

## WPLYW SZYBKOSCI SKRAWANIA NA TĘPIENIE SIĘ OSTRZY PIŁ TARCZOWYCH Z NAKŁADKAMI Z WĘGLIKÓW SPIEKANYCH PRZY PIŁOWANIU PŁYT WIÓROWYCH

*Wojciech Stefaniak*

Katedra Obróbki i Obrabiarek Drewna SGGW

**Synopsis.** In the course of sawing of particle boards with circular saws supplied with cover plates made of sintered carbides with changeable cutting speed there were taken measurements of the micro-geometry of teeth, amplitude of saw vibration, and the cutting power. The relationship between cutting speed and blunting was obtained. An attempt of the explanation of this relationship was undertaken on the basis of relationships observed between the cutting speed and vibration amplitude on the one hand and cutting power on the other.

### WSTĘP<sup>1</sup>

Optymalna szybkość skrawania w procesie piłowania piłami tarczowymi jest trudna do określenia. Będąc wielkością wynikową średnicy piły i liczby jej obrotów szybkość skrawania wpływa na konstrukcję ułożyskowania wrzeciona i konstrukcję piły. Z drugiej strony szybkość wiąże się z efektami obróbki, a także — jak określa to wielu autorów — związana jest z trwałością narzędzia (2, 4, 6, 7). Związek między szybkością skrawania a trwałością narzędzia jest zagadnieniem, które nabrało szczególnego znaczenia w ostatnich latach, po wprowadzeniu do praktyki przemysłowej pił tarczowych z nakładkami z węglików spiekanych. Wiele firm produkujących te narzędzia zaleca stosowanie dużych szybkości skrawania dochodzących do 100 m/sek. W tab. 1 przedstawiono przykładowo szybkości skrawania przy piłowaniu materiałów drzewnych zalecane przez firmy produkujące piły tarczowe z nakładkami z węglików spiekanych.

Poglądy w tym względzie nie są jednak jednolite. Część autorów publikacji, a nawet i niektórzy producenci pił (firmy szwedzkie Fagersta

<sup>1</sup> Przedstawione badania przeprowadził autor przy wykonywaniu pracy doktorskiej, której promotorem był prof. dr inż. Tadeusz Orlicz.

Tabela 1

Zalecane szybkości skrawania piłami tarczowymi z nakładkami z węglików spiekanych

Firma produkująca piły	Szybkość skrawania m/sek. (rodzaj piłowanego materiału)				
	drewno		sklejka	plyty wiórowe	plyty pilśniowe twarde
	miękkie	twarde			
Sandvikens Jernverks	60—100	50—70	60—90	60—80	70—90
Richard Felde	60—100		50—90	—	—
Ledermann	90	70	—	50	—
Montawerke Walter	60—100		60—90	—	—
Aut Panhans	60—100		60—100	—	—

Bruka A. B., Gomex Verktyg A. B.) zalecają utrzymanie szybkości skrawania piłami z nakładkami z węglików spiekanych na poziomie szybkości stosowanych przy piłach bez nakładek (40—60 m/sek.). Ta niezgodność może być spowodowana stosowaniem różnych kryteriów oceny (wydajność piłowania lub stopień tępienia się ostrzy pił), a u jej podstaw leży niewątpliwie brak szczegółowych badań nad tym zagadnieniem.

#### I. WARUNKI PRZEPROWADZENIA BADAŃ

Uchwycenie zmian mikrogeometrii ostrzy skrawających wykonanych z odpornych na tępienie węglików spiekanych wymaga długiej pracy piły, przy której długość drogi piłowania musi wynosić kilkadziesiąt kilometrów. Z tego względu doświadczenia przeprowadzono na terenie zakładu przemysłowego przerabiającego znaczne ilości płyt wiórowych (Wyszkowska Fabryka Mebli i Urządzeń Wnętrz w Wyszkowie). Piłowanie przeprowadzono na obrabiarce produkcyjnej przystosowanej — przez zmianę niektórych jej zespołów — do wykonania założonych metodyką badań obserwacji.

##### 1. PARAMETRY I DOKŁADNOŚĆ WYKONANIA NARZĘDZI

Piłowanie przeprowadzono piłami tarczowymi typ GM (10) z nakładkami z węglików spiekanych o składzie 89% węgla wolframu i 11% kobaltu.

Charakterystyczne parametry pił były następujące: średnica  $D = 315$  mm, grubość brzeszczotu  $s_1 = 2,0$  mm, grubość piły przy uzębieniu  $s = 3,2$  mm, liczba zębów  $z = 14$ , kąt natarcia  $\gamma = 20^\circ$ , kąt ostrza  $\beta = 55^\circ$ .

Komplet 7 pił użytych do badań wybrany został na podstawie wyników pomiaru wielkości charakteryzujących ich stan techniczny z 10 pił specjalnie wyprodukowanych.

Zestawienie wartości charakteryzujących stan techniczny pił przedstawiono w tab. 2. Z danych tych wynika, że stan techniczny pił był

Tabela 2

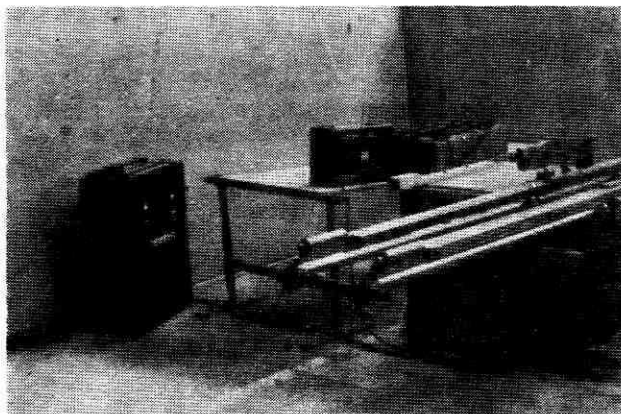
Charakterystyka stanu technicznego pił tarczowych użytych do badań

Lp.	Mierzona wielkość	Piła pracująca przy szybkości m/sek.						
		33	42	50	62	79	99	124
1	Średnia średnica piły mm	315,2	315,1	315,2	315,2	315,1	315,1	315,2
2	Maksymalne odchylenie położenia krawędzi tnących na okręgu skrawania mm	0,06	0,08	0,08	0,08	0,05	0,05	0,09
3	Maksymalne odchylenie położenia krawędzi tnących na dwu kolejnych zębach na okręgu skrawania mm	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04
4	Maksymalne boczne bicie wierzchołka zęba mm							
	— lewego	0,57	0,53	0,54	0,41	0,55	0,56	0,67
	— prawego	0,67	0,66	0,27	0,22	0,42	0,54	0,65
5	Maksymalne odchylenie płaskości brzeszczotu mm							
	— po lewej stronie	0,39	0,47	0,47	0,59	0,44	0,60	0,63
	— po prawej stronie	0,46	0,34	0,62	0,40	0,57	0,48	0,62
6	Średnia grubość brzeszczotu mm	2,02	2,00	1,99	2,02	1,98	1,99	1,99
7	Maksymalna różnica grubości brzeszczotu mm	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
8	Maksymalna różnica długości krawędzi tnącej mm	0,02	0,06	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02
9	Parametry katowe zębów	odchyłka od wartości nominalnych $\pm 15'$						

zbliżony, a różnice w zmierzonych wielkościach nie mogły wywierać istotnego wpływu na uzyskane wyniki badań.

## 2. CHARAKTERYSTYKA OBRABIARKI UŻYTEJ DO BADAŃ

Badania wykonano na przystosowanej do doświadczeń pilarcze tarczowej dwupiłowej typ DPEB-200. Po zbadaniu statycznej dokładności obrabiarki, jej stan techniczny oceniono jako średni. Wrzeciono obrabiarki wykazało bicie promieniowe o wartości większej od dopuszczalnej, natomiast bicie osiowe stałego kołnierza zaciskowego było mniejsze (12). Wielkości liczbowe określające dokładność pracy zespołu posuwowego wykazały stosunkowo małą precyzję jego działania, co wynika zarówno z konstrukcji, jak i z częściowego zużycia części składowych tego zespołu.



