doc.dr hab.inż. Piotr RUSEK, dr inż. Krzysztof WÓJCIK
Instytut Podstaw Budowy Maszyn
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

WARUNKI GWINTOWANIA WIBRACYJNEGO OTWORÓW NIEPRZELOTOWYCH W ŻELIWACH TRUDNO SKRAWALNYCH

1. Wstęp

Gwintowanie otworów nieprzelotowych w materiałach trudno skrawalnych, wykonywane za pomocą gwintowników handlowych, nastręcza w praktyce wiele trudności technologicznych. Niektóre materiały, jak stale sprężynowe lub żeliwa stopowe, charakteryzują się tzw. ujemnym luzem gwintowania. Zjawisko to, polegające na zaciskaniu się materiału obrabianego na gwintowniku, występuje przy obróbce takich tworzyw, które przy próbie rozciągania charakteryzują się dużym zakresem odkształceń sprężystych.

Przy gwintowaniu otworów nieprzelotowych występują ponadto opory podczas wykręcania gwintownika po nacięciu gwintu, których przyczyną są pozostające w otworze wióry resztkowe. W wielu przypadkach, zarówno ujemny luz gwintowania, jak i wióry resztkowe uniemożliwiają zastosowanie maszynowej formy obróbki gwintowaniem.

Wykorzystanie techniki wibracyjnej przy gwintowaniu sprawia, że istnieje możliwość zastąpienia ręcznego gwintowania otworów zmechanizowanym gwintowaniem wibracyjnym, zwłaszcza w przypadkach, gdy wykonywanym gwintom nie stawia się zbyt wysokich wymagań, co do dokładności wymiarowo-kształtowej. Stąd duże zainteresowanie zastosowaniem gwintowania wibracyjnego wykazuje przemysł budowy maszyn hutniczych, gdzie często występuje konieczność gwintowania otworów w materiałach trudno skrawalnych, a wymagania dotyczące dokładności wymiarowo-kształtowej oraz chropowatości powierzchni gwintu nie są wysokie.

Szczególnie duże trudności technologiczne powstają przy nacinaniu gwintów nieprzelotowych w żeliwnych walcach hutniczych o twardości powyżej 350 HB. Istotnym warunkiem technologicznym jest tutaj zapewnienie dużej niezawodności metody gwintowania, w celu wyeliminowania lub ograniczenia do minimum możliwości zakleszczeń i złamań gwintowników w otworach.

Badania procesu wibracyjnego gwintowania jako środka poprawy trwałości narzędzia oraz wydajności procesu były prowadzone głównie przez Poduraeva, Suvorova i Jaroslavova [1, 2, 3]. Badano efekty zastosowania różnych odmian gwintowania wibracyjnego /osiowe, udarowo-przerywane i skrętne/, porównując je z metodą tradycyjną. Niniejszy artykuł poświęcono głównie opisowi rezultatów uzyskanych przez autorów przy zastosowaniu metody gwintowania wibracyjnego skrętnego. Przed przystąpieniem do laboratoryjnych badań procesu gwintowania przeprowadzono analizę mechanizmu gwintowania wibracyjnego w porównaniu z mechanizmem gwintowania konwencjonalnego.

