

Wykorzystanie systemów CAD/CAE w projektowaniu głowicy do gwintowania na prasie wielotaktowej

Using of CAD/CAE systems in designing of head for thread drilling on multirate stamp press

ANDRZEJ PIOTROWSKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.7.62>

Opisano wykorzystanie systemów komputerowych CAD/CAE w projektowaniu jednostki do gwintowania wiórowego i bezwiórowego oraz rozwiercania na prasie wielotaktowej. Przedstawiono model urządzenia do gwintowania wraz z podstawowymi obliczeniami. Ponadto opisano projekt narzędzia zespolonego do wykrawania i rozwiercania wykończeniowego otworu.

SŁOWA KLUCZOWE: gwintowanie, prasa wielotaktowa, projektowanie CAD/CAE

The using of CAD/CAE systems in design of head for thread drilling and reaming on multirate stamp press was described. It was presented model of device for thread drilling with the basics calculation. Furthermore, design of special tool for reaming and cutting in one step was described.

KEYWORDS: thread drilling, multirate press, CAD/CAE systems.

Połączenie gwintowe należy do najtrwalszych oraz najczęściej stosowanych połączeń na świecie. Można je znaleźć praktycznie wszędzie: w konstrukcjach nośnych budynków, samochodach osobowych, podzespołach komputerów osobistych, a nawet w zwykłych długopisach [2, 3, 23].

Proces tworzenia gwintów to popularna operacja wykonywana w zakładach produkcyjnych. Jest kilkanaście metod formowania gwintów. Procesy technologiczne wraz ze stosowanymi w nich narzędziami można podzielić na dwa rodzaje – gwintowanie zewnętrzne i wewnętrzne.

Z reguły proces gwintowania stanowi oddzielną operację i jest realizowany na tokarkach oraz frezarkach [1, 8, 15, 24, 25].

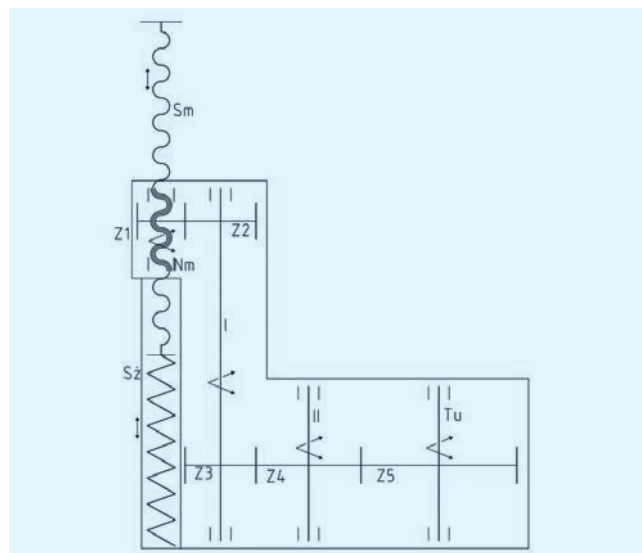
Przedstawiony w artykule problem wynikał bezpośrednio z potrzeb polskiego przemysłu mechanicznego. Firma zajmująca się produkcją narzędzi do wykrawania na prasie wielotaktowej zwróciła się z propozycją opracowania procesu gwintowania w kołnierzach oraz w blachach grubych bezpośrednio na prasie, bez potrzeby wykonywania dodatkowych operacji na innych typach maszyn. Wynikiem współpracy było opracowanie procesu i uniwersalnej głowicy umożliwiającej gwintowanie w pojedynczym takcie prasy, a także specjalnego narzędzia do wykrawania otworu oraz rozwiercania z użyciem opracowanej głowicy zamieniającej ruch posuwisty prasy na ruch obrotowy narzędzia.

