

Szymon KULCZYCKI

Inetytut Podstaw Konstrukcji Maszyn

DOŚWIADCZALNE BADANIA KONSTRUKCYJNE PIŁ TARCZOWYCH
DO CIĘCIA METALU Z UWZGLĘDNIENIEM KRYTERIUM HAŁASU

Streszczenie. Badania wykazały, że główną przyczyną emitowanego hałasu przez piłę tarczową są drgania tarczy.

Przedstawiono metodę pomiaru stacjonarnych drgań własnych tarczy. Podano zależności pozwalające transponować wyniki do układu wirującego oraz opis stanowiska do badań piły tarczowej. Uzyskane podczas pomiarów wyniki są podstawą do wprowadzenia zmian cech konstrukcyjnych tarczy i parametrów działania piły.

1. Wstęp

Stosowane aktualnie przez konstruktorów metody doboru niektórych cech konstrukcyjnych wybranych podzespołów i parametrów działania pił tarczowych do cięcia metalu odbiegają od optymalnych. Prowadzi to do powstawania szeregu zjawisk o charakterze destrukcyjnym podczas działania maszyny. Jednym z nich jest znaczny wzrost emitowanego hałasu, istotnie przekraczający wartości dopuszczone przez normy (90 dBA), co stanowi jedno z poważniejszych zagrożeń środowiska pracy w hutnictwie.

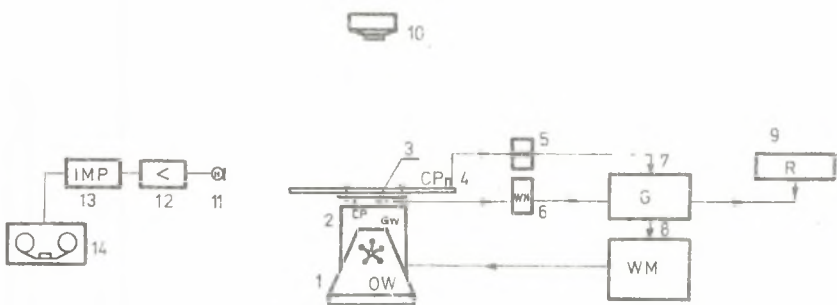
Prowadzone w szerokim zakresie badania pił wskazują, że główną przyczyną emitowanego hałasu są drgania tarczy. Szczególnie niebezpieczne są wartości częstotliwości bliskie drganiom rezonansowym. Należy oczekiwać, że czynna redukcja drgań wibroakustycznych przyczyni się także do wzrostu trwałości tarcz. Teoretyczne próby rozwiązania złożonego problemu wibroakustycznego nie zezwalają na sformułowanie praktycznych wskazań dla konstruktorów.

Zdecydowano się na wybór doświadczalnej metody badań konstrukcyjnych pił tarczowych prowadzonej na obiektach rzeczywistych. Dotyczy to w głównej mierze rozpoznania i struktury drgań wibroakustycznych tarcz w układzie stacjonarnym i dynamicznym.

2. Metoda pomiaru drgań rezonansowych stacjonarnych

W celu uzyskania możliwie dokładnych wartości częstotliwości rezonansowych tarczy oraz postaci drgań zdecydowano się na doświadczalną metodę

ich identyfikacji. Badania prowadzono na stanowisku, którego istotę działania przedstawia rys. 1. Oryginalna tarcza piły $\varnothing 1000 \times 6$ była mocowana do głowicy wstrząsarki za pomocą specjalnego uchwytu o konstrukcji zbliżonej do konstrukcji uchwytu tarczy w pile. Tarcza została pokryta na całej powierzchni bardzo drobnymi opiłkami papieru. W momencie wzbudzenia drgań rezonansowych przez generator sterujący wstrząsarką opiłki układały się na tarczy wzdłuż linii węzłowych. Kolejne postacie linii węzłowych były fotografowane, a efekt akustyczny nagrywany na magnetofon. Dla każdego z rezonansów rejestrowano jego częstotliwość oraz wartość przyspieszenia wzbudzającego.



