в  $1 \div 2$  кутові хвилини. Внаслідок такого перекосу виникає нерівномірність контактних напружень по довжині ролика, що насамперед впливає на довговічність підшипника [4]. Внаслідок вище зазначених похибок виготовлення та складання підшипників в підшипникових опорах виникають дефекти, які умовно називають розподіленими. Ці дефекти, на відміну від точкових або локальних (тріщини, вм'ятини, сколи, викришування на поверхнях кочення), проявляються у вібраціях підшипників, як стаціонарні процеси, що забезпечує можливість їх моделювання та віброакустичної діагностики.

Встановлено, що найбільший вплив на вібрації спричиняють активні елементи підшипника – кільця і тіла обертання. Причому, якщо обертається внутрішнє кільце, то точність його геометричних форм і тіл кочення мають вирішальне значення.

В загальному випадку коливання кілець підшипників поділяють на три групи. *Перша група* – коливання з великою довжиною хвиль (до 10 коливань за 1 оберт кільця). Причиною її виникнення є радіальні биття кілець підшипників, що можуть досягати 15 мкм. У випадку ексцентриситета в з'єднанні кільця з валом частота цих коливань буде відповідати частоті обертів вала.

*Друга група* – коливання з середньою довжиною хвиль (10 – 60 коливань за 1 оберт кільця). Причина таких коливань – хвилястість доріжок кочення. Амплітуда коливань 1 – 3 мкм.

*Третя група* – коливання з малою довжиною хвиль (більше 60 коливань за 1 оберт кільця).

Причина цих коливань – мікронерівності з амплітудою до 0,1 мкм [1]. Вібрації зовнішнього кільця підшипника виникають завдяки циклічним змінам навантажень підшипника. В цьому випадку вібрації виникають навіть в підшипниках з ідеальною геометричною формою і створюються вони коченням по геометрично недосконалих поверхнях кілець. Додаткові джерела вібрацій, що мають другорядне значення, - пов'язані зі згинаючими деформаціями кілець і коливаннями жорсткості підшипника (структурні недосконалості), а також джерела, що пов'язані з конструктивними недоліками роликпідшипника.

Вібрації, що обумовлені змінною податливістю, розділяють на два різновиди.

1. Вібрації зі змінною контактною податливістю, коли має місце радіальне складове навантаження, що діє на під'ятник внаслідок того, що пружне зміщення контактів Герца під навантаженням змінюється зі зміною положення комплексу тіл кочення відносно лінії дії навантаження.
2. Вібрації, що обумовлені пружною контактною деформацією, значні тільки в діапазоні частот, близьких до частоти обертання підшипника, і під час збільшених радіальних навантажень [1].

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Таким чином, основним джерелом вібрацій пов'язаних з негативним впливом на експлуатаційні характеристики підшипника є хвилястість доріжок кочення та бортиків внутрішнього кільця кінцевого роликотпідшипника. Отже, під час зменшення хвилястості доріжки кочення від 2,0 до 0,05 мкм, рівень вібрації знижується на 14 дБ. В більшій мірі на рівень вібрації впливає хвилястість внутрішніх кілець. Отже, зі зменшенням хвилястості останніх від 2,2 до 0,05 мкм рівень вібрації понижується на 20 дБ. Те ж саме стосується і рівня хвилястості тіл кочення. Зменшення хвилястості роликів від 0,2 до 0,05 мкм понижує рівень вібрації на 8 – 10 дБ.

Аналіз літературних джерел [1,4] і проведений комплекс експериментальних досліджень показали, що рівень вібрації і шуму роликотпідшипників понижується з покращенням (до певної межі) шорсткості. Зміна шорсткості поверхні доріжки кочення з  $R_a$  0,32 до 0,16 мкм дозволяє знизити рівень вібрації на 3,5 – 4 дБ.

Таблиця 1

Характеристики похибок виготовлення доріжок кочення кілець підшипника 7305A (SKF)

