

Paweł BŁASZCZAK¹

Opiekun naukowy: Roman STRYCZEK²

KONCEPCJA BUDOWY DEDYKOWANEJ MASZyny DO WIERCENIA CIERNEGO

Streszczenie: Wiercenie termiczne jest niekonwencjonalną, efektywną pod względem kosztów metodą wykonywania otworów. Niniejszy artykuł przedstawia podstawy procesu wiercenia termicznego, zalety i wady tej metody, koncepcję budowy dedykowanej obrabiarki oraz wybór strategii obróbki dla wiercenia termicznego. Zdefiniowano funkcje HMI oraz zaproponowano nowe podejście do sterowania posuwem wiertła dla tego procesu w dedykowanej obrabiarence.

Słowa kluczowe: wiercenie termiczne, projektowanie obrabiarek, interfejs użytkownika

CONCEPT OF CONSTRUCTION OF A DEDICATED FRICTION DRILLING MACHINE TOOL

Summary: Friction drilling is a non-traditional, cost-effective hole making method. This paper presents the basics of the friction drilling process, advantages and disadvantages of this method as well as the concept of building a dedicated machine and the choice of friction drilling treatment strategies. HMI functions have been defined for this type of machine tool. A new approach in feed control was proposed for this process.

Keywords: friction drilling, machine tool design, human machine interface

1. Wstęp do wiercenia termicznego.

Wiercenie termiczne jest procesem bezwiórowym polegającym na wykonaniu otworu w stosunkowo cienkiej warstwie metalu, za pomocą bezostrzowego wiertła z węgla spiekanego. Otwór powstaje poprzez wypchnięcie materiału z warstwy metalu i uformowanie go w postaci stożka po przeciwnej stronie oraz uformowanie kołnierza po stronie wlotowej wiertła. Jest to możliwe dzięki zwiększeniu się plastyczności obrabianego metalu pod wpływem wysokiej temperatury i dużym siłom

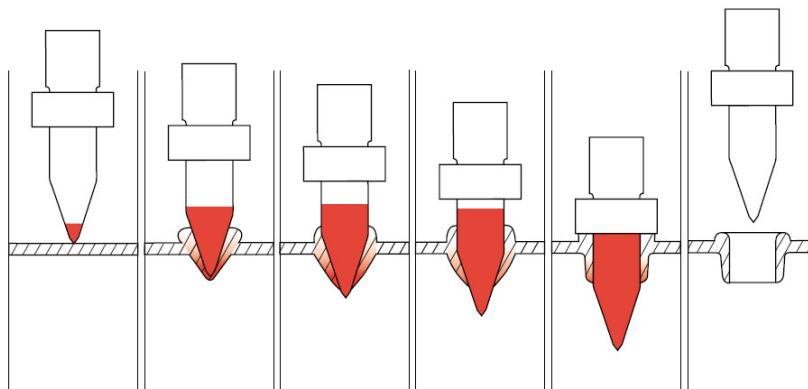
¹ Akademia Techniczno Humanistyczna w Bielsku Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Budowa i Eksploatacja Maszyn, p.blaszczak@vp.pl

² dr hab. inż., Akademia Techniczno Humanistyczna w Bielsku Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, rstryczek@ath.bielsko.pl

nacisku wiertła. Ciepło w tym procesie powstaje dzięki tarcia wirującego wiertła z materiałem wierconym.

Pierwsze próby stworzenia narzędzia do bezwiórowego wiercenia otworów w cienkiej blasze stalowej z wykorzystaniem ciepła tarcia podjęto w latach dwudziestych ubiegłego wieku we Francji, jednak wynalazek J. C. de Valiere nie mógł być zastosowany na skalę przemysłową z powodu szybkiego zużywania się narzędzi. W owym czasie nie były dostępne materiały twarde i odporne na wysoką temperaturę, takie jak węgiel wolframu. Również optymalna geometria narzędzia nie była opracowana. Nie istniały diamentowe ściernice do obróbki twardych materiałów ani obrabiarki zdolne do odwzorowania skomplikowanych kształtów wiertła. Potrzeba było blisko sześćdziesięciu lat zanim te problemy zostały rozwiązane i wiercenie termiczne mogło być komercyjnie zastosowane. Do rozwoju tej technologii przyczyniły się prace J. A. Geffen, G. D. Head, Hoogenboom, zwieńczone licznymi patentami w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych [1]. Obecnie na świecie jest kilku dostawców oferujących narzędzia i technologię do wiercenia termicznego m. in.: Formdrill, Centerdrill, Flowdrill, Thermdrill, Stjorsen, Sinteq.

