Механика Транспорт Комуникации

Научно списание

ISSN 1312-3823

том 11, брой 3, 2013 г.

статия № 0886

http://www.mtc-aj.com

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗЪБНИЯ ПРОФИЛ ОТ ПРЕДАВАТЕЛЕН МЕХАНИЗЪМ НА ЛОКОМОТИВИ

Милен Милков Михалев
milenmail@abv.bg

катедра „Транспортна техника", факултет ТСТТ ,
ВТУ „Т. Каблешков", София, ул. Гео Милев 158,
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *локомотиви, предавателен механизъм, зъбен профил.*

Резюме: *Правилния избор на типа тягово предаване, в частност зъбно предаване и особеността на неговата експлоатация е основа за надеждната работа на предавателния механизъм и на локомотива като цяло. Един от пътищата, увеличаващи дълготрайността на зъбните предавки е рационалната геометрия на зацепване, която зависи и от износването на зъбите – фактор не по-малко актуален от тяхната якост. За изучаване характера на износване на еволвентния зъбен профил в разработката е приложен метод за получаване очертанието на зъбния профил въз основа на измерени параметри на зъбните колела чрез специализирани уреди с висока точност. В настоящата разработка изследването е проведено върху зъбните предавки на електрически локомотиви серии 44.000 и 45.000, експлоатирани в Р България.*

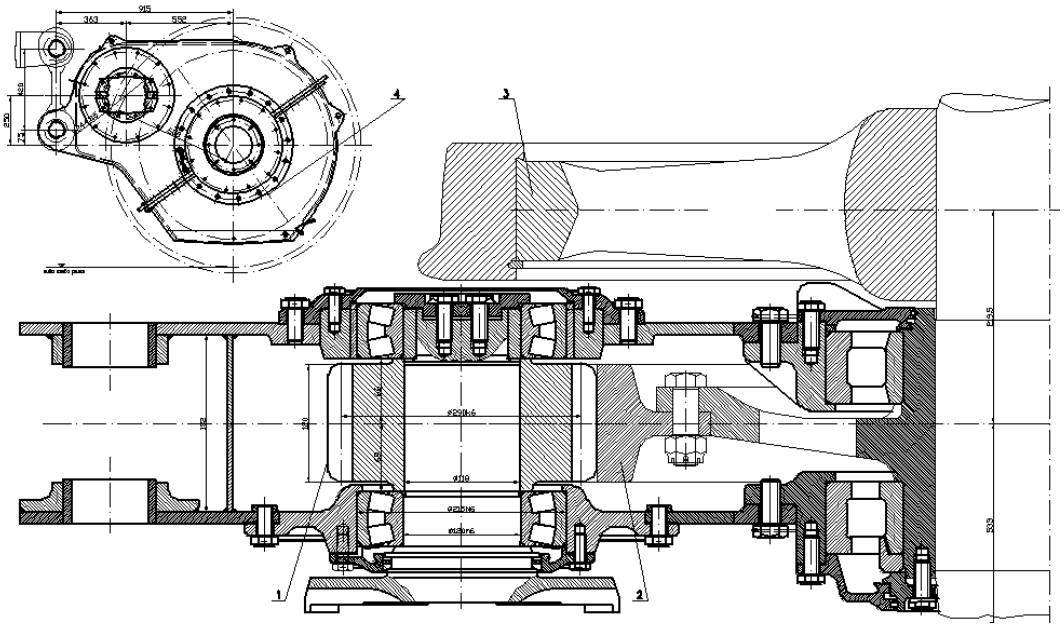
1. Увод

Зъбните колела от предавателната система на локомотивите работят в тежки условия, характеризиращи се с повишено триене между зъбите, обусловено от интензивните натоварвания на контактните повърхнини. Недостатъчното количество смазка предизвиква повишаване на температурата в областта на контакта и води до износване на спрегнатите повърхности. Изменението на формата на профила на зъбите води до влошаване кинематиката на редуктора. Това от своя страна води до нарастване на динамичното натоварване, загуба от триене и намаление на КПД и дълготрайността на зъбните предавки.

