

Поява и развитие на кардановия съединител, част първа

Вълю Джаджев, Емилия Ангелова

Appearance and Development of cardan coupling, part one. 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.

Keywords: joint, gimbal, cardan coupling.

ВЪВЕДЕНИЕ

Известно е голямото приложение на кардановия съединител в практиката. Тъй като той е единственият популярен съединител за предаване на движение между два вала, склучващи сравнително голям ъгъл помежду си (обикновено до 45°), интерес представлява информацията за неговото появяване и историческо развитие. В голяма част от техническата литература се разглежда като „карданова предавка“. Авторите считат, че това е некоректно и споделят мнението изразено в [1] - правилно е да се говори за „карданов съединител“.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Информацията за появата и развитието на кардановия съединител в литературата е малка и разпокъсана. Срещат се само отделни моменти и някои исторически данни, но липсва завършена хронология на развитието.

Целта на настоящата публикация е да се проследи в хронологичен порядък развитието на кардановия съединител чрез използване на част от литературните източници, отразяващи отделни епизоди от него.

В основата на кардановия съединител е пръстеновидното шарнирно окачване-кардан (Фиг.1), използван от древни времена. Едно от приложенията му е в катапултите на древните гърци. Най-ранната информация за това произлиза от Филон Византийски [15] (древно гръцки инженер, механик и поет) от около 230 г. пр. н.е. Едно от изобретенията му била осмостенна мастилница с отвор на всяка страна. Независимо на коя страна е поставена мастилницата – мастилото не изтичало. Тайната се заключавала в това, че съда с мастило бил разположен в центъра на окачване, изградено от три концентрични пръстена, което запазвало стабилно положението му независимо от завъртането на мастилницата. Кардановото окачване било изобретено отново в Китай по времето на династия Хан (около 100 г. пр. н.е.) и отново преоткрито (или заимствано от Китай) в Европа през 10 век. През 1245-та година френският архитект на църкви Вилар де Онекур скицирал малка, сферична фурна, която е била окачена на пръстени. Около 1500-та г. Леонардо да Винчи начертава компас и кофа, монтирани върху пръстени [3].

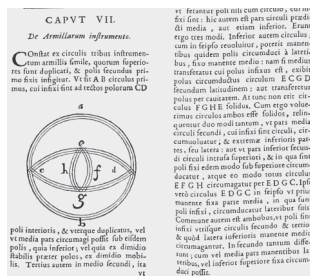


Фиг.1 Пръстеновидно окачване(кардан)

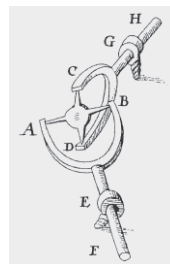
Въртящият се кардан е известен в Европа от доклада на математика, доктора и философа - Джироламо Кардано. През 1550-та г., в книгата си "De subtilitate libri XXI", той споменава за портшез (стол-носилка) на Император Карл V-ти "който е

монтиран в кардан" [2]. През 1557-ма г. той описва пръстеновидно свързване в "De armillarum instrumento". Завъртяни шахматно на 90 ° са свързани три пръстена един към друг, които имат до три степени на свобода (Фиг.2). То намира приложение при лампи, морски компаси и часовници, поставени така, че техния център на тежестта е по-ниско от точката на пресичане на осите на пръстените. Този тип свързване и съединителят който бил оформен от него, било наречено "карданово окачване" или "карданов съединител" на името на създателя му.

В своята книга "Mediolanensis philosophi ac medici" стр.163, Кардано пише



Фиг.2 Овален съединител на Джеронимо Кардано

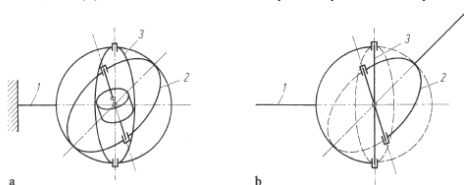


Фиг.3 Универсален съединител на Амикус

следното: "Видях такова устройство в къщата на съветника на Император Максимилиан, Йохан Сагер от Гиезенхагер, важен математик, доктор и философ в Пресбургската Епархия. Той не обясни как е проектирал това, а и аз не го попитах как". Това е доказателство, че окачването е било познато още преди Кардано и е било наречено "Кардановото окачване" или „кардан“ след това описание [2].

Необходимостта да се предава въртеливо движение посредством ъглов вал се появява още през 1300 г. при конструирането на часовникови кули. Стрелките и циферблатът не винаги лежали на една и съща ос затова трансмисията на въртенето е трябвало да бъде измествана нагоре, надолу или встрани. Един пример, описан през 1664 г. от йезуита Каспър Шот, е на часовника на Страсбургската Катедрала от 1354 г. [12]. Той описва, че наклонено задвижване може най-добре да се изпълни чрез кръстачка от четири опорни точки, която съединява два вала с вилки, разположени в краищата им (Фиг.3). Следователно, този универсален съединител е известен преди Шот. Той взема неговото описание от непубликувания ръкопис "Chronometria Mechanica Nova" от Амикус, който вече е бил починал. ABCD е кръстачка, на която противоположните краища АВ са монтирани в отворите на вилката на ABF. Другата двойка CD е свързана по същия начин с вилката CDH. Вилките са монтирани във фиксирани пръстени G и E [12,4].