Założenia projektu

Głowice do gwintowania na prasie w elementach z blachy charakteryzują się możliwością przetwarzania ruchu liniowego prasy w ruch roboczy gwintownika, innymi słowy – zamianą ruchu posuwisto-zwrotnego na ruch obrotowy [10]. Zwrot ruchu posuwisto-zwrotnego zmienia się systematycznie, natomiast kierunek jest niezmienny i z reguły

jest prostopadły do obrabianego detalu. W zależności od konstrukcji jednostek gwintujących, zmiany zwrotu ruchu prostoliniowego mogą zachodzić w sposób harmoniczny lub przerywany. Natomiast ruch obrotowy jest to ruch, w którym wszystkie punkty umieszczone na danym przedmiocie poruszają się po okręgach, których środek jest taki sam i nazywany jest osią obrotu przedmiotu.

Na rys. 1 przedstawiono jednostkę gwintującą z wyróżnieniem zamiany ruchu posuwisto-zwrotnego prasy na ruch obrotowy gwintownika [16]. Głowica składa się ze śruby mechanizmu śrubowo-tocznego zamieniającego ruch posuwowy na ruch obrotowy, przekładni zębatej umożliwiającej dopasowanie liczby obrotów, sprężyny dociskowych oraz obudowy.



Rys. 1. Schemat kinematyczny głowicy do gwintowania na prasie: S_m – śruba mechanizmu śrubowo-tocznego, N_m – nakrętka, S_z – sprężyna, I – wałek pierwszy, II – wałek drugi, T_u – specjalna tuleja umożliwiająca zamocowanie oprawki na gwintowniku, Z_1 – Z_5 przekładnia zębata składająca się z pięciu kół zębatach [12]

Elementem decydującym o parametrach urządzenia była posiadana przez współpracującą firmę prasa EUROMET PH40T, dlatego w oparciu o jej parametry oraz rodzaj prasowanych blach wykonano obliczenia umożliwiające prawidłowe zaprojektowanie głowicy gwintującej [4, 7, 13, 14, 16]. Prasa ma tylko prędkość roboczą suwaka oraz prędkość ruchu powrotnego, a nie ma dodatkowej prędkości dobiegowej suwaka (w którą są wyposażone inne prasy hydrauliczne) [5].

Ponieważ, z założenia, głowica miała być uniwersalna, z możliwością przebrojenia (wymiany śruby mechanizmu śrubowo-tocznego oraz zmiany przełożeń przekładni zębatej), wykorzystano oprogramowanie CAD/CAE Autodesk Inventor 2015 [6]. Umożliwia ono stworzenie modelu 3D głowicy oraz modyfikację konstrukcji polegającą na wymianie poszczególnych elementów (zespołów) mechanizmu. Ponadto ma wbudowany moduł CAE, pozwalający

* Dr inż. Andrzej Piotrowski (apiotr@itm.pcz.pl) – Politechnika Częstochowska, WIMiI

na wykonanie modelowania obciążeń opracowanej konstrukcji. Oprogramowanie umożliwia także automatyzację procesu tworzenia rysunków złożeniowych oraz konstrukcyjnych poszczególnych części głowicy [6].

Najważniejszym elementem głowicy gwintującej jest mechanizm śrubowo-toczny, przekształcający ruch posuwisto-zwrotny w ruch obrotowy.

Śruba jest wykonana ze stali C45 o średniej twardości [16]. W rozpatrywanym przypadku śruba jest obciążona siłą osiową pochodzącą z siły nacisku prasy hydraulicznej. Siła osiowa wywołuje naprężenia ściskające, natomiast moment skręcający wywołuje naprężenia skręcające śruby. Dodatkowo o wytrzymałości śruby będzie decydować wytrzymałość na wyboczenie.

Z dwóch stron śruba nie jest w żaden sposób przymocowana (rys. 2 i 3), jedynie na obu końcach śruby są zamontowane tarcze zwiększające powierzchnię, na którą z jednej strony będzie działała siła nacisku prasy, a z drugiej – siła nacisku sprężyny [9, 12]. Dlatego założono, że smukłość śruby będzie miała większą wartość niż smukłość graniczna, i wykorzystano wzór Eulera.

