

## Нов подход при автоматизирано проектиране на карданов съединител с минимална маса, част втора

Вълю Джаджев

*A new approach to automated design of a minimum mass cardan coupling, part two: While designing a Cardan coupling it is necessary to assess the assembly-ability of its components as well as to ensure that they do not interfere with each other during normal operation. In practice, this is done by use of prebuilt sample models, where everything is checked by experimenting. The authors share herewith their idea for developing a new approach to designing Cardan couplings, where all operations are performed in an automated way as early as the design stage.*

**Keywords:** cardan coupling, automated design, assembly

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Едно от най-съществените приложения на Кардановия съединител е да свързва въртящи се валове, пресичащи се под определен ъгъл и да предава въртящ момент от единия вал към другия. В практиката съществуват различни конструкции, но най-разпространена е връзката между пресичащите се валове да се осъществява с помощта на шарнир на Хук, при който две вилки се свързват чрез кръстачка с перпендикулярно разположени оси посредством иглени търкалящи се лагери.

Въртенето на двете вилки с различни ъгли скорости освен че усложнява проверката на незасичане, изменя по сложен начин и тяхната моментна скорост на въртене. Това затруднява провеждането на коректна якостна оценка на вилките. Тя се реализира с известен резерв, на базата на силите и съответните въртящи и огъващи моменти в две гранични положения [2,3]. Това прави якостната проверка до голяма степен условна. При по-високи скорости на въртене динамичното натоварване на елементите на кардановия съединител се увеличава чувствително и започва да изисква съобразяване на конструкцията и с този фактор.

Изложеното по-горе води до необходимостта от оптимизиране на конструкцията на кардановия съединител и налага нов подход за неговото проектиране.

### 2. СЪВРЕМЕННО СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

При проектирането на Кардановия съединител е необходимо оценяване на чисто конструктивната възможност за свързване на елементите му, както и технологичността на изпълнение на това свързване. На практика това се свежда до "осигуряването на незасичане" на елементите на съединителя при всяко тяхно възможно взаимно положение в границите на избрания ъгъл на пресичане на валовете, както и по време на процеса на монтирането им един към друг. В досегашната практика това се проверява чрез създаването на няколко предварителни варианти на опитни образци на конструкцията и тяхната моделна проверка. От една страна това води до субективизъм и затруднения при конструирането, а от друга страна до завишаване на металоемкостта на изделието.

### 3. РЕШАВАНЕ НА ПРОБЛЕМА

Настоящата статия е продължение на [1] и предлага нов подход и алгоритъм за определяне на размерите на вилките от съображения на незасичане при точен 3D модел на шарнира в пространството, при различни стойности на ъгъла на пресичане на валовете  $\gamma_0$  и произволни спрегнати положения на раменете на вилките.

За математичен модел при изобразяване формата на вилката е този приет в [4,5]. За по-голямо удобство при съставяне на математичния модел на конструкцията, размерите ( $a^* \times b^*$ ) на крайното сечение - към ухото на вилката, да се представят чрез ъглите  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$  (Фиг.1). При различни стойности на ъглите могат да се получат правоъгълна или трапецовидна форма на крайното и междинни сечения с различни размери.