Celem procesu jest wykonanie otworu z tuleją i najczęściej również z kołnierzem, który będzie podstawą do wykonania gwintu lub osadzenia łożyska bądź sworznia. Dzięki powstaniu tulei wylotowej możliwe jest uzyskanie nawet trzykrotnej większej liczby zwoi gwintu w otworze w stosunku do zastosowania tradycyjnej metody wiercenia.



Rysunek 1. Przebieg procesu termowiercenia [2]

Wiercenie termiczne może z powodzeniem zastąpić tradycyjne metody kształtowania otworów pod warunkiem, że otwór wykonywany jest przelotowo. Wypychany materiał musi mieć miejsce do uformowania tulejki. Dodatkowo powstający płaski kołnierz stanowi idealne oparcie i uszczelnienie dla czujników wkręcanych w rury. Wiercenie termiczne jest szeroko stosowane w przemyśle samochodowym, produkcji maszyn i urządzeń gospodarstwa domowego, produkcji barierki i ogrodzeń. Jako metoda bezwiórowa ma zastosowanie w produkcji sprzętu medycznego np. wózki inwalidzkie, łóżka szpitalne.

1.1. Zalety i wady wiercenia termicznego.

Do zalet procesu wiercenia termicznego należą [8]:

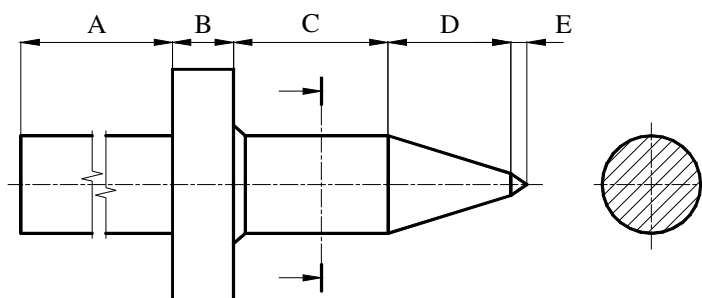
- zwiększenie powierzchni dla gwintu,
- brak wiórów,
- krótki czas obróbki,
- długa żywotność wiertła - nawet do 10 tysięcy otworów,
- możliwość wykonywania otworów w różnych materiałach jednym typem wiertła,
- niższe koszty w porównaniu do innych technologii wykonywania połączeń śrubowych (nitonakrętek, nakrętek spawanych).

Wady:

- rozgrzewanie powierzchni i niszczenie warstwy farby bądź cynku,
- wysoki koszt wiertła i osprzętu,
- konieczna większa moc napędów w porównaniu do tradycyjnych metod wiercenia,
- ograniczona grubość materiału (Centerdrill do 12mm),
- konieczność używania smarów przeciw adhezji.

1.2. Budowa wiertła

Narzędzie do wiercenia termicznego (rysunek 2) zbudowane jest z uchwytu (A), pierścienia formującego (B), części cylindrycznej (C), części stożkowej (D) oraz ze stożka roboczego (E). Część cylindryczna nie jest idealnym walcem ale ma kształt graniastosłupa zaokrąglonego na krawędziach (polygon). Część stożkowa ma podobną budowę, przypomina ostrosłup z zaokrąglonymi krawędziami. Taka budowa ma za zadanie zwiększyć siły tarcia między wiertłem a materiałem i tym samym zwiększyć generację ciepła. Materiałem, z którego wykonane są wiertła do wiercenia termicznego jest węgiel spiekany (węgiel wolframu i pierwiastek wiążący np. kobalt). Producenci oferują również wiertła odcinające do wiercenia termicznego, które aby wyrównać powierzchnię otworu z płaszczyzną, odcinają kołnierz powstający w materiale.