Na tej podstawie obliczono średnicę wewnętrzną i dobrano mechanizm śrubowo-toczny ze śrubą lewozwojną oraz gwintem kulowym (tablica). Dobra śruba z nakrętką ma stały skok, umożliwiającą gwintowanie z użyciem tradycyjnych gwintowników skrawających oraz wygniatających. W opracowanym narzędziu (rys. 4) do wycinania i rozwiercania otworu śruba ma zmienny skok.

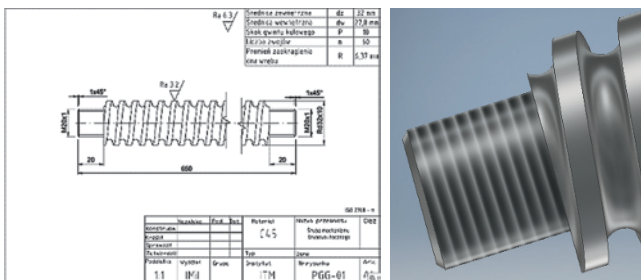
TABLICA. Parametry mechanizmu śrubowo-tocznego HIWIN [21, 22]

Średnica wewnętrzna śruby	$d_w = 27,8 \text{ mm}$
Średnica zewnętrzna śruby	$d_z = 32 \text{ mm}$
Skok gwintu	$P = 10 \text{ mm}$
Średnica kulki	$d_k = 6,35 \text{ mm}$
Maksymalny luz osiowy	$B = 0,02 \text{ mm}$

Prędkość obrotowa nakrętki zależy od prędkości skoku suwaka oraz od podziałki gwintu kulowego śruby. Dla prędkości posuwu suwaka równej 94 mm/s i przy założeniu 95% sprawności prędkość obrotowa nakrętki mechanizmu wynosi 188,4 obr/min.

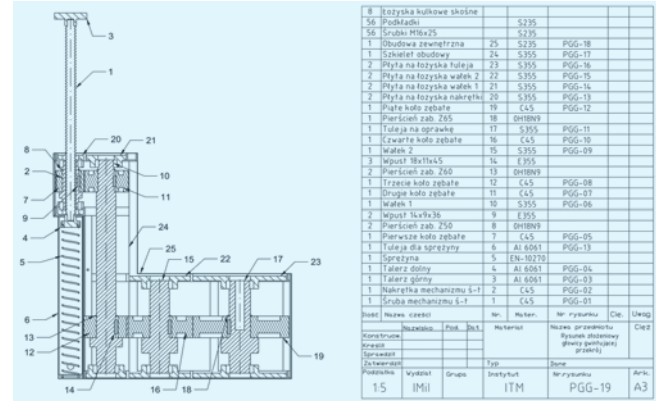
Uzyskana prędkość obrotowa nakrętki jest przekazywana do gwintownika poprzez przekładnię zębatą. Przełożenie kinematyczne pomiędzy kolejnymi kołami zębatymi jest zawsze równe i wynosi 1:1,5, co sprawia, że ostateczna prędkość obrotowa narzędzia wynosi 55,8 obr/min.

Przekładnia zębata składa się pięciu kół zębatych (Z1–Z5) o zębach prostych i liczbie zębów: Z1 = 29 zębów, Z2 = 44 zęby, Z3 = 44 zęby, Z4 = 66 zębów, Z5 = 99 zębów. Wszystkie obliczenia wykonano z założeniem trwałości rocznej $L_h = 6000 \text{ h}$ (ISO 281:2007) [11, 17–20, 23, 25].



Rys. 2. Rysunek konstrukcyjny oraz model 3D śruby mechanizmu śrubowo-tocznego wykonanej w programie AutoDesk Inventor 2015 [6]

W celu zniwelowania różnic pomiędzy posuwem a skokiem wykonywanego gwintu dobrano oprawkę mechaniczną z kompensacją osiową, która umożliwiła osiowe przemieszczanie się gwintownika. Dodatkowo zastosowano specjalny zabierak, który uchroni gwintownik przed zniszczeniem w przypadku nagłego zwiększenia oporów podczas gwintowania wewnętrznego lub kolizji w trakcie pracy.



