

# Modelowanie procesu kształtowania ślimaków przekładni spiroidalnej

## Modeling the process of shaping worm gears of spiroid gear

KAMIL WOJTKO  
PIOTR FRĄCKOWIAK\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.1.3>

W artykule przedstawiono metodę kształtowania ślimaków walcowych przekładni spiroidalnych o zarysach niesymetrycznych za pomocą dwóch narzędzi. Zwoje ślimaków nacinają się na tokarkach CNC wyposażonych w rewolwerową głowicę narzędziową, za pomocą ostrzy w postaci standardowych płytek skrawających. Zaprezentowano model geometryczny i technologiczny obróbki ślimaka walcowego przekładni spiroidalnych na tokarce CNC. Poprawność wyników numerycznych otrzymanych w opracowanym programie sprawdzono przez badania doświadczalne procesu nacinania ślimaków o zadanych parametrach. Nacięcie zwoju ślimaka wykonano na tokarce CTX210 z zastosowaniem nakładki ShopTurn – w module do nacinania gwintów. W procesie użyto standardowego noża tokarskiego z wymiennymi płytkami skrawającymi oraz noży tokarskich o specjalnie zaprojektowanej konstrukcji. Badania przeprowadzono dla różnych parametrów skrawania i różnych materiałów płytek skrawających.

**SŁOWA KLUCZOWE:** przekładnia spiroidalna, ślimaki walcowe, toczenie

*The article presents various methods of shaping cylindrical spiroid worm gear of asymmetrical outline using two tools. Cutting thread of worm gears is made on CNC lathes with blades in the form of universal inserts. Shows the geometric model and technological machining cylindrical worm gear spiroid on a CNC lathe. The correctness of the test results obtained in numerical developed program was tested through experimental studies of the process of cutting worm gears given parameters. Cutting process of worm gears was made on a lathe CTX210 using overlay ShopTurn in module for threading. The process uses a standard turning tool with interchangeable inserts and turning tools with a specially designed geometry. Studies performed on various cutting parameters and for a various materials of cutting inserts.*

**KEYWORDS:** spiroid gear drive, cylindrical worm gears, turning

Rozwój obrabiarek sterowanych numerycznie oraz materiałów narzędziowych wymusza badania nad nowymi technologiami. W przypadku technologii ubytkowych tendencje do obniżania kosztów wytwarzanych elementów maszyn i urządzeń są ukierunkowane na stosowanie produkowanych masowo wymiennych ostrzy narzędzi w postaci płytek z węglików spiekanych. Dobór geometrii i materiału ostrza skrawającego zależy od obrabianego materiału oraz parametrów technologicznych procesu skrawania.

Analizując sposób kształtowania walcowych ślimaków przekładni spiroidalnych, należy zwrócić uwagę na różnicę między nimi a ślimakami wykorzystywanymi w przekładniach ślimakowych. Norma rosyjska GOTS 22850-77 dotycząca przekładni spiroidalnych zawiera m.in. opis kilkunastu odmian takich przekładni i technologii wykonania ślimaków (stożkowych i walcowych). Cechą odróżniającą ślimaki przekładni spiroidalnej od ślimaków przekładni ślimakowych jest występowanie niesymetrycznych zarysów zwoju ślimaka. W przekładniach ślimakowych oba kąty zarysu zwoju ślimaka mają najczęściej po  $20^\circ$  [20], natomiast w przekładniach spiroidalnych są one zawsze różne, a ich wartość oblicza się dla danego przypadku rozwiązania konstrukcyjnego [1–5, 10, 18, 20]. Sumę kątów zarysu zwoju ślimaka najczęściej przyjmuje się jako  $40^\circ$  dla rozwiązań przekładni spiroidalnych o największej sprawności oraz ok.  $35^\circ$  dla przekładni, od której wymaga się większej dokładności kinematycznej, natomiast sprawność ma tutaj mniejsze znaczenie (np. w aplikacjach do stołów obrotowych) [6–8].