POMIAR DRGAŃ WŁASNYCH TARCZY ORAZ EFEKTU
AKUSTYCZNEGO

- | | | | |
|-----|--------------------------|----|---|
| 1 | OBUDOWA WZBUDNIKA | 10 | APARAT FOTOGRAFICZNY |
| 2 | GŁOWICA WSTRZĄSARKI | 11 | MIKROFON POJEMNOŚCIOWY |
| 3,4 | CZUJNIK PRZYSPIESZEŃ | 12 | PRZEDWZMACNIACZ |
| 5,6 | WZMACNIACZ NORMALIZUJĄCY | 13 | PRECYZYJNY IMPULS. MIERNIK POZIOMU
NATEŻENIA DŹWIEKU |
| 7 | GENERATOR KONTROLNY | 14 | MAGNETOFON POMIAROWY |
| 8 | WZMACNIACZ MOCY | | |
| 9 | REJESTRATOR POZIOMÓW | | |

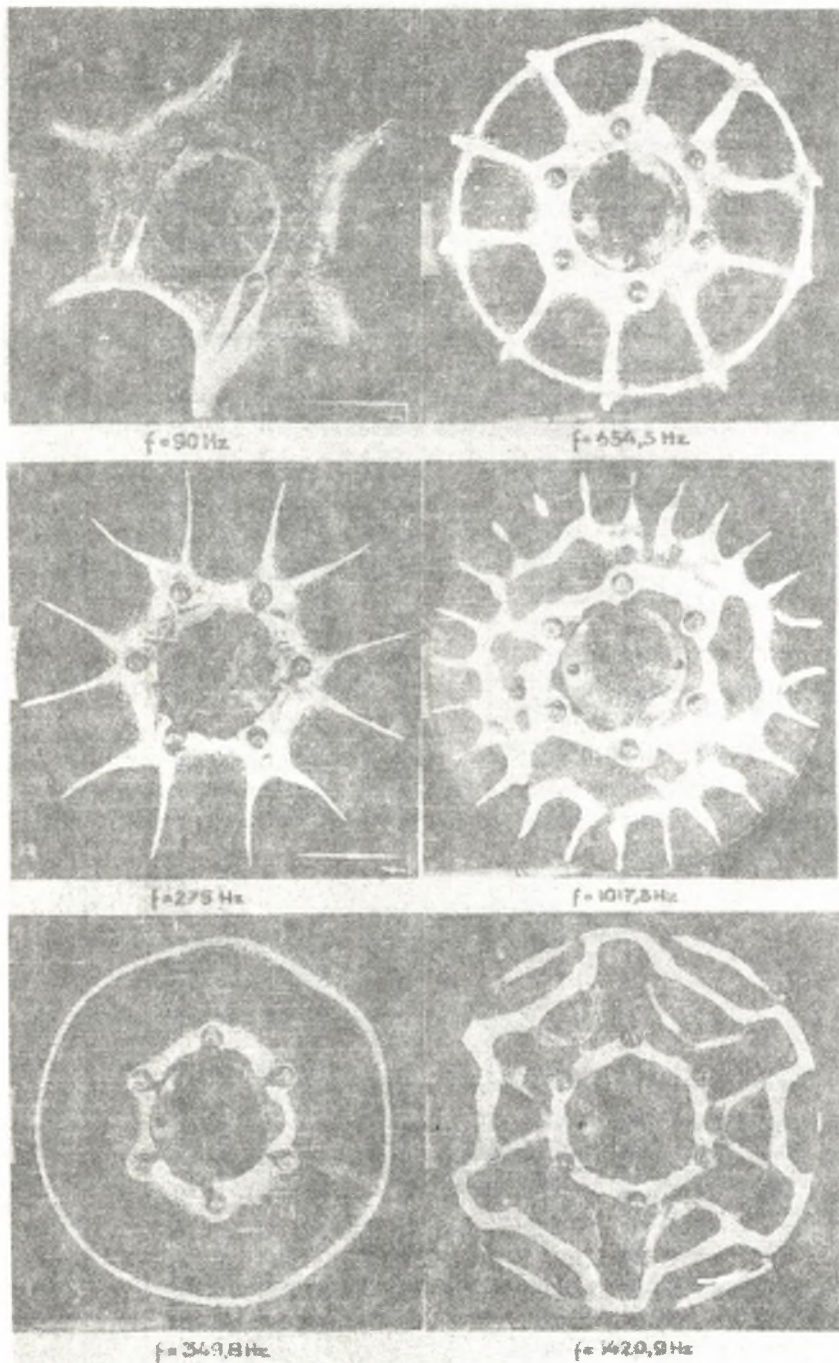
Rys. 1

Operacje te powtarzano również dla częstotliwości o 10 [Hz] większej i mniejszej od częstotliwości rezonansowej.

