

## Поява и развитие на кардановия съединител, част втора

Вълю Джаджев

**Appearance and Development of cardan coupling, part two.** This paper describes an attempt of the authors to set certain events in the shape of chronological facts which relate to the appearance and development of cardan coupling. Various authors have considered structures cardan couplings with constant angular velocity, the conditions of uniformity of movement as well as all means of achieving them.

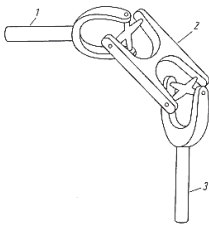
**Keywords:** joint, double cardan coupling, Tracta joint, ball joint

### ВЪВЕДЕНИЕ

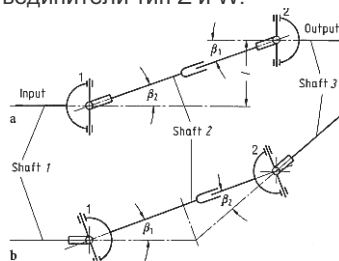
Обикновеният (единичен) карданов съединител предава въртеливото движение неравномерно, пораждащо динамични натоварвания и вибрации, нарастващи с увеличаване на ъгъла на отклонение между вилките. Върху този проблем са работили много учени и инженери, предложили различни конструктивни решения. По-важните от тях са показани в изложението.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

През 1683г. Робърт Хук имал идеята за елиминиране на неравномерността в ротационното движение на единичния съединител чрез свързване на втори съединител (Фиг.1). При тази конструкция вилките на средния вал, въртящи се със скорост  $\omega_2$  са във фаза, т.е. лежат в една равнина. По-късно, през 1841г. Робърт Уилис потвърждава това и описва сдвоените съединители тип Z и W.



Фиг.1 Сдвоен съединител на Робърт Хук, 1683г.[3]. 1-Задвижващ вал, 2-Междинен вал,3-Задвижван вал.



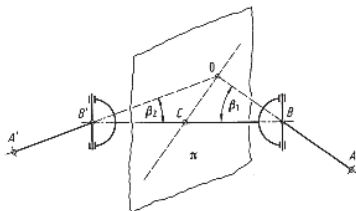
Фиг.2 a,b Сдвоени съединители с фазови вилки и  $\beta_2 = \pm\beta_1$  [6].  
a. Z-конфигурация, b. W-конфигурация

Доказва, че ъгловите скорости на задвижващия вал  $\omega_1$  и на задвижвания вал  $\omega_2$  са равни ( $\omega_1 = \omega_2$ ), ако е изпълнено условието: ъглите, които задвижващия  $\beta_1$  и задвижвания  $\beta_2$  валове сключват с междинния вал са равни ( $\beta_2 = \pm\beta_1$ ). Съединителите със Z-конфигурация са добре пригодени за предаване на еднакви ъглови скорости на успоредни валове, ако междинният вал 2 се състои от две части, които могат да се плъзгат една спрямо друга, например шлицово свързани. Тогава средният вал 2 позволява разстоянието  $\delta$  да се променя така, че задвижвания вал 3 да може да се премества.

Робърт Уилис стигнал до заключението, че сдвоеният карданов съединител притежава свойството за постоянна скорост дори когато валовете не са успоредни и не се пресичат [9]. При тези пространствено-ориентирани валове, постоянна скорост може да се постигне, само ако задвижващия и задвижвания валове са фиксирани. Вилките на междинния трябва да са разположени така, че когато вилката 1 се намира в равнината, определена от задвижващия и междинния вал, вилката 2 да лежи в равнината, определена от междинния и задвижвания вал. В случая на равнинни оси  $\beta_2 = \pm\beta_1$  може да се поддържа, ако задвижващият и задвижваният вал

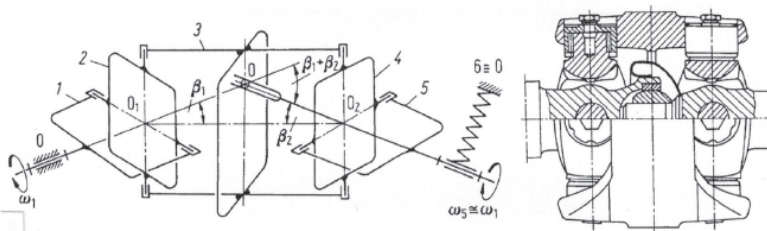
се пресичат. Това било демонстрирано от Морис Окан през 1918г.[1]. Според неговата теория, сдвоеният карданов съединител (фиг.3) предава равномерно движение, само ако са изпълнени следните две условия:

- осите на задвижващия и задвижвания вал да се пресичат в точка  $O$ ;
- сдвоеният съединител е разположен симетрично по отношение на равнина на симетрия  $\pi$  (бисектрисната равнина), която преминава през точки  $O$  и  $S$ .