Правилния избор на типа предавателна система, в частност зъбна предавка, особеността на нейната експлоатация се явява основа за надеждната работа на тяговата система и на локомотива като цяло. Един от пътищата за увеличаване дълготрайността (ресурса) на зъбните предавки е избора на рационална геометрия на зацепване, съответстваща на експлоатационните условия и характера на работата на предавката. Въпросите за износване профила на зъбите от зъбните колела са не по-малко актуални от въпросите за тяхната якост.

2. Обект на изследване

Основните геометрични параметри, характеристиките на материала и показателите за точност на зъбните колела от предавателен механизъм на ел. локомотиви серии 44.000 и 45.000 са дадени в таблица 1. Обект на изследване е зъбната предавка от предавателния механизъм, показана на фиг.1.



Фиг.1. Предавателен механизъм на ел. локомотиви серии 44.000 и 45.000

1- малко зъбно колело (водещо); 2-голямо зъбно колело (водимо); 3-колоос; 4-корпус на редуктора.

Таблица 1

Параметри на зъбни колела от предавателен механизъм на ел. локомотиви серии 44.000 и 45.000

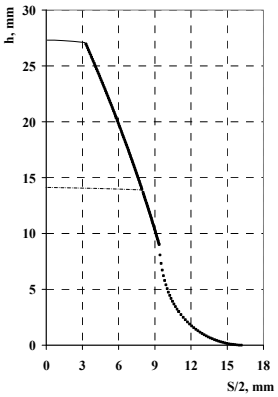
Параметри	Ди-мен-сия	Зъбно колело за предавателно отношение - u			
		u = 3,348		u = 3,591	
		$Z_1 = 23$	$Z_2 = 77$	$Z_1 = 20$	$Z_2 = 79$
Модул (стандартен), m	mm	12	12	12	12
Модул изпълнение, m_v	mm	12,12	12,12	12,24242	12,24242
Ъгъл на профила, α	°	20	20	20	20
Изходен контур	-	Корегиран +9,52	Корегиран MAAG-3,3	Еволвента БДС3296-79	Еволвента БДС3296-79
Междуосово разстояние, a_w	mm	606+0,05 47E14-14 Lo 84396	606+0,1 64E16-15 Lo 86116	606±0,05 47E14-2 Lo 83099/b	606 76E16-7 Lo 204256
Широчина на зъбния венец, b_w	mm	120	120	120	120
Диаметър на петовата окръжност, d_f	mm	265	887,4	224	933,72
Диаметър на делителната окръжност, d	mm	276	924	244,85	967,15
Диаметър на върховата окръжност, d_a	mm	318,6	941,4	274,28	984
Коефициент на изместване на изходния контур, x	mm	+0,793	-0,275	+0,5	+0,5
Допуск на грешката на профила на зъба, f_f	μm	16	34	16	34
Допуск на грешката на направлението на зъба, F_β	μm	21	40	21	40
Дължина на общата нормала, W_m (бр.зъби/дължина – допуск)	mm	3/98,94 -0,08/-0,15	9/311,8 -0,15/-0,30	3/96,03 -0,09/-0,17	10/354,51 -0,14/-0,28
Височина на зъба, h	mm	26,8	27	25,14	25,14
Закръгление в основата, R	mm	4	4	4	4

Степен на точност и вид на зацепване	-	6-6-6B БДС3296-79	7 – C БДС3296-79	6-6-6B БДС3296-79	7 – C БДС3296-79
Материал	-	12ХН2 БДС6354-82	45ХН БДС6354-82	12ХН2 БДС6354-82	45ХН БДС6354-82
Якост на опън, Rm	MPa	784÷1079	802÷904	784÷1130	802÷904
Граница на провлачване, Rs	MPa	min 539	min 657	min 538	min 657
Относително удължение, A	%	min 8	min 10	min 8	min 10
Минимално свиване	%	min 30	min 30	min 30	min 30
Ударна жилавост KCU2	J/sm^2	39	29	39	29
Твърдост на повърхностния слой	HRC	56÷60	48÷52	56÷61	48÷52
Черетежен номер	-	64E16-15 Lo 86116	47E14-14 Lo 84396/a	76E16-7 Lo 204256	47E14-2 Lo 83099/b