Różne sposoby kształtowania zwoju ślimaka przekładni ślimakowych zostały opisane m.in. w [12–14, 20], gdzie omówiono podstawy teoretyczne i technologiczne. Najczęściej jednak obróbka kształtująca zwoju ślimaka odbywa się na tokarce, a obróbka wykończeniowa – na szlifierce, po obróbce cieplnej. W aplikacjach przekładni ślimakowej w stołach obrotowych zazwyczaj stosowane są ślimaki dwuskokowe, które umożliwiają regulację luzu międzyzębnego. Japońska firma Nikken wykonuje ślimaki z węglików spiekanych [9], co zapewnia największą trwałość ślimaka, aczkolwiek koszt jego wytworzenia jest bardzo duży w porównaniu ze ślimakami ze stali stopowych.

W przekładniach spiroidalnych zwoje ślimaka mogą być kształtowane za pomocą głowicy frezowej [3] lub na tokarkach i wykańczane specjalną metodą szlifowaniem [16, 17]. Obróbkę wykończeniową zwoju ślimaka (po obróbce cieplnej) wykonuje się również na tokarce z dużą prędkością skrawania (tokarka musi mieć elektrowrzeciono) i z wykorzystaniem ostrzy z cermetali [18].

### Kształtowanie zwoju ślimaka przekładni spiroidalnej z wykorzystaniem płytki romboidalnej

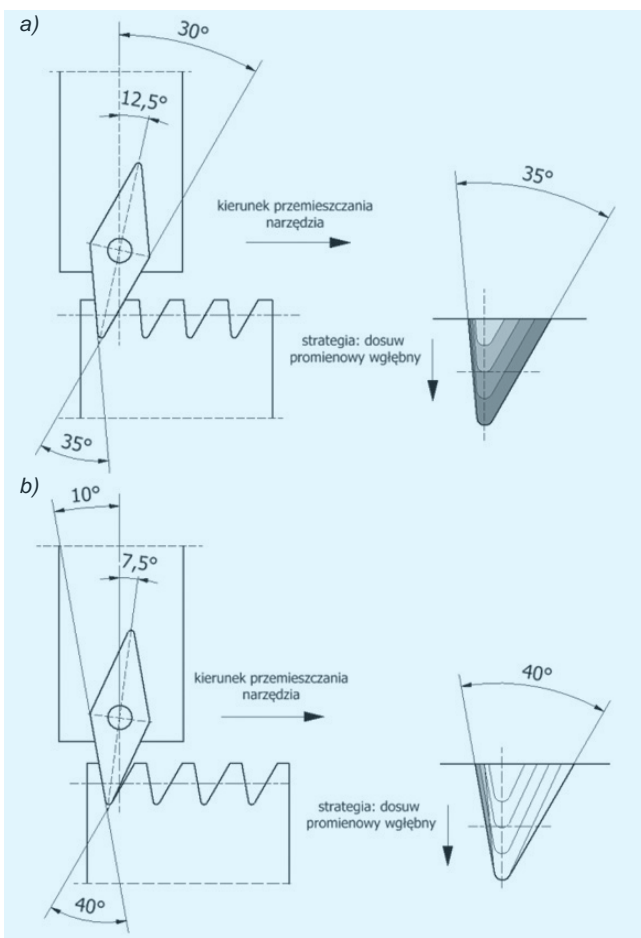
W katalogach producentów są dostępne płytki z węglików spiekanych o różnej geometrii i z różnych materiałów. Do badań kształtowania zwoju ślimaka przekładni spiroidalnej wybrano płytkę romboidalną o kącie wierzchołkowym  $35^\circ$ , co odpowiada minimalnej wartości kąta zwoju ślimaka obecnie produkowanych przekładni spiroidalnych przeznaczonych do stołów obrotowych [6–8, 10, 20].

\* Mgr inż. Kamil Wojtko (kamil.wojtko@put.poznan.pl), dr hab. inż. Piotr Frąckowiak (piotr.frackowiak@put.poznan.pl) – Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej

W przypadku użycia do nacinania zwoju ślimaka dostępnej na rynku oprawki tokarskiej do płytek romboidalnych należy ją skrócić pod odpowiednim kątem w uchwycie tokarki, aby zapewnić właściwe ustawienie płytki w stosunku do wałka, w którym będzie nacinany zwoj ślimaka. Przykładowy sposób zamocowania noża tokarskiego w oprawce tokarskiej głowicy rewolwerowej, którego ustawienie kątowe uzyskano za pomocą kątomierza, przedstawiono dalej na rys. 4.

