3D МОДЕЛИРАНЕ НА ЦИЛИНДРИЧНА ЗЪБНА ПРЕДАВКА

Нели Станева, Борислав Тенев
Лесотехнически университет, София

Резюме

Представен е метод за ускорено 3D моделиране на цилиндрична зъбна предавка с CAD/CAE системата Autodesk Inventor®. Приложени са възможностите на пакета „Генератор за зъбни предавки“ на системата Mechsoft, вградена в Autodesk Inventor®, с помощта на който са създадени базовите 3D модели със зъбния венец на цилиндричните зъбни колела с прави зъби с еволвентен профил. Другите конструктивни елементи – диск и отвори в него за олекотяване, главина, отвор за вал с шпонков канал, закръгления и фаски са създадени чрез добавяне на фичъри, които са обединени към базовите модели посредством булевите операции. Проведено е проверочно изчисляване на цилиндричните зъбни колела на контактна якост и огъване по ISO 6336:1996. Получените коефициенти на сигурност на контактна умора и на умора при огъване са по-големи от минималните, което показва, че предавката е коректно изчислена и моделирана.

Ключови думи: 3D модел, цилиндрична зъбна предавка, „генератор за зъбни предавки“, Autodesk Inventor®”.

Key words: 3D model, circular spur gear, „Spur gears component Generator", Autodesk Inventor®.

JEL: L64, O3.

Увод

Зъбните предавки намират широко приложение във всички области на промишлеността и са се утвърдили като най-важните предавки не само в машиностроенето, но и в дървообработващата и мебелна промишленост [2, 3].

От години в световен мащаб се налага новият подход на конструиране, известен като ***конкурентен инженерен дизайн***, основан на 3D моделирането с CAD/ CAM/ CAE системи. Този подход все повече се прилага и при конструирането на зъбни предавки – за стандартни зъбни предавки се използват CAD продуктите от среден и висок клас [6, 7]: Mechanical Desktop, Autodesk Inventor, Pro/ENGINEER, Unigraphics, CATIA; SolidWorks [4], SIEMENS NX [1] и др.

Всяка от тези системи има своите предимства и недостатъци. Някои от общите предимства на използването на CAD системите при моделиране на зъбни предавки са [6, 7]:

- изчисляването на зъбните предавки може да се извърши автоматично при задаване на определени стойности на изходящите параметри;
- точно построяване на зъбната геометрия на зъбните колела;
- лесна промяна на геометричните параметри на предварително избраните зъбни профили;
- създаване и размножаване на различни работни варианти на зъбното зацепване в предавките;
- лесно снемане на геометрични зависимости, ъглови и линейни размери;
- по-добра визуализация, по-малко време и вложен труд при скициране и изчертаване;
- прецизно и лесно решаване на системите уравнения, синтезиращи зъбните профили;
- получаване на крайните резултати с голяма точност;
- проверка за грешки на аналитично изведените уравнения на зъбните повърхнини;
- визуализиране и графично онагледяване на получените резултати;
- намаляване на трудоемкостта в сравнение с ръчно извършваните пресмятания;
- многовариантност на една и съща конструкция - промяната на произволен геометричен елемент в скицата или в модела на кое да е от зъбните колела автоматично се отразява и на другото и се генерират и запазват и в електронната конструктивна документация;
- възможност за цялостно автоматизиране на процеса на геометрично компютърно моделиране;
- възпроизвежда се задружната работа на спрегнатите зъбни колела в предавките и се симулират движенията в зъбния механизъм, от където се проследява нормалната работа и се правят изводи за съответните граници на заклинване, колизии, хлабини и др.;
- от моделите на зъбните колела използвания CAM продукт директно генерира програми за тяхната изработка за съответната NC машина с подходящия избор на режещи инструменти и с необходимите режими на рязане. Симулира се процеса на изработване и се анализират получените повърхнини.

Изборът на конкретна CAD система за 3D моделиране се определя от редица фактори,

като за учебни цели определящият е лесния достъп до системата.