Rys. 3. Rysunek złożeniowy uniwersalnej głowicy do gwintowania na prasie [12] (program AutoDesk Inventor 2015)

Narzędzie do wykonywania i rozwiercania otworów

Opracowana głowica jest urządzeniem uniwersalnym i może zostać wykorzystana także do rozwiercania otworów z użyciem klasycznych rozwiertaków oraz specjalnego narzędzia, które w pojedynczym taktie prasy wykrawa otwór, a następnie wykonuje jego rozwiercanie. Jedyną modyfikacją polega na zmianie kształtu śruby mechanizmu śrubowo-tocznego. W początkowej części linia zębów musi być prosta (brak obrotu) – do wykrawania, a następnie ma kształt śrubowy (obrót narzędzia) – do rozwiercania.

Znana technologia wytwarzania elementów kształtowych, zwłaszcza z otworami, z różnych gatunków blach w procesie wykrawania w pojedynczym cyklu pracy na prasach polega na zastosowaniu stempla o kształcie (w przekroju prostokątnym) zgodnym z kształtem wykrawanego otworu. Przy czym odcięta część materiału staje się odpadem. W trakcie wykrawania – identycznie jak w przypadku gwintowania – stempel porusza się na prasach prostoliniowo w osi prostopadłej do powierzchni matrycy.

Klasyczna konstrukcja stempla uwzględnia zerowy kąt natarcia, czyli powierzchnia boczna stempla jest prostopadła do powierzchni wykrawanego elementu. Spotykane są także konstrukcje z niewielkim ($2 \div 5^\circ$) kątem natarcia. Siła nacisku skierowana jest poosiowo, czyli prostopadle do powierzchni matrycy.

Ubočnym efektem klasycznego procesu wykrawania jest niewielka dokładność wymiarowa wykonanego otworu, mieszcząca się w granicach klasy dokładności IT9÷IT11. Ponadto, na skutek płynięcia, powierzchnia otworu jest postrzępiona na krawędziach wykrawania, a pod spodem powstaje charakterystyczna, niewielka wypływka.

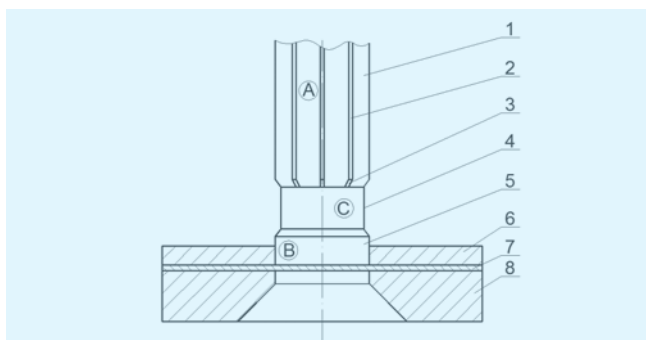
W przypadku wysokich wymagań wobec otworów, np. pasowanie H i klasa dokładności IT5÷IT7, muszą być one dodatkowo obrabiane w kolejnych zabiegach technologicznych na innych obrabiarkach, co zwiększa koszty obróbki oraz wydłuża jej czas. Szczególne znaczenie ma to w przypadku otworów o przekroju okrągłym, wykonywanych w kominach powstałych w kilku taktach prasy, o wysokości $h \geq 2,5 g$ (gdzie: h – wysokość komina, g – grubość materiału tłoczonego). Bardzo często pełnią one rolę otworów bazowych i muszą być wykonywane w wysokich klasach dokładności.

Skonstruowane narzędzie (rys. 4) w trakcie pojedynczego taktu prasy wykonuje dwa ruchy. Pierwszy jest ruch poosiowy prostoliniowy w czasie wykrawania zgrubnego.

Część zgrubna (B), o długości ok. 20÷25% całego narzędzia (zależnie od grubości materiału), porusza się prostopadle do powierzchni wykrawanego elementu, zgodnie z kierunkiem działania prasy. Jej konstrukcja odpowiada klasycznej budowie stempla.