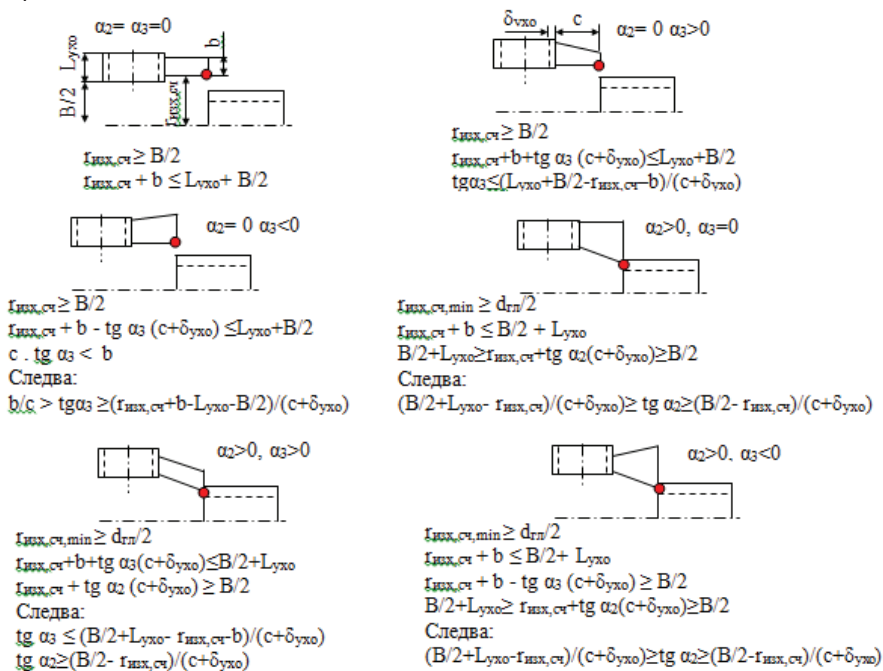


Фиг.1 Параметричен модел на рамената на вилките  $a \times b$ ,  $a^* \times b^*$  – размери на началното и на крайното сечение;  $c$  – дължина на рамената;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – ъгли за дефиниране на крайното сечение

### 3.1. Определяне на ограниченията на параметрите на изходното сечение на рамото при ъгъл $\gamma_0 > 0$ .

Когато  $\gamma_0 > 0$  за да не навлезе главината на Вилка 2 в ухото на Вилка 1 при малки стойности на  $c$  трябва  $D_{гп} < V$ .

Според общите ограничения [1] и Фиг.1, в Табл.1 са показани възможните геометрични форми на рамото според стойностите на трите ъглови параметъра и вариантите на разположението му спрямо ухото и главината. При зададени стойности на параметрите "a" и "b" на изходното сечение и разположение на началото му спрямо геометричната ос на вилката, могат да се направят изводи за граничните стойности на ъглите  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$  или за граничната стойност на параметър  $a^*$  на крайното сечение.



Фиг.2 Гранични стойности на параметрите:  $L_{вих,сч}$  и ъглите  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$ .

След като е избран и изчислен лагера и направена проверка за сглобяване са уточнени размерите които имат отношение към разположението на рамото спрямо

ухото и главината:

- Разстояние между ушите:  $B$  ;
- Външен диаметър, височина и дебелина на ухото:  $D_{ухо}$  ,  $L_{ухо}$  ,  $\delta_{ухо}$  ;
- Външен и вътрешен диаметър на лагера:  $D_{лаг}$  ,  $d_{втр}$  =  $d_1$  (диаметър на шийката на кръстачката);
- Вътрешен диаметър на главината:  $d_{гн}$  .

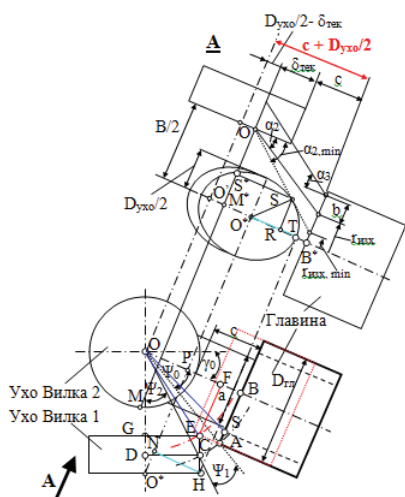
Тези размери могат да се приемат за относително постоянни, до момента при който стане невъзможно да се осигури незасичане при покой или въртене (за  $\gamma_0 > 0$  ) и/ или да не се удовлетвори якостната проверка на рамото.

Таблица 1

Ъгъл	Стойност					
	Вариант1	Вариант2	Вариант3	Вариант4	Вариант5	Вариант 6
$\alpha_2$	0	0	0	> 0	> 0	> 0
$\alpha_3$	0	> 0	< 0	0	> 0	< 0

### 3.2. Проверка за засичане на главината и ухото при $\gamma_0 > 0$

На фиг.3 е показано положението при което главината и ухото са най-близко една до друга. Разгледани са два варианта според стойността на размер  $c$  . При първия вариант, най-изпъкналата т. А от главината, е разположена под вътрешната челна повърхнина на ухото на Вилка 1, а във вторият над нея (червен цвят). Точка А се завърта по окръжност с център т. О и при определена стойност на  $\gamma_0$  ще съвпадне с т. С. Въвеждат се ъглите  $\Psi$  ( $\Psi_0$  ,  $\Psi_1$  ,  $\Psi_2$  ).



