

Нови възможности за проектиране на цилиндрични зъбни предавки и редуктори (част II)

Торком Дюлгерян, Петър Ненов, Емилия Ангелова, Божидар Калоянов

New possibilities for gear drives and speed reducers design (part II): The Manuel, presented here is developed to improve the process Design of machine elements and to help the students in reaching better results. Different new ideas are given in his seven units, all of them accompanied with a proper authors' software system. Three of those systems are already successfully used in the design practice of our country and are giving solutions closed to the optimal. The given examples could be useful in developing skills for comparative analysis of design solutions from different positions - functional, technological, economical and in creating a design documentation with automated systems and packages.

Key words: Design of machine elements, documentation with automated systems.

ИЗЛОЖЕНИЕ Структура и обхват на Пособието

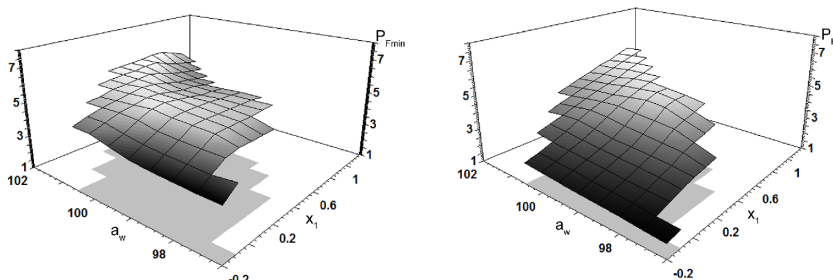
Пособието е базирано върху седем самостоятелно обособени материала. Първите 4 раздела са описани в част I. В настоящата работа е изложено съкратено описание на съдържанието, концепциите и състава на системите на раздели 5, 6 и 7.

5. Якостно изчисляване на зъбни предавки с програмната система GEAR

С усъвършенстването на якостното изчисляване на зъбни предавки методиките станаха по-трудни за използване. Изходът е в разработването на програмен пакет по модифицирана версия на ISO 6336, която да се базира и на развита система за геометрични изчисления, осигуряваща възможност за оптимизиране по различни критерии, както и за решаване на оптимизационни задачи. Включената в Пособието система за якостно изчисляване е създадена в духа на тези разбирания и е използвана широко в конструкторската практика у нас. Базирана е на по-стара версия за силови изчисления, но получаваните с нея резултати са достоверни и приложими. Задачите са унифицирани и сведени до различни варианти на един общ проблем - *точна оценка на товароносимостта* на зъбна предавка с изявля познати геометрични и кинематични характеристики, материали, обработки, степени на точност и условия на работа. В системата GEAR товароносимостта на зъбната предавка се оценява чрез допустимата ѝ мощност P при зададената честота на въртене, т.е.

$$P = \min (P_{H1}, P_{H2}, P_{F1}, P_{F2}) \quad (1)$$

, където P_{H1}, P_{H2} и P_{F1}, P_{F2} са допустимите мощности по критериите „контактна якост“, респ. „якост на огъване“ при заданите изходни условия.



а) Модел на мощността на огъване

б) Модел на контактната мощност

Фиг.9 Варианти на пространствени параметрични модели (ПБК) на зъбна предавка

Предимството на използването на показателя мощност пред показателя въртящ момент е особено очевидно при многостъпните редуктори, където това

улеснява много сравняването на товароносимостта на стъпалата и начините за подобряване на общите показатели.