Wybór strategii nacinania zwoju ślimaka przekładni spiroidalnej z wykorzystaniem płytki romboidalnej w dużej mierze zależy od geometrii płytki (kąta przystawienia) i kątów zarysu niesymetrycznego zwoju ślimaka. Zależności te są opisane odpowiednimi wzorami [15].

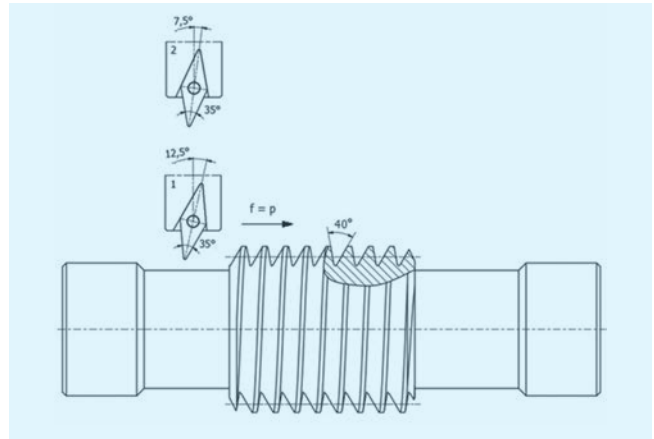
W praktyce [20] możliwa jest tylko strategia nacinania zwoju ślimaka z przemieszczaniem narzędzia w kierunku większego kąta pochylenia powierzchni bocznej zwoju ślimaka (rys. 1).



Rys. 1. Położenie pierwszego (a) i drugiego (b) noża tokarskiego oraz sposób zagłębiania ostrza w materiał

Nacięcie zwoju ślimaka o kącie większym od kąta wierzchołkowego płytki (noża tokarskiego) wymaga zastosowania dwóch noży tokarskich z ustawionymi kątami (rys. 2).

W celu prawidłowego wykonania zwojów ślimaka należy odpowiednio zorientować drugie narzędzie, które będzie kształtowało zwoj ślimaka względem obrabianego półfabrykatu w postaci wałka, oraz odpowiednio ustalić położenie kątowe ślimaka [11]. W zależności od rodzaju ślimaka (walcowy lub stożkowy) narzędzie porusza się równoległe do tworzącej walca lub stożka. Obróbkę zgrubną zwojów ślimaka należy przeprowadzić w kilku przejściach narzędzia, pozostawiając naddatek na obróbkę wykończeniową.



Rys. 2. Położenie narzędzia do obróbki każdej z powierzchni bocznych zwoju ślimaka

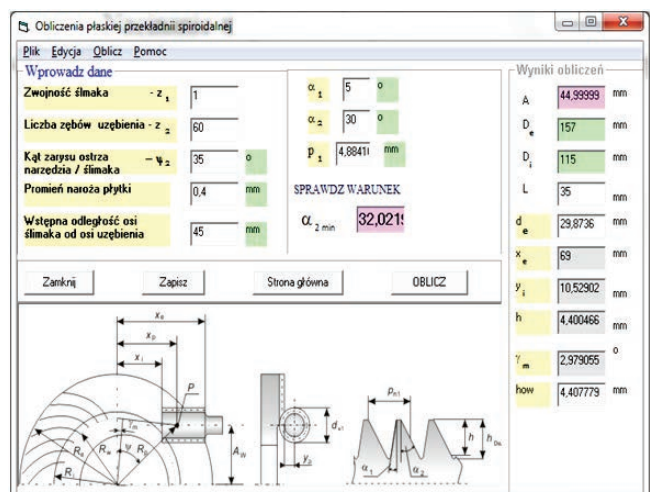
Zagwarantowanie poprawnej geometrii ślimaka wymaga przeprowadzenia obróbki każdej z jego bocznych powierzchni zwojów osobno. W tym celu zastosowano dwa noże tokarskie o odpowiedniej geometrii i przeprowadzono obróbkę, stosując strategię zagłębiania ostrza skrawającego w materiał poprzez dosuw promieniowy wglębny dla obu noży.

Badanie procesu nacinania zwoju ślimaka polegało na zastosowaniu w badaniach wstępnych standardowego noża tokarskiego, umieszczonego pod odpowiednim kątem w oprawce, natomiast w badaniach zasadniczych wykorzystano specjalnie zaprojektowane noże tokarskie. Podczas badań przeprowadzono obróbkę ślimaków do przekładni o przełożeniach 1:60 oraz 1:90. Obróbkę wykonano na tokarce CTX210.