2. Analiza procesu gwintowania konwencjonalnego oraz wibracyjnego ciągłego i przerywanego [4]

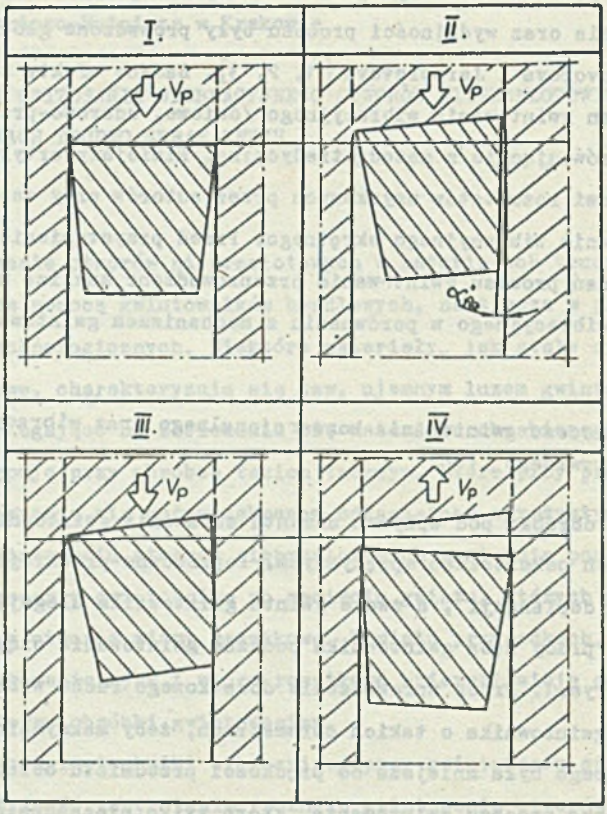
Podczas obróbki pod wpływem momentu skrawania gwintownik ulega skręceniu w ramach odkształceń sprężystych. Poprzeczne przekroje części roboczej ulegają deplanacji[x], a zwoje gwintu gwintownika ulegają odchyleniu. Kolejne fazy pracy zęba gwintownika podczas gwintowania ciągłego przedstawiono na rys.1. Przez wprowadzenie dodatkowego ruchu wibracyjnego /skrętnego/ gwintownika o takich parametrach, żeby maksymalna prędkość ruchu drgającego była mniejsza od prędkości przedmiotu obrabianego, uzyskamy taką formę procesu gwintowania, która tylko nieznacznie będzie się różnić od gwintowania ciągłego. Występują okresowe sprężyste odkształcenia gwintownika. Zmieniające się położenia gwintownika obejmują fazy II i III /rys.1/. Towarzyszący takiemu procesowi obróbki cykl deplanacyjny nazywamy niepełnym. Proces chłodzenia i smarowania jest utrudniony.

W warunkach obróbki żeliw trudno skrawalnych decydujące znaczenie dla zachowania się narzędzia mają fazy II i III /możliwość wystąpienia efektywnego bocznego roboczego, pomocniczego kąta przyłożenia $\alpha''_{fe} = 0$/.

Przy powrotnym ruchu narzędzia obserwuje się występowanie dużego oporu wykręcania gwintownika o znaku przeciwnym /faza IV/. Pozostające

---

[x] Deplanacja - zwichrowanie zębów części roboczej gwintownika w wyniku odkształceń sprężystych narzędzia, wywołanych przez moment skrawania.



Rys.1. Fazy pracy zęba gwintownika podczas gwintowania ciągłego

I - początek pracy zęba gwintownika
II - sprężyste odkształcenie zęba gwintownika
III - odkształcenie graniczne
IV - wycofywanie zęba
V_p - prędkość przedmiotu
α_{fe} - efektywny boczny roboczy pomocniczy kąt przyłożenia

w otworze nieprzelotowym drobne wióry wzmagają opór wycofywania narzędzia, mogąc doprowadzić do zakleszczenia gwintownika podczas ruchu powrotnego.