Показването на текущи стойности на допустимите мощности по двата якостни критерия и на съответните изчислени и допустими напрежения позволява набелязване на мерки за евентуална промяна на твърдоти, материали, модули и др., водещи до увеличаване на общата товароносимост. Сравняването на изчислените и допустимите напрежения на огъване изяснява как може да се подобри разпределянето на χ_{Σ} . Най-високи резултати могат да се осигурят с доразвиване на проверочната задача в оптимизационна и с построяването на силови и параметрични блокиращи контури (ПБК) от вида, показан на Фиг.9. Резултатите от наше компютърно изследване показват, че мерките трябва да са по възможност във всички направления. Защото например само изменението на "u" в интервала $u=2,5-6,3$ може да промени a_w до 1,5 пъти. Използването на материали с ниски механични характеристики води до 2 пъти по-големи междуосови разстояния. При едновременно вариране с предавателното число и с материалите на зъбните колела a_w може да се изменени до 3(5) пъти. При повишаване на ψ_{ba} от 0,2 на 0,5 се постига намаляване на a_w с 30%. При едновременно вариране с предавателното число, материала и относителната широчина, общото изменение на междуосовото разстояние може да бъде около 4(7) пъти. Следователно изборът на трите основни параметъра до голяма степен предопределя показателите на редуктора и трябва да се извършва внимателно, чрез създаване на силови модели на зъбните предавки - от вида ПБК или техни подходящи за случая, определящи сечения.

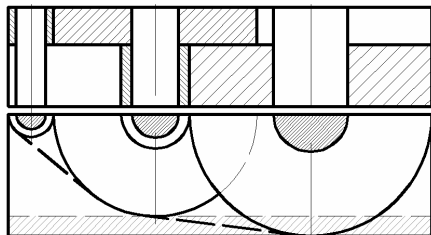
6. Разпределяне на общото предавателно число с програмната система COMPLEX2

Разделът изяснява в каква степен параметрите на цилиндричните многостъпални редуктори се влияят от разпределянето на общото предавателно число u_0 между отделните стъпала и дават препоръки за по-доброто решаване на проблема. Разпределянето е във взаимна връзка и с други изходни параметри на предавката, като относителна широчина, модул на зацепване, материали и твърдост на зъбните колела и др. Представяната тук система COMPLEX2 позволява да се отчетат особеностите на конструкцията, материалите, технологиите и експлоатацията на изделията и предлага решения с високо качество.

Общото предавателно число $u_0 = n_{вх}/n_{изх}$ се представя и като произведение на предавателните числа u_1, u_2, u_n на отделните стъпала на редуктора:

$$u_0 = u_1 \cdot u_2 \dots u_n \quad (2)$$

Възможните комбинации са много, а могат да се увеличат и допълнително,



Фиг.10. Примерен вариант с добро разпределяне на предавателното число между двете стъпала на редуктор

$u_0=16, n_1=1500 \text{ min}^{-1}, P_1=5,0 \text{ kw}$; Материал на зъбните колела – цементована стомана, HRC58/56; $\psi_{ba1}=0,3, \psi_{ba2}=0,4$; точност 8-8-8-B $u_1=4,5, u_2=3,55; L/L_{opt}=1,01, d_1/d_2=1,19; T'/T'_{opt}=1$

защото при силовите предавки не е задължително точно спазване на зададеното общо предавателно число.

Допустимите отклонения между стандартните и действителните стойности са $\pm(3-4)\%$. Те не са недостатък на конструкцията и могат да се използват за подобряване на решението.

Автоматизираното проектиране на отделните предавки (единственото, което може да предложи най-доброто решение), протича по следната схема: Чрез опростена формула за критерия „контактна якост“ се определя началната стойност на a_{w1} . Приема се модулът на предавката, съответстващ приблизително на стойност

$0,01a_w$. Намира се броят на зъбите. Определят се коефициентите на изместване $\chi_{1,2}$, осигуряващи максимална товароносимост, т.е. за всеки приет брой зъби се

извършва «оптимизиране по x ». Когато товароносимостта по критерия якост на огъване се окаже недостатъчна, търсенето на решения продължава с избирането на по-голям модул. Ако и при него товароносимостта е по-малка от зададената, a_w се увеличават и процедурите се повтарят. Процесът продължава до достигане на зададената товароносимост. Следват изчисления за определянето на a_w на следващото стъпало. При наличие на засичане се прибъгва към увеличаване на лимитиращото междуосово разстояние, съчетано с паралелен процес на стесняване широчината на зацепването, до премахване на „излишната“ мощност.