Rys. 1. Ogólny widok stanowiska badawczego

Zespół roboczy składał się z wrzeciona (drugie wrzeciono wyłączono z pracy) napędzanego z silnika o mocy 4 kW przez przekładnię pasową. Piłę tarczową zamocowano na wrzecionie między kołnierzami zaciskowymi średnicy 160 mm. Zmianę obrotów piły uzyskiwano przez zmianę kół pasowych na wale silnika. Mechanizm posuwowy zapewniał ruch stołu w obu kierunkach (ruch posuwowy roboczy i jałowy) z szybkością regulowaną bezstopniowo w granicach od 0 do 30 m/min. Czas ruchu roboczego wynosi 25—30% czasu pracy obrabiarki.

## II. METODYKA BADAŃ

### 1. POMIAR MIKROGEOMETRII OSTRZY SKRAWAJĄCYCH

W celu ustalenia zależności między szybkością skrawania a stępieniem ostrzy pił przyjęto szybkości skrawania podane w tab. 3. Piłowanie przy każdej z podanych szybkości skrawania przeprowadzono osobną piłą.

Tabela 3

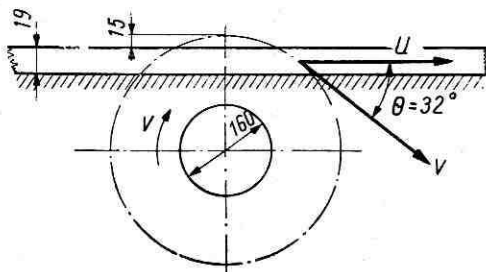
Szybkość skrawania i liczby obrotów pił.  
Średnica pił 315 mm, średnica kołnierzy zaciskowych 160 mm

Założona szybkość skrawania m/sek.	31,5	40	50	63	80	100	125
Pomierzona liczba obrotów piły na min.	2000	2540	3030	3760	4790	6000	7510
Rzeczywista szybkość skrawania m/sek.	33	42	50	62	79	99	124

Stałymi parametrami piłowania były (rys. 2):

- wielkość posuwu na ząb piły  $\Delta_z = 0,15$  mm,
- wielkość wystawiania piły nad obrabiany element  $x = 15$  mm,
- wynikowy średni kąt spotkania (kąt zawarty między wektorem szybkości skrawania i posuwu)  $\theta = 32^\circ$ .

Stopień stępienia każdej z pił określono po przebyciu przez ząb piły w piłowanym materiale następujących odcinków drogi: 0 (przed piłowaniem); 0,16; 0,40; 1,0; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 60; 80; 100; 120 i 140 km. Końcowa wielkość drogi wynosząca 140 km powoduje zmiany mikrogeometrii ostrzy skrawających o wielkości wystarczającej, by można było określić liczbowo różnice wynikające z zastosowanych szybkości skrawania.



Rys. 2. Wzajemne ustawienie piłowanego elementu i narzędzia

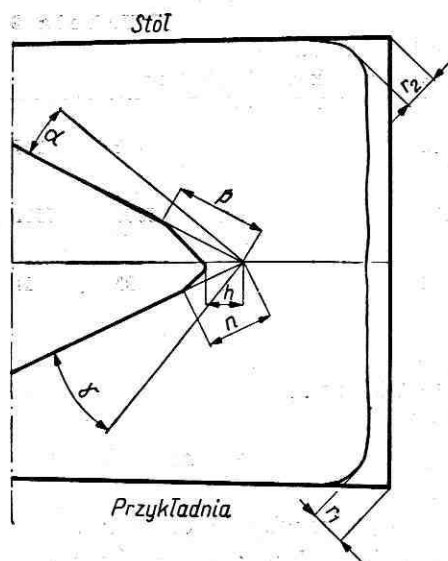
Pomiar stopnia stępienia wykonano przez określenie zmian geometrii ostrza w płaszczyźnie natarcia i w płaszczyźnie pracy piły. W celu wykonania pomiaru rzutowego zarys zęba:

- od strony powierzchni natarcia,
- w płaszczyźnie pracy piły.

Na rzucie zęba od strony powierzchni natarcia zmierzono wielkości (rys. 3):

$r_1$  — wyrażającą zużycie lewego wierzchołka zęba; zużycie to mierzono wzdłuż dwusiecznej kąta zawartego między główną krawędzią tnącą a lewą krawędzią boczną;

$r_2$  — wyrażającą zużycie prawego wierzchołka zęba; zużycie to mierzono wzdłuż dwusiecznej kąta zawartego między główną krawędzią tnącą a prawą krawędzią boczną.



Rys. 3. Określane w badaniach parametry liniowe stępienia

Na rzucie zęba w płaszczyźnie pracy piły zmierzono:

- $n$  — zużycie wzdłuż krawędzi płaszczyzny natarcia,
- $h$  — zużycie wysokości zęba wzdłuż dwusiecznej kąta ostrza,
- $p$  — zużycie wzdłuż krawędzi płaszczyzny przyłożenia.

Wymienione wielkości mierzono jako odległości od teoretycznej głównej krawędzi tnącej.

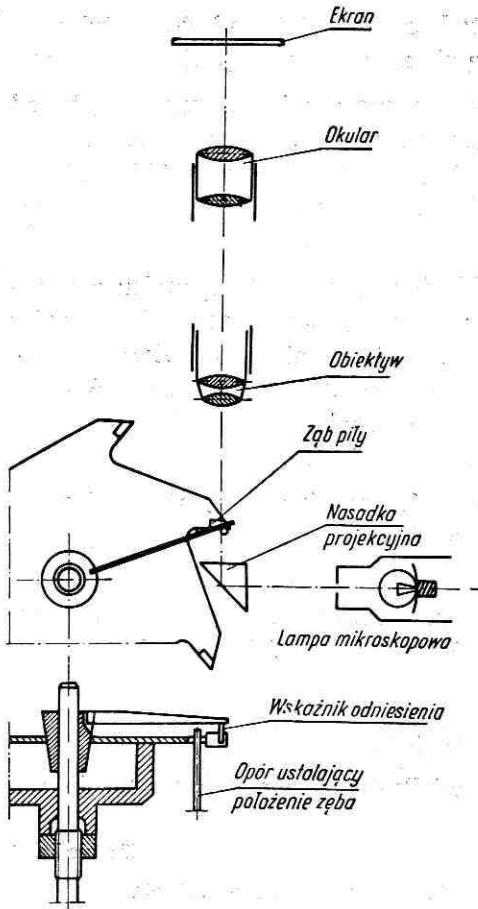
Do pomiarów użyto dwóch zestawów aparatury optycznej<sup>1</sup>, za pomocą której wykonano rysunki przedstawiające dwa rzuty zęba w 100-krotnym powiększeniu.

Rysunek rzutu zęba od strony powierzchni natarcia uzyskiwano na zestawie aparatury, której schemat przedstawiono na rys. 4, a rysunek zęba w płaszczyźnie pracy piły wykonano na zestawie aparatury, której schemat pokazano na rys. 5.

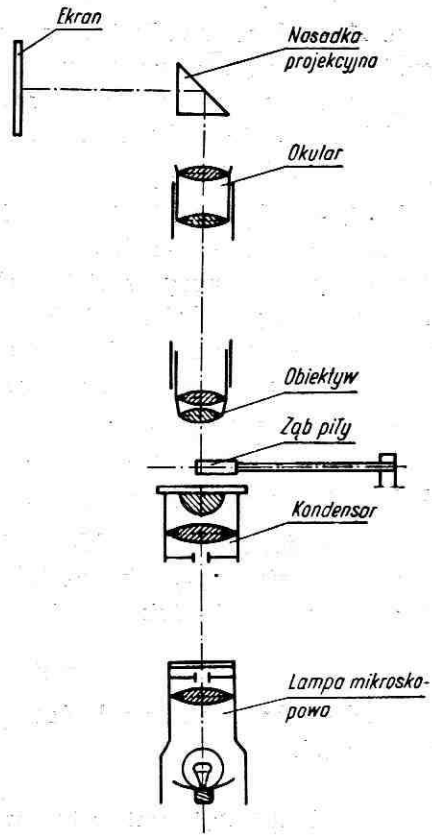
Uzyskano w ten sposób dla każdego z rzutów zębów 224 rysunki (14 zębów  $\times$  16 faz obserwacji stanu zęba). Rysunki zarysu zęba wycinano i kolejne fazy składano tak, że uzyskano zestaw kolejnych stanów zęba, na którym wrysowano linie, wzdłuż których wykonywano pomiar wielkości liniowego zużycia. Pomiar wykonano linijką z dokładnością odczytu 0,5 mm. Na rys. 6 pokazano przykładowo ząb w dwóch rzutach z naniesionymi liniami pomiaru kolejnych faz stępienia zęba.