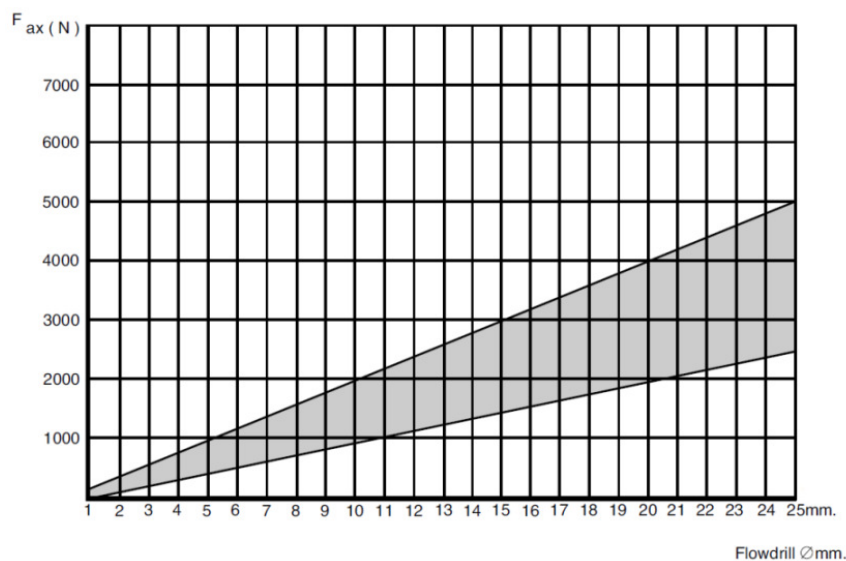
Rysunek 2. Budowa wiertła do wiercenia termicznego- widok z boku i zarys przekroju poprzecznego

2. Struktura dedykowanej obrabiarki do wiercenia termicznego

Wiercenie termiczne jest prostym procesem polegającym na dociśnięciu szybko obracającego się wiertła termicznego do materiału i spowodowanie jego miejscowego rozgrzania a następnie wypchnięcia materiału i uformowanie go w postaci tulejki. Potrzebujemy, więc dwie jednostki napędowe: jedną odpowiedzialną za ruch obrotowy wiertła (wrzeciono) a drugą za ruch liniowy głowicy z wiertłem zorientowanym prostopadle do materiału. Jeżeli element obrabiany jest niewielkich rozmiarów, to prostszym rozwiązaniem może być zastosowanie nieruchomej głowicy i dosuwanie do niej obrabianego materiału. Bardzo ważne jest odpowiednio sztywne i stabilne zamocowanie materiału. Każdy luz, brak ortogonalności może spowodować natychmiastowe pęknięcie kosztownego wiertła. Siła nacisku nie powinna powodować ugięcia się wierconego materiału.

2.1. Założenia wstępne

Pierwszym założeniem do projektowania urządzenia do wiercenia termicznego jest maksymalna średnica otworu jakie ma ono wykonywać. Związane jest to z wartościami sił i momentów jakie muszą być przyłożone do wiertła oraz z mocami napędów. Siły osiowe rosną wraz ze wzrostem średnicy wiertła oraz z prędkością posuwu. Zalecane wartości sił dla wiertel Flowdrill przy wierceniu stali o grubości 2mm przedstawione są na rysunku 3.