Зъбните колела от предавките на разглеждания предавателен механизъм на ел. локомотиви серии 44.000 и 45.000 имат нисък експлоатационен ресурс, поради конструктивни, технологични и експлоатационни причини [1, 2]. Грешки могат да бъдат допуснати и при производството на зъбните колела, които водят до разрушаване на зъби в процеса на експлоатация [3]. Зъбите се разрушават поради претоварване или умора на материала [3]. Това може да се дължи на незадоволителни механични характеристики на материала или циклограмата на натоварването на зъбната предавка [4].

Експлоатационната надеждност на зъбните колела зависи освен от целесъобразното конструиран, също така от контрола на тяхното състояние при постъпване в ремонт на локомотива и качеството на самият ремонт. Зъбните колела се бракуват (фиг.2) поради повреди не само от счупване на зъби, а и от поява на питинг и износвания. Най често се подменя задвижващото зъбно колело което се сдружава с работило вече задвижвано зъбно колело. По този начин зъбната двойка работи при условия различни от зададените при проектирането й.

Фиг.2 Повреди по зъбните колела от предавателен механизъм на ел. локомотиви серии 44.000 и 45.000



фиг.3 Геометрия на профила на зъб от зъбно колело с Z_1 = 23 бр. зъби.

3. Определяне износването на профила на зъбите от зъбните колела

За оценяване износването на профила на зъбите от предавателния механизъм, обикновено се използват няколко параметъра свързани с показателите за якост на зъбите, като: дебелина на зъба S_b, дължина на общата нормала W_m и дълбочина на закаления слой [5]. Оценката на износването на зъбния профил се извършва чрез определяне на геометричния профил на съответния зъб, състояща се от част от еволвента и преходна крива.

Построяването на изображението на профила на зъба става автоматично, чрез получените стойности за координатите на точки от него, съгласно БДС 1526-78, по метод описан в [5,6,7]. Геометричното структуриране и изчертаване на профила на зъба

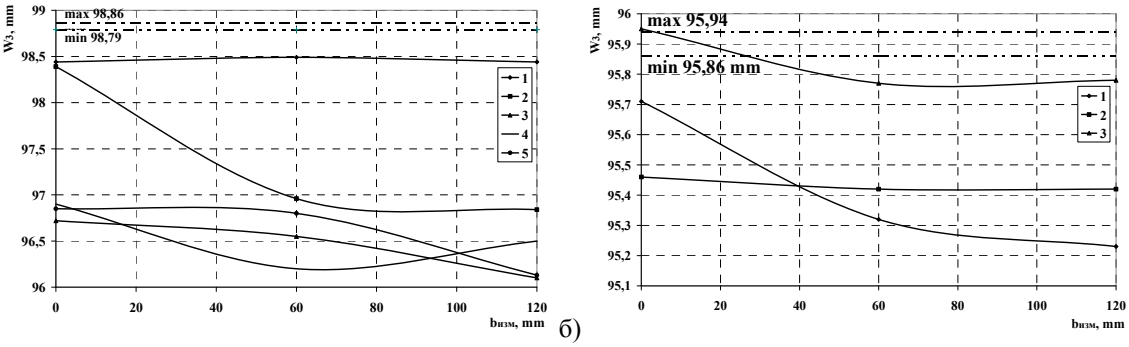
се изпълнява чрез сплайни посредством програмния продукт AutoCad. Определянето на геометрията на профила се основава на програмно моделиране по принципа на зъбонарязване със зъбен гребен по метода на центроидното отъркалване [6, 8]. На фиг.3 е изобразена геометрията на профила на зъб от зъбно колело с Z_1 = 23 броя зъби.

