

УДК 621.891

DOI 10.36910/6775.24153966.2020.70.11

С.П. Шимчук, Н.П. Зайчук, А.В. Силивонюк, Ю.П. Шимчук, В.Л. Мартинюк
Луцький національний технічний університет
ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ РЕМОНТНИХ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ПАР

В статті приведено короткий огляд проблеми виготовлення ремонтних черв'ячних пар та практичні шляхи її вирішення. Показано, що дуже часто для технологічного обладнання, яке тривалий час експлуатується і ще доцільно експлуатувати, складно знайти ремонтні покупні деталі, а тому їх потрібно виготовляти. Проаналізовано та приведено результати напрацювань, пов'язані з проектуванням, підбором матеріалів, виготовленням, дослідженням трибологічних властивостей та припрацювання поверхонь тертя черв'ячних пар.
Ключові слова. Черв'ячна пара, черв'як, черв'ячне колесо, пара тертя, трибохарактеристики, трибопари.

С.П. Шимчук, Н.П. Зайчук, А.В. Силивонюк, Ю.П. Шимчук, В.Л. Мартинюк
ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕМОНТНЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ПАР

В статье приведен краткий обзор проблемы изготовления ремонтных червячных пар и практические пути ее решения. Показано, что очень часто для технологического оборудования, которое длительное время эксплуатируется и еще целесообразно эксплуатировать, сложно найти ремонтные покупные детали, поэтому их нужно изготавливать. Проанализированы и приведены результаты наработок, связанные с проектированием, подбором материалов, изготовлением, исследованием трибологических свойств и приработки поверхностей трения червячных пар.
Ключевые слова. Червячная пара, червяк, червячное колесо, пара трения, трибохарактеристики, трибопары.

S.P. Shymchuk, N.P. Zaichuk, A.V. Sylyvoniuk, Yu.P. Shymchuk, V.L. Martyniuk
FEATURES MANUFACTURE OF REPAIR WORM PAIRS

The article provides a brief overview of the problem of manufacturing repair worm gears and practical ways to solve it. It is shown that very often for technological equipment that has been in operation for a long time and still it is advisable to operate, it is difficult to find repair procurement parts, and therefore they must be produced. Analyzed and presented the results of developments related to the design, selection of materials, manufacturing, research of tribological properties and running-in of surfaces of friction pairs.
Keywords. Worm pair, worm, worm wheel, friction pair, tribocharacteristics, tribopairs.

Постановка проблеми. Черв'ячна пара – це один з видів механічних передач, що передає та перетворює крутний момент за допомогою черв'яка та черв'ячного колеса. Черв'ячні передачі, зазвичай, використовуються в редукторах. Оскільки контакт між черв'яком та черв'ячним колесом відбувається по лінії, то такі передачі здатні передавати значні крутні моменти, відповідаючи вимогам компактності, плавності та безшумності ходу [1, 2]. Поте такі передачі є складними у виготовленні [3]. До них ставляться підвищені вимоги щодо мащення та використуваних мастильних матеріалів. Складність забезпечення необхідної точності виготовлення та чистоти робочих поверхонь, зазвичай компенсується шляхом передексплуатаційних випробувально-припрацювальних робіт на спеціальному обладнанні. Проте до черв'ячних пар, які використовуються в ремонтному процесі ставляться досить високі вимоги як до точності виготовлення та і до шорсткості робочих поверхонь. Тому такі деталі після установки в черв'ячний редуктор повинні бути «припрацьованими» та виконувати свої робочі функції. А забезпечення таких умов є досить складною проблемою як на стадії проектування так і виготовлення деталей черв'ячної передачі.

Вибір методів, методик та досліджуваних матеріалів. Для отримання основних розмірів проектованої черв'ячної передачі було використано метод вимірювання. Використовуючи відповідні штангенінструменти було знято необхідні розміри з базових деталей (ті, що експлуатувались і їх рівень спрацювання не дозволяв подальшу експлуатацію). Традиційно в черв'ячній передачі використовується пара тертя сталь-бронза. Проте є ряд досліджень, які прогнозують можливість застосування інших матеріалів спряжень, за умови використання відповідних мастильних матеріалів та умов тертя [4, 5]. В нашому випадку для виготовлення черв'ячного колеса було використано бронзу БрАЖ 9-4, а черв'яка – сталь 40Х. Трибологічні властивості контактуючої пари було оцінено шляхом трибовипробувань, при лінійному контактуванні модельних деталей по методиці [6].