Цел на изследването е предлагане на подход за ускорено създаване на 3D модел на цилиндрична зъбна предавка с прави зъби и еволвентен профил с CAD системата Mechsoft, вградена в Autodesk Inventor®.

1. Метод за създаване на 3D модела на цилиндричната зъбна предавка с прави зъби

3D геометричният модел на цилиндричната зъбна предавка е създаден посредством пакета *„Генератор на компонентите на зъбна предавка“* (“Spur Gears Component Generator”) на програмната система Mechsoft, студентска версия чрез който се генерира базов 3D модел на предавката със зъбния венец с еволвентен профил на всяко от двете цилиндрични зъбни колела съгласно стандарта ISO 6336: 1996 за якостни изчисления на цилиндрични зъбни предавки [7].

Другите конструктивни елементи на зъбните колела – отвори за валовете с шпонкови канали, главина, диск с отвори за олекотяване, закръгления, фаски са създадени чрез добавяне на фичъри, базирани върху скица и конструктивни фичъри, които се обединяват със съществуващата геометрия посредством булевите операции в Autodesk Inventor®.

2. Етапи на моделиране

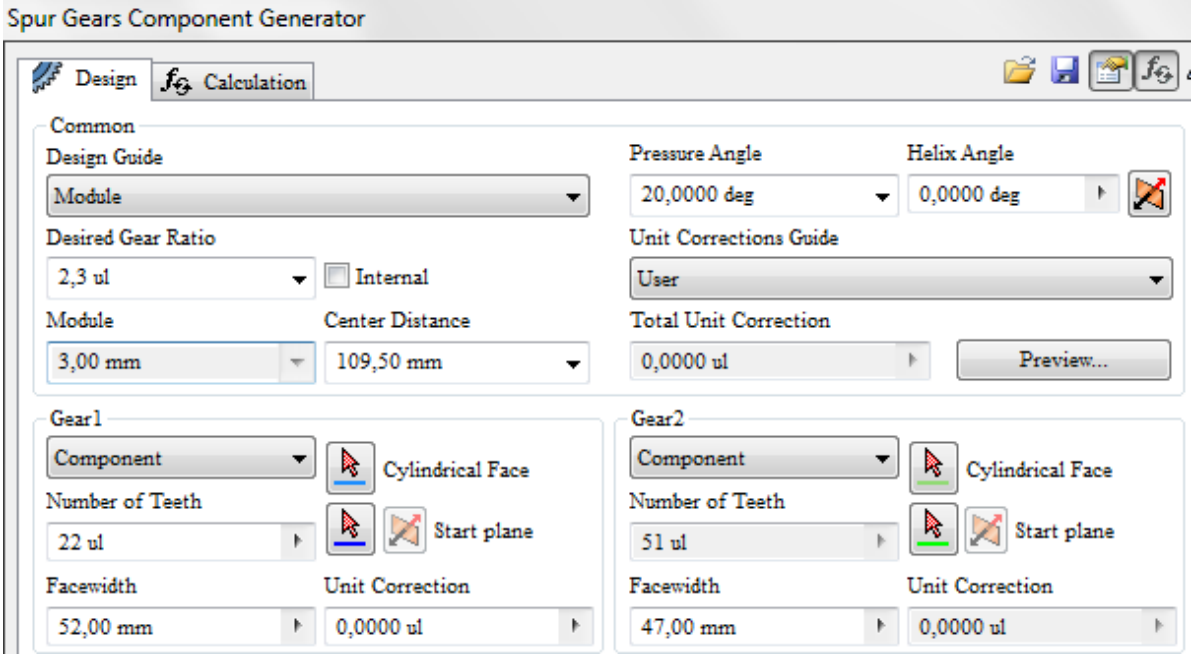
2.1. Създаване на базовия 3D модел на цилиндричната зъбна предавка с прави зъби

В пакета „Генератор на компонентите на зъбна предавка“ са зададени входящите геометрични параметри за цилиндричната зъбна предавка с прави зъби: предавателно отношение i = 2,3, модул m = 3,0 mm, междуосово разстояние a =109,5 mm, брой зъби z_1 =22 и z_2 =51, широчина на двете зъбни колела b_1=52 mm и b_2=47 mm, ъгъл на зацепване α=20° (фиг. 1.) по предварително изчислена предавка с предавана мощност N=5,5 kW и честоти на въртене n_1=970 min^{-1} и n_2=420 min^{-1} [2, 3].