Niezależnie od tego przeprowadzona została również za pomocą oddzielnego toru pomiarowego rejestracja poziomów przyspieszeń punktów tarczy usytuowanych na dwóch różnych jej promieniach. Analizę nagranego sygnału akustycznego przeprowadzono przy pomocy cyfrowego rejestratora sygnałów przypadkowych oraz analizatora wąskopasmowego.

Analiza wyników prowadzi do następujących wniosków:

- wartości częstotliwości rezonansowych badanej tarczy przy maksymalnym wykorzystaniu aparatury znajdują się w przedziale 50-1500 [Hz],



Rys. 2

- linie węzłowe usytuowane są na kierunkach średnicowym, obwodowym, średnicowo-obwodowym (rys. 2),
- oprócz postaci drgań bardzo regularnych ujawniono również postacie złożone nieregularne,
- udział części powierzchni tarczy pozostającej w spoczynku do całej powierzchni jest dla kolejnych rezonansów zmienny,
- poziom ciśnienia akustycznego każdego z rezonansów jest inny,
- drgania rezonansowe o postaci złożonej z linii węzłowych średnicowych i jednej obwodowej wzbudzają co najmniej cztery częstotliwości harmoniczne,
- rejestracja poziomów przyspieszeń wybranych punktów tarczy potwierdza istnienie i postacie rezonansów,
- drgania rezonansowe posiadają różne poziomy energetyczne wzbudzenia oraz różną szerokość pasma częstotliwości oddziaływania rezonansu.

Przedstawione w ogólnej formie wnioski wskazują na słuszność zastosowania metody doświadczalnej, która pozwala uwzględnić większą ilość czynników niż metody teoretyczne, ograniczające się do przypadków podstawowych [3], [4], [5], [7] oraz na różnice we wnioskowaniu w stosunku do badań tarcz o małych średnicach [6].

5. Zagadnienie rotacji tarczy

W pile tarcza wykonuje ruch obrotowy. Powoduje on zmiany w wartości częstotliwości rezonansowych zależne od prędkości kątowej tarczy jak również postaci drgań. Częstotliwość rezonansowa f_{ω} może być obliczona z zależności [5], [3]:

$$f_{\omega}^2 = f^2 + \lambda^2 \omega^2$$

$$\lambda = f(s, n, \nu)$$

gdzie:

- f - częstotliwość drgań własnych stacjonarnych,
- ω - prędkość kątowa tarczy,
- s - liczba linii węzłowych średnicowych,
- n - liczba linii węzłowych obwodowych,
- ν - liczba Poissonne'a.

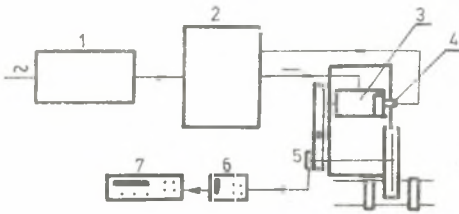
Po uwzględnieniu sumarycznej i różnicowej częstotliwości drgań tarczy w czasie obrotu możliwe jest sporządzenie wykresów zależności $f_{(\omega)} = f$ (prędkości obrotowej). Naniżone na wykres wartości dominant z analizy wąskopasmowej efektu akustycznego piły przy zmiennych prędkościach obrotowych pozwalają na stwierdzenie znacznej ich zgodności z częstotliwościami

ciami rezonansowymi tarczy w czasie obrotu, co potwierdza postawioną na wstępie badań hipotezę co do przyczyn nadmiernego hałasu emitowanego przez piłę.

Wynika stąd problem badawczy ustalenia metody doboru cech konstrukcyjnych tarczy oraz parametrów działania piły, której stosowanie prowadzi będzie do obniżenia udziału częstotliwości rezonansowych w widmie efektu wibroakustycznego piły tarczowej.

4. Metoda badań piły tarczowej

Celem rozwiązania przedstawionego problemu skonstruowano stanowisko badawcze piły tarczowej do cięcia metalu umożliwiające zmianę podstawowych parametrów działania, takich jak: prędkość obrotowa tarczy 10-2500 $[\text{min}^{-1}]$, prędkość posuwu tarczy, sposób mocowania elementu ciętego (rys. 3).