Основний матеріал статті. Для розрахунку черв'ячної передачі було знято основні геометричні параметри черв'ячної пари:

$$z_1 = 1 \quad \text{– кількість заходів черв'яка;}$$

- $z_2 = 30$ – кількість зубців черв'ячного колеса;
- $a_w = 60$ мм – міжосьова відстань;
- $d_{a1} = 36$ мм – діаметр вершин витків черв'яка;
- $d_{a2} = 96$ мм – діаметр вершин зубців черв'ячного колеса;
- $d_{ae2} = 100$ мм – діаметр вершин зубців черв'ячного колеса;
- $d_{2H} = 27$ мм – діаметр вершин зубців черв'ячного колеса.

Всі основні геометричні параметри, що характеризують черв'ячну пару, наведені на рис. 1. Основна задача полягає в знаходженні модуля черв'ячної передачі m , кута підйому гвинтової лінії черв'яка γ , а також інших похідних параметрів черв'ячної передачі.

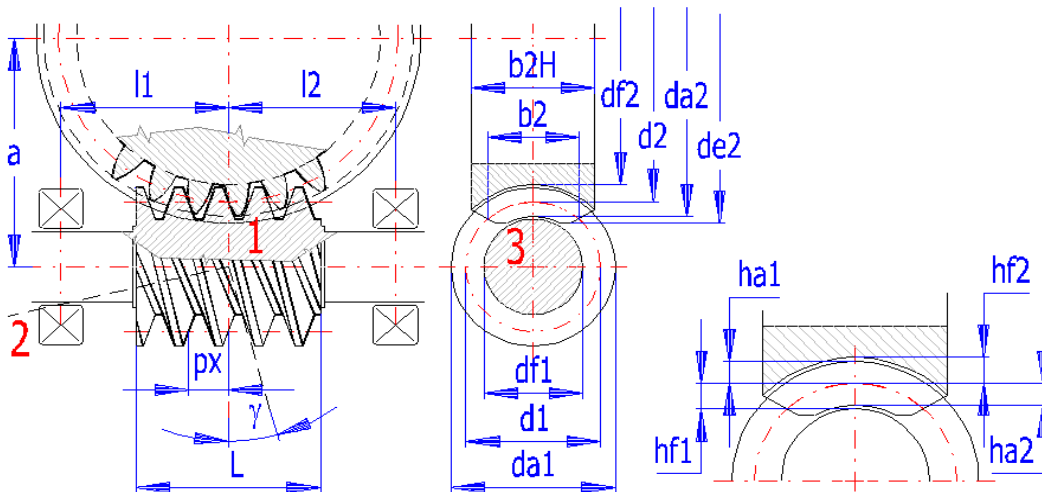


Рис. 0. Основні геометричні параметри, що характеризують черв'ячну пару

Основні параметри черв'ячної пари було розраховано по методиці [1] та за допомогою середовища MITCALC. В результаті розрахунків було визначено, що розрахункове значення міжосьової відстані черв'ячної передачі збігається з вимірним. А це свідчить про те, що модуль черв'ячної передачі було визначено правильно. Вхідні параметри, які використовувались для перевірових розрахунків за допомогою середовища MITCALC приведено на рис. 2.