Ако се анализира съединителят на Амикус, пряката връзка между Кардановото окачване и универсалния съединител може лесно да се забележи (Фиг. 4а и б). Шот е смятал , че двете вилки се въртят равномерно.

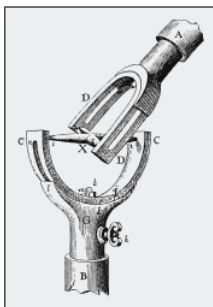


Фиг. 4а, б. Връзка между кардан и универсален съединител.

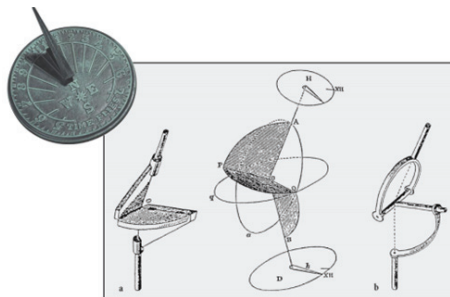
а "Карданово окачване" (16 в.). 1 закрепване, 2 въртящ се пръстен, 3 аксиален пръстен; б универсален съединител на Амикус (17ти век), удължен до карданово окачване, 1 задвижваща вилка, 2 задвижвана вилка, 3 кръстачка

През 1663 г. английският физик Робърт Хук, конструира част от апаратура, която включва свързване, различаващо се по форма от универсалния съединител на Амикус. През 1674г. в своята "Animadversions" [5] той описва хелиоскопа на астронома от Данциг, Йохан Хевелиус, в който участва универсален съединител. През 1676 г. той говорил за "съединител" и "универсален съединител", защото последният е способен на движения в различни посоки [4,6,7]. През 1678г. Хук публикува описание на тези връзки,което довело до използването на термините „съединител на Хук“ и „шарнир на Хук“ в англоговорящите страни.

Хук бил напълно запознат със съвременната математиката и имал умения в практическата кинематика. За разлика от Шот, въпреки че не е публикувал никакви



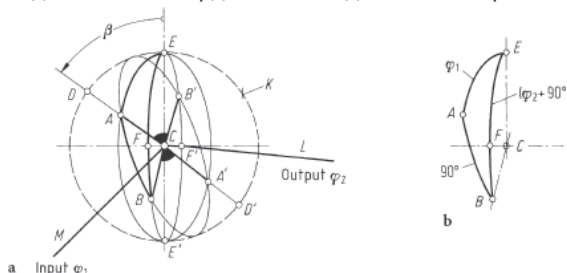
Фиг.5 Универсален съединител от хелиоскопа на Йохан Хевелиус



Фиг. 6 а, б Принцип на апарата за градуиране на слънчеви часовници според Робърт Хук 1674 г., а Двойна панта,разделяща устройството от оста на системата; б връзка между универсалния съединител и този елемент.

теории за това, се счита, че той е бил запознат с принципа на неравномерността на универсалния съединител. Тази неравномерност на движението Хук прилага в устройство, което извършва градуиране на скалата на слънчев часовник (Фиг. 6)[14], следвайки движението на сянката по циферблата. В действителност уравниенето на времето, което отчита наклона на екваториалната равнина спрямо еклиптиката е напълно аналогично с математическото описание на съединителя на Хук.

През 1824-та г. Понселе доказал, с помощта на сферичната тригонометрия, че ротационното движение на кардановия съединител не е равномерно (Фиг. 7а, б).



Фиг.7 а, б Доказателство за неравномерното ротационно движение на кардановия съединител от Ж. В. Понселе, 1824 г. а Оригиналната фигура [9,10]; б Сферичен триъгълник от а

Доказателството се състои в следното: Нека равнината, определена от двата вала CL и CM, да бъде хоризонталната равнина. Началната позиция на оста AA' на кръстачката е перпендикулярна на нея (ако AA' линията лежи в равнината на

валовете, тогава стартовата позиция е „във фаза“ [8]. Точките на свързване АВА'В' на кръстачката и вилките се движат по окръжности от повърхността на сферата К с радиус $AC=BC=A'C=B'C$. Кръговата повърхност ЕВЕ'В' застава перпендикулярно на вала CL, а кръговата повърхност DAD'A перпендикулярно на вала CM. Ъгълът на наклон DCE на тези повърхности, една към друга, е ъгълът на отклонение β на двата вала CL и CM.