Uzyskane w ten sposób wartości parametrów zużycia dla każdego zęba dały podstawę do obliczenia wartości średnich danego parametru dla całej piły w kolejnej fazie pracy. Wartości średnie są średnią arytmetyczną danego parametru wszystkich zębów piły.

<sup>1</sup> Użyte zestawy aparatury optycznej wykonane były w Katedrze Obróbki i Obrabiarek Drewna SGGW przez S. Bieńka i J. Olszewskiego.

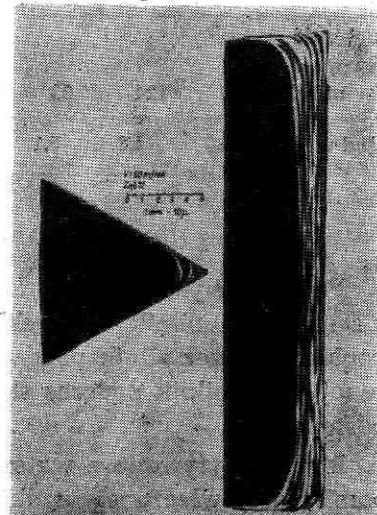


Rys. 4. Schemat optyczny aparatury do obserwacji zęba w płaszczyźnie natarcia



Rys. 5. Schemat optyczny aparatury do obserwacji zęba w płaszczyźnie pracy piły

Rys. 6. Zestaw rysunków obrazujących kolejne fazy stępienia zęba (na tak przygotowanych zestawach mierzono parametry określające stępienie)





Błąd pomiarowy w przyjętej metodzie nie zależy od wielkości mierzonego parametru stępienia. Składają się na niego następujące elementy:

a.  $\Delta_1$  — błąd wynikający z odchylenia rzeczywistego zarysu zęba od zarejestrowanego na rysunku. Ustalono doświadczalnie przez kilkakrotne odrysowanie na osobnych arkuszach tego samego zęba w 100-krotnym powiększeniu, że maksymalne odchylenie uzyskanych w ten sposób zarysów wynosi 1 mm.

b.  $\Delta_2$  — błąd wynikający z niedokładności wycięcia rysunku z arkusza oraz z niedokładności zestawienia ze sobą poszczególnych zarysów obrazujących mikrogeometrię zęba. Błąd ten ustalono doświadczalnie przez wycięcie i złożenie kilku zarysów tego samego zęba uzyskanych przy stałych parametrach mikrogeometrii. Maksymalne odchylenie zestawionych w ten sposób zarysów wyniosło 0,5 mm.

c.  $\Delta_3$  — błąd wynikający z dokładności pomiaru wartości liniowych mierzonych parametrów stępienia zęba. Pomiar wykonano linijką z dokładnością odczytu 0,5 mm.

Wymienione błędy są błędami przypadkowymi, sumującymi lub różnicującymi się przypadkowo. Wielkość średniego odchylenia błędów ( $\Delta$ ) obliczono w zależności:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2}$$

Średni błąd pomiaru końcowych wielkości parametrów zużycia podano w tab. 4.

Tabela 4

Średni błąd pomiaru końcowych wielkości parametrów zużycia

	Parametr stępienia									
	$r_1$		$r_2$		$n$		$h$		$p$	
Szybkość skrawania m/sek	33	124	33	124	33	124	33	124	33	124
Błąd w %	5,7	4,2	5,1	4,1	4,8	4,0	8,1	6,5	4,3	3,4

## 2. POMIAR MOCY SKRAWANIA

Podczas wykonywania kolejnych serii badań mierzono moc biegu luzem układu silnik — przekładnia pasowa — wrzeczono z piłą oraz moc pobieraną przez silnik podczas skrawania. Odczyty pomiaru mocy pobieranej przez silnik podczas skrawania wykonywano w ustalonych stałych odstępach.

Moc odczytywano z watomierza umieszczonego w zestawie aparatury pomiarowej włączonej w układ zasilania silnika. Zestaw aparatury po-



miarowej firmy Metra Blansko typ QWIII jest wykonany w klasie 2. Z zestawu tego wykorzystano tylko watomierz.

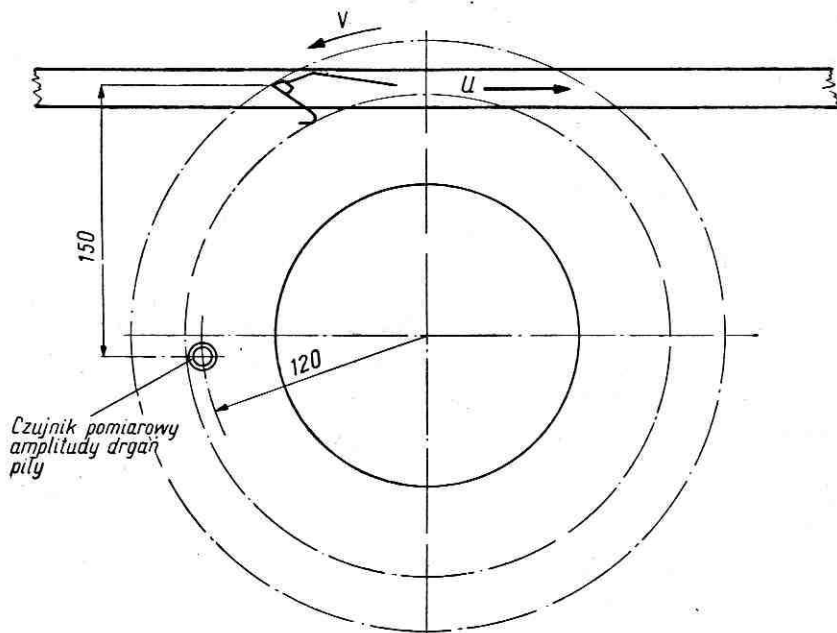
### 3. POMIAR AMPLITUDY DRGAŃ PIŁY

Mierzona amplituda drgań brzeszczotu piły była wypadkowa, na którą składały się:

- amplituda drgań brzeszczotu powstająca od sił działających na piłę podczas skrawania,
- amplituda drgań wynikająca z odchyień brzeszczotu piły od płaskości,
- amplituda drgań wynikająca z niedokładności osadzenia piły na wrzecionie i z drgań wrzeciona.

Zastosowana metoda pomiaru amplitudy drgań nie pozwalała określić wielkości amplitudy drgań składowych.

Pomiary amplitudy drgań wykonano metodą pojemnościową za pomocą aparatury firmy Wayne Kerr typ B 731 A. Stosowano czujnik pomiarowy (oznaczony symbolem E) o zakresie nie przekraczającym 2,5 mm, z dokładnością  $\pm 0,05$  mm. Odległość czujnika pomiarowego od płaszczyzny piły wynosiła 1,5 mm. Mierzono amplitudę drgań brzeszczotu piły na promieniu 120 mm (odległość punktu pomiarowego od podstawy uzębienia wynosiła 15 mm). Schemat usytuowania czujnika pomiarowego względem piły pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Usytuowanie czujnika pomiarowego amplitudy drgań względem piły

## 4. CHARAKTERYSTYKA PŁYT WIÓROWYCH

Piłowanie płyty wyprodukowano w Oddziale Produkcji Płyt Wiórowych Wyszowskiej Fabryki Mebli i Urządzeń Wnętrz w Wyszowie. Były to płyty wiórowe płasko prasowane, pneumatycznie frakcjonowane o określonych i kontrolowanych następujących własnościach: ciężar właściwy, wytrzymałość na zginanie, wilgotność, zawartość kleju i grubość.

## 5. KONTROLA PARAMETRÓW OBRÓBKI

Szybkość obrotową wrzeciona kontrolowano na wskaźniku zegarowym tachometru prądniczkowego. Tachometr prądniczkowy stosowany w badaniach był przyrządem wykonanym z dokładnością klasy 2.

Wielkość posuwu na ząb kontrolowano przez pomiar czasu piłowania elementu o określonej długości.