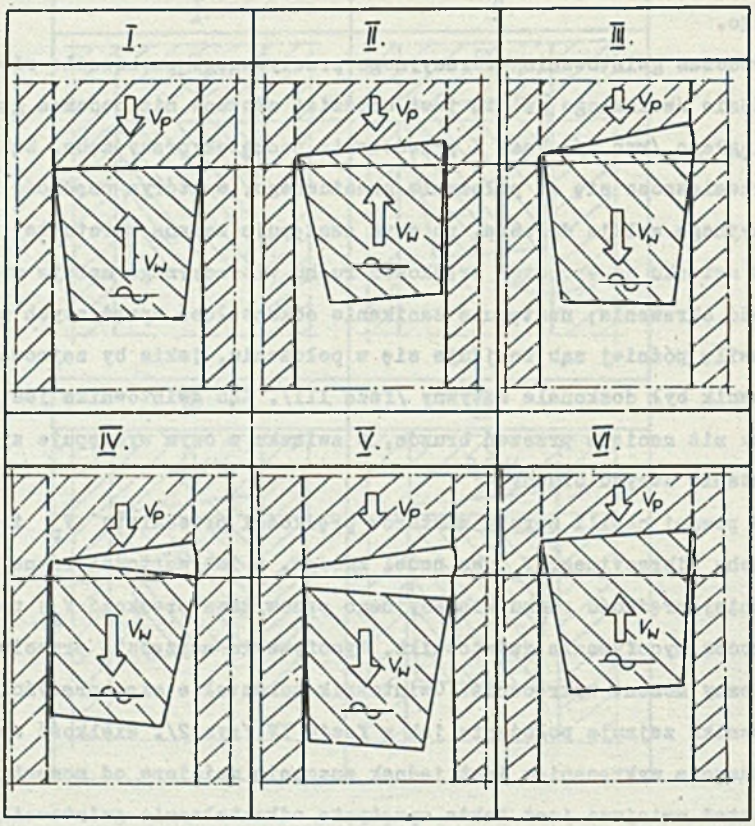
Podczas gwintowania wibracyjnego przerywanego zachowanie się ostrza w bruździe nacinanego gwintu jest bardziej złożone niż podczas gwintowania ciągłego /rys.2/. Faza I przedstawia początek pracy zęba. Ząb skrawając przemieszcza się do położenia granicznego, w którym prędkość ruchu wibracyjnego maleje do zera, po czym następuje zmiana zwrotu tej prędkości. W związku ze wzrostem prędkości ruchu wibracyjnego maleje względna prędkość skrawania; następuje zanikanie odkształceń sprężystych zęba, a w chwilę później ząb znajduje się w położeniu, jakie by zajmował, gdyby gwintownik był doskonale sztywny /faza III/. Ząb gwintownika jest nieco szerszy niż nacięta przezeń bruzda, w związku z czym występuje zjawisko wygniatania zarysu bruzdy.

W pewnej chwili zwroty wektorów prędkości przedmiotu V_p i prędkości ruchu wibracyjnego V_w są nadal zgodne, a ich wartości równe. W chwilę później prędkość ruchu wibracyjnego przewyższa prędkość V_p; rozpoczyna się proces wycofywania gwintownika. Wycofywaniu narzędzia przeciwstawia się ujemny moment wykręcania. Gwintownik odkształca się sprężyście, a ząb gwintownika zajmuje położenie jak w fazie IV /rys.2/. Wielkość oporu związanego z wykręcaniem jest jednak znacznie mniejsze od momentu skrawania, toteż mniejsze jest także sprężyste odkształcenie gwintownika.

W przekroju poprzecznym bruzdy zmniejsza się szerokość odkształconego zęba, a więc maleją także opory wycofywania. Następuje pełne wycofywanie zęba ze strefy skrawania. Tworzy się szczelina między strefą skrawania, powierzchnią natarcia zęba /faza V/. Chwilowa prędkość ruchu drgającego maleje do zera, a następnie wektor tej prędkości zmienia zwrot na przeciwny; rozpoczyna się kolejny cykl pracy zęba gwintownika /faza VI/.

Okresowo powtarzające się położenia zęba, towarzyszące takiemu sposobowi obróbki, nazywamy p e ł n y m c y k l e m d e p l a n a c y j n y m.

Z przedstawionego przez autorów modelu zachowania się zęba wynika, że podczas obróbki wibracyjnej przerywanej można oczekiwać zmniejszenia się momentu skrawania i korzystnego wpływu tej metody na trwałość narzę-



Rys.2. Fazy pracy zęba gwintownika podczas jednego cyklu obróbki przerywanej

I - początek pracy zęba /gwintownik nie odkształcony/

II - odkształcenie sprężyste zęba pod działaniem momentu skrawania

III - zanik odkształceń sprężystych zęba na początku ruchu powrotnego

IV - sprężyste odkształcenie zęba w przeciwną stronę, spowodowane oporem tarcia przy ruchu powrotnym

V - wycofanie się zęba w otworze gwintowanym /przerwanie procesu skrawania/

VI - ponowne zagłębienie się ostrza w materiał obrabiany

Vp - prędkość przedmiotu obrabianego

V_w - prędkość ruchu wibracyjnego

dzia w czasie gwintowania otworów w trudno skrawalnych żeliwnych walcach hutniczych.