Зовнішнє кільце: амплітуди (мкм) гармонік ( $\lambda$ )											
№ $\lambda$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
№ кільця	1	0,028	0,085	0,039	-	0,015	0,014	0,27	0,006	-	-
	2	0,054	0,061	0,030	0,013	0,010	0,009	0,013	-	0,007	0,009
	3	0,048	0,112	0,044	0,073	0,007	0,029	0,025	0,017	0,010	0,012
	4	0,072	0,215	0,042	0,03	0,029	0,015	0,029	0,016	0,009	0,010
№ $\lambda$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
№ кільця	1	-	0,007	-	0,010	0,009	0,008	-	-	0,006	0,006
	2	-	0,006	0,009	0,009	-	-	0,007-	-	-	-
	3	-	-	0,008	-	-	0,007	0,009	0,093	-	0,006
	4	-	-	0,008	0,020	0,015	-	-	0,013	0,009	0,019
Внутрішнє кільце: амплітуди (мкм) гармонік ( $\chi$ )											
№ $\chi$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
№ кільця	1	0,041	0,100	0,048	0,007	0,008	0,018	-	0,006	0,006	-
	2	0,059	0,143	0,048	0,055	0,009	0,016	0,063	-	0,005	0,005
	3	0,275	0,209	0,083	0,033	0,041	0,008	0,028	0,006	0,005	0,009
	4	0,065	0,086	0,011	0,041	0,043	0,051	0,106	0,010	0,005	-
№ $\chi$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
№ кільця	1	-	-	0,026	-	-	-	0,011	-	-	-
	2	0,005	-	-	-	0,007	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	0,005	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Зовнішнє кільце: фази (град.) гармонік ( $\lambda$ )											
№ $\lambda$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
№ кільця	1	138	45	52	-	18	10	22	34	-	-
	2	255	142	99	61	37	52	17	-	30	18
	3	119	82	33	41	39	18	15	15	30	9
	4	210	119	37	47	60	15	19	34	-	-
№ $\lambda$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
№ кільця	1	-	8	-	14	13	0	-	-	9	14
	2	-	29	17	19	-	-	5	-	-	-
	3	-	-	10	-	-	10	5	15	-	5
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Внутрішнє кільце: фази (град.) гармонік ( $\chi$ )											
№ $\chi$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
№ кільця	1	354	128	8	51	38	7	-	11	30	-
	2	54	123	33	79	62	45	24	-	36	20
	3	156	115	90	45	36	5	1	44	10	9
	4	241	150	116	44	1	4	49	11	35	-
№ $\chi$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
№ кільця	1	-	-	19	-	-	-	14	-	-	-
	2	19	-	-	-	11	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Цікаво, що максимум інтенсивності частотних спектрів приходяться на частоти 600 – 700, 1400 – 1500 і 7200 Гц, найзначніше зменшення вібрації проходить у високочастотній смузі спектру (450 – 9500 Гц), а в низькочастотній смузі змін не спостерігається, і спектри частот в межах 50 – 150 Гц в більшості підшипників майже співпадають.

Відомо [1], що відношення між мікрорельєфом доріжки кочення і звуковим тиском пропорційне добутку кількості нерівностей (виступів) на їх висоту, сумі добутку навантаження на внутрішні і зовнішні кільця і тіла кочення. Навантаження на ці елементи залежать від співвідношення числа контактів однієї точки кожного елемента з іншими. Так, якщо навантаження на зовнішнє кільце рівне 1, то на внутрішнє кільце воно буде 2, а на тіла кочення – 10. Тому мікронерівностей (виступів) на тілах кочення повинно бути в 10 разів менше, як на зовнішньому кільці. Враховуючи це, в технологічному процесі формоутворення контактуючих поверхонь вирішальне значення набувають операції суперфінішування і притирання. Але не менш важливим чинником, що впливає на кінцевий стан робочої поверхні, є фактор технологічної спадковості. Це означає, що віброактивність поверхні, контактна міцність, зносостійкість і інші експлуатаційні характеристики формуються на попередніх операціях технологічного процесу і остаточно закріплюються на викінчувальних операціях.

В таблиці 1. наведені значення похибок мікронерівностей доріжок кочення кілець підшипника 7305А у вигляді амплітуд відповідних гармонік. Найбільші значення амплітуд властиві 2-й гармоніці, що відповідає похибці форми доріжок кочення (еліптичність). Встановлено, що величина похибки відхилення від форми, хвилястості і навіть шорсткості поверхні впливає на амплітуду вібрації, яка виникає в підшипнику під час обертання одного з кілець.

*Висновок.* Незважаючи на високий рівень вдосконаленості підшипникового виробництва, проведений аналіз статистичних даних щодо стану проблеми забезпечення якості в цій галузі промисловості, дає підстави зробити висновок про те, що всезростаючі вимоги до якості і конкурентоспроможності вітчизняних підшипників випереджують можливості виробничих підприємств до своєчасного і бездоганного забезпечення цих вимог. Крім відомих причин економічного характеру, таке становище на підшипникових заводах пов'язане з необхідністю адаптації підприємств до умов ринкової економіки, що вимагає змінювати тип і характер виробництва з масового на гнучкопереналагоджувальне серійне виробництво з відпрацюванням можливості постачання виробів під замовлення. Така зміна характеру і умов підшипникового виробництва створює додаткові труднощі і проблеми в технологічному, організаційному і метрологічному забезпеченні якості деталей і виробів. Успішне вирішення цієї проблеми можливе на основі комплексного науково обґрунтованого підходу, що базується на сучасних науково-технічних досягненнях техніки і технології.

#### Інформаційні джерела

1. Рагульскис К.М., Юркаускас А.Ю. Вибрации подшипников. / Под ред. К.М. Рагульскиса. – Л.: Машиностроение, ленинградское отделение, 1985, – 119 с.
2. Костецкий Б.И., Колесниченко Н.Ф. Качество поверхности и трение в машинах. – Киев: Техника, 1969. – 216с.
3. Всеобщее управление качеством / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин. М.: Радио и связь, 1999. 600 с.
4. Безъязычный В.Ф. Влияние качества поверхностного слоя после механической обработки на эксплуатационные свойства деталей машин. Справочник. Инженерный журнал, Приложение №4, 2001 Инженерия поверхности. – М.: Машиностроение, 2001, с. 9-16.
5. Марчук В.І., Заблоцький В.Ю., Лапченко Ю.С. Технологічне керування віброакустичними характеристиками роликпідшипників в умовах гнучких виробничих систем // Сучасні технології виробництва в розвитку економічної інтеграції та підприємництва: Матеріали І Українсько-Польської наукової конференції 16-18 жовтня 2003 р. смт. Сатанів. – Хмельницький: Технологічний університет Поділля, 2003. – С. 103 –104.