

ГЕОМЕТРИЯ, ДИНАМИКА И ТОВАРОНОСИМОСТ НА ВИСОЧИННО МОДИФИЦИРАНИ ЕВОЛВЕНТНИ ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ

Георги Димчев, Йордан Джамбов

Резюме. Изследвано е влиянието на височинната модификация на зъбите на еволвентни зъбни предавки върху геометричните, динамичните и якостните им характеристики. Посредством компютърни симулации е показано изменението на тези характеристики при различни стойности на височинната модификация на зъбите, като са дадени препоръки за оптималното изменение височината на зъба при различни критерии.

GEOMETRY, DYNAMICS AND STRENGTH OF UPWARD MODIFIED EVOLVENT GEARS

Georgi Dimtchev, Jordan Djambov

Abstract. The influence of the upward modified teeth of evolvent gears on the geometric, dynamic and strength characteristics are investigated. The variation of these characteristics with different values of upward modification of the teeth is clarified using computer simulations and a suggestion for the optimum modification of the height of the tooth using different criteria is given.

ВЪВЕДЕНИЕ

Оптимизацията на геометричните параметри на еволвентните зъбни предавки се извършва за всеки конкретен случай в зависимост от изискванията за максимална товароносимост, износоустойчивост и минимална динамична активност. Височинната модификация ($h_a^* \neq 1$) дава възможност за изменение на редица параметри на зъбната предавка, имащи голямо значение за нейното динамично поведение и товароносимост [1-5].

Целта на настоящата работа е да се изследва влиянието на височинната модификация върху вътрешните динамични сили и товароносимостта на еволвентни зъбни предавки с прави зъби и външно зацепване.

1. СРЕДСТВА И ПРЕДПОСТАВКИ ЗА РЕШАВАНЕ НА ПРОБЛЕМА

Изследванията на геометричните и динамични характеристики на височинно модифицираните предавки са проведени на персонален компютър PC 486 DX-40 посредством изготвена програма за компютърни симулации, а за изследването на якостните характеристики е използван софтуерният продукт "PAFEC", базиращ се на метода на крайните елементи.

Като предпоставки за решаване на проблема е прието: Зъбните кола са плътни и с еднаква широчина на венца; натоварването на зъбите е достатъчно голямо и равномерно разпределено; не се отчита влиянието на двигателя и работната машина.

2. РЕШАВАНЕ НА ПРОБЛЕМА И ДИСКУСИЯ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

2.1. Геометрия на височинно модифицираните зъбни предавки

С повишаване височината на зъба намалява неговата дебелина по върховата окръжност и съществува опасност от заостряне, което намалява значително товароносимостта на предавката.

На фиг. 1 е показана границата на допустимо изменение на коефициентите на корекция x_{\max} и x_{\min} в зависимост от коефициента на височината на зъба h_a^* за брой на зъбите на задвижващото зъбно колело 25, 30, 35 и 40. Когато броя на зъбите е различен от горния, намирането на граничните стойности на съответния коефициент се извършва чрез линейна интерполация. Построената графика дава възможност визуално да бъдат контролирани избраните стойности на съответните коефициенти, чието изчисляване по познатите аналитични зависимости изисква значително по-дълго време.

Коефициентът на челно припокриване ϵ_α е един от важните качествени показатели на предавката и неговата стойност практически зависи от: броя на зъбите и зъбната геометрия; натоварването; еластичните характеристики на зъбите.

Изменението на ϵ_α в зависимост от нарастването на коефициента h_a^* показва почти линеен характер, като с увеличаване броя на зъбите на задвижващото колело z_1 , нарастването става по-стръмно.

Специфичното плъзгане е фактор, от който зависи износването на зъбната предавка. Известно е, че износването на зъбите е най-голямо в крайните точки от петите на активните профили, където специфичното плъзгане θ_1 и θ_2 има най-големи стойности. На фиг. 2 е показано из-

менението на θ_1 и θ_2 в зависимост от височината на зъба h_a^* . Постигането на по-благоприятни стойности на специфичното плъзгане може да стане чрез корекция на зацепването, като се има предвид и влиянието на корекцията върху преходната крива, а оттам и върху товарната симомтта на предавката.