В периода 01.01.2012 – 30.05.2013 в Локомотивно депо София (Ел. депо Подуене) са направени измервания на профила на зъбите от зъбните колела на редукторите на ел. локомотиви серии 44.000 и 45.000.

Фиг. 4. Измерване на дължината на общата нормала, W_m на зъбно колело.

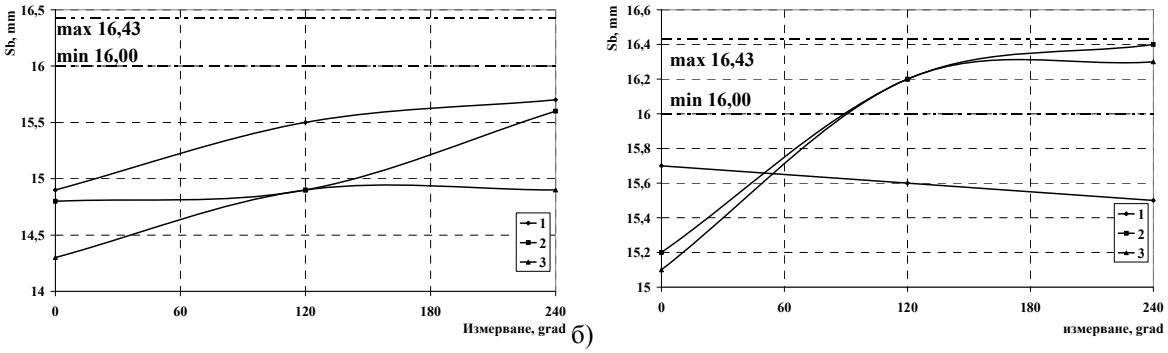
Фиг.5. Измерване дебелината S_b на зъб от зъбно колело.

Извадка от измерваните дължини на общата нормала W_m и дебелината S_b с измервателни уреди (фиг.4 и 5) на задвиващите зъбни колела са показани на фиг.6 и 7.



а) б)

фиг.6 Извадка от измерване дължина на общата нормала, W_m на зъбно колело с: а) Z_1 = 23 и б) Z_1 = 20 броя зъби.



а) б)

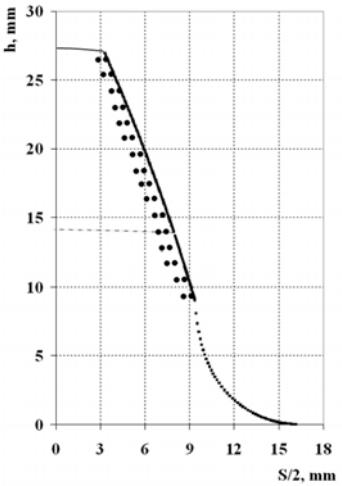
фиг.7 Извадка от измерване дебелината на различни зъби S_b от зъбно колело с: а) Z_1 = 23 и б) Z_1 = 20 броя зъби.

Извадките са за износване по профила на зъбните колела, които са с параметри извън допустимите по конструктивна документация. От направените измервания се наблюдава по интензивно износване на профила в сечения от страната на ел.двигателя, задвижващ малкото зъбно колело.

Методиката, по която се получава реален експлоатационен профил на зъб от зъбно колело се основава на измерване дебелината на зъбите със зъбомер с точност 20-50 μm в 12-15 различни сечения по височината на зъба. Отклонението на дебелината на измервания зъб от нов такъв може да се определи чрез измерване на нов зъб със

зъбомер или да бъде изчислена дебелината при зададен радиус на сечението чрез формулата [9]:

(1) $S_i = m.(d_i/d).(\pi/2 + 2\xi.tg\alpha_0) + d_i(inv\alpha_0 - inv\alpha_i)$



фиг.8 Теоретичен профил и измерени дебелини на зъб от зъбно колело с $Z_1 = 23$

където: m - модул; d_i – текущ диаметър, mm; d – диаметър на делителната окръжност; ξ - коефициент на препокриване; α_0 - ъгъл на зацепване; α_i – текущ ъгъл на еволвентния профил.