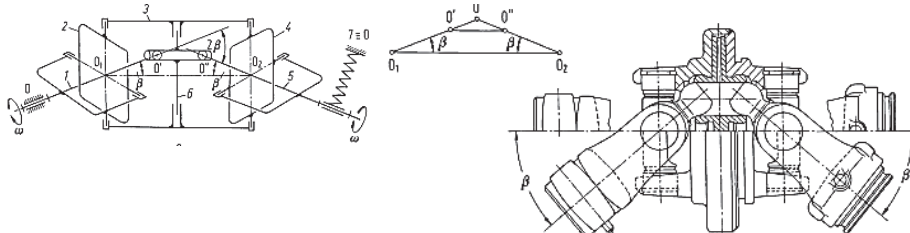
Фиг.3 Нагледен пример на условията за постоянната скорост на сдвоения карданов съединител според Морис Окан, 1930г [2].

На практика тези условия не са лесни за изпълнение. Без специални устройства, не е възможно да се гарантира, че осите винаги ще се пресичат и че ъглите  $\beta_1$  и  $\beta_2$  ще бъдат винаги еднакви.

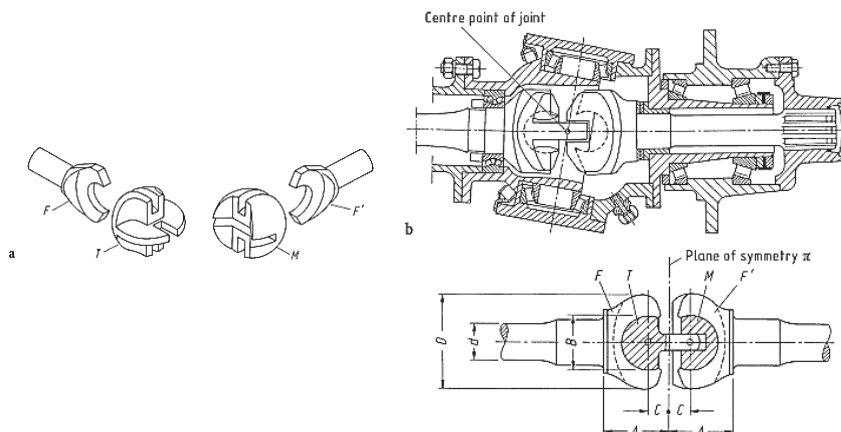


Фиг.4 Сдвоен съединител (квази-хомокинетичен), GWB дизайн

Съществуват съединители (Фиг.4), при които условията са доста приблизителни - "квази-хомокинетичен" съединител, както и други (Фиг.5) където условията са стриктно спазени - „хомокинетичен“ съединител. Терминът "хомокинетичен" ("хомо"-едно и също, "кине" - движа се, "квази" - мним, лъжлив) е патентован от французите Шарл Нуг и Андре Планао през 1920г. Освен тези два термина в литературата се използват синхронен и асинхронен карданов съединител.



Фиг.5. Сдвоен съединител с прикрепено насочване (стриктно хомокинетичен) на Пол Херхенбах, 1978г. (Германски патент 2802 572), произведен от J.Walterscheid GmbH [4].



Фиг.6а,б.Тракта съединител на Пиер Фена, 1926г. (Германски патент 617356/1927г.). а Принцип на двойното нут и федер свързване; б поместване в шенкела на превозно средство,  $\beta=32^\circ$

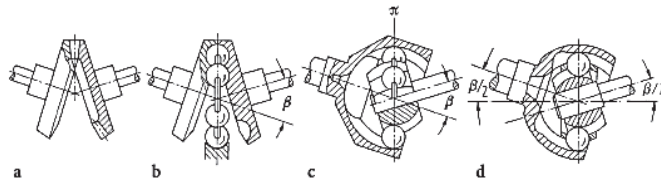
Квази-хомокинетичният и хомокинетичният сдвоени карданови съединители са сложни системи, направени от много различни елементи.