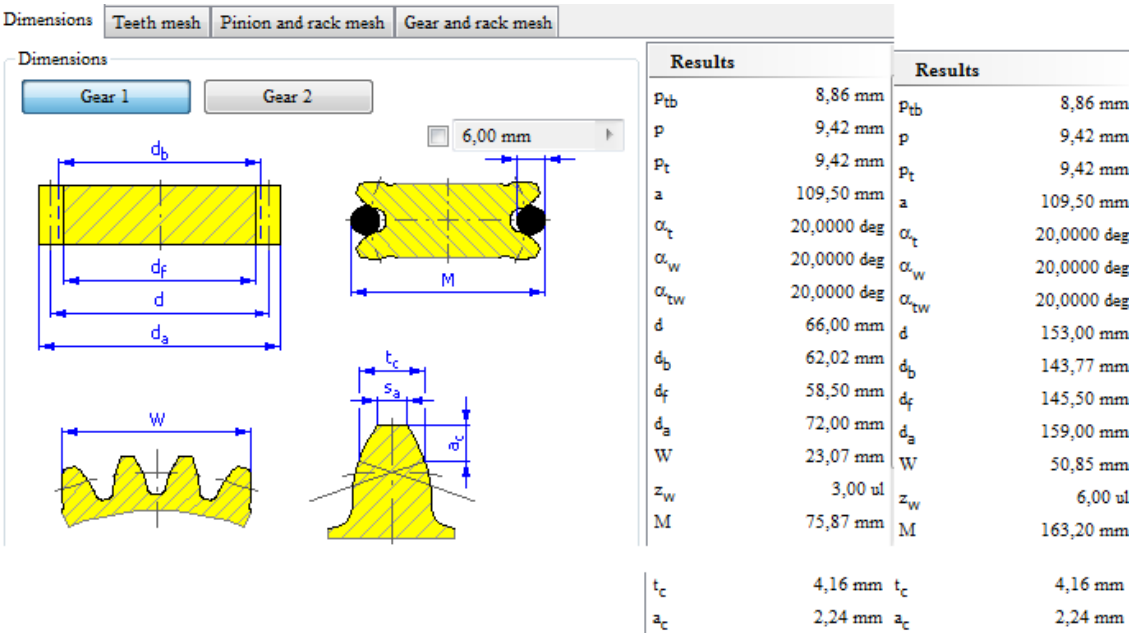
Програмата изчислява всички геометрични параметри на двете зъбни колела – диаметър на делителната окръжност – d, диаметър на върховата окръжност – d_a, диаметър на петовата окръжност – d_f, дебелина на зъба – t_c и други, показани на фиг. 2.

Програмата показва зацепването и линията на зацепване на двете зъбни колела.

В резултат е получен базовия 3D модел на цилиндричната зъбна предавка с прави зъби със зъбния венец с еволвентен профил на зъбите, показан на фиг. 3.