Natomiast dla części wykończeniowej (A) stempla, oddzielonej od części zgrubnej przewężeniem (4), wprowadzany jest dodatkowy ruch obrotowy. Ponieważ wyposażona jest w ostrza skrawające (1) umieszczone na obwodzie, następuje klasyczny proces skrawania (rozwiercania), a w efekcie – wygładzenia powierzchni otworu. Ponadto odcinana jest wyplývka znajdująca się na spodniej części obrabianego materiału.

Część wykończeniowa rozpoczyna się nakrojem, którego kąt jest zależny od obrabianego materiału i ma średnicę większą o ok. 0,1÷0,2 mm, zgodną z nominalnymi wymiarami wykonywanego otworu.



Rys. 4. Narzędzie do wykrawania i rozwiercania otworów w wysokich klasach dokładności: A – część wykończeniowa, B – część zgrubna, C – przewężenie. 1 – ostrza skrawające o zarysie prostym, 2 – łysinki, 3 – nakrój, 4 – przewężenie w kształcie walca, 5 – wykrojnik, 6 – płyta prowadząca, 7 – wykrawany materiał, 8 – matryca

Podsumowanie

Z wykorzystaniem zaawansowanego systemu CAD/CAE AutoDesk Inventor 2015 [6] opracowano projekt głowicy gwintującej oraz specjalnego narzędzia do wykrawania i rozwiercania otworów na prasie wielotaktowej. Skonstruowana głowica jest uniwersalna i spełnia wymagania stawiane urządzeniom w procesach gwintowania i rozwiercania.

Zastosowanie oprogramowania CAD umożliwia prostą wymianę poszczególnych modułów głowicy: śruby mechanizmu śrubowo-tocznego oraz zespołu kół zębatych tworzących przekładnię zębatą. Na podstawie modeli 3D konstruktor może sprawdzić poprawność kinematyczną mechanizmu oraz wykonać obliczenia wytrzymałościowe w module CAE.

Przedstawiona głowica gwintująca na prasie jest urządzeniem uniwersalnym. Zaprezentowane w artykule podstawowe parametry urządzenia obliczono dla klasycznego procesu gwintowania z użyciem gwintowników skrawających do maksymalnej średnicy 40 mm. W przypadku wygniatania gwintu wewnętrznego występują o wiele większe momenty skręcające niż przy gwintowaniu gwintownikiem skrawającym, przez co metoda ta wymaga nadania o wiele większego momentu obrotowego. Wiąże się to ze zmianami konstrukcyjnymi śruby mechanizmu śrubowo-tocznego i przełożeń przekładni zębatej.

Dzięki użyciu narzędzi CAD/CAE w oparciu o istniejący model 3D przekonstruowano głowicę i dostosowano jej

parametry do wygniatania gwintów. Przyspiesza to proces tworzenia kolejnych wersji urządzenia do innych typów procesu gwintowania oraz rozwiercania. Przy czym nie ulegają zmianie pozostałe elementy głowicy, a przede wszystkim kształt i rozmiar obudowy oraz rozstawienie i sposób mocowania na płycie matrycy, co ułatwia przezbieranie narzędzia wielotaktowego w zależności od wykonywanego zadania.

Opracowane narzędzie wykrawająco-rozwiercające ma prostą konstrukcję, jest bardzo dokładne i wygodne w eksploatacji. Może być narzędziem monolitycznym albo składanym, wyposażonym w wymienne ostrze lub ostrza wykonane z materiałów supertwardych. Umożliwia wykrawanie otworów o przekroju okrągłym w pojedynczym takcie pracy prasy, bez potrzeby wykonywania dodatkowych zabiegów lub operacji technologicznych.