Задачата да се намерят по-опростени и по-евтини решения за съединители с постоянна скорост е занимавала изобретателите от началото на второто десетилетие на миналия век. Съединителят Тракта на Пиер Фена (1926г.), наречен на марката на автомобила, в който първоначално е монтиран, има най-голям успех [2, 8]. Той работи на принципа на двойното нут и федер (зъб и канал) свързване (Фиг.6а,б) и се състои от четири части: две вилки (скоби)  $F$  и  $F'$  и две плъзгащи се части (центриращи сфери)  $T$  и  $M$ , които се зацепват взаимно. Последните, направлявани от сферични прорези, имат централни точки  $C$ , разположени винаги симетрично спрямо центъра на съединителя  $O$ . Така се осигурява постоянна скорост, независимо от ъгъла на отклонение, равнината на симетрия  $\pi$  преминава при  $\beta/2$  през  $O$ . През 1930г., Морис Окан доказва свойствата на постоянна скорост на Тракта съединителя в Academie des Sciences в Париж (Фиг.6б)[2]. Тракта съединителя е монтиран в независимо окачване на предно-задвижвани пътнически автомобили и в шенкелите на предните водещи оси на военни транспортни средства. Той е имал доминираща позиция в продължение на 40 години до появата на самоцентриращия се сферичен съединител с постоянна скорост.

Други решения за опростяване на сдвоения карданов съединител са: шарнирния съединител на Ханс Юнг за автомобил DKW, 1931г.; съединителя на Марсел Вилар за Ситроен 2CV, 1943г. и 1,5 квази-хомокинетичния фиксиран съединител на Робърт Бошар, 1949г.

Предаването на въртливо движение между два вала чрез конусни зъбни колела (Фиг.7а) е равномерно. Съществува концепция за замяна на предавателните зъби със сфери (сачми) и сферични вдлъбнатини (Фиг.7б). Сачмите са поместени в пръстен и се движат между входа и изхода на шарнира. Важно условие за придобиване на способност за отклонение на съединителя е преобразуването на вдлъбнатини на външното камбанообразно и вътрешното сферично тяло в сферични канали (пътеки) (Фиг.7с). Принципът на сферичната пътека позволил развитие на универсалния карданов съединител и довел до създаване на компактен съединител с постоянна ъглова скорост (Фиг.7д). Този принцип датира от 1908 г. в разработката на американеца Уилям Уитни (Фиг.7, Американски патент 1022909). По това време никой не обръща внимание на идеята му. Чрез шлицева сфера Уитни

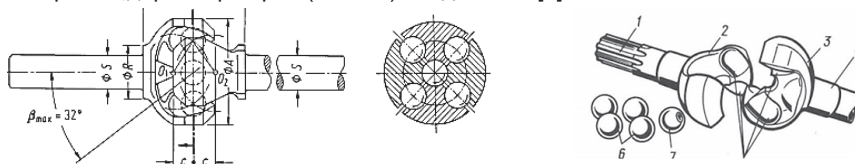
и неговите



Фиг.7a-d Проследяване на развитието на двойка конусни зъбни колела с фиксиран ъгъл на отклонение до сферичен карданов съединител с променлив ъгъл на отклонение  $\beta$ . **a** Двойка конусни зъбни колела; **b** сферичен карданов съединител с фиксиран ъгъл на отклонение  $\beta$ ; **c** сферичен карданов съединител с променлив ъгъл на отклонение  $\beta$ , сферични пътеки и сферичен вътрешен път; **d** сферичен съединител със сепаратор.

последователи се опитват да получат комбинация от фиксиран и потъващ съединител. Тази идея за първи път е реализирана в производството на автомобилите Ланча Флавия през 1960г. Съединителят на Уитни има недостатъка, че когато е съосен ( $\beta = 0$ ) липсват сили на въздействие върху сачмите, които да ги придвижат в равнината на симетрия  $\pi$  (Фиг.7c), така тяхната позиция в концентричните пътеки е неопределена. Съединителят можел да функционира само при ъгли на отклонение  $\beta \geq 18^\circ$ .