Worm gearing			
i	Check lines: 4.28;	Worm	Gear
ii	<input type="checkbox"/> Project information		
Input section			
1.0 <input checked="" type="checkbox"/> Options of basic input parameters			
1.1	Calculation units	SI Units (N, mm, kW...)	
1.2	Driven worm / worm gear	Worm	
1.3	Transferred power	Pw [kW]	1.454 1.000 <= Max. Pw
1.4	Speed (Worm / Worm gear)	n [/min]	1500.00 50.00 i <= n1,n2
1.5	Torsional moment (Worm / Gear)	Mk [Nm]	9.26 191.00 Pw2 <= Mk2,n2
1.6	Transmission ratio / from table	i	30.00 40.00
1.7	Actual transmission ratio / deviation	i	30.00 0.00%

Рис. 2. Вхідні параметри для розрахунків

У відповідному розділі використовуваної системи проектування вносимо наступні параметри: матеріал черв'яка – 37Cr4, що є близьким аналогом сталі 40X. Матеріал черв'ячного колеса – CuSn10P. Профіль черв'яка – архімедовий черв'як (черв'як ZA). Шорсткість черв'яка приймаємо 0,5мкм. Бажаний термін служби приймаємо 5000год. Також вносимо значення запасу потрібних коефіцієнтів безпеки. В якості мастильного матеріалу було використано мінеральне та синтетичне масло. Відповідні результати приведено на рис. 3.

2.0 Options of material, loading conditions, operational and production parameters			
2.1	Material of the worm:	Alloy structural steel 37 Cr 4 (Rm=785 MPa) tooth face hard.	
2.2	Material of the gear :	CuSn10P	
2.3	Type of worm (profile type)	ZA (A) Wormgear	
2.4	Loading of the gearbox, driving machine - examples	A...Continuous	
2.5	Loading of gearbox, driven machine - examples	A...Continuous	
2.6	Type of lubrication	Worm oil bath lubrication	
2.7	Type of oil	Oil based on Polyglycols (PEG)	
2.8	Oil designation - selection	ISO VG - 220 (AGMA no 5)	
2.9	Kinematic viscosity for 40°C and 100°C	v40, v100	220,00 40,00 [mm ² /s]
2.10	Lubrication density at 15°C	rho15	1,060 [kg/dm ³]
2.11	Roughness average value of the worm	Ra1	0,50 [microm]
2.12	Application factor	KA	1,00 1,00 <input checked="" type="checkbox"/>
2.13	Desired service life	Lh	5000 [h]
2.14 Requested coefficients of safety			
2.15	Wear safety	SW	1,10 ≥1.10
2.16	Pitting safety	SH	1,00 ≥1.00
2.17	Worm deflection safety	Sδ	1,00 ≥1.00
2.18	Tooth strength safety	SF	1,10 ≥1.10

Рис. 3. Результати вибору матеріалів та інших вхідних параметрів передачі

По ходу проектування вносимо наступні параметри: $z_1 = 1$ – кількість заходів черв'яка; $q = 10$ – коефіцієнт діаметра черв'яка; $m = 3$ – модуль черв'ячної передачі; a_w – значення міжосьової відстані. В результаті розрахунку отримуємо кут підйому гвинтової лінії черв'яка $\gamma = 5,7106^\circ = 5^\circ 42' 38''$.

Загальний вигляд розрахунку та геометричні параметри передачі приведено на рис. 4 а) та рис. 4 б).