3. Metodyka badań

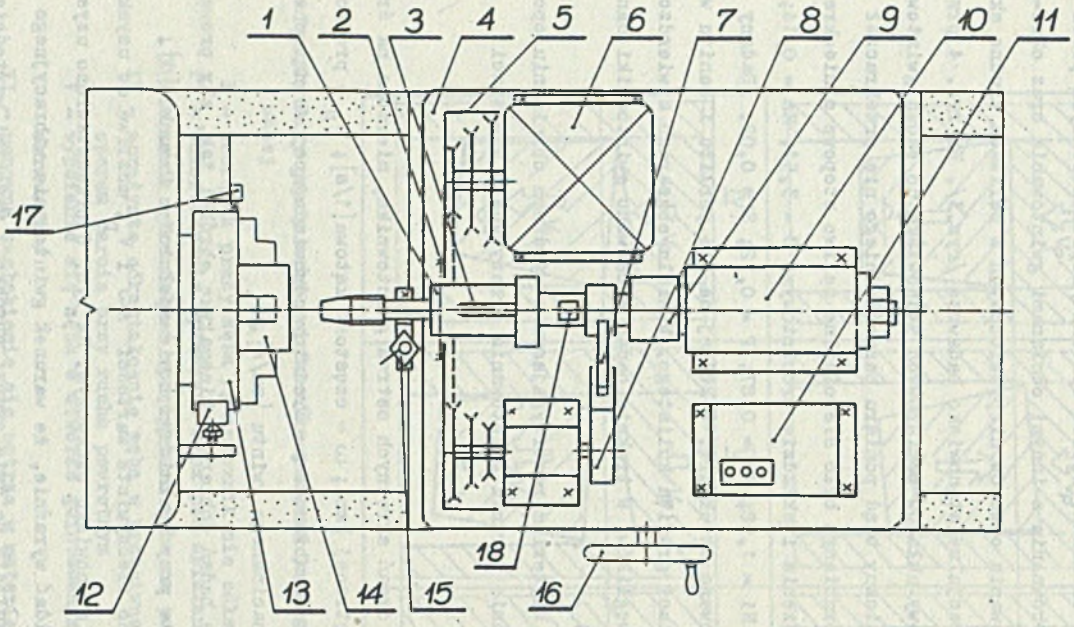
W celu wskazania istotności wpływu odmiany kinematycznej gwintowania wibracyjnego skrętnego na zmianę oporów obróbki /reprezentowanych przez moment skrawania/ w porównaniu z innymi odmianami gwintowania oraz określenia warunków gwintowania otworów nieprzelotowych w żeliwach trudno skrawalnych - zbudowano specjalne stanowisko badawcze /rys.3/. Na rys. 4 przedstawiono schemat blokowy układów pomiarowych stanowiska do badań gwintowania wibracyjnego. Graniczny błąd pomiaru bezpośredniego nie przekraczał $\pm$ 5,5 %. Materiałem obrabianym było sferoidalne żeliwo stopowe o nieokreślonej warstwie utwardzenia i składzie procentowym: C = 3,51; Mn = 0,14; Si = 1,34; Cr = 0,29; Ni = 1,98; Mo = 0,87; P = 0,12; S = 0,02. Badany materiał miał zróżnicowaną strukturę, w której na tle perlitu i banitu występował węgiel w postaci grafitu kulistego. W wielu obszarach stwierdzono występowanie skupisk węglików. W trakcie badań stosowano gwintowniki handlowe typu NGMb 36 x 4 .