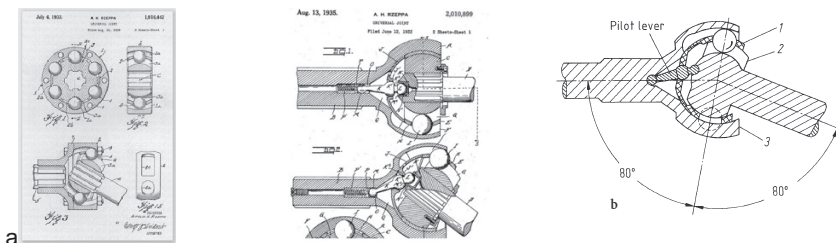
Карл Вайс преодолява този недостатък през 1923г. чрез прихващане на генериращи центрове на сачмените пътеки във входящата и изходящата части на съединителя, изместени на разстояние с от центърът му O(Фиг.8). Това създава пресичащи се пътеки,които направляват сачмите автоматично в равнината на симетрия  $\pi$  дори и при прав (съосен) съединител [7].



Фиг.8. Четирисачмен карданов съединител на Карл Вайс със странични сачмени канали,  $\beta_{\text{min}} = 32^\circ$ .

Съединителят се състои от два еднакви сферични хомота 2 и 3, в които са разположени четири сачми 6. Две от тях в кръговите пътеки предават въртящия момент, докато другите две се презареждат, с което се гарантира,че няма да има реакция когато се промени посоката на натоварването. Двата хомота са центрирани с помощта на сачма 7 с централен отвор. За предотвратяване падането на сачмата, когато съединителя е под ъгъл, се използва цилиндричен щифт.

През 1927 г. Алфред Рцепа подава заявление (Американски патент 1665280) за съединител, в който продължават да са включени недостатъците на съединителя на Уитни. Поради това през 1933 г. той въвежда насочване на сачмите чрез сепаратор с изравнителен лост (Фиг.10b) като спомагателно средство за контрол. Сепараторът се удължава в полусферична чаша. Лост с две външни и една междинна сфери е монтиран на три места: в опашката на външното тяло, в полусферичната част и във вътрешната част. Позицията на трите насочващи сфери се подбира така, че при промяна на ъгъла на отклонение на съединителя, сепаратора да локализира сачмите в равнината на симетрия  $\pi$ . Това било временно решение защото лоста бързо се износвал и сачмите заклинали. Около 1960г. тези съединители били заменени от съединители с насочващи следи.



Фиг. 10. а Основни патенти на А. Рцепа (US-P 1916442,2010899); б принудително насочване на сачмите. 1 сепаратор, 2 вътрешно тяло, 3 външно тяло.

Историята на развитие на кардановия съединител е вековна и многолика. Тя не може да се опише в няколко страници. Затова представям хронология на по-важните събития от нея.

Хронология на развитието на кардановия съединител[10]:

1352-54г. Универсално съединен задвижващ вал в часовниковия механизъм на Страсбургската Катедра.

1550г. Карданно окачване (кардан) на Джироламо Кардано.

1663г. Универсален съединител на Робърт Хук. 1683. Сдвоен съединител на Хук.

1824г. Анализ на движенията на съединителите на Хук чрез сферична тригонометрия и диференциално пресмятане, и изчисляване на силите на кръстачката от Жан Виктор Понселе.

1841г. Кинематична обработка на съединителя на Хук от Робърт Уитни.

1894г. Изчисляване на повърхностното натоварване на кръстачката от Карл Бах.

1901-02г. Патенти на автомобилни съединители на Артър Хардт и Робърт Швенк.

1904г. Серийно производство на съединителите на Хук и задвижващи валове от Кларънс Уинфред Спайсър.

1908г. Първи сферичен съединител на Уилям Уитни.

1918г. Специални условия за постоянна скорост на движение на Морис Окан.

1930г. Геометрично доказателство за характеристиките на постоянна скорост на Тракта съединител на Морис Окан.

1923г. Фиксиран сферичен съединител, направляван от пораждани се центрове, широко разделени от средната точка на съединителя на Карл Уилям Вайс. Лиценз предоставен на Корпорация "Бендикс".

1926г. "Хомокинетичен" съединител на Пиер Фена.

1927г. Шест-сачмен съединител с 45-градусов ъгъл и постоянна скорост на Алфред Рцепа. 1934г. с изместено насочване на сачмите. Първи съединител с концентрично-меридианно трасе.

1928г. Първи съединител на Хук с иглени лагери на кръстачките на Кларънс Уинфред Спайсър. Двуног съединител на Ричард Бусиен.