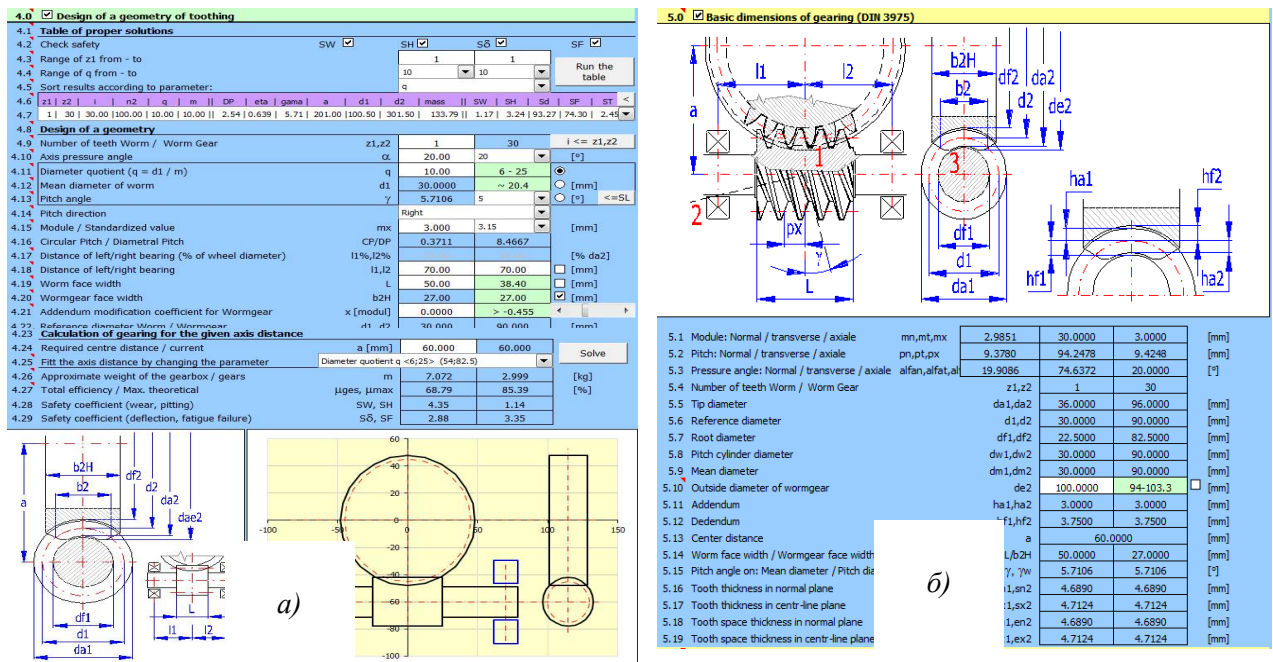


Рис. 4. Геометричні параметри проектованої черв'ячної передачі

Моделювання та розрахунок силових параметрів черв'ячної передачі в середовищі MITSALC приведено на рис. 5.

Трибодослідження модельної пари тертя сталь 40X – БраЖ 9-4 було проведено по методиці [6] в середовищах мінерального моторного масла МС-20 та синтетичного ПІМ-10 при навантаженні $P = 900$ Н. Результати випробувань приведено на рис. 6. Аналіз результатів свідчить, що в середовищі синтетичного масла ПІМ-10 спостерігаються невеликі величини зносу, порівняно зі зносом в середовищі МС-20, та хороша припрацьовуваність поверхонь тертя. Інтенсивність зношування є незначною.