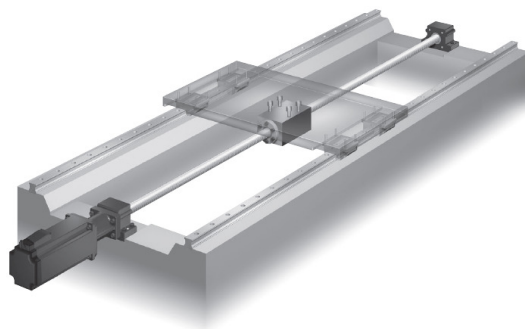


Rysunek 3. Zalecane wartości siły osiowej dla wiertel Flowdrill [2]

Drugim założeniem jest to, czy otwór ma zostać automatycznie nagwintowany. Jeżeli tak, to do urządzenia należy dodać kolejne dwie jednostki napędowe w stacji gwintowania oraz mechanizm przesuwania materiału obrabianego między stacjami. Ekonomicznie uzasadnione może być zastosowanie robota do przenoszenia komponentów między gniazdami obróbczymi i magazynem detali.

2.2. Projekt stołu liniowego i wrzeciona

Projektując urządzenie do wiercenia termicznego należy dobrać odpowiednie prowadnice liniowe, śruby pociągowe, a także serwonapędy z przekładniami zdolne do przeniesienia sił koniecznych do prowadzenia procesu. Firma Bosch Rexroth jest światowym liderem w dziedzinie techniki przemieszczeń liniowych. W katalogach można znaleźć gotowe rozwiązania stołów liniowych, łącznie z silnikiem, wzmacniaczem i układem sterowania. Proces doboru napędu stołu liniowego jest złożony i wieloetapowy. Przykłady obliczeń dostępne są w dokumentacji aplikacyjnej udostępnionej przez producentów śrub pociągowych [4,5].



Rysunek 4. Model zespołu napędowego stołu liniowego[5]

Wymagana moc wrzeciona głównego zależy od średnicy wiertła, grubości materiału czy prędkości posuwu. Dla standardowej stali S235JR o grubości ścianki 2mm, pod określony rozmiar gwintu należy dobrać napęd o minimalnej mocy przedstawionej w tabeli 1. W praktyce wskazane jest, aby maksymalne obciążenie napędu znajdował się w zakresie 50% mocy znamionowej.

Tabela 1. Minimalna moc napędu wrzeciona dla otworów pod standardowe gwinty metryczne dla wiertel Centerdrill[6]

gwint	śr. wiertła [mm]	obroty [obr/min]	moc [kW]
M3	2,7	3000	0,7
M4	3,7	2600	0,8
M5	4,5	2500	0,9
M6	5,4	2400	1,1
M8	7,3	2100	1,5
M10	9,2	1800	1,7
M12	10,9	1500	1,9
M14	13,0	1500	1,9
M16	14,8	1400	2,4
M18	16,7	1400	2,4
M20	18,7	1200	3,0

2.3. Wybór układu sterowania.

Oprócz zagadnień typowo mechanicznych, kolejnym zadaniem projektowym jest wybór układu sterowania. Konstruktor ma do wyboru trzy ścieżki:

- sterowanie numeryczne,
- sterowanie zintegrowane w serwowzmacniaczu,
- sterowanie centralne za pomocą sterownika PLC.

Każde z tych rozwiązań posiada wady i zalety, które należy brać pod uwagę przy doborze optymalnego układu sterowania dla danego projektu.

Pierwszą propozycją jest zastosowanie sterowania numerycznego wykorzystywanego w obrabiarkach sterowanych numerycznie (CNC). Jest to bardzo rozbudowany układ sterowania z panelem operatorskim z wyświetlaczem, który umożliwia swobodne wprowadzanie programów do obrabiarki. Mimo wielu zalet jak np. elastyczność, dokładność czy łatwość programowania jest to jednak najdroższe z proponowanych rozwiązań.