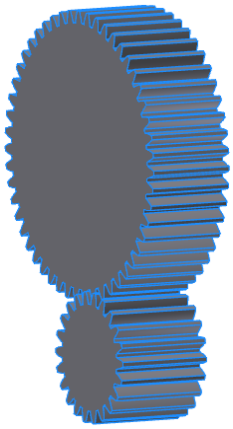


Фиг. 1. Задаване основните параметри на цилиндричната зъбна предавка



p_{tb}	8,86 mm	p_{tb}	8,86 mm
p	9,42 mm	p	9,42 mm
p_t	9,42 mm	p_t	9,42 mm
a	109,50 mm	a	109,50 mm
α_t	20,0000 deg	α_t	20,0000 deg
α_w	20,0000 deg	α_w	20,0000 deg
α_{tw}	20,0000 deg	α_{tw}	20,0000 deg
d	66,00 mm	d	153,00 mm
d_b	62,02 mm	d_b	143,77 mm
d_f	58,50 mm	d_f	145,50 mm
d_a	72,00 mm	d_a	159,00 mm
W	23,07 mm	W	50,85 mm
z_w	3,00 ul	z_w	6,00 ul
M	75,87 mm	M	163,20 mm
t_c	4,16 mm	t_c	4,16 mm
a_c	2,24 mm	a_c	2,24 mm

Фиг. 2. Изчислени основни геометрични параметри за двете зъбни колела



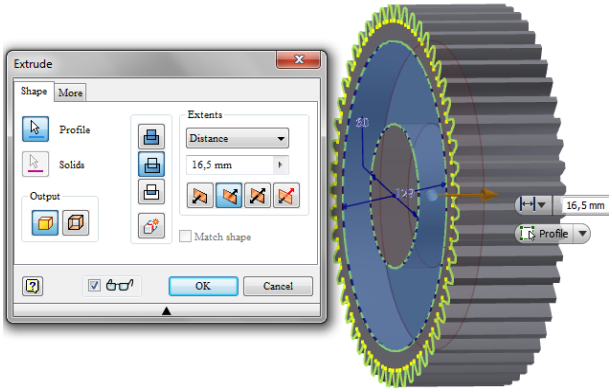
Фиг. 3. Базов 3D модел на зъбната предавка

2.2. Създаване на конструктивните елементи на зъбните колела

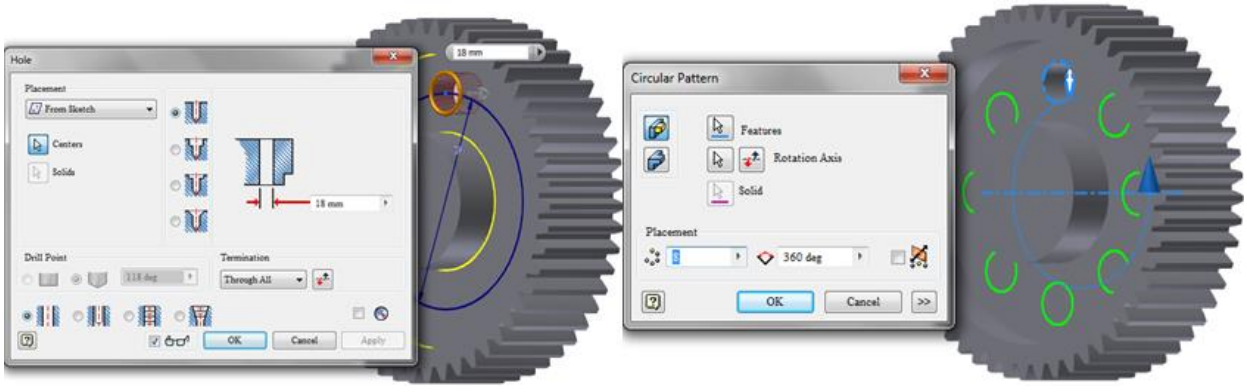
Конструктивните елементи на двете зъбни колела са създадени последователно за всяко едно от тях. По-сложно в конструктивно отношение е голямото зъбно колело, което трябва да се оформи с диск според изискването $d_a \geq 150$ mm [2, 3].

Създаването на диска на голямото зъбно колело е показано на фиг. 4 – чрез фичъра „Extrude“ (изтеляне) в показаната посока от скицата – пръстен, оцветен в синьо и булевата операция „Cut“ (изважда обема на новия обект от съществуващата геометрия) на необходимата дълбочина. Тази операция се повтаря и от другата страна на колелото.