Фиг.3 Схема за определяне на засичането на главината с ухото

От  $\Delta OBA$ :

$$OB = D_{ухо}/2 + c; AB = D_{гн}/2;$$

$$OA = (OB^2 + D_{гн}^2/4)^{1/2};$$

$$OA = ((D_{ухо}/2 + c)^2 + D_{гн}^2/4)^{1/2};$$

$$\tan \Psi_0 = AB / OB = D_{гн} / (D_{ухо} + 2c).$$

От  $\Delta OCD$ :

$$\sin \Psi_2 = CD / OC = D_{ухо}/2 / OA;$$

( $OC = OA$  – радиус на окръжността)

$$\sin \Psi_2 = D_{ухо}/2 / ((D_{ухо}/2 + c)^2 + D_{гн}^2/4)^{1/2}.$$

Условието което определя от коя стойност на  $\gamma_0$  т. А на главината ще се допре и след това ще навлезе в ухото зависи от сумата ( $90^\circ$ ) на трите ъгъла. При  $\Psi_1 = 0$  е момента на допиране, а при  $\Psi_1 < 0$  навлизане в ухото.

$\Psi_1 = 90 - (\gamma_0 + \Psi_0 + \Psi_2) \leq 0$ , от което следва, че за да няма засичане трябва:

$$\gamma_0 < 90 - (\Psi_0 + \Psi_2). \quad (1)$$

За да се избегне засичането може да се увеличава  $c$ , докато  $OA$  стане  $> OH$ .

$$OH = (D_{ухо}^2/4 + (B/2 + L_{ухо})^2)^{1/2}$$

$$c^2 + D_{ухо} c > (B/2 + L_{ухо})^2 - D_{гн}^2/4 \quad (2)$$

Първият вариант е дефиниран за  $D_{ухо}/2 + c \leq OF$  .

Втори вариант (с червен цвят) за  $D_{ухо}/2 + c > OF$

От  $\Delta OGE$ :  $GE = D_{ухо}/2$ ;  $OE = (GE^2 + B^2/4)^{1/2} = (D_{ухо}^2/4 + B^2/4)^{1/2}$

$$\sin \Psi_2 = GE / OE = D_{ухо} / (D_{ухо}^2 + B^2)^{1/2}$$

От  $\Delta OFE$ :  $FE = AB = D_{гн}/2$ ;  $\sin \Psi_0 = AB / OE = D_{гн} / (D_{ухо}^2 + B^2)^{1/2}$

$$OF = (OE^2 - D_{гн}^2/4)^{1/2} = (D_{ухо}^2/4 + B^2/4 - D_{гн}^2/4)^{1/2} / 2$$

Тук условието за незасичане е същото както при първи вариант:

$$\gamma_0 < 90 - (\Psi_0 + \Psi_2).$$

За да се гарантира ненавлизане на Ухо1 в Главина 2 се определят радиусите  $R_1$  и  $R_2$  и чрез тях се определя  $c_{min}$ .

$$R_1 = OE = \sqrt{(D_{yxo}/2)^2 + (B/2 + L_{yxo})^2} \text{ и } R_2 = OS = \sqrt{(c + D_{yxo}/2)^2 + (d_{гг})^2}$$

$R_1$  трябва да е по-голям от  $R_2$ .

От **Изглед А** се определя условието за навлизане на ухото на Вилка 1 в главината на Вилка2 и минималният ъгъл на скосяване на рамото  $\alpha_2$

$$\text{От } \triangle HNO \text{ ъгъл } HNO \text{ е равен на } \gamma_0 \text{ и } HN = O^*T; O^*T = HN = D_{yxo}/2 \cdot \cos \gamma_0$$

От уравнението за елипса следва:  $O^*R = HN \cdot \cos \alpha_{2,min} = D_{yxo}/2 \cdot \cos \alpha_{2,min} \cdot \cos \gamma_0$ ;

$$SR = D_{yxo}/2 \cdot \cos \alpha_{2,min} \text{ и } SS^* = 2 \cdot O^*R = D_{yxo} \cdot \cos \alpha_{2,min} \cdot \cos \gamma_0$$

От връзката между размерите следва:

$$OS^* = B/2 - RS = B/2 - D_{yxo}/2 \cdot \cos \alpha_{2,min}$$

От  $\triangle SS^*O^*$  следва:

$$\tan \alpha_{2,min} = OS^* / SS^* = (B/2 - D_{yxo}/2 \cdot \cos \alpha_{2,min}) / (D_{yxo} \cdot \cos \alpha_{2,min} \cdot \cos \gamma_0);$$

След преработване на горното уравнение се получава:

$$\sin^2 \alpha_{2,min} D_{yxo} - 2 \sin \alpha_{2,min} \cos \gamma_0 + B - D_{yxo} = 0; \quad (3)$$