Връзката между движенията била определена от Понселе чрез разглеждане на сферичния триъгълник АВЕ във Фиг.7b. Ако се приеме, че оста CM се е въртяла около дъгата $EA = \varphi_1$ докато оста CL се завърта около дъгата $FB = \varphi_2$ тогава, според косинусовата теорема [13]

$$\cos 90^\circ = \cos \varphi_1 \cos(90^\circ + \varphi_2) + \sin \varphi_1 \sin(90^\circ + \varphi_2) \cos \beta.$$

Тъй като $\cos 90^\circ = 0$ и след разделяне с $\cos \varphi_1 \sin \varphi_2$ Поселе получава

$$\tan \varphi_2 = \cos \beta \tan \varphi_1$$

или

$$\varphi_2 = \arctan(\cos \beta \tan \varphi_1) \quad (1)$$

Чрез първата производна на (1) по отношение на времето Понселе достига до извеждане на зависимост между ъгловите скорости на двата вала

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\cos \beta}{1 - \sin^2 \beta \cos^2 \varphi_1} \quad (2)$$

Уравнения (1) и (2) оформят основата за изчисляване на ъгловата разлика

$$\Delta \varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$

и съотношението на ъгловите скорости ω_2/ω_1 . За двете гранични условия (2) определя:

$$\begin{aligned} \varphi_2 = 0, \varphi_1 = 90^\circ &\Rightarrow \omega_2 = \omega_{\min} = \omega_1 \cos \beta, \\ \varphi_2 = 90^\circ, \varphi_1 = 180^\circ &\Rightarrow \omega_2 = \omega_{\max} = \omega_1 / \cos \beta. \end{aligned}$$

Доказва, че ъгъл на отклонение на валовете от 45° повишава ъгловата разлика $\Delta \varphi$ до около $\pm 10^\circ$, което поражда неприятни вибрации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кардановото окачване и кардановият съединител имат вековна история, началото на която е преди Новата ера. Те са изпреварили своето време, поради което техните следи за столетия се губят и биват отново преоткривани или взаимствани.

Важен тласък за развитието на кардановия съединител дава епохата на Възраждането и зараждащата се Техническа революция. Заслуга за достигането му до нашето съвремие имат цяла плеяда от именити учени и инженери. Сред тях се открояват имената на Джироламо Кардано, Робърт Хук и Жан-Виктор Понселе.

Кардано и Хук са считани за пионерите подготвили метода за разработка на универсалните съединители. Специализираните термини „карданов съединител“ и „шарнир на Хук“ ни напомнят за тези двама видни учени.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Арнаудов, К., Л.Димитров и др. За единна и правилна терминология в областта на зъбните предавки и на другите трансмисионни елементи. „Българско списание за инженерно проектиране“, 2011, брой 8, стр.9-10

[2] Cardano, N. Opera Omnia, tome X opuscula miscellanea ex fragmentis et paralipomenis, p. 488–489. De Armillarum instrumento. Lugduni (Lyon) 1663

[3] Feldhaus, F. M. Die Technik der Vorzeit, der Geschichtlichen Zeit und der Naturvolker (Engineering in prehistoric times, in historical times and by primitive man). Leipzig: Engelmann 1914, p. 678, 869–870

[4] Gunther, R. Th. Early Science in Oxford. Vol. VIII. The Cutler Lectures of Robert Hooke. Oxford 1931,

[5] Hooke, R. Animadversions on the first part of the Machina Coelestis of the Hon., Learned and deservedly Famous Astronomer Johannes Hevelius Consul of Dantzick, Together with an Explication of some Instruments. London: John Martyn Printer 1674, Tract II

[6] Hooke, R.: A Description of Helioscopes, and some other Instruments. London: John Martyn Printer 1676, Tract III

[7] 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

[8] 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

[9] Poncelet, J. V. Course of Mecanique appliquee aux Machines, deuxieme section: Du Joint brise ou universel (Mechanics course applied to machines, second section: Universal or Cardan Joint), Paris: Gauthier-Villars 1874

[10] Poncelet, J. V. Lehrbuch der Anwendung der Mechanik auf Maschinen (Textbook on the application of mechanics to machines). German version by C. H. Schnuse. Darmstadt: Leske 1845

[11] Roloff, H., W. Matek. Maschinenelemente (Machine Elements), 8th edition, part I. Brunswick Vieweg 1983, p. 399

[12] Schott, C. Technica curiosa sive mirabilia artis, Pars II, Liber Nonus, Mirabilia Chronometrica, propositio XIX. Nuremberg 1664, p. 618, 664–665,

[13] Szabo, I., K. Wellnitz, W. Zander. Mathematik-Hutte, 2nd edition, Berlin: Springer 1974, p. 86, 100, 177

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

[15] ru.wikipedia.org/wiki/Филон_Византийский

За контакти:

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

Доц. д-р инж. Емилия Ангелова, Катедра “Машинознание, машинни елементи и инженерна графика”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 461, e-mail: ang@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.