Тъй като главината на голямото зъбно колело е по-широка от зъбния венец, тя е доизградена чрез добавяне – посредством фичъра „Extrude“ (изтеляне) от скица – окръжност с диаметъра на главината и обединение към съществуващата част от главината с булевата операция “Join” (присъединява новия обем към съществуващия).



Фиг. 4. Създаване на диска на голямото зъбно колело



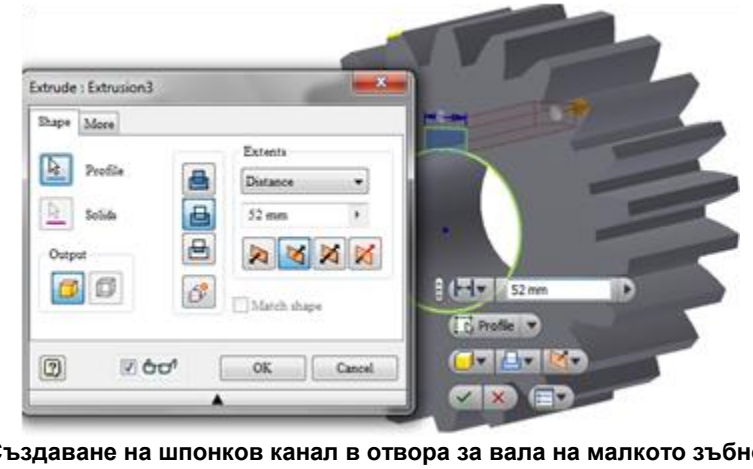
Фиг. 5. Създаване на проходен отвор в диска на голямото зъбно колело и размножаването му

Известно е [2, 3], че в диска на големите зъбни колела се изработват отвори за олекотяване, чиито центрове са разположени по окръжност. На фиг.5 е показано създаването на проходен отвор в диска на голямото зъбно колело с конструктивния фичър “Hole” (Отвор) чрез задаване на окръжността, на която лежат центровете на отворите и диаметър на отвора. След това този отвор е размножен по окръжност с конструктивния фичър “Circular Pat-tern” чрез задаване и на броя на отворите.

Отворът за вала и за двете зъбни колела е създаван чрез конструктивния фичър “Hole” (Отвор).

Създаването на шпонковия канал в отвора за вала чрез фичъра „Extrude“ (изтегляне) от скицата (напречното сечение на канала) и булевата операция „Cut“ (изваждане) по дължината на главината е показано на фиг.6 за малкото зъбно колело.

Завършеният 3D модел на цилиндричната зъбна предавка с прави зъби с всички конструктивни елементи на зъбните колела, включително и закръгленията и фаските е показан на Фиг. 7. Направен е и разрез на предавката чрез указване на секуща равнина.