## III. WYNIKI BADAŃ

1. BADANIE ZALEŻNOŚCI MIĘDZY SZYBKościĄ SKRAWANIA  
A TĘPIENIEM SIĘ ZĘBÓW

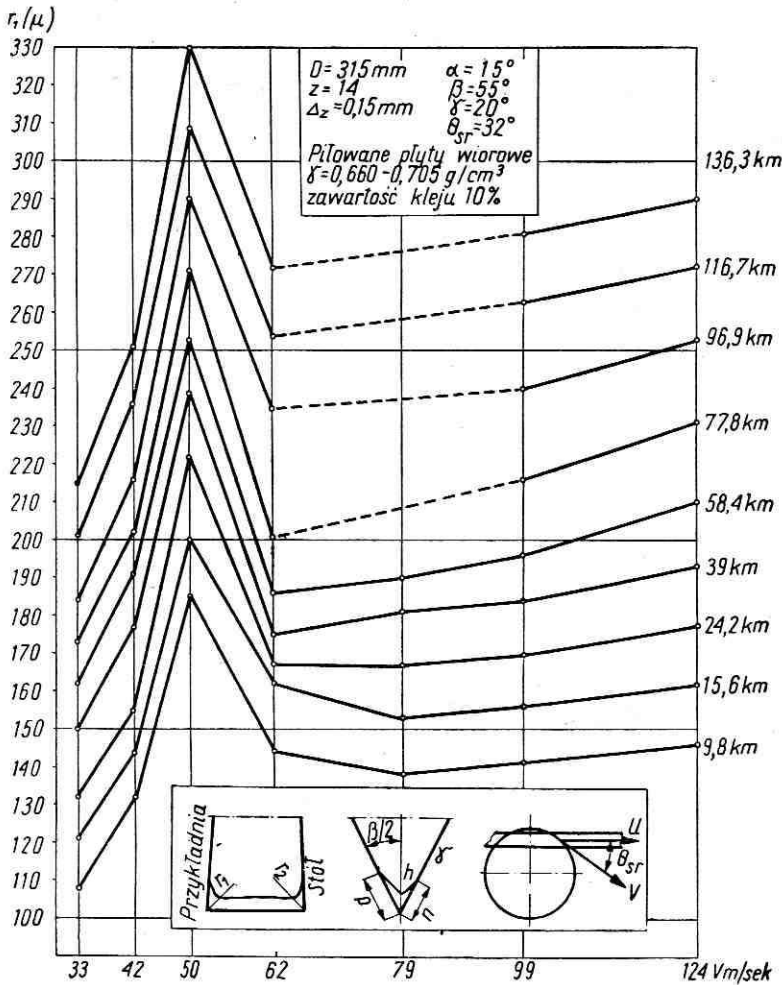
Badania przeprowadzono podczas rozpiłowywania płyt na części przy średnich szybkościach skrawania podanych w tab. 3. Po wykonaniu piłą pracującą przy szybkości skrawania 79 m/sek drogi zęba w drewnie równej 58,6 km nastąpiło jej awaryjne zniszczenie, co zmusiło do wyłączenia jej z dalszych badań.

Badaną zależność przedstawiono na wykresach (rys. 8 do 12), uwzględniając wpływ szybkości skrawania na tępienie się zębów w poszczególnych stadiach piłowania. Wykresy sporządzono uwzględniając średnie drogi zęba przebyte w piłowanym materiale i pomijając różnice wynikiem. in. z odchyłeń grubości piłowanych płyt oraz odchyłek od założonych wielkości posuwu na ząb.

Z przebiegu krzywych wynika, że wpływ szybkości skrawania na tępienie się zębów daje się stwierdzić już w pierwszym etapie piłowania.

Zależność stępienia — reprezentowanego wszystkimi badanymi parametrami — od szybkości skrawania (po przebyciu średnio 136,3 km drogi zęba w piłowanym materiale) przedstawiono na rys. 13.

Z przedstawionych na rys. 8 do 13 wykresów widać, że wszystkie badane parametry określające stępienie wykazują wzrost wraz ze wzrostem szybkości skrawania. Stopniowo wzrastająca krzywa zależności zakłócona jest wartościami wyników stępienia przy szybkości skrawania 50 m/sek. Wszystkie badane parametry określające stępienie wykazują nienormalny dla tego charakteru zależności wzrost tępienia przy szybkości skrawania 50 m/sek. Stępienie się piły pracującej przy szybkości skrawania 50 m/sek kształtuje się podobnie, jak stępienie piły pracującej przy szybkości skrawania ok. 80 m/sek (biorąc pod uwagę parametry  $n$ ,  $h$  i  $p$ ). Parametry



Rys. 8. Zależność stopienia reprezentowanego parametrem  $r_1$  od szybkości skrawania

$r_1$  i  $r_2$  obrazują wzrost tępienia się piły przy szybkości skrawania 50 m/sec w sposób jeszcze bardziej wyrazisty. Można stwierdzić, że parametry te są najbardziej czułymi wskaźnikami, na których w sposób bardzo wyraźny odbiła się przyczyna lub zespół przyczyn powodujących to nadmierne tępienie piły pracującej przy szybkości skrawania 50 m/sec.

W tab. 5 pokazano procentowy wzrost wartości parametrów tępienia w zależności od szybkości skrawania, przyjmując wartość tępienia dla piły pracującej z szybkością 33 m/sec za 100. Z tab. tej wynika, że przyrost szybkości skrawania z 33 do 124 m/sec powoduje wzrost tępienia średnio o 25% (od wartości tej odbiega tylko parametr  $r_1$ , którego wartość jest większa). Czynniki związane z warunkami pracy na obrabiarce wpłynęły głównie na parametry  $r_1$  i  $r_2$ , a w znacznie mniejszym stopniu

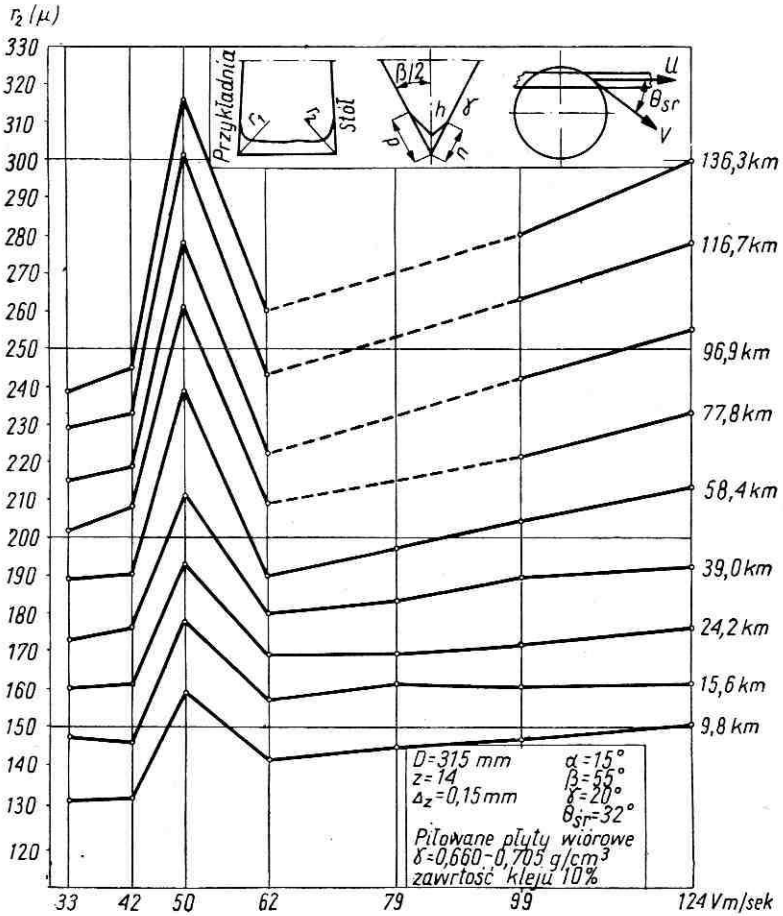
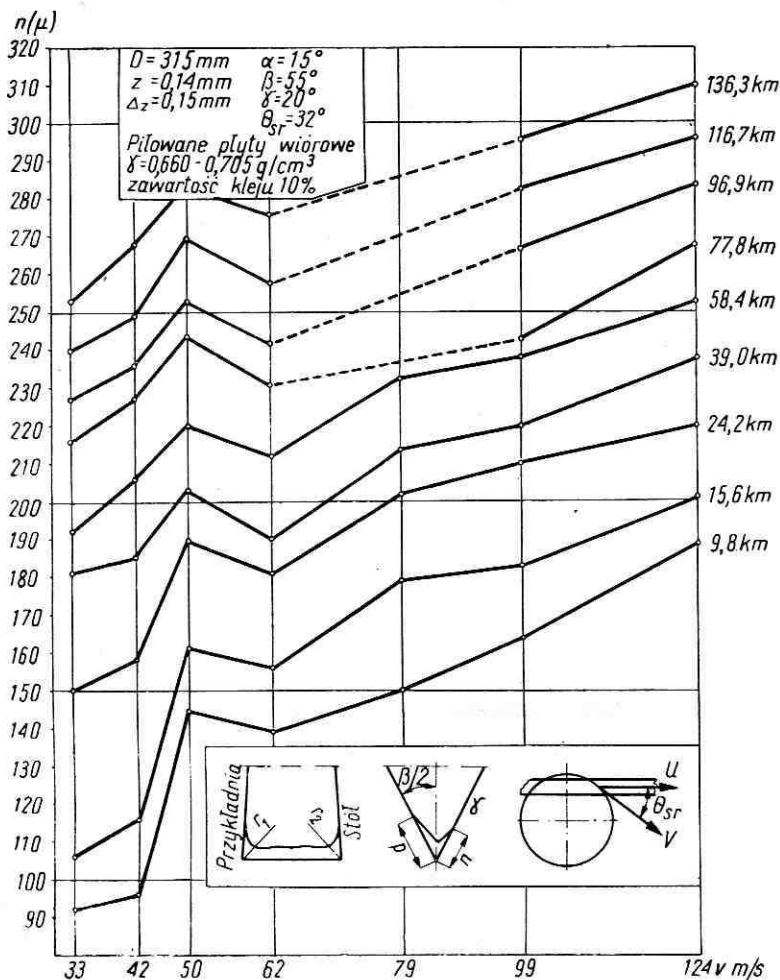
Rys. 9. Zależność stopienia reprezentowanego parametrem  $r_2$  od szybkości skrawania