Otrzymany otwór charakteryzuje się dużą dokładnością wymiarową oraz niską chropowatością powierzchni bocznych i mieści się w granicach klas dokładności IT5÷IT7. Dodatkowo pozbawiony jest wyplývki. Narzędzie pozwala także na otrzymanie dokładnej linii cięcia. W efekcie wzrasta efektywność ekonomiczna produkcji oraz skraca się jej czas. Zamiast kilku zabiegów technologicznych wymagany jest tylko jeden.

W przypadku wykonania narzędzia jako składanego technologia obróbki i konstrukcja, będąca przedmiotem opracowania, ułatwia jego dalszą eksploatację. Ponadto umożliwia obróbkę kominów o przekroju okrągłym, co w przypadku innych konstrukcji, nawet wyposażonych w ruchomy podstempel, jest praktycznie niemożliwe.

LITERATURA

1. Cichosz P. „Narzędzia skrawające”. Warszawa: Wydawnictwo WNT, 2006, 2013.
2. Dul-Korzyńska B. „Obróbka skrawaniem i narzędzia”. Rzeszów: Oficyna Wydawnictwa Politechniki Rzeszowskiej, 2005.
3. Górecki A. „Technologia ogólna, podstawy technologii mechanicznych”. Warszawa: WSiP, 2009.
4. Gwiazdowski W. „Kinematyka obrabiarek”. Warszawa: Wydawnictwo WNT, 1965.
5. <http://eurometal.com.pl/prasy-hydrauliczne-euromet-ph.html> (luty 2017).
6. <http://www.autodesk.pl> (luty 2017).
7. Juchnikowski W., Żółtowski J. „Podstawy konstrukcji maszyn”. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2004.
8. Katalog FANAR. „Narzędzia do gwintów”. 2014.
9. Katalog HENNLICH. „Sprężyny naciskowe”. 2014.
10. Katalog HIWIN GmbH. „Mechanizmy śrubowo-toczące i wyposażenie”. Wydanie 2012.
11. Katalog NSK. „Łożyska toczne. Katalog nr E1102f”. 2009.
12. Koneczny D. „Konstrukcja głowicy do gwintowania w procesie wycinania elementów z blachy”. Praca inżynierska pod kierunkiem A. Piotrowskiego. Częstochowa: Politechnika Częstochowska, 2017.
13. Kurmaz L., Kurmaz O. „Projektowanie węzłów i części maszyn”. Kielce: Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2003.
14. Kurmaz L. „Podstawy konstrukcji maszyn”. Warszawa: Wydawnictwo PWN, 1999.
15. Kuryjański R. „Metody nacinania gwintów”. Warszawa: IPBM Politechnika Warszawska, 1996.
16. Mazanek E. „Przykłady obliczeń z podstaw konstrukcji maszyn”. Warszawa: Wydawnictwo WNT, 2005.
17. Norma PN-EN 22857:1999 – Gwintowniki z zarysem szlifowanym do gwintów metrycznych ISO zwykłych i drobnozwojnych z polami tolerancji od 4H do 8H i od 4G do 6G – Tolerancje części roboczej.
18. Norma PN-ISO 724:1995 – Gwinty metryczne ISO ogólnego przeznaczenia – Wymiary nominalne.
19. Norma PN-ISO 965-1 i 2:2001 – Gwinty metryczne ISO ogólnego przeznaczenia – Tolerancje – Część 1: Zasady i dane podstawowe.
20. Norma PN-ISO 965-3:2001 – Gwinty metryczne ISO ogólnego przeznaczenia – Tolerancje – Część 3: Odchyłki gwintów maszynowych.
21. Olszak W. „Obróbka skrawaniem”. Warszawa: Wydawnictwo WNT, 2009.
22. Pater Z., Samołyk G. „Podstawy technologii obróbki plastycznej metali”. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2013.
23. Ponieważ G., Kuśmierz L. „Podstawy konstrukcji maszyn. Projektowanie mechanizmów śrubowych oraz przekładni zębatych”. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2011.
24. Pronic. „Gwintowanie bezwiórowe na prasie”. 2010.
25. Sandvik Coromant Academy. „Podstawy obróbki skrawaniem”. Wydanie 2010.