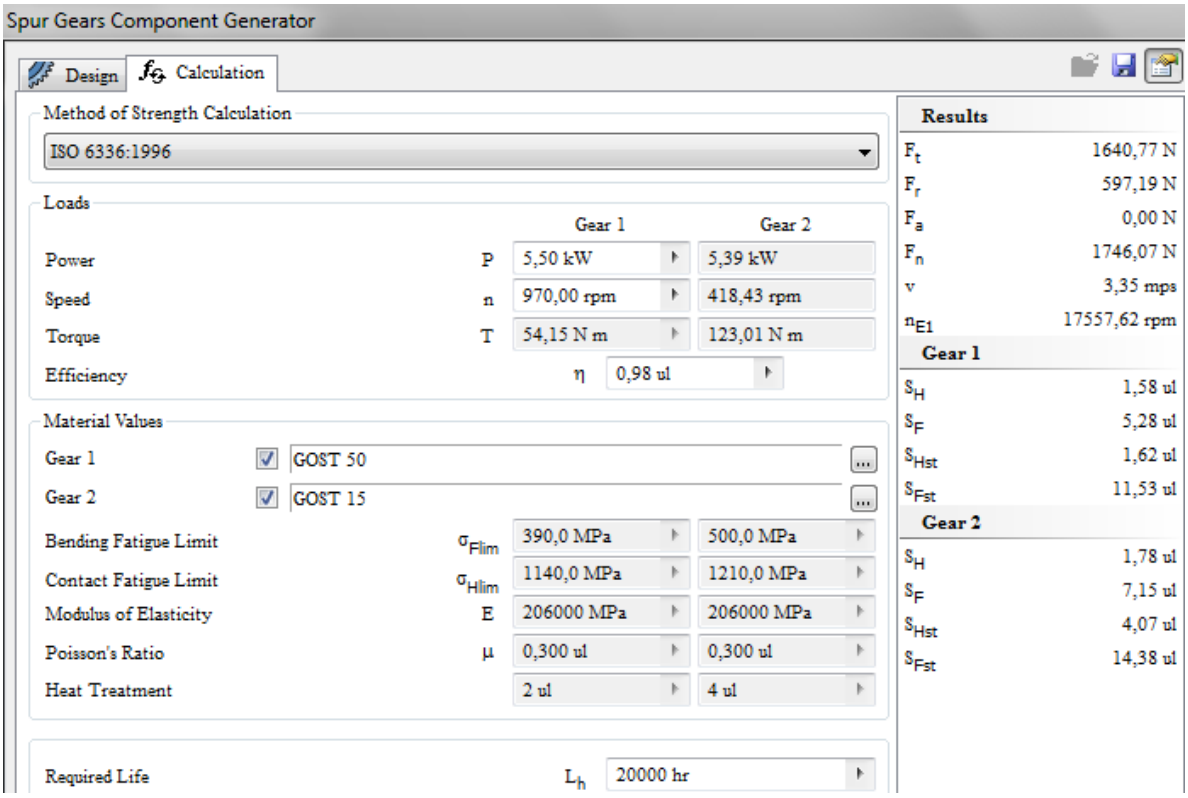
Фиг. 6. Създаване на шпонков канал в отвора за вала на малкото зъбно колело

Фиг. 7. 3D модел на цилиндричната зъбна предавка с прави зъби

3. Проверочно изчисляване на контактна якост и на огъване

Зъбните предавки проверочно се изчисляват на контактна якост и огъване [2, 3]. Тези изчисления са направени с помощта на пакета „Генератор на компонентите на зъбна предавка“ съгласно стандарт ISO 6336:1996 за якостни изчисления на цилиндрични зъбни предавки – фиг. 8.

Зададени са: мощност N=5,5 kW, честотата на въртене на малкото зъбно колело n_1 = 970 min^{-1} и коефициент на полезно действие η=0,98.



Фиг. 8. Проверочно изчисляване на контактна якост и на огъване

От библиотеката на програмата са избрани материалите за двете зъбни колела: за малкото – GOST 50 с последващо закаляване на зъбите и GOST 15 със закаляване на корпуса за голямото. На фиг. 8 са показани характеристиките на двете марки стомани: S_{Flim} – гранично напрежение на огъване (bending fatigue limit); S_{Hlim} - гранично контактно напрежение (contact fatigue limit); *E*-модул на еластичност и μ - коефициент на Поасон. Избрани са марки стомана с най-близки характеристики до българските въглеродни качествени стомани – марка 50 и марка 45, от които са зададени да се изработат зъбните колела.

Определени са силите при зацепване: *F*t – периферна, *F*r – радиална и *F*n - нормална, както и скоростите – периферна *v* и резонансна n_{E1} – фиг. 8.

Резултатите от якостната проверка се дават чрез изчислените коефициенти на сигурност – за двете зъбни колела са изчислени: S_H – коеф. на сигурност на контактна умора (питинг – пукнатини)(Factor of Safety from Pitting); S_F – коеф. на сигурност на умора при огъване (разрушаване на зъба) (Factor of Safety from Tooth Breakage); S_{Hst} – коеф. на сигурност при статично контактно натоварване (Static Safety in Contact); S_{Fst} – коеф. на сигурност при статично огъване (Static Safety in Bending).