Tabela 5

Procentowy wzrost wartości parametrów tępienia w zależności od szybkości skrawania  
(po przebyciu, średnio 136,3 km drogi zęba w piłowanym materiale)

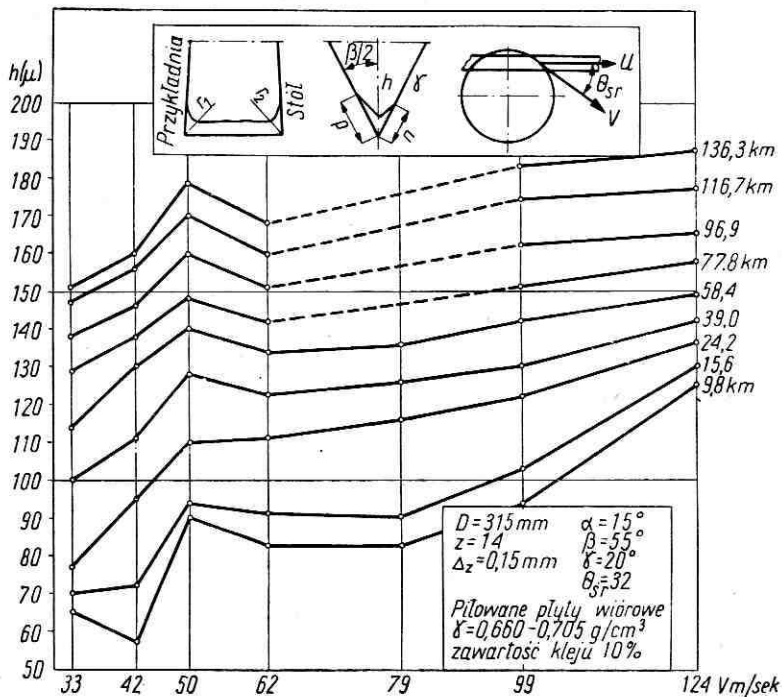
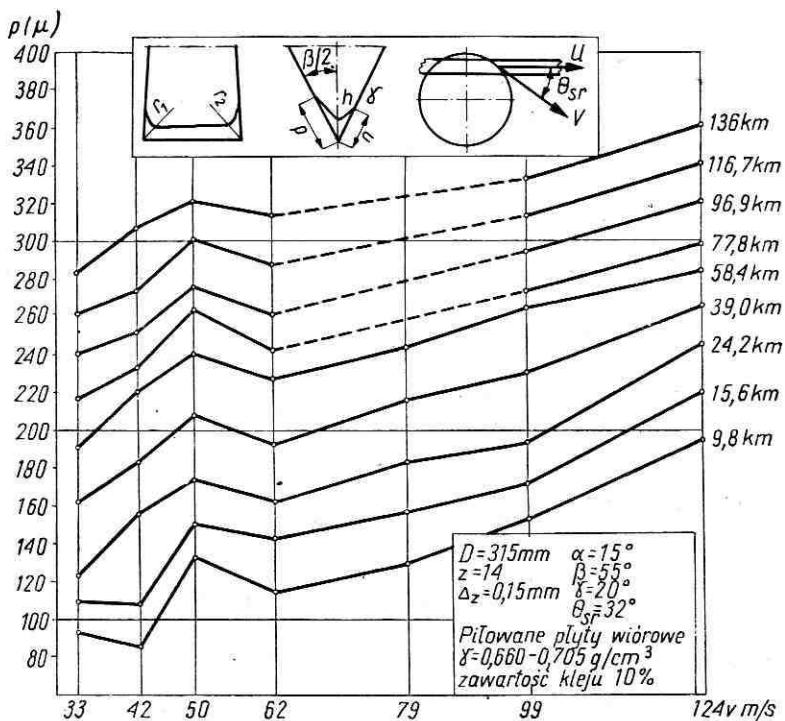
Szybkość skrawania m/sek.	Parametr stopienia %				
	$r_1$	$r_2$	$n$	$h$	$p$
33	100	100	100	100	100
42	116,7	102,5	105,9	106,0	108,5
50	153,5	132,2	112,2	118,5	113,4
62	126,5	108,8	109,1	112,2	111,0
79	—	—	—	—	—
99	130,7	117,2	117,0	121,2	118,0
124	134,9	125,5	122,5	123,8	127,6

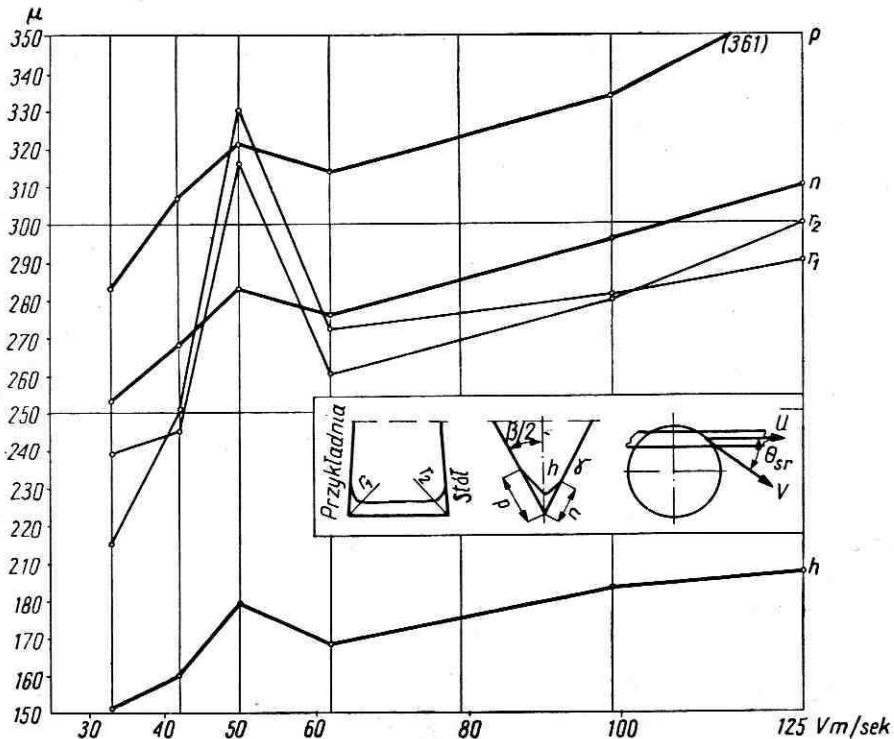


Rys. 10. Zależność stępienia reprezentowanego parametrem  $n$  od szybkości skrawania

na parametry obserwowane na rzucie zęba w płaszczyźnie pracy piły. Czynniki te były boczne ruchy (drżania) piłowanej płyty wraz ze stołem, które oddziaływały głównie na wielkość parametru  $r_2$ , oraz ruchy (drżania) odpilowywanej części płyty, które wpłynęły na wielkość parametru  $r_1$ . Wpływ ten potwierdza się i tym, że wartość liczbową parametru  $r_1$  jest z reguły większa od wartości liczbowej parametru  $r_2$ , gdyż drżania boczne odpilowywanej płyty są większe niż drżania płyty przytrzymywanej na stole w zaciskach. Część odpilowywana płyty nie była zaciśnięta ani też podpierana w trakcie piłowania i efekt tego jest bardzo widoczny w wartościach parametrów  $r_1$  i  $r_2$ .