Zdaniem autorów, kryterium roztrzygającym o wyraźnym obniżeniu oporów skrawania jest spełnienie warunku gwintowania przerywanego w postaci

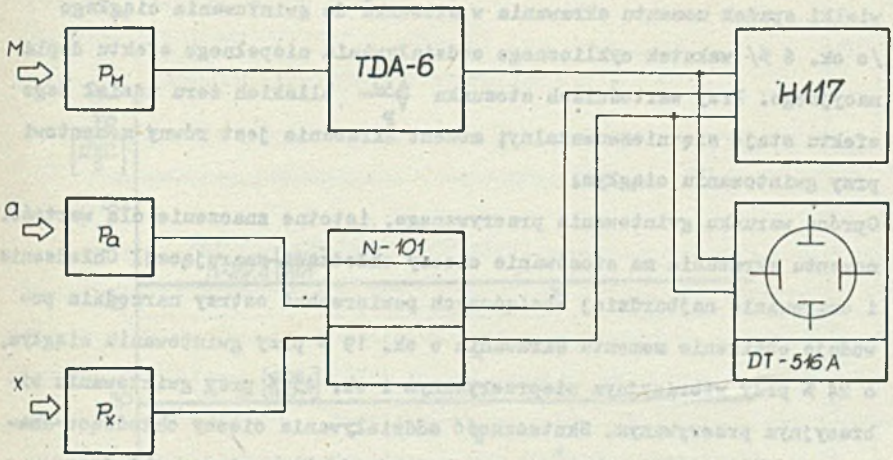
$$\frac{A\omega}{V_p} > 1, \qquad /1/$$

gdzie: A - amplituda drgań skrętnych ostrza gwintownika, mierzona na średnicy zewnętrznej [mm]; ω - częstość kątowa [1/s]; V_p - prędkość przedmiotu obrabianego na średnicy odpowiadającej zewnętrznej średnicy nacinanego gwintu [mm/s].

Stąd też, podczas badań dobierano kinematykę obróbki tak, aby prowadzić proces gwintowania przy spełnionym i nie spełnionym warunku [1]. Na rys. 5 przedstawiono rzeczywiste wartości $A\omega$ i V_p, możliwe do uzyskania na laboratoryjnym stanowisku badawczym. Na rys. 6 przedstawiono uzyskane rezultaty badań. Widać wyraźnie, że warunek gwintowania wibracyjnego rozdziela uzyskane rezultaty na dwie grupy: obróbkę z wysokimi wartościami momentów skrawania - w niepełnym cyklu deplanacyjnym, oraz obróbkę ze znacznie zmniejszonymi wartościami momentów skrawania - przy spełnionym pełnym cyklu deplanacyjnym. Przeprowadzona analiza statystyczna uzyskanych



Rys.3. Schemat laboratoryjnego stanowiska do badań gwintowania wibracyjnego z drganiami skrętnymi narzędzia: 1 - tuleja; 2 - śruba mocująca; 3 - zabierak poprzeczny; 4 - płyta; 5 - osłona; 6 - silnik elektryczny; 7 - układ dźwigni; 8 - mechanizm mimośrodowy; 9 - kieł tokarski obrotowy; 10 - konik tokarski; 11 - układ sterowania; 12 - tłumik drgań skrętnych; 13 - uchwyt 4-szczękowy; 14 - próbka; 15 - czujnik typu OT-25; 16 - pokrętło ręcznego posuwu suportu; 17 - mikrowyłącznik uruchamiający rejestrację na oscylografie pętlicowym; 18 - czujniki tensometryczne.