### Badania procesu nacinania zwoju ślimaka z zastosowaniem standardowych narzędzi

Wstępne badania, które miały na celu sprawdzenie poprawności opracowania programu komputerowego, przeprowadzono z użyciem standardowego noża tokarskiego. Na rys. 3 przedstawiono okno programu z wymiarami nacinanego ślimaka.

Na podstawie wyników obliczeń geometrii przekładni spiroidalnej, w której ślimak walcowy współpracuje z uzębieniem czołowym, opracowano specjalne konstrukcje narzędzi do nacinania zwojów ślimaków (zarysy



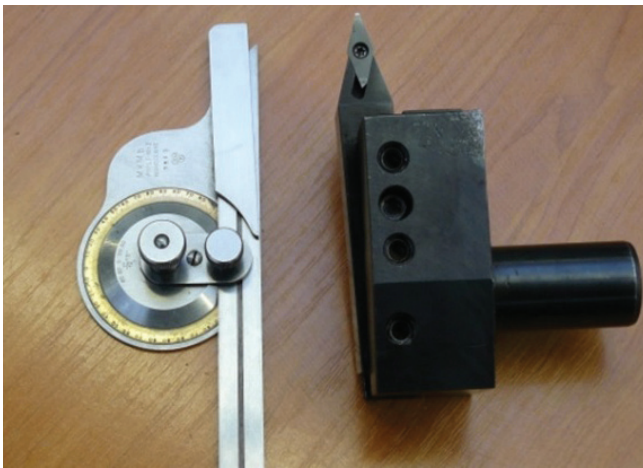
Rys. 3. Widok okna programu komputerowego do wyznaczania wymiarów geometrycznych kształtowanych ślimaków do przekładni o przełożeniu 1:60. Kąty pochylenia  $\alpha_1 = 5^\circ$ ,  $\alpha_2 = 30^\circ$

niesymetryczne). Opracowane prototypy konstrukcyjne narzędzi (noże tokarskie) umożliwiają nacinanie niesymetrycznych zwojów ślimaka Archimedesa. W ramach prac badawczych testowano te narzędzia na tokarce CNC.

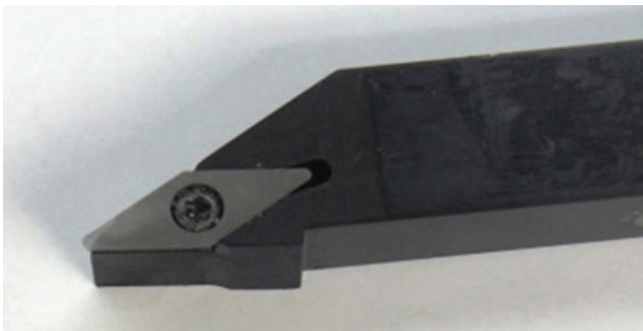
Do nacinania uzwojenia zastosowano nóż tokarski z wymiennymi płytkami skrawającymi. Nóż umieszczono w oprawce, natomiast w celu ustawienia odpowiednich kątów zarysu ostrza w układzie współrzędnych tokarki posłużono się kątomierzem (rys. 4).

Do dalszych badań zostały opracowane nowe noże tokarskie o konstrukcji przedstawionej na rys. 5. Zaprojektowany nóż tokarski jest wyposażony w gniazdo na płytki romboidalne o kącie wierzchołkowym  $35^\circ$ . Badania przeprowadzono dla ślimaków walcowych o następujących geometriach i zarysach zwojów:

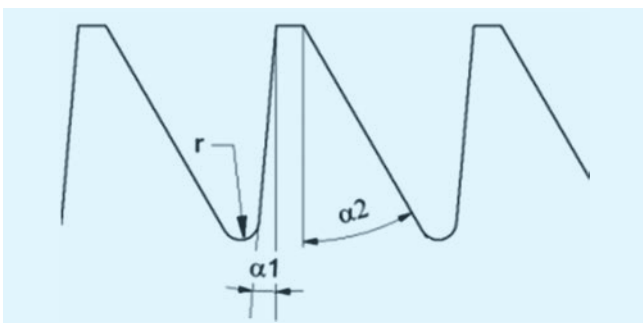
- wariant I –  $\alpha_1 = 3^\circ$ ,  $\alpha_2 = 33^\circ$ ,  $r = 0,2; 0,4; 0,8$  mm;
- wariant II –  $\alpha_1 = 5^\circ$ ,  $\alpha_2 = 33^\circ$ ,  $r = 0,2; 0,4; 0,8$  mm;
- wariant III –  $\alpha_1 = 7^\circ$ ,  $\alpha_2 = 33^\circ$ ,  $r = 0,2; 0,4; 0,8$  mm.