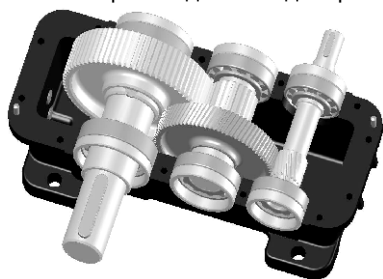
За всеки вариант по избраната схема се определят и представят за сравняване голям брой негови основни параметри – дължина L , широчина B , височина H , околна повърхнина S , обем V , обща маса G_{red} и др. Сравняването може да се извърши чрез анализ на стойностите на основните параметри и/или на автоматизирано подготвени скици на конструкциите.

По този начин крайните решения на конструктора се вземат въз основа на параметрите на предавки, оптимизирани в различни направления, както и при наличие на сравняеми данни за голям брой параметри на редуктора, като цяло. Това прави постиганите решения възможно най-висококачествени и недостижими по друг начин на проектиране.

7. Разработване на конструктивна документация с автоматизирани системи

Създаването на достоверен компютърен модел на техническия обект в процеса на неговото проектиране е важна предпоставка за провеждане на оптимизационни задачи, ефективно формообразуване, прецизно якостно-деформационно изследване, контрол на размерите и на сглобяването. Все по-често компютърните системи и технологии, с които тримерната визуализация става достижима и лесна за реализиране цел се превръщат от средство за стимулиране създаването на мисловен образ, в неразделна част на процеса конструиране.

В този раздел е описана примерна технология за разработването на конструктивна документация на двустъпален разгънат редуктор на базата на 3D-компютърни модели. Моделирането се извършва посредством CAD системите Solid Works и AutoCAD, на базата на резултати от програмните системи за геометрично и якостно проектиране на зъбни предавки – GEOMER, GEAR и COMPLEX2, а така също - на резултати от якостно-деформационно проектиране на валове и търкалящи лагери.



Фиг.11. 3D-модел на разгънат редуктор

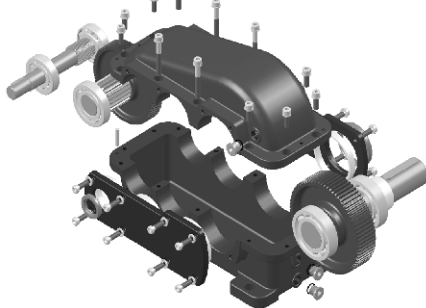
3D-моделирането на редуктора може да се предшества от изготвяне на електронна скица, чиято главна задача е да уточни размерите на отделните му детайли и възли, разположението им в пространството и коректното им сдружаване. Скицата е по данните от проектирането с CAD-системата COMPLEX2, модифицирана и без излишни подробности. Оразмеряването и е непълно и цели да улесни моделирането. Стандартните детайли в нея, като търкалящи лагери, уплътнители, винтове и др. се изобразяват чрез системата AutoCAD Mechanical.

В разглеждания тук случай е предпочетено изграждане на пълния 3D-модел на входящия, междинния и изходящия вал и последващото им съчетаване в сборна единица (Фиг.11).

При модела детайл-сглобена единица е създадена пълна и двупосочна асоциативност за директно унаследяване на форми - между отделните детайли, между детайлите и сглобената единица, и обратно. Свързването на параметри от различни детайли (напр. вътрешен диаметър на лагер с външен на вал) улеснява

изграждането на конструкцията и спестява време при преработване на документацията, създаване на модификации и всякакъв друг "реинженеринг".

Прецизното съчетаване на сдружените 3D-модели на детайли и възли позволявя създаването на анимации, проследяващи действието на редуктора и процесите на сглобяване и разглобяване (Фиг.12).



Фиг.12. Фотореалистично изображение

Работните чертежи се генерират автоматизирано от съответните 3D-модели посредством системата Solid Works.

Окончателното привеждане на документацията в съответствие с изискванията на стандартите изисква и известно модифициране на автоматизирано генерираните изображения с програмни системи за чертане – AutoCAD и др. (Табл.1).