Положителният корен е:

$$\sin \alpha_{2,min} = 2 \cos \gamma_0 B + (4 \cos^2 \gamma_0 B + D_{yxo}^2 (4 \cos \gamma_0 + 1))^{1/2} / (D_{yxo} (4 \cos \gamma_0 + 1)) \quad (4)$$

Текущата стойност на  $\alpha_2$  трябва да е  $\geq \alpha_{2,min}$

**За да не навлезе ухото на Вилка 1 в главината на Вилка 2 (фиг.2), трябва да се изпълни и условието:  $TB^* > O$**  (5)

$$M^*O^* = O^*R; O^*M^* = D_{yxo}/2 - \delta_{тек};$$

$$O^*T = O^*M^* + M^*O^* (=O^*R) + O^*T = D_{yxo}/2 - \delta_{тек} + D_{yxo}/2 \cdot \cos \alpha_{2,min} \cdot \cos \gamma_0 + D_{yxo}/2 \cdot \cos \gamma_0$$

$$OB^* = OM^* + c + D_{yxo}/2;$$

За да се изпълни условие (5) следва

$$OB^* > OT, \text{ или:}$$

$$c + D_{yxo}/2 > D_{yxo}/2 - \delta_{тек} + D_{yxo}/2 \cdot \cos \alpha_{2,min} \cdot \cos \gamma_0 + D_{yxo}/2 \cdot \cos \gamma_0$$

$$c > D_{yxo}/2 \cdot \cos \gamma_0 \cdot (\cos \alpha_{2,min} + 1) - \delta_{тек}; \quad (6)$$

От (6) се определя  $c_{min} = D_{yxo}/2 \cdot \cos \gamma_0 \cdot (\cos \alpha_{2,min} + 1) - \delta_{тек}$  (7)

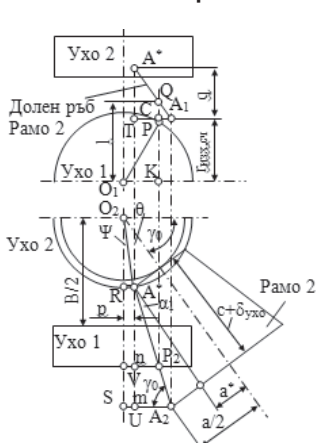
$$c > c_{min} \quad (8)$$

Чрез  $\alpha_{2,min}$  се определя и минималната стойност на началото на изходното сечение:

$$r_{изх, min} = \tan \alpha_{2,min} \cdot M^*B - B/2; M^*B^* = c + \delta_{тек};$$

$$r_{изх, min} = \tan \alpha_{2,min} \cdot (c + \delta_{тек}) - B/2; \quad (9)$$

**Допълнение към Варианта за определяне на незасичане на Ухо-Рамо (фиг.4)**



$$O_2A^* = D_{yxo}/2;$$

$$p = RA^* = O_2A^* \cdot \sin \Psi = D_{yxo}/2 \cdot \sin \Psi;$$

$$O_2R = D_{yxo}/2 \cdot \cos \Psi; a^* = a/2 - (c + \delta_{yxo}) \cdot \text{tg } \alpha_1;$$

$$\sin \theta = a / D_{yxo}/2; \Psi = 90 - \gamma_0 - \theta;$$

$$\Psi = 90 - \gamma_0 - \arcsin((a/2 - (c + \delta_{yxo}) \cdot \text{tg } \alpha_1) / (D_{yxo}/2));$$

$$\text{Ъгъл } VP_2A^* = \gamma_0;$$

$$A^*V = B/2 + L_{yxo} - O_2R = B/2 + L_{yxo} - D_{yxo}/2 \cdot \cos \Psi;$$

$$VP_2 = A^*V / \text{tg } \gamma_0;$$

$$n = VP_2 + p;$$

$$n = (B/2 + L_{yxo} - D_{yxo}/2 \cdot \cos \Psi) / \text{tg } \gamma_0 + D_{yxo}/2 \cdot \sin \Psi;$$

$$A_2U = A^*A_2 \cdot \cos \gamma_0; A^*A_2 = (c + \delta_{yxo}) \cdot \cos \alpha_1;$$

$$A_2U = (c + \delta_{yxo}) \cdot \cos \alpha_1 \cdot \cos \gamma_0;$$

$$m = A_2U + p;$$

$$m = (c + \delta_{yxo}) \cdot \cos \alpha_1 \cdot \cos \gamma_0 + D_{yxo}/2 \cdot \sin \Psi;$$