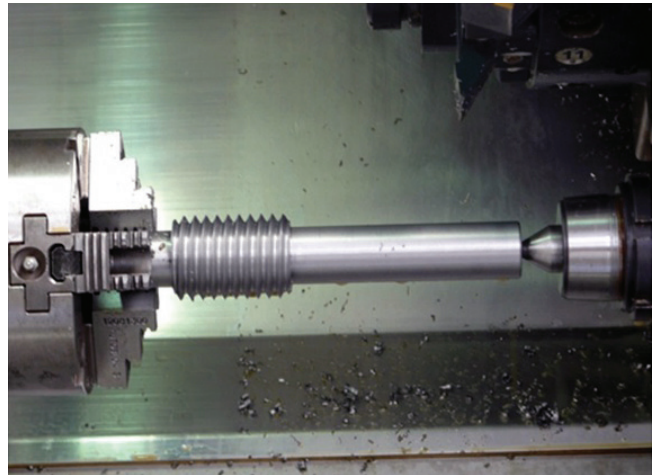
Rys. 4. Ustawienie noża tokarskiego w oprawce mocowanej w głowicy tokarskiej



Rys. 5. Widok zaprojektowanego noża tokarskiego (wraz z płytką skrawającą) umożliwiającego nacięcie zwoju ślimaka o kątach  $\alpha_1 = 5^\circ$ ,  $\alpha_2 = 30^\circ$



Rys. 6. Geometria nacinanych zwojów ślimaka



Rys. 7. Widok nacinanego ślimaka



Rys. 8. Widok ostrzy noży tokarskich po badaniach nacinania zwoju ślimaka

Badano proces nacinania zwojów ślimaków na wałkach o różnych średnicach i skokach oraz dla różnej geometrii (różnych wartości modyfikacji). Badania przeprowadzono z użyciem noży tokarskich o ostrzu w postaci wymiennej płytki romboidalnej z węglików spiekanych. W trakcie badań zmieniano:

- parametry skrawania – prędkość skrawania, liczbę przejść, liczbę końcowych przejść wykończeniowych, liczbę przejść wykończeniowych po jednym przejściu roboczym (wykorzystano możliwości standardowego programu do nacinania gwintów w systemie ShopTurn firmy Siemens, w który wyposażona jest tokarka);
- rodzaj płytki skrawającej – z powłoką i bez powłoki, przeznaczone do aluminium;
- promień naroża płytki – 0,2; 0,4 i 0,8 mm.

Na rys. 7 przedstawiono widok naciętego zwoju ślimaka (według danych z rys. 3), a na rys. 8 – zaprojektowane noże tokarskie wraz z płytkami skrawającymi, używane w trakcie badań.

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania potwierdziły możliwość nacinania zwoju ślimaka z wykorzystaniem dwóch noży tokarskich i tokarki sterowanej numerycznie. Badanie procesów nacinania zwojów ślimaków z zastosowaniem noży o różnej konstrukcji, różnych płytek skrawających i różnych parametrów skrawania pozwoliło na wysunięcie następujących wniosków:

- do nacinania zwojów ślimaka powinno się stosować płytki o promieniu zaokrąglenia naroża ostrza nie mniejszym niż 0,4 mm – zalecany promień wynosi 0,8 mm;
- po każdym przejściu zgrubnym należy wykonać co najmniej trzy przejścia dogładzające;
- parametry skrawania muszą być zgodne z zaleceniami producenta płytek skrawających;
- należy stosować obróbkę zwoju ślimaka ze stycznym zagłębianiem krawędzi ostrza narzędzia, kształtującą większy kąt zwoju ( $\alpha_2$ ).