Разликата между определената дебелина на зъба и измерената съставлява намаляването на дебелината му вследствие износването. На фиг.8 е изобразен теоретичния (нов) профил на зъб от зъбно колело с $Z_1 = 23$ и измерени дебелини със зъбомер с точност 20-50 μm в 16 различни сечения по височината на зъба. По-малките стойности на дебелините са получени за сечение на 10 mm от страничната повърхност на колелото – страна ел.двигател. Забелязва се, че профилът на износения зъб запазва формата си по височината на зъба.

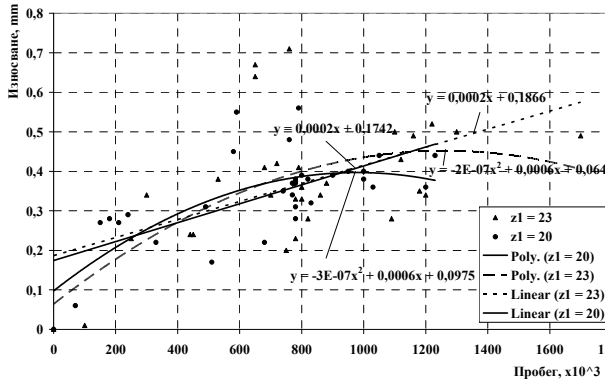
Процесът на износване на зъбни колела от ПЖПС в [9,10,11] се описва със следното уравнение:

(2) $\delta = (\bar{\delta} + x).10^{\frac{t-\bar{t}}{A}} - x$

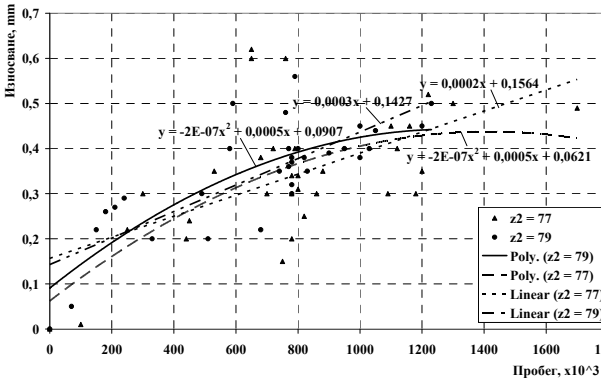
където: δ - износване, mm; $\bar{\delta}$ - математическо очакване на износването след отработка (пробег) $\bar{t}$; x – коефициент на изместване; A – коефициент на дълготрайност; t – текущ пробег.

Формула (2) достатъчно точно апроксимира експерименталните данни и може да се прилага за прогнозиране на износването на зъбния профил във вероятностен аспект.

На фиг. 9 и 10 са показани изменението на износването на зъбния профил за зъбните колела от редуктора на изследваните електрически локомотиви.



Фиг. 9 Изменение на износването при определен пробег на локомотив за малки зъбни колела.



Фиг. 10 Изменение на износването при определен пробег на локомотив за голямите зъбни колела.

Зависимостите на износването на зъбния профил във функция от пробега на локомотива са следните:

- при линеаризиране

(3) $\delta = 0{,}0002.p + 0{,}1866$ за $z_1 = 23$

$\delta = 0{,}0002.p + 0{,}1742$ за $z_1 = 20$

$\delta = 0{,}0002.p + 0{,}1564$ за $z_2 = 77$

$\delta = 0{,}0003.p + 0{,}1427$ за $z_2 = 79$

където: δ - износване, mm и p - пробег на локомотив, хил. km.

- при полином от втора степен

(4) $\delta = -2.10^{-7}.p^2 + 0{,}0006.p + 0{,}064$ за $z_1 = 23$

$\delta = -3.10^{-7}.p^2 + 0{,}0006.p + 0{,}0975$ за $z_1 = 20$

$\delta = -2.10^{-7}.p^2 + 0{,}0005.p + 0{,}0621$ за $z_2 = 77$

$\delta = -2.10^{-7}.p^2 + 0{,}0005.p + 0{,}0907$ за $z_2 = 79$

където: δ - износване, mm и p - пробег на локомотив, хил. km.