Rys.4. Schemat blokowy układów pomiarowych stanowiska do badań gwintowania wibracyjnego

P_M - tensometryczny przetwornik pomiaru momentu skrawania

P_a - transformatorowy przetwornik przyśpieszeń

P_x - transformatorowy przetwornik przemieszczeń

TDA-6 - mostek tensometryczny; H117 - oscylograf pętlicowy

N-101 - miernik wielkości mechanicznych

DT-516A - oscyloskop katodowy dwukanałowy

wyników w pełni uzasadnia powyższe stwierdzenie na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

4. Wnioski

1. Zastosowanie drgań skrętnych narzędzia w procesie gwintowania wibracyjnego przerywanego pozwala na zmniejszenie oporów skrawania i obróbkę trudno skrawalnych żeliw walców hutniczych. Podstawowym czynnikiem, który różnicuje zachowanie się narzędzia w procesie obróbki, jest warunek gwintowania przerywanego.
2. Przyczyną obniżenia wartości momentu przeciętnie o 35 % w stosunku do gwintowania ciągłego /vide rys.6/ jest współdziałanie cyklicznego efektu deplanacyjnego, powodującego poszerzenie zarysu bruzdy nacinanego gwintu ze znaczną poprawą trybotechnicznych warunków pracy zęba gwintownika /smarowanie/, jakie ma miejsce przy gwintowaniu wibracyjnym przerywanym.

3. Gwintowanie wibracyjne nieprzerywane /$\frac{A\omega}{V_p} < 1$/ zapewnia tylko niewielki spadek momentu skrawania w stosunku do gwintowania ciągłego /o ok. 6 %/ wskutek cyklicznego oddziaływania niepełnego efektu deplanacyjnego. Przy wartościach stosunku $\frac{A\omega}{V_p}$ bliskich zeru udział tego efektu staje się nieznaczalny; moment skrawania jest równy momentowi przy gwintowaniu ciągłym.

4. Oprócz warunku gwintowania przerywanego, istotne znaczenie dla wartości momentu skrawania ma stosowanie cieczy chłodząco-smarującej. Chłodzenie i smarowanie najbardziej obciążonych powierzchni ostrzy narzędzia powoduje obniżenie momentu skrawania o ok. 19 % przy gwintowaniu ciągłym, o 24 % przy wibracyjnym nieprzerywanym i ok. 43 % przy gwintowaniu wibracyjnym przerywanym. Skuteczność oddziaływania cieczy chłodząco-smarującej jest więc uzależniona od warunków dostępu cieczy chłodząco-smarującej do strefy skrawania.

5. Badania procesu gwintowania wibracyjnego przerywanego ograniczono do obróbki jednego materiału. Ze względu na przewidywaną większą niż te wynika z rezultatów pracy przydatność proponowanej metody, byłoby wskazane prowadzenie badań nad większym asortymentem trudno skrawalnych materiałów obrabianych, jak np. twarde brązy, stale sprężynowe, żaroodporne, żarowytrzymałe. Uzyskane wyniki pozwoliłyby na wyciągnięcie wniosków o charakterze ogólnym.