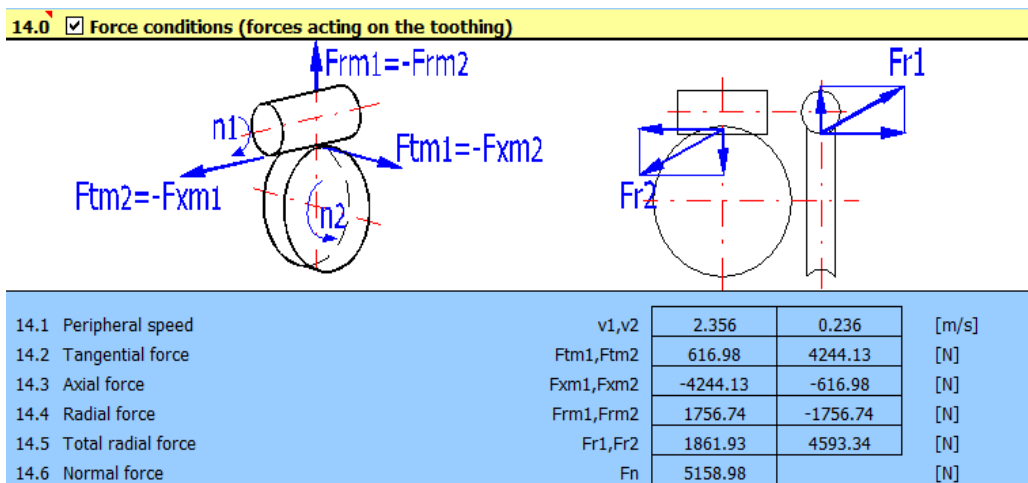


Рис. 5. Силкові параметри черв'ячної передачі

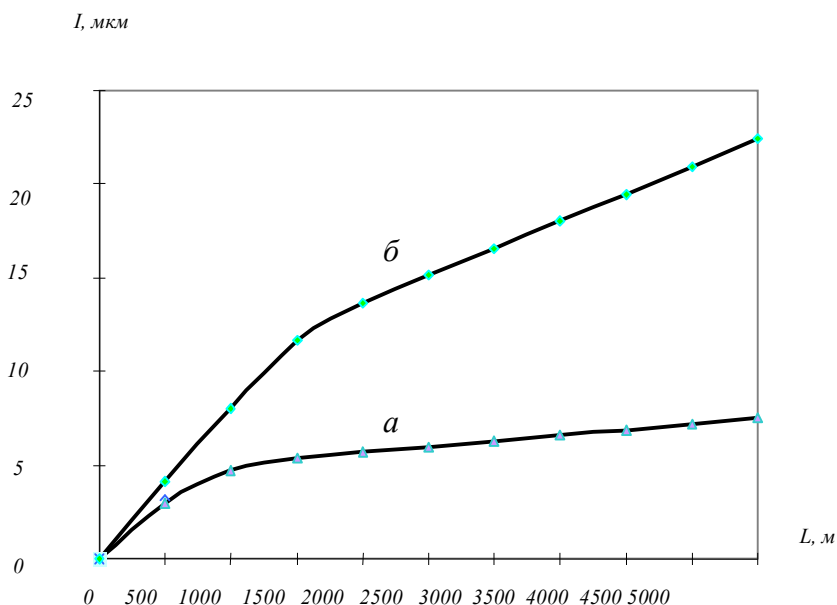


Рис. 6. Залежності величин зношування від шляху тертя пари тертя сталь 40X – БрАЖ 9-4:

- а) в середовищі синтетичного масла ПМ-10;
- б) в середовищі мінерального моторного масла МС-20

Виготовлені в результаті виконаних робіт черв'як та черв'ячне колесо приведено на рис. 7 та успішно експлуатуються у редукторі верстату SWaAKM.

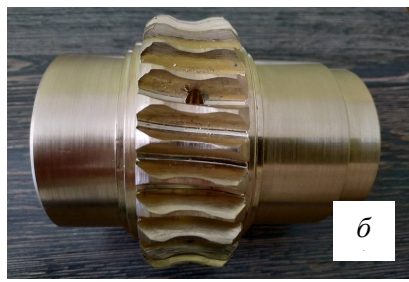


Рис. 7. Загальний вигляд виготовлених черв'яка а) та черв'ячного колеса б)

Висновок. В результаті використання відповідних розрахунків за допомогою систем автоматизованого проектування та трибодосліджень можна виготовляти ремонтні черв'ячні пари високої точності.

Література:

1. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. — Львів: Афіша, 2003. — 557 с.
2. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин— М.: Высшая школа, 1978. — 352с.
3. Проектирование механических передач: Учебно-справочное пособие для вузов/ С.А. Чернавский и др. — 5-е изд., — М.: Машиностроение, 1984. — 560с. б.Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. 6-е изд. —М.: Машиностроение, 1982. т. 1. 728с.; т. 2. 584с.; т. 3. 575с.
4. Стельмах О.У., Шимчук С.П. Експериментальна оцінка можливості використання сталевих спряжень у черв'ячних парах при безадгезійному терті // Вісник НАУ. — 2004. — С. 20 - 22.
5. Увеличение ресурса редукторов ГТД с использованием двухфазной масло-воздушной смеси / И. Ф. Кравченко, В. Г. Ананьев, П. А. Колесник, А. Б. Единович, А. Ф. Аксенов, А. У. Стельмах // Наукові нотатки. — 2013. — № 42. — С. 129–133.
6. Методологія визначення протиспрацьовувальних властивостей мастил за критеріями трибохарактеристик утворюваних у них вторинних структур / О. Ф. Аксьонов, О. У. Стельмах, С. П. Шимчук, В. П. Коба // Вісник НАУ. — 2006. — № 2. — С. 62–64.