Dalsza analiza danych z tab. 5 przedstawiona w tab. 6 wskazuje na zmniejszanie się wraz ze wzrostem szybkości skrawania procentowego

Rys. 11. Zależność stopnia reprezentowanego parametrem  $h$  od szybkości skrawaniaRys. 12. Zależność stopnia reprezentowanego parametrem  $p$  od szybkości skrawania



Rys. 13. Zależność stopienia reprezentowanego parametrami od szybkości skrawania (po przebyciu średnio 136,3 km drogi zęba w piłowanym materiale)

Tabela 6

Procentowy przyrost stopienia na jednostkę przyrostu szybkości skrawania

Szybkość skrawania m/sek.	Przyrost szybkości skrawania m/sek.	Średni procentowy przyrost stopienia dla parametrów $n$ , $h$ , $p$ %	Procentowy przyrost stopienia na jednostkę przyrostu szybkości skrawania
33		0	
42	9	6,8	0,745
50	17	11,7	0,865
62	29	10,4	0,358
79	46	—	—
99	66	18,7	0,284
124	91	24,6	0,270

przyrostu stopienia na jednostkę przyrostu szybkości skrawania. Z reguły tej należy jedynie wyliczyć wartość stopienia reprezentującą szybkość skrawania 50 m/sek. Z wartości podanych w tab. 6 wynika, że zależność pomiędzy szybkością skrawania a stopieniem nie jest liniowa.



Z obserwowanego zakresu szybkości skrawania można wnioskować, że wpływ szybkości skrawania na tępienie jest większy w zakresie małych szybkości i maleje w strefie dużych szybkości skrawania.

Zaobserwowany związek między szybkością skrawania a tępieniem się zębów pił tarczowych wymaga szczegółowej analizy wyjaśniającej na podstawie badań i obserwacji dodatkowych przyczynę kształtującą tę zależność. Analizę tę z racji charakteru zaobserwowanego zjawiska przeprowadzono, mając na uwadze dwa elementy zależności, a mianowicie:

— zależność między szybkością skrawania a tępieniem się zębów piły, odrzucając obserwacje piłowania z szybkością skrawania 50 m/sek., czyli znalezienie przyczyn wzrostu tępienia wraz ze wzrostem szybkości skrawania oraz

— zaobserwowane zjawisko nadmiernego tępienia się zębów piły przy piłowaniu z szybkością skrawania 50 m/sek.

Analiza zależności przeprowadzona zostanie po przedstawieniu wyników badań amplitudy drgań piły oraz mocy skrawania.

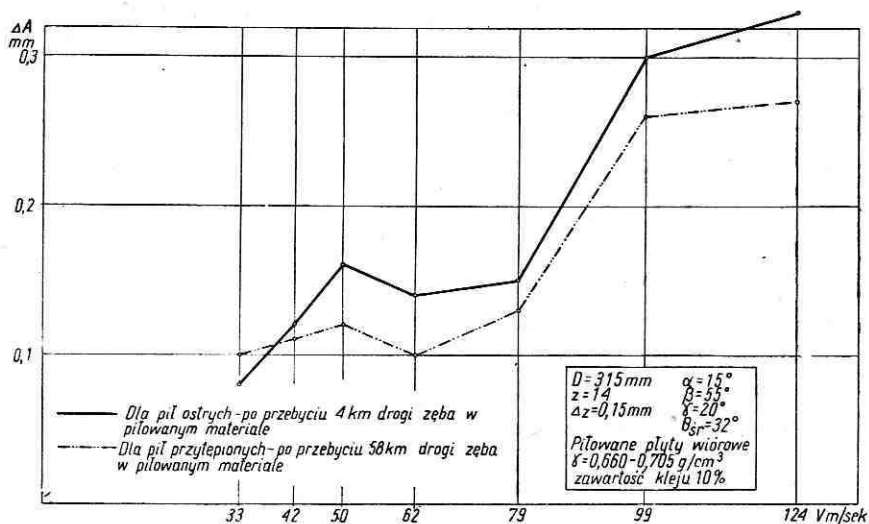
## 2. BADANIE ZALEŻNOŚCI MIĘDZY SZYBKościĄ SKRAWANIA A AMPLITUDA DRGAŃ PIŁY

Na rys. 14 przedstawiono zależność między szybkością skrawania a przyrostem amplitudy drgań piły. Z wykresu widać, że krzywa przyrostu amplitudy drgań rośnie wraz ze wzrostem szybkości skrawania. W zakresie szybkości skrawania od 33 do 79 m/sek. przyrost amplitudy drgań piły jest powolny z wyraźnym wzrostem wartości  $\Delta A_s$  w obszarze szybkości skrawania 50 m/sek. Od szybkości skrawania 79 m/sek. zauważa się znaczny wzrost wartości  $\Delta A_s$  do szybkości 100 m/sek., a przyrost szybkości skrawania do wartości 124 m/sek. powoduje już niewielki wzrost wartości  $\Delta A_s$ . Z przedstawionego wykresu wynika, że przyrost amplitudy drgań piły ostrej jest większy niż przyrost amplitudy drgań piły przytępionej. Można przypuszczać, że drgania piły przytępionej są bardziej tłumione przez boczne, obrobione płaszczyzny piłowanego materiału niż to ma miejsce przy piłach ostrych. Tłumienie to w przypadku piły ostrej jest mniejsze, gdyż ostre wierzchołki boczne zęba łatwiej wgłębiają się w obrabiane płaszczyzny i amplituda drgań jest większa.

Zależność amplitudy drgań piły od szybkości skrawania jest zgodna z wynikami prac G. Pahlitzscha i P. Rose (5) oraz częściowo A. Strzeleckiego (8) natomiast przeczy badaniom wykonanym przez V. Kotesovca i H. R. Loosa (3).

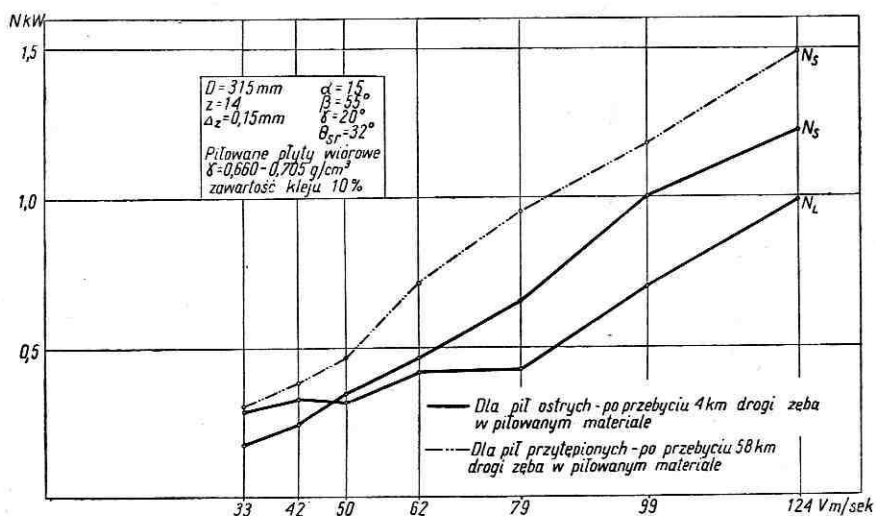
## 3. BADANIE ZALEŻNOŚCI MIĘDZY SZYBKościĄ SKRAWANIA A MOCĄ SKRAWANIA

Wyniki badań przedstawiono na rys. 15. Zależność mocy skrawania od szybkości skrawania jest bardzo wyraźna. Wzrost szybkości skrawania z wartości 33 do 124 m/sek. powoduje wzrost mocy skrawania z 0,17 do