1933г. Сферичен съединител с изместени пътеки на Бернар Стубер.

1935г. Триног съединител на Ж. Китридж

1937г. Триног съединител на Едмънд Б. Андерсън.

1938г. Сферичен потъващ съединител на принципа на изместването на Робърт Суцек.

1946г. Фиксиран съединител с елипсоидно трасе на Бирфийлд, потъващ съединител от 1955 г, и двата на Уилям Кал.

1951г. Задвижващ вал с разделен съединител на Хук и средни секции на Борг-Варнер.

1953г. Фиксиран съединител с широк ъгъл ( $\beta = 45^\circ$ ) на Курт Шроетер, 1971 на Х. Гайстхоф, Хайнрих Велшоф и Х. Гросе-Ентроп.

1959г. АС фиксиран съединител на Уилям Кал за Британската Моторна Корпорация, произведен от Харди-Спайсър.

1960г. Фиксиран съединител Лобро с полукръгло трасе на Ерих Ауктор, Валтер Вилимек. Триног потъващ съединител, 1963 фиксиран съединител, и двата на Мишел Оре.

1961г. Четири-сачмен потъващ съединител с чифт кръстосващи се трасета на Хен Фар. DANA- потъващ съединител на Фил Дж. Мациоти, Е. Х. Шарп,

1962г. VL- потъващ съединител с кръстосани трасета, шест сачми и сферичен сепаратор на Ерик Ауктор.

1965г. DO- потъващ съединител на Гастон Дево, завършен с паралелни трасета и разклонение на сепаратора на Бирфийлд. 1966 серии за Рено R4.

1970г. GI- потъващ триног съединител на Гленцър- Спайсър. UF фиксиран съединител на Хайнрих Велшоф, Ерик Ауктор. Серия продукти 1972.

1985г. Сепараторно направлявани потъващи сачми в трипланерния съединител на Мишел Ора.

1989г. AAR- съединител Лобро в серийно производство.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Наречен от Робърт Хук „универсален съединител“ поради възможността му да предава движение в различни посоки, кардановия съединител е такъв и поради универсалността на приложението му. Преминал през векове на развитие, той е намерил широко приложение в машиностроенето, промишлеността, селското стопанство и транспорта.

### **ЛИТЕРАТУРА**

[1] d'Ocagne, M. Cours de géométrie pure et appliquée de l'Ecole Polytechnique (Course of pure and applied geometry of the Ecole Polytechnique), vol. 2, Ch. VI Cinématique Appliquée (Applied Kinematics), No. 170–172 Joint universel de Cardan (Universal Cardan Joint), p. 52–57. Paris: Gauthier-Villars 1918.

[2] Grégoire, J. A. L'automobile et la traction avant (The automobile and front wheel drive). La Technique Automobile 21 (1930) 46–53. German version by G. Prachtl, Automobiltech. Z. 35 (1932) p. 390–393, 422–424.

[3] Hooke, R. Lectiones Cutlerianae or a Collection of Lectures: Physical, Mechanical, Geographical and Astronomical. Made before the Royal Society on several Occasions at Gresham College. London: John Martyn Printer 1679. 6 Tracts

[4] Norbye, J. P. The Complete Handbook of Front Wheel Drive Cars. TAB Modern Automotive Series No. 2052. Blue Ridge Summit/Pa.: TAB Books 1979, p. 18.

[5] Schmelz, F. Count Seherr-Thoß, H. Ch.: Die Entwicklung der Gleichlaufgelenke für den Frontantrieb (Development of constant velocity joints for front wheel drive). VDI-Report 418 (1981) 197–207.

[6] Schmidt, Fr. Berechnung und Gestaltung von Wellen (Analysing and designing shafts). Design Handbooks, Vol. 10, 2nd edition, Berlin: Springer 1967, p. 19, Fig. 23 and p. 68, Fig. 78.

[7] Sturges, E. (1924) A mechanical continuous-torque variable-speed transmission. Autom. Industries 15, July, p. 86 (Weiss joint)

[8] Treyer, A. Le joint Tracta (The Tracta joint). SIA J. 38 (1964) 221–225

[9] Willis, R. Principles of Mechanism. London: Longmans, Green and Co. 1841 and 1870.

[10] <http://mystudyroom.studyroom.co.in/book/page?pg=654751>

### **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](mailto:vjadjev@uni-ruse.bg).

**Докладът е рецензиран.**