Zastosowanie oprogramowania ShopTurn znacznie upraszcza przygotowanie procesu nacinania zwojów ślimaka. Wbudowana nakładka w programie pozwala na określenie położenia początkowego narzędzia, co z kolei umożliwia obróbkę zwojów ślimaka kilkoma narzędziami (obróbkę zgrubną i wykończeniową). W przypadku obróbki cieplnej wałka ślimaka istnieje możliwość obróbki wykończeniowej zwojów. Ślimak musi być każdorazowo ustawiany w tej samej pozycji katowej (w programie ShopTurn określa się początkowe położenie katowe ślimaka), np. z użyciem specjalnego oprzyrządowania.

#### LITERATURA

1. Frąckowiak P. „Ślad zazębienia w płaskiej przekładni spiroidalnej”. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji*. 29, 4 (2009): s. 59–71.
2. Frąckowiak P. „Modelowanie procesu technologicznego kształtowania uzębienia stożkowej przekładni spiroidalnej”. *Modelowanie Inżynierskie*. 40 (2010): s. 61–69.
3. Litvin F.L., Nava A., Fan Q., Fuentes A. “New geometry of worm gear drives with conical and cylindrical worm: generation, simulation of meshing, and stress analysis”. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 191 (2002): s. 3035–3054.
4. Saari O. “The mathematical background of spiroid gear”. *Industrial Mathematics Series*. Detroit: Detroit Wayne state University Press, 1956.
5. Goldfarb V. “Theory of design and practice of development of spiroid gearing”. *Proc. of Congress “Gear Transmissions 95”*. Sofia, 1995.
6. Grajdek R. “Uzębienia czołowe: podstawy teoretyczne kształtowania i nowe zastosowania”. Poznań: Politechnika Poznańska, 2000.
7. Grajdek R. „Podstawy teoretyczne kształtowania uzębienia czołowych metodami skrawania”. Rozprawy nr 233. Poznań: Politechnika Poznańska, 1990.
8. Staniek R. „Stoły obrotowe sterowane numerycznie: podstawy teoretyczne, konstrukcja, technologia i badania”. Poznań: Politechnika Poznańska, 2005.
9. <http://www.nikken-world.com/Downloads/nikken-cnc-rotary-table-catalogue.pdf> (dostęp: 20.09.2017 r.).
10. Frąckowiak P. „Modelowanie współpracy ślimaka stożkowego z kołem o uzębieniu czołowym w przekładni spiroidalnej”. *Modelowanie Inżynierskie*. 24, 55 (2015): s. 27–33.
11. Frąckowiak P., Netter K. Patent nr 220063, Sposób ustawienia położenia katowego i osiowego ślimaka do obróbki wykańczającej, 2015 r.
12. Marciniak T. „Przekładnie ślimakowe walcowe”. Warszawa: PWN, 2001.
13. Skoczylas L. „Geometria zazębienia przekładni ślimakowej przy zmodyfikowanym zarysie ślimaka Archimedesesa”. *Mechanik*. 2 (2007).
14. Ochęduszek K. „Koła zębate – konstrukcja”. Tom I. Warszawa: WNT, 1985.
15. Dudik K. „Poradnik tokarza”. Warszawa: WNT, 1985.
16. Abu Shreehah T.A., Abdullah R.A. “Mathematical aspect for worm grinding using a toroidal tool”. *Journal of Applied Sciences*. 4 (4) (2004): s. 526–530.
17. Rasheed A. Abdullah, Tareq A. Abu Shreehah. “Finishing the concave shape of the worm thread”. *Machining Science and Technology: An International Journal*. 9:4 (2007): s. 589–599.
18. Dudás I., Bodzás S., Dudás I.Sz., Mándy Z. “Development of spiroid worm gear drive having arched profile in axial section and a new technology of spiroid worm manufacturing with lathe center displacement”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 79 (2015): s. 1881–1892.
19. Mohan L.V., Shunmugam M.S. “Geometrical aspects of double enveloping worm gear drive”. *Mechanism and Machine Theory*. 44 (2009): s. 2053–2065.
20. Faydor L. Litvin, Ignacio Gonzalez-Perez, Kenji Yukishima, Alfonso Fuentes, Kenichi Hayasaka. “Design, simulation of meshing, and contact stresses for an improved worm gear driver”. *Mechanism and Machine Theory*. 42 (2007): s. 940–959. ■