Rys. 14. Zależność między przyrostem amplitudy drgań piły ( $\Delta A = A_S - A_L$ ) a szybkością skrawania przy piłowaniu płyt wiórowych piłami tarczowymi z nakładkami z węglików spiekanych.  $A_S$  — amplituda drgań piły podczas skrawania,  $A_L$  — amplituda drgań podczas biegu luzem

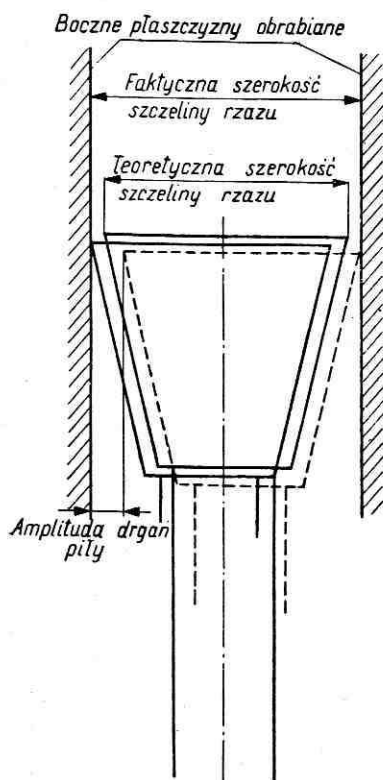
1,22 kW, czyli blisko 4-krotne zwiększenie szybkości skrawania powoduje ponad 7-krotny wzrost mocy skrawania. Uzyskane wyniki są potwierdzeniem ogólnie znanych zależności, a pomierzone wartości mogą być wykorzystane przy analizie ekonomicznej doboru optymalnej szybkości skrawania.



Rys. 15. Zależność między szybkością skrawania a mocą biegu luzem ( $N_L$ ), mocą skrawania ( $N_S$ ) przy piłowaniu płyt wiórowych piłami tarczowymi z nakładkami z węglików spiekanych.

4. UZASADNIENIE ZALEŻNOŚCI MIĘDZY Szybkością skrawania  
A TĘPIENIEM SIĘ ZĘBÓW PIŁ TARCZOWYCH NA PODSTAWIE ZWIĄZKU  
MIĘDZY Szybkością skrawania I AMPLITUDĄ DRGAŃ

Założenie, że jedną z przyczyn wpływających na wielkość tępienia się zębów pił tarczowych jest wielkość amplitudy drgań, uzasadnione jest analizą uzyskanych wyników badań oraz wynikami badań przytoczonymi przez innych autorów. Analizując pracę piły tarczowej można stwierdzić, że boczne, poprzeczne do płaszczyzny pracy piły wychylenia zęba będą wpływały na tępienie się bocznych wierzchołków zęba. Wyjaśnia to rys. 16



Rys. 16. Ząb piły tarczowej pracujący w szczeliny rzazu

przedstawiający ząb piły, który pracuje w szczeliny rzazu i wychylając się z płaszczyzny swojej pracy o wartość amplitudy — będzie wgłębiał się w boczne powierzchnie odbrobione, co wywoływać musi tępienie się zęba.

Przeprowadzone rozumowanie znajduje potwierdzenie w badaniach. Zależność parametrów  $r_1$  i  $r_2$  od ruchów poprzecznych odpilowywanej płyty i ruchów poprzecznych stołu z zamocowaną płytą potwierdza słuszność założenia. Należy podkreślić także, zaobserwowany z wykresów (rys. 13 i 14) charakter zależności między szybkością skrawania a stępieniem zębów z jednej strony oraz przyrostem amplitudy drgań z drugiej

strony, jak również wyniki dociekań A. Strzeleckiego (8). Autor ten dochodzi do wniosku, że zmniejszenie amplitudy drgań powoduje:

— zmniejszenie szerokości rzazu (oszczędność piłowanego materiału, zmniejszenie oporów skrawania, a tym samym zmniejszenie poboru mocy skrawania),

— polepszenie gładkości rzazu, czyli zmniejszenie chropowatości.

Powyższe stwierdzenia pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

— jedną z przyczyn wzrostu tępienia się zębów pił tartarczych wraz ze wzrostem szybkości skrawania jest przyrost amplitudy drgań piły,

— zaobserwowane zjawisko wzrostu tępienia się zębów pił przy szybkości skrawania 50 m/sek. ma najprawdopodobniej swoją przyczynę w przyroście amplitudy drgań przy tej szybkości skrawania.

#### 5. PRÓBA UZASADNIENIA ZWIĄZKU MIĘDZY Szybkością skrawania a tępieniem się zębów pił tarczowych — NA PODSTAWIE ZWIĄZKU MIĘDZY Szybkością skrawania a obciążeniem zęba

Hipotetyczne uzasadnienie zależności między szybkością skrawania a tępieniem się zębów badanych pił należy oprzeć na:

— obciążeniu zęba siłami skrawania,

— amplitudzie drgań pracującej piły tarczowej.

Według Pahlitzscha (6) na pracę zęba w piłowanym materiale składają się następujące prace cząstkowe:

— głównej powierzchni skrawania,

— bocznych powierzchni skrawania,

— rozdrabniania wióra i związana z tym praca na pokonanie tarcia wiórów pomiędzy sobą,

— usuwania wiórów i związana z tym praca na pokonanie tarcia wiórów o płaszczyzny obrobionego materiału i powierzchnie ograniczające wrąb zęba,

— przyspieszenia wióra.

Wartość liczbowa tych prac zależna jest m. in. od szybkości skrawania.

Wzrost wielkości pracy wykonywanej przez główną powierzchnię skrawania i boczne powierzchnie skrawania ma miejsce z powodu zmniejszenia się odkształceń skrawanego materiału pod działaniem zęba przy wzroście szybkości skrawania. Ze wzrostem szybkości skrawania, a co za tym idzie ze wzrostem szybkości nacisku głównej powierzchni skrawania na skrawany materiał rośnie także siła potrzebna do zeskrwania wióra. Związane jest to ze wzrostem wytrzymałości drewna przy wzrastającej szybkości obciążania badanej próbki.

Jak podaje Bierszadskij (1) wg badań Leontiewa wytrzymałość sosny przy szybkości obciążania 135 sek. wynosiła 770 kG/cm<sup>2</sup>, a przy szybkości obciążenia 0,00045 sek. wytrzymałość wzrosła 2,5-krotnie.

Wraz ze wzrostem szybkości skrawania wzrasta także praca odpro-

wadzenia i przyspieszenia wióra. Podaje to Pahlitzsch (6) wg przybliżonych obliczeń wykonanych przez Reinecke. I tak przy szybkości skrawania ok. 50 m/sek. praca przyspieszenia wióra pochłania ok. 3% mocy skrawania, natomiast przy szybkości skrawania 100 m/sek. pochłania ok. 10%, a przy 150 m/sek. ok. 20% mocy skrawania.

Z badań wynika, że wraz ze wzrostem szybkości skrawania wzrasta obciążenie zęba, co prowadzi do intensywniejszego tępienia się wszystkich części zęba biorących udział w skrawaniu.

#### WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Ze wzrostem szybkości skrawania wzrasta stopień tępienia się zębów pił tarczowych z nakładkami z węglików spiekanych. Zależność ta ma charakter krzywoliniowy.

2. Stępienie się zębów piły pracującej przy szybkości skrawania 50 m/sek. jest większe niż wynikałoby to z charakteru zależności uzyskanej z wartości stępienia przy pozostałych badanych szybkościach skrawania.

3. Przy wzroście szybkości skrawania z 33 do 124 m/sek. stępienie zębów pił wzrasta średnio o 24,6%.

4. Jedną z przyczyn wzrostu tępienia się zębów pił tarczowych wraz ze wzrostem szybkości skrawania jest przyrost amplitudy drgań piły.

5. Jedną z przyczyn zwiększonego tępienia się zębów piły tarczowej pracującej przy szybkości skrawania 50 m/sek. jest zwiększony — przy tej szybkości — przyrost amplitudy drgań piły.