Drugie rozwiązanie polega na zaprogramowaniu logiki sterującej i parametrów obróbki w samym serwowzmacniaczu. Jest to stosunkowo mało elastyczne i wymagające sporej wiedzy o funkcjach dostępnych w napędzie, ale oferuje największą dokładność i kompaktowość. Do budowy prostego urządzenia wykonującego jeden typ obróbki, jest to uzasadnione ekonomicznie, pod warunkiem posiadania odpowiedniego licencjonowanego oprogramowania. W wielu przypadkach koszt oprogramowania przewyższa koszt samego sprzętu. Również diagnostyka systemu i możliwość bieżącej optymalizacji procesu w tym rozwiązaniu są ograniczone. W celu zwiększenia komfortu obsługi urządzenia i polepszenia diagnostyki, w układzie sterowania można pomocniczo wprowadzić sterownik PLC wraz z ekranem HMI

W bardziej rozbudowanych maszynach wskazane jest centralne sterowanie za pomocą zaawansowanego sterownika PLC (PLC Advanced Controller), posiadającego możliwość kontrolowania serwonapędów. Do tej grupy sterowników należy najmocniejsza rodzina sterowników Siemens Simatic z serii S7-1500. Sterownik PLC S7-1500 umożliwia nadrzędne sterowanie wieloma napędami za pomocą różnych magistrali komunikacyjnych. W połączeniu z panelem HMI sterownik pozwala na elastyczne dobieranie parametrów procesu termowiercenia. W urządzeniu z wieloma gniazdami obróbczymi rozwiązanie z centralnym sterownikiem i podległymi mu podstawowymi serwonapędami jest tańsze niż sterowanie za pomocą logiki zawartej w poszczególnych zaawansowanych i kosztownych serwowzmacniaczach.

Interfejs użytkownika HMI powinien pozwalać na swobodne kształtowanie parametrów posuwu w odniesieniu do drogi, zadawanie prędkości obrotowej wrzeciona, a także korekcję głębokości końcowej dojazdu wiertła w materiał. Inne pożądaną funkcje HMI to wyświetlanie informacji o aktualnych parametrach obróbki, położeniu suportu liniowego, obciążeniu napędów oraz liczbie wykonanych otworów zamocowanym narzędziem. Wszystkie te parametry mają wpływ na jakość wykonanego otworu (kształt tulei i kołnierza, gładkość powierzchni wewnętrznej), żywotność wiertła i czas cyklu obróbki.

Sterowniki Siemens S7-1500 można programować w języku wysokiego poziomu SCL. Dzięki dużej mocy obliczeniowej jednostek głównych (CPU) możliwa jest cyfrowa implementacja elementów sztucznej inteligencji (sztucznych sieci neuronowych) czy logiki rozmytej [8]. Zaawansowane możliwości komunikacyjne sterowników, takie jak Profinet RT pozwalają na odczyt obciążenia

serwowzmacniaczy w czasie rzeczywistym i bieżącą optymalizację procesu nastawioną na np. minimalizację czasu obróbki.

2.4. Zabezpieczenia

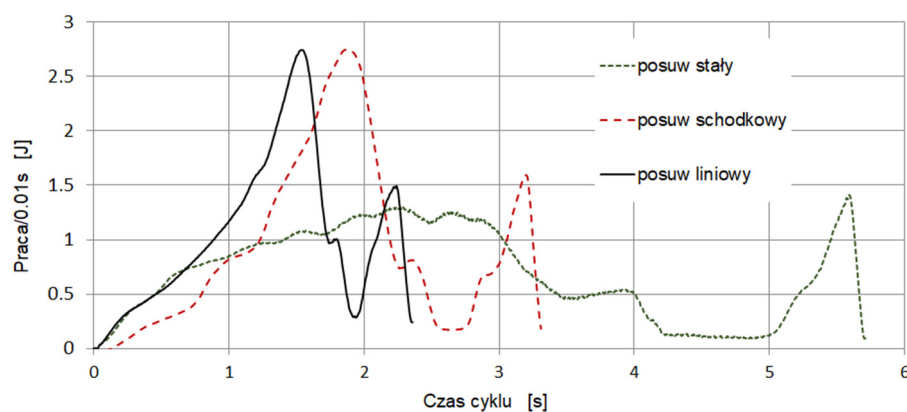
Urządzenie do wiercenia termicznego powinno posiadać szereg zabezpieczeń chroniących przed zniszczeniem wiertła i układ mechaniczny. W tym celu układ sterowania powinien stale monitorować siłę osiową i moment obrotowy działające na wiertło. W przypadku przekroczenia maksymalnych wartości lub konieczności awaryjnego zatrzymania maszyny, sterownik musi natychmiast bezpiecznie przerwać proces. Przez termin bezpieczne zatrzymanie wiercenia termicznego należy rozumieć bezzwłoczne wycofanie wiertła z materiału, co zapobiegnie jego zakleszczeniu i złamaniu.