2.2. Динамика на височинно-модифицирани зъбни предавки с прави еволвентни зъби

Изследването на допълнителните динамични натоварвания, които предизвикват редица нежелани ефекти (шум, вибрации, сътресения) е един актуален проблем, върху който се работи усилено.

Зъбните колела от предавката извършват принудени трептения в съпротивителна среда. Те се описват със следната система диференциални уравнения, за чието решаване е използван числения метод на Адамс:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + b_1(\omega) \dot{x}_1 + b_z(\omega) \dot{x}_z + c_1 x_1 + c_z(t) x_z = -F(t); \\ m_2 \ddot{x}_2 + b_2(\omega) \dot{x}_2 - b_z(\omega) \dot{x}_z + c_2 x_2 - c_z(t) x_z = F(t); \\ J_1 \ddot{\varphi}_1 + b_z(\omega) r_{b1} \dot{x}_z + c_z(t) r_{b1} x_z = M_1 - F(t) r_{b1}; \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 - b_z(\omega) r_{b2} \dot{x}_z - c_z(t) r_{b2} x_z = -M_2 + F(t) r_{b2}; \\ x_z = (\dot{x}_1 + \varphi_1 r_{b1}) - (\dot{x}_2 + \varphi_2 r_{b2}), \end{cases}$$

където: $m_{1,2}$ са масите на задвижващото и задвижваното колело;
 $b_{1,2}$ — коефициентите на демпфиране в съответните опори;
 $c_{1,2}$ — коравините на съответните опори;
 $x_{1,2}$ — динамичните премествания в съответните опори;
 $\varphi_{1,2}$ — усукващите премествания на съответните зъбни колела;
 b_z — коефициентът на демпфиране в зъбното зацепване;
 $c_z(t)$ — функцията на коравината на зацепването във времето;
 $r_{b1,2}$ — радиусите на основните окръжности на съответните колела;

x_z — динамичното преместване в зацепването;

$F(t)$ — функцията на смущаващите сили във времето.

В лявата част на системата диференциални уравнения са записани инерционните сили и динамичните сили, действащи в опорите и в зъбното зацепване, а в дясната — смущаващите сили, предизвикващи принудените трептения.

За така описания динамичен модел е направена актуализация, като са отчетени най-новите изследвания за изменението на функциите на демпфирането и на коравината в зъбното зацепване и на смущаващите сили.

За получаване на по-цялостна представа за динамичната активност на височинно модифицираните зъбни предавки е изследвано изменението на коефициента на вътрешните динамични сили K_V , във зависимост от честотата на въртене в диапазона от 500 до 10000 min^{-1} . На фиг. 3 е показано изменението на K_V при предавки с различна стойност на коефициента на височината на зъба h_a^* . С повишаване на h_a^* намалява динамичната активност на предавката, а при коефициент на припокриване $\epsilon_a=2$, тя достига своя минимум. При изменение на h_a^* така, че коефициентът на припокриване да надвиши 2, динамичната активност на зъбната предавка започва да се повишава. На фиг. 4 е дадена зависимостта на коефициента на вътрешните динамични сили K_V от h_a^* за предавка със следните данни: $z_1=30$; $u=1$; $\alpha=20^\circ$; $F_{bn}=5000$ N; $b_w=25$ mm; $m=3$ mm; $x_1=-x_2$; $f_f=8$ μm ; $f_{pb}=10$ μm .

2.3. Товароносимост на височинно модифицираните зъбни предавки

Използваният модел за изследване представлява сегмент от зъбно колело, включващ три зъба. При съставянето на мрежата на крайните елементи са взети равнинни елементи с дебелина 10 mm, т.е. зъбите са с широчина $b_w=10$ mm. Мрежата обхваща само четиригълници. Натоварването на зъбите се осъществява в най-горната точка на зъбния профил, при което се получават максимални напрежения на огъване. На схемата на фиг. 5 е показано мястото на приложение на натоварването на зъба.