6. Amplituda drgań piły tarczowej podczas skrawania jest większa niż amplituda drgań piły podczas biegu luzem.

7. Przyrost amplitudy drgań piły przytępionej jest mniejszy niż przyrost amplitudy drgań piły ostrej. Wynika stąd, że tłumienie amplitudy drgań piły podczas skrawania wzrasta wraz ze wzrostem stępienia piły.

Z przytoczonych wniosków wypływają następujące zalecenia o znaczeniu praktycznym.

A. Ze względu na znaczny w porównaniu z obocznymi szybkościami skrawania przyrost amplitudy drgań piły pracującej przy szybkości skrawania 50 m/sek. i związany z tym przyrost stępienia — szybkości tej nie należy stosować przy piłowaniu piłami tarczowymi. Zalecenie to odnosi się do średnic pił 315 mm, grubości brzeszczotu 2,0 mm oraz średnicy kołnierzy zaciskowych 160 mm.

B. Wybór optymalnej — ze względu na tępienie się zębów — szybkości skrawania może być dokonany po przeprowadzeniu analizy ekonomicznej ujmującej koszty eksploatacji narzędzia oraz wydajność stanowiska roboczego przy piłowaniu z różnymi szybkościami skrawania.

## LITERATURA

1. Bierszadskij A. L.: Wlijanie skorosti riezaniya na udielnuju rabotu pri struzkoobrazovanii. „Dieriewoobrabatywajuszczaja Promyslennost'” 1955; nr 9.
2. Grube A. E.: Dierieworeżuszczije instrumenty s płastinkami iz twierdych spławow. Goslezbumizdat, Moskwa 1963.
3. Kotesovec V. i Loos H. R.: Schwingungen von Hartmetallbestückten Kreissägeblättern. „Holztechnologie” 1964; nr 1.
4. Orlicz T.: Narzędzia do obróbki drewna cz. I. Wiadomości ogólne. Wydanie II. Dział Wydawnictw SGGW. Warszawa 1967.
5. Pahlitzsch G., Rose P.: Untersuchungen beim Kreissagen von Holz. „Holz als Roh- und Werkstoff” 1962; nr 10.
6. Pahlitzsch G.: Internationaler Stand der Forschung auf dem Gebiet des Sägen. „Holz als Roh- und Werkstoff” 1962; nr 10.
7. Prokes S.: Obrabeni dreva a novych hmot ze dreva. SNTL, Praha 1965.
8. Strzelecki A.: Tłumienie drgań wirującej piły tarczowej w polu magnetycznym. Warszawa 1966; maszynopis pracy doktorskiej.
9. Kujański W.: Badanie niektórych sposobów zwiększenia odporności na zużycie narzędzi skrawających drewno. SIMP, Materiały I Narady Naukowo-Technicznej „Tarcie, zużycie i smarowanie maszyn”, Warszawa 1968.
10. PN-64/D-55506.
11. PN-60/H-89500.
12. PN-58/D-56208.

*Войцех Стефаняк*

**ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА ЗАТУПЛЕНИЕ ЗУБЬЕВ  
ДИСКОВЫХ ПИЛ С ПЛАСТИНКАМИ ИЗ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ  
ПРИ ПИЛЕНИИ СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ**

Краткое содержание

Исследования проводились путем пиления стружечных плит дисковым двухпильным станком типа ДПЭБ-200. Применялись 7 пил для пиления со следующими скоростями резания: 33, 42, 50, 62, 79, 99 и 124 м/сек. В исследованиях были приняты следующие постоянные параметры: величина подачи на зуб  $\Delta z = 0,15$  мм, выступ пилы из элемента  $x = 15$  мм. Средний угол встречи  $\theta_s = 32^\circ$ . Применяемые в исследованиях пилы имели диаметр  $D = 315$  мм, толщина пильного полотна  $s = 2$  мм, длина лезвия  $s_1 = 3,2$ , количество зубьев  $z = 14$ , угловые параметры зубьев  $\alpha = 15^\circ$ ,  $\beta = 55^\circ$ ,  $\gamma = 20^\circ$ .

Каждая из исследованных пил прошла в среднем 136,3 км пути зуба в древесине. Во время пиления были проведены в определенных, постоянных для всех пил промежутках времени, следующие измерения:

— измерение микрогеометрии пильных лезвий — путем определения избранных линейных параметров затупления на проекции зуба в плоскости работы пилы и на проекции зуба в плоскости атаки;

— измерение амплитуды колебаний пилы в течение холостого хода и во время резания;

— измерение мощности резания.

Результаты опытов позволяют установить, что:

— с ростом скорости резания увеличивается затупление; эта зависимость криволинейного характера; рост скорости резания с 33 до 124 м/сек, вызывает рост затупления в среднем на 24,6%;



— затупление зубьев пилы работающей со скоростью резания 50 м/сек. больше, чем это следовало бы из общего характера исследуемой зависимости;

— одним из факторов влияющих существенным образом на зависимость затупления от скорости резания является амплитуда колебаний пилы во время работы;

— характер зависимости между приростом амплитуды колебаний пилы и скоростью резания в общем приближен к характеру зависимости затупления от скорости резания;

— прирост амплитуды колебания пилы затупленной меньше прироста амплитуды колебаний острой пилы.

### Wojciech Stefaniak

#### EINFLUSS DER ZAHNGESCHWINDIGKEIT AUF DAS STUMPFWERDEN DER SINTERHARTMETALL-SCHNEIDKANTE VON KREISSÄGEN BEI SÄGEN VON SPANPLATTEN

##### Zusammenfassung

Die Prüfungen erfolgten bei Sägen von Spanplatten auf Kreiss-Doppelsäge — Typ DPEB-200. Dazu wurden 7 Sägeblätter mit folgenden Zahngeschwindigkeiten angewendet: 33, 42, 50, 62, 79, 99 und 124 m/sek. In den Prüfungen hat man folgende unveränderliche Parameter angenommen: die Grösse des Vorschubs je Zahn  $\Delta_z = 0,15$  mm, das Herausstehen des Sägeblattes aus dem Element  $x = 15$  mm, Der mittlere Einsatzwinkel  $\Theta_s = 32^\circ$ . Der Durchmesser aller angewendeten Sägeblätter betrug  $D = 315$  mm, die Dicke des Sägeblattes  $s = 2$  mm, die Länge der Schneidkante  $s_1 = 3,2$ , die Zahl der Zähne  $z = 14$ , die Winkelparameter der Zähne  $\alpha = 15^\circ$ ,  $\beta = 55^\circ$ ,  $\gamma = 20^\circ$ .

Jede der untersuchten Sägen hat im Mittel 136,3 km langen Weg der Zähne im Holz gemacht. Während des Schneidevorganges hat man in festgelegten, für alle Sägen denselben Zeitabständen folgende Messungen gemacht:

— Messung der Mikrogeometrie der Schneidkante — durch Bestimmung der ausgewählten linearen Parameter der Verstumpfung an der Zahnprojektion in der Arbeitsfläche der Säge und an der Zahnprojektion in der Angriffsfläche;

— Messung der Amplitude von Sägeschwingungen während des Leerlaufes und während des Schneidevorganges;

— Messung der Schneidekraft.

Die Prüfungsergebnisse lassen das Folgende feststellen:

— mit der Erhöhung der Zahngeschwindigkeit steigt die Verstumpfung; diese Beziehung ist krummlinig; eine Erhöhung der Zahngeschwindigkeit von 33 auf 124 m/sek. vergrößert die Verstumpfung im Mittel um 24,6%;

— die Verstumpfung der Sägezähne bei Zahngeschwindigkeit 50 m/sek. ist grösser als man aus dem allgemeinen Charakter der untersuchten Beziehung erwarten könnte;

— ein der Faktoren, die wesentlich auf die Abhängigkeit der Verstumpfung von der Zahngeschwindigkeit einfließen, ist die Amplitude der Sägeschwingungen während des Schneidevorganges;

— Charakter der Beziehung zwischen der Steigerung der Amplitude von Sägeschwingungen und der Zahngeschwindigkeit ist im allgemeinen dem Charakter der Abhängigkeit der Verstumpfung von der Zahngeschwindigkeit ähnlich;

— die Steigerung der Amplitude von Schwingungen einer abgestumpften Säge ist kleiner als die Steigerung der Amplitude von Schwingungen einer scharfen Säge.