$$q = (c + \delta_{yxo}) \cdot \text{tg } \alpha_2;$$

$$KP = (D_{yxo}^2/4 - m^2)^{1/2}$$

От  $\triangle A^*A_1T$  и  $\triangle Q A_1C$  следва:

$$q / QC = (m - p) / (n - p); QC = q(n - p) / (m - p);$$

$$KQ = r_{изх,сч} + QC = r_{изх,сч} + q \cdot (n - p) / (m - p);$$

**За да няма засичане:  $KQ > KP$**  (10)

Фиг.4 Схема за определяне на допълнителното условие (10) за незасичане на Ухо-Рамо

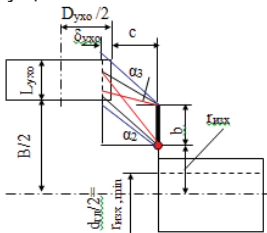
#### 4.ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От изведените условия могат да се направят следните изводи:

- Текущата стойност на  $\alpha_2$  трябва да е  $< \alpha_{2,\min}$ ;
- Текущата стойност на  $r_{\text{изх}}$  трябва да е  $> r_{\text{изх},\min}$ . Минималната стойност на  $\alpha_2$  има значение, ако  $r_{\text{изх},\min} \geq d_{\text{гл}}/2$ . Ако това условие не е изпълнено, следва да се изпълняват следните общи условия (фиг. 5):
- Когато  $r_{\text{изх}} < B/2$ ,  $\delta_{\text{тек}}$  трябва да е равно на  $\delta_{\text{ухо}}$ . Тогава рамото няма да навлезе в лагера. Двата ъгъла  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$ ,  $r_{\text{изх}}$ ,  $b$ ,  $B/2$ ,  $L_{\text{ухо}}$ , трябва да имат такива стойности, че стените на рамото да не се пресичат (линиите с червен цвят) и да не излизат от ухото (линиите със син цвят).

$$\begin{cases} (c + \delta_{\text{ухо}}) \tan \alpha_2 \geq B/2; \\ r_{\text{изх}} + b + (c + \delta_{\text{ухо}}) \tan \alpha_3 < B/2 + L_{\text{ухо}}; \\ (c + \delta_{\text{ухо}}) \tan \alpha_2 \leq b + (c + \delta_{\text{ухо}}) \tan \alpha_3 \end{cases} \quad (11)$$

- Когато  $r_{\text{изх}} \geq B/2$ ,  $\delta_{\text{тек}}$  може да достигне до максимална стойност равна на  $D_{\text{ухо}}/2$ , при спазване на условията (11) и в които  $\delta_{\text{ухо}}$  се заменя с  $\delta_{\text{тек}}$ .
- Текущата стойност на  $c > c_{\min}$



Фиг.5 Схема за определяне на допълнителни условия (11) за незасичане на Ухо-Рамо

Тъй като променливите параметри са взаимно зависими, при промяна на стойността на един параметър е необходимо да се следят изведените условия и граничните стойности на останалите параметри.

Прилаганият подход за проектиране на карданов съединител е начален етап за разработване на софтуер. 3D изображенията в съчетание с автоматизирано пресмятане на определени параметри би довело до съкращаване на етапа „конструиране“ и

убеденост в крайните резултати чрез съответната визуализация.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Angelova E., V.Dzhadzhev. A new approach to automated design of a minimum mass cardan coupling, part two. International scientific conference "Innovations in Engineering 2015", Бургас, 2015
- [2] Ненов П., Д. Андреев, П. Стаматов, И. Спасов. Курсово проектиране по машинни елементи. София, Техника, 2007
- [3] Ненов П., Е. Ангелова, А. Добрева, В. Добрев. Машинни елементи (с алманах). РУ"Ангел Кънчев", 2010.
- [4] Ненов П., Е. Ангелова, и др. Генериране на математичен модел за изследване характеристиките на шарнир на Хук, Сборник доклади НК ЕМ'12, Русе, 2012, 49-52
- [5] Ронкова В. Проектиране на карданови съединители, насочено към минимизиране на габаритните им размери. сп. Българско списание за инженерно проектиране, 2013, брой 19, стр. 79-86, ISSN 1313-7530.

#### За контакти:

Гл. ас. инж. Вълю Джаджев, Катедра "Машинознание, машинни елементи и инженерна графика", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 235, e-mail: vjadjev@uni-ruse.bg.

**Докладът е рецензиран.**