3. Wybór strategii sterowania posuwem

Najprostszą i jednocześnie najwolniejszą strategią wiercenia termicznego jest zastosowanie stałego posuwu w czasie całego procesu. Prędkość posuwu nie może jednak być zbyt duża, ponieważ pierwszy etap procesu polega na zagłębianiu się wiertła w zimny materiał i występowaniu dużej siły osiowej działającej na wiertło.

Strategia którą zalecają dostawcy technologii wiercenia termicznego polega na schodkowej zmianie posuwu w zależności od głębokości penetracji materiału przez wiertło. Pierwszy etap rozgrzewania materiału prowadzony jest z małym posuwem, przepychanie zmiękczonego metalu z dużym posuwem i finalne zawijanie kołnierza również z małym posuwem.

Zmodyfikowana strategia schodkowa opiera się na liniowo rosnących prędkościach posuwu w poszczególnych etapach procesu. Eksperymentalnie zbadano, że pozwala to skrócić czas wiercenia przy zachowaniu dopuszczalnych sił i momentów. Na rysunku 5 przedstawiono zarejestrowany chwilowy całkowity wydatek energetyczny.



Rysunek 5. Wydatek energetyczny dla trzech testowanych strategii sterowania posuwem

Uzyskane pomiarowo rezultaty są jednoznaczne. Zastosowanie posuwu zmiennego liniowo skróciło czas cyklu w stosunku do posuwu stałego o 58%, w stosunku do posuwu zmiennego schodkowo (wg zaleceń producenta narzędzi) o 28%. Równocześnie całkowity wydatek energetyczny obniżył się odpowiednio o 38% w stosunku do posuwu liniowego i o 21% w stosunku do posuwu zmiennego schodkowo.

4. Podsumowanie

Zaprezentowana praca prezentuje zbiór zaleceń do budowy dedykowanej maszyny do wiercenia termicznego. Celowym podejściem przy budowie tego typu obrabiarki jest oparcie się na gotowych komponentach mechanicznych oraz napędowych dostępnych na rynku. Warto skoncentrować swój wysiłek na zaprojektowaniu ergonomicznego interfejsu użytkownika, pozwalającego na swobodny dobór zmiennego posuwu w trakcie cyklu obróbkowego. Przeprowadzone testy potwierdziły możliwość wykorzystania rezerw w zakresie wydajności procesu i jego zapotrzebowania na energię. Dalsze badania związane z budową i zaprogramowaniem maszyny do wiercenia termicznego powinny koncentrować się na automatycznym, inteligentnym sterowaniu parametrami obróbki.

LITERATURA

1. KUMAR R., HYNES N R J.: Thermal drilling processing on sheet metals, *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture* (2019), 193-205
2. Flowdrill: User Guide, www.flowdrill.com, 22.10.2019.
3. SOMESWARA RAO B.: An experimental study of friction drilling on aluminium and copper, *Journal of Research* (2019) 8(1), 266-275.
4. NTN-SNR: Technika liniowa SNR Śruby kulowe, www.ntn-snr.com, 24.10.2019.
5. Hiwin: Mechanizmy śrubowo-toczone i wyposażenie, www.hiwin.pl, 24.10.2019.
6. Bosch Rexroth: Ball Screw Assemblies BASA, www.boschrexroth.com, 22.10.2019.
7. Serwis internetowy dystrybutora Centerdrill, www.metamedia.pl/dane-techniczne-centerdrill, 22.10.2019.
8. KWAŚNIEWSKI J.: Sterowniki SIMATIC S7-1200 i S7-1500 w zaawansowanych systemach sterowania, Wydawnictwo BCT, Legionowo 2018.