Получените коефициенти на сигурност са по-големи от минималните [3]: S_{Hmin}=1,2 и S_{Fmin}=1,75 – S_{H1}=1,58≥ S_{Hmin} и S_{H2}=1,78≥ S_{Hmin}; S_{F1}=5,28≥ S_{Fmin} и S_{F2}=7,15≥ S_{Fmin}, което показва, че предавката е коректно изчислена.

Изводи и препоръки

Предложен е подход за ускорено създаване на 3D модел на цилиндрична зъбна предавка с прави зъби посредством пакета за твърдотелно моделиране “Генератор на компонентите на цилиндрични зъбни предавки” на програмната система Mechsoft, вградена в CAD програмата Autodesk Inventor® и прибавяне на фичъри, които се обединяват с базовите модели на зъбните колела чрез булевите операции.

Проведено е проверочно изчисляване на цилиндричната зъбна предавка на контактна якост и огъване по ISO 6336:1996. Получените коефициенти на сигурност на контактна умора и на умора при огъване са по-големи от минималните, което показва, че предавката е коректно изчислена и моделирана.

Основен недостатък на моделирането на зъбни предавки със системата Mechsoft е, че в нея са въведени около 50 вида марки материали с техните характеристики, но те са слабо познати и неизползвани у нас. Конструкторът е принуден да търси аналог на традиционно използвани у нас материали за изработка на зъбни колела, което неминуемо води до известна условност.

Поради повишените изисквания към графичните познания на инженерите в светлината на конкурентния инженеринг е препоръчително използването на 3D моделирането от студентите при разработването на курсови задачи.

Литература

1. Вражилски, Д., П. Недялков, Е. Христова. (2012). *Компютърно моделиране на цилиндрични зъбни колела с еволвентни прави зъби*. VII[Ma] конференция „Машинознание и машинни елементи. стр. 108−115.
2. Попов, З., Хр. Михайлов и Сл. Соколовски. (1995). *Ръководство за курсово проектиране по машинознание*. Земиздат, София.
3. Соколовски, Сл. (2007). *Машинни елементи*. Издателство „ЛТУ", София.
4. Станева, Н., Сл. Соколовски. (2006). *Приложение на 3D моделирането в обучението по машинознание*. сп. "Управление и устойчиво развитие", том 15, 3–4, 2006, стр. 490–494.
5. Тонков, Г. (2008). *Проектиране на зъбни предавки с CAD/CAM системи. (Геометричен CAD синтез на спрегнати зъбни предавки – I част)*. Осма международна конференция „Авангардни машиностроителни обработки". Кранево, 18–20 юни 2008, стр. 157–163.
6. Тонков, Г. (2008). *Проектиране на зъбни предавки с CAD/CAM системи. (Геометрично моделиране на спрегнати зъбни предавки – II част)*. Осма международна конференция „Авангардни машиностроителни обработки". Кранево, 18–20 юни 2008, стр. 165–172.
7. *Autodesk Inventor 2012, User Guide*. Autodesk, 2012.

3D MODELLING OF A SPUR GEAR

Nelly Staneva, Borislav Tenev
University of Forestry, Sofia, Bulgaria

Abstract

An approach for accelerated 3D modelling of a spur gear with CAD/CAE system Autodesk Inventor® is presented. The possibilities of „Spur Gears Component Generator" of Mechsoft, integrated in Autodesk Inventor® are consecutively applied for generation of base 3D models of the involute spur gear. The another constructive elements – gear ring, a disk with holes for mass decreasing, a boss, hole for a shaft with a keyway groove, fillets and chamfers are created through features, which are integrated with Boolean opera-tors. Controlling calculations for pitting and bending of the spur gear are carried out according to ISO 6336:1996. The received Factor of Safety from Pitting and Factor of Safety from Tooth Breakage are higher than the minimum ones, that means the spur gear is correctly calculated and modeled.