С формули (3) и (4) може да се прогнозира износването на зъбния профил на съответното колело с желаната точност на получените резултати.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на проведеното изследване могат да бъдат направени следните изводи:

1. Предложения метод позволява определяне формата на износването на зъбния профил в надлъжно и напречно сечение;

2. Изведената формула (2) достатъчно точно апроксимира експерименталните данни и може да се прилага за прогнозиране на износването на зъбния профил във вероятностен аспект;

3. Получените статистически стойности на износването на зъбния профил за зъбните колела на редуктори от електрическите локомотиви серии 44.000 и 45.000, дават основание за получаването на зависимости (линейни или полиноми от втора степен) за прогнозиране износването във функция от пробега на съответния локомотив.

Изказвам благодарност към гл. ас. инж. Илия Богомилов Щъркалев и катедра "Машинни елементи, материалознание и химия" за оказаното съдействие при реализиране на измерванията.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Динев Г. Методи за подобряване и възстановяване на зъбни колела от колоосни редуктори, СОФТТРЕЙД, С. 2007

[2] Динев Г. Повреди в зъбните колела от колоосни редуктори на електрически локомотиви, СОФТТРЕЙД, С. 2004

[3] Dinev G., Investigation of breakdowns in tooth wheels in tractive reducers of electric locomotives, IRMES`04, Kraguevac, 2004.

[4] Арнаудов К. Значение внешней нагрузки зубчатую передачу-предпосылка достоверного расчета нагрузочноы способности ее елементов, Международноый конгрес по зубчатым передача, 95, С. 1995, кн.1

[5] Щъркалев Ил., Милушев М.Измерване параметри на зъбни колела и предавки при ремонт на железопътна техника, III НТС с международно участие ВВТУ "Т. Каблешков", С.

[6] Динев Г. П. Колев, Определяне на геометрията на профила на зъба от зъбна предавка на електрически локомотив., Сборник доклади на научна конференция по Машинни елементи, ТУ-София, ноемв. 2004

[7] Колев П., Определяне на профила на зъба на еволвентно цилиндрично зъбно колело и на произвеждащия го гребен, Научна сесия на ВМЕИ-89, с., 1989

[8] Колев П., Програмен продукт за конструиране на профила на зъба на цилиндрично зъбно колело и на произвеждащия го гребен, Научна сесия на ВМЕИ-89, с., 1989

[9] Вулгаков Э. Теория эволвентных зубчатых передач, М. Машиностроение, 1995

[10] Калашников СП., Калашников А.С. Изготовление зубчатых колес. -М., Высшая школа, 1980

[11] Марков А.Л. Измерение зубчатых колес, "Машиностроение", 1968.

[12] Тайц Б.А. Точность и контроль зубчатых колес, "Машиностроение",-М., 1972

STUDY OF TOOTH PROFILE OF THE GEAR TRANSMISSION OF LOCOMOTIVES

Milen Milkov Mihalev
milenmail@abv.bg

PhD student at the Department of "Transport Equipment" TSTT Faculty of University 'T. Kableshkov ", Sofia, Geo Milev 158, BULGARIA

Key words: *locomotives, transmission, tooth profile.*

Abstract: *Correct choice of the type of traction transmission, especially gearing and peculiarities of its use as a basis for reliable operation of the transmission and the locomotive as a whole. One of the ways that increase the durability of the gears is rational geometry of the mesh, which depends on the wear of the teeth - a factor no less valid than their strength. To study the form of wear of involutes tooth profile design is the method used for the outline of the tooth profile based on measured parameters of the gears via specialized instruments with high accuracy. In this paper the study was conducted on gears of electric locomotives series 44.000 and 45.000 operating in Bulgaria.*