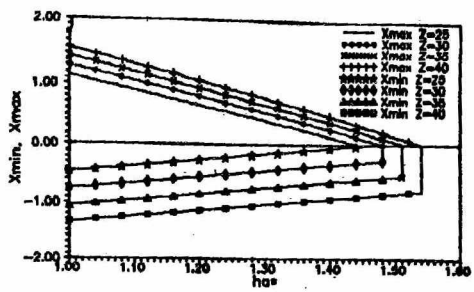
Проведените изследване със статично натоварване на стандартни и височинно модифицирани зъби показват, че напреженията в основата на зъба при височинната модификация ($h_a^*>1$) са по-големи в сравнение с тези при стандартния зъб ($h_a^*=1$). Установи се също така, че при статично натоварване с нарастване височината на зъбите, **НАТИСКОВИТЕ** напрежения в основата на зъба намаляват, докато **ОПЪНОВИТЕ** се увеличават. В сравнение със стандартните зъбни предавки, при височинно модифицираните, **опън**овите напрежения се разпространяват в значително по-голяма част от зъбния венец, докато за **натисковите** напрежения важи обратното. Сравнението на напреженията на огъване в стандартни и височинно модифицирани зъби при максимално натоварване (произведението между статичното натоварване и коефициента на вътрешните динамични сили K_V) показва, че товароносимостта на височинно модифицираните предавки е почти еднаква или даже малко по-висока от тази на стандартните такива.

ЛИТЕРАТУРА

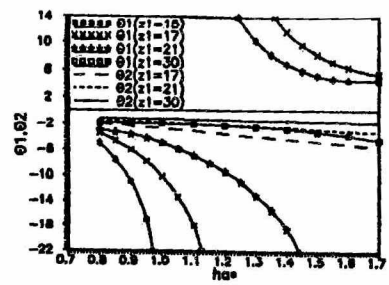
1. Болотовский И. А. и др., Цилиндрические эвольвентные зубчатые передачи внешнего зацепления. Расчет геометрии, Москва, Машиностроение, 1974.
2. Димчев Г., Димитров Л., Джамбов Й., Возможности геометрической оптимизации эвольвентных зубьев с увеличенной высотой, Научная сесия кафедры Детали и механизмов машин, ВУТ Брно, Чехия, 1990.
3. Джамбов Й., Изследване на допълнителното динамично натоварване в зъбното зацепване при височинно модифицирани едностъпални зъбни предавки с прави еволвентни зъби, Дисертация, ТУ – София, 1993.
4. Rettig H., Ermittlung von Zahnfußfestigkeits – Kennwerten auf Verspannungsprüfständen und Pulsatoren – Vergleich der Prüfverfahren und der gewonnenen Kennwerte, Antriebstechnik 26, Nr. 2, 1987.
5. Winter H., Podlesnik B., Zahnfedersteifigkeit von Stirnradpaaren, Antriebstechnik 22, Teil 1, Nr. 3, Teil 2, Nr. 5, 1983.

АВТОРИ:

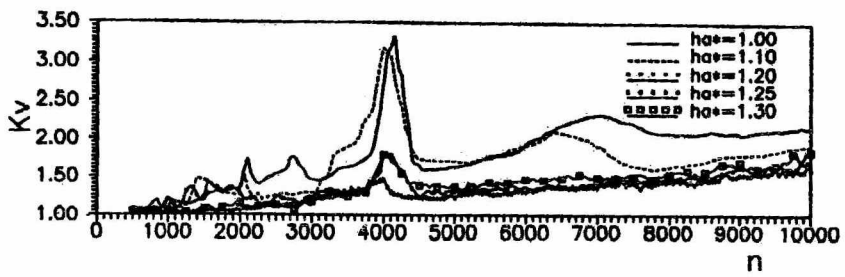
Георги Николов Димчев, доц. д-р инж., КАТЕДРА “Машинни елементи”, Машиностроителен факултет, ТУ – София
Йордан Вълчинов Джамбов, д-р инж., КАТЕДРА “Машинни елементи”, Машиностроителен факултет, ТУ – София



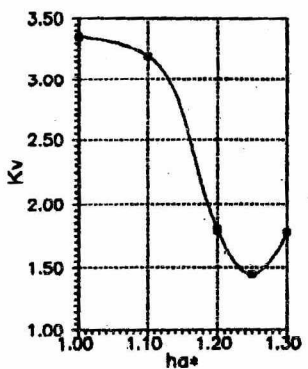
Фиг. 1



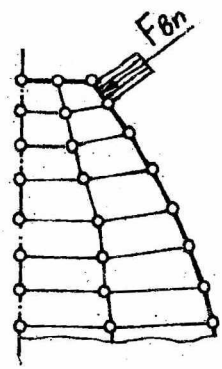
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5