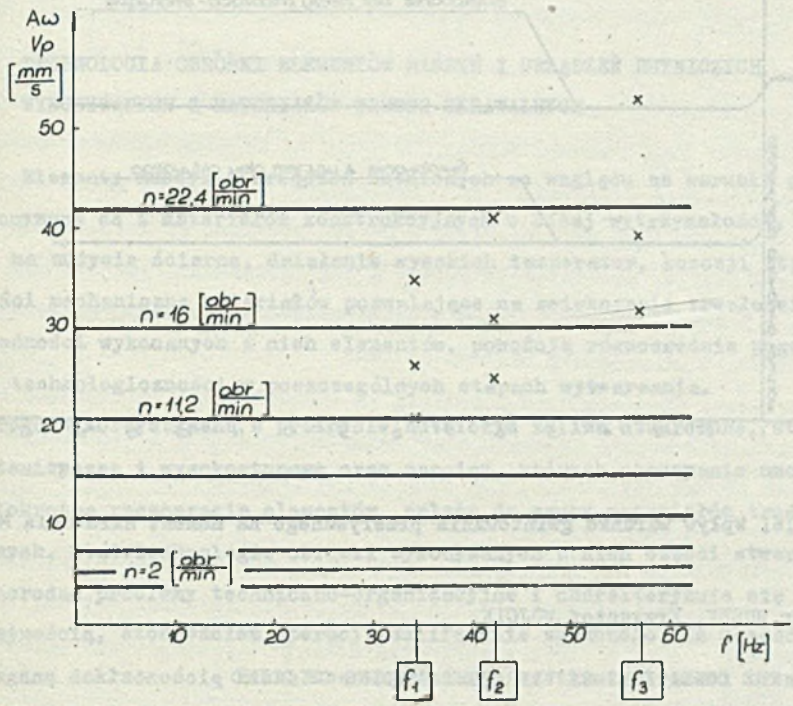
5. Literatura

1. Poduraev V.N.: Obrabotka reaznieni s vibracijami. Masinostroenie, Moskva 1970.

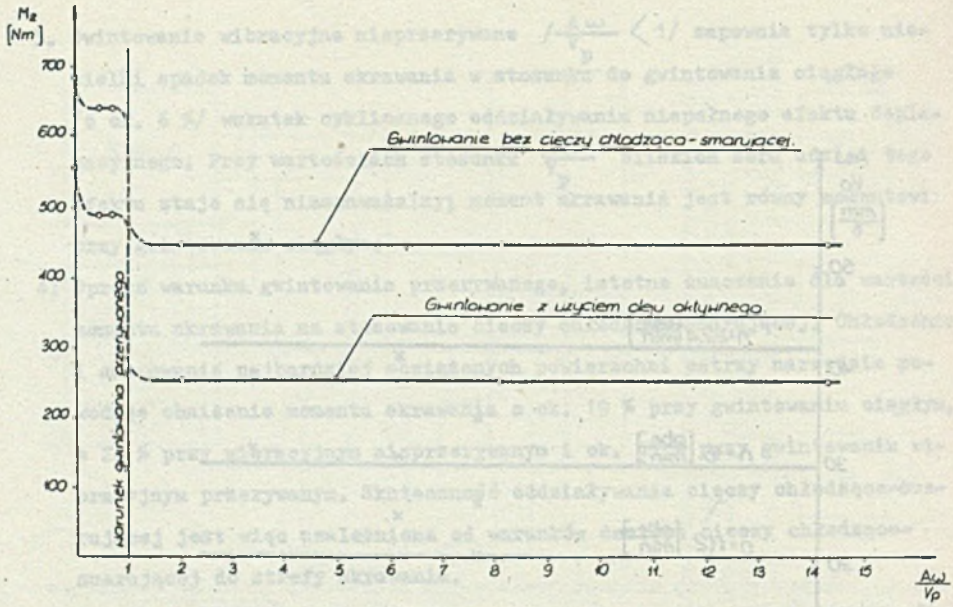
2. Poduraev V.N.: Rezanie trudnoobratyvaemych materialov. Vyssaja Skola, Moskva 1974.

3. Poduraev V.N., Suverov A.A., Jaroslavcev A.M.: Narezanie rez'by v nerzavejuscich i zaroprocnych staljach vibraciennym i udarneimpulsnym metodom. Vestnik Masinostroenija, 1965, nr 10.

4. Wójcik K.: Analiza oporów skrawania w procesie gwintowania wibracyjnego otworów nieprzelotowych w żeliwach trudno skrawalnych. /Praca przygotowywana do druku/.



Rys. 5. Rzeczywiste wartości A i V_p możliwe do uzyskania na laboratoryjnym stanowisku badawczym



Rys.6. Wpływ warunku gwintowania przerywanego na moment skrawania M_2

Piotr RUSEK, Krzysztof WÓJCIK

THE CONDITIONS OF VIBRATORY TAPPING OF BLIND HOLES IN ALMOST UNWORKABLE CAST IRON

Summary

The idea of the blind holes tapping process with the vibratory torsional taper motion is described. Analysis of the conventional tapping process is carried out as well as of the vibratory constant and intermittent methods. Basing on the results of experiments it is proved that the best machining effects are met during the vibratory intermittent tapping with cutting fluid, in this mathod a full deplanatory cycle occurs.