Създаването на 3D-модели улеснява и използването на графичната информация за съставянето на различни изчислителни схеми и провеждането на якостно-деформационни проверки. Те са предпоставка и за по-ефективен конструктивен и технологичен анализ.

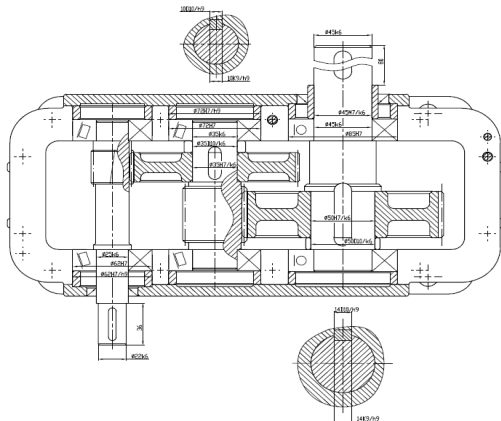
Графични примери за модифициране на характерни елементи (ХЕ) Таблица 1

ХЕ	Преди модификация	След модификация
Резбови елементи		
Резбови съединения		
Зъбно колело		
Зъбно зацепване		

Показаната разработка - Фиг.13 се отличава с относително малките си габарити и компактност, постигнати благодарение на използването на висококачествени материали и термообработки на зъбните колела. Значителен е и приносът на проведената оптимизация на разпределяне на общото предавателно число на

редуктора, на правилния избор на модула на зацепването, броя зъби на колелата, коефициентите на изместване на изходния контур и др.

Накрая ще обърнем внимание и на възможността използване на една по-нетрадиционна технология за разработване на конструктивната документация на редуктора, започваща със създаването на негово опростено 3D-изображение. То се предшества от сравнителна оценка на пълноценни проектни решения, получени със системата COMPLEX2. На основата на таблична проектна информация за най-перспективния конструктивен вариант, с графична система автоматизирано се създава 3D-фотореалистично изображение. По външния вид, изгледите от вътрешността и характерни сечения на този 3D модел конструкторът е подпомогнат визуално за окончателна оценка на полученото крайно решение и перспективите му за развитие. В случая 3D-моделите на редуктора и неговите елементи решават успешно и чисто учебни въпроси, като изясняването на някои специфични конструктивни особености и др. Тази



Фиг. 13. Изглед отгоре на двустъпален редуктор, изчертан автоматизирано, след модифициране

технология на проектиране, започваща направо с разработването на 3D модели е в помощ на идеите за извършване на корекции, доразвиване и усъвършенстване на конструкцията на редуктора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Осигуряването на високи параметри на редукторите изисква задълбочено проучване и обхванат сравнителен анализ на конструкциите, производството и условията на експлоатация.

2. Използването на ГБК е мощно средство за качествено проектиране на свързани предавки.

3. Разработването на богати анимации на зацепването и модели на примерни конструкции и натоварвания са мощно средство за въвеждането на нови идеи и технологии в учебния процес и стъпка към изграждането на по-ефективен подход в обучението по конструиране.

ЛИТЕРАТУРА

Пособието доразвива и допълва „Курсово проектиране по машинни елементи“ с автори П.Ненов, Д.Андреев, П.Стаматов и И.Спасов, изд. Техника – С., 2002, 2007 и монографията „Параметрично оптимизиране на зъбни предавки“ с автор П.Ненов, изд. Техника, С. 2002.

То отразява опита и на автори, цитирани в споменатите издания.

За контакти:

доц. д-р инж. Торком Дюлгерян, e-mail: tomy@ru.acad.bg
 проф. д-р инж. Петър Ненов, e-mail: pnenov@gmail.com
 доц. д-р инж. Емилия Ангелова, e-mail: ang@ru.acad.bg
 Русенски университет „Ангел Кънчев“, гр.Русе, Катедра “Машинознание и машинни елементи”, тел.: 082-888 461
 н.с.инж.Божидар Калоянов Bojidar.Kaloyanov@russe.nssi.bg

Докладът е рецензиран.