- | | |
|----------------------|-----------------------|
| 1 TRANSFORMATOR | 5 GŁOWICA FOTOELEKTR. |
| 2 SZAFKA TYRYSTOROWA | 6 ZNACZNIK OBROTÓW |
| 3 SILNIK PR. STAŁEGO | 7 CZĘSTOŚCIOMIERZ |
| 4 TACHOPRĄDNICZKA | |

Rys. 3

Na podstawie uzyskanych wyników wykonano szereg tarcz o różnej konstrukcji. Główne zmiany polegały na wykonaniu:

- odpowiednich szczelin obwodowych bądź promieniowych,
- tarcz wstępnie sprężonych,
- tarcz złożonych z różnych tworzyw,

- tarcz o różnych cechach geometrycznych uzębienia,
- tarcz o zmienionym mocowaniu.

Metoda badań polegała na pomiarze zadanych wielkości fizycznych:

- poziomu ciśnienia akustycznego,
- przyspieszeń drgań elementu ciętego,

dla danej tarczy w określonych warunkach działania piły. Następnie zmieniano jeden z warunków działania (np. prędkość obrotową tarczy) i przeprowadzano pomiar przy pozostałych warunkach niezmiennych. W ten sposób przeprowadzono pomiary dla różnych tarcz i różnych kombinacji warunków działania.

Dzięki porównaniu uzyskanych wyników możliwe jest wyznaczenie wpływu poszczególnych czynników na efekt akustyczny cięcia.

5. Wnioski

Uzyskane z przeprowadzonych pomiarów wyniki oraz ich analiza przy użyciu cyfrowego rejestratora sygnałów przypadkowych i analizatora wąskopasmowego pozwalają na sformułowanie szeregu wniosków.

Ze względu na praktycznych zostaną one omówione w dwóch podgrupach.

5.1. Parametry i warunki działania pił

- poziom emitowanego hałasu zależy od prędkości obrotowej tarczy. Dla większości badanych tarcz minimum znajdowało się w zakresie 1500 - 1800, $[\text{min}^{-1}]$, $v = 78-94 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$,
- zwiększenie prędkości posuwu powyżej 50 $\left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$ powoduje znaczny wzrost emitowanego hałasu.
- celowe jest stosowanie silników napędzających tarczę o większych mocach, co zapobiegnie zjawisku "zakleszczania się" tarcz przy niższych prędkościach liniowych $v < 50 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$ i znacznych prędkościach posuwu,
- zwiększenie sztywności układu mocującego powoduje wzrost poziomu emitowanego hałasu,
- ze względu na tłumienie drgań skrętnych korzystne jest stosowanie układu napędowego z przekładnią pasową.

5.2. Konstrukcja tarczy i jej mocowanie

- stosowanie tarcz nieuzębionych jest niecelowe, ponieważ poziom hałasu w czasie cięcia przewyższa poziomy uzyskane dla tarcz uzębionych,
- zwiększenie podziałki zębów i ich wielkości wpływa korzystnie na obniżenie poziomu hałasu,
- stosowanie zębów o zarysie symetrycznym powoduje wyrównanie poziomu hałasu dla różnych prędkości obrotowych,
- zastosowanie zmiennej podziałki zębów przy ich symetrycznym zarysie nie wprowadziło znaczących zmian w widmie hałasu,
- zwiększenie grubości tarczy powoduje wzrost poziomu emitowanego hałasu,
- stosowanie szczelin promieniowych wpływa korzystnie na obniżenie hałasu, analogiczne szczeliny obwodowe proces ten w dalszym ciągu poprawiają,
- wprowadzenie wstępnego napięcia tarczy w wyniku jej obustronnego rolkowania powoduje obniżenie i wyrównanie poziomu hałasu w funkcji prędkości obrotowej tarczy,
- zastosowanie tarczy złożonej z kilku warstw wulkanizowanych przy jednoczesnym zróżnicowaniu tworzyw potęguje w znacznym stopniu efekt tłumienia wewnętrznego,
- badania tarczy usytuowanej na piaście o powiększonej średnicy i mocowanej do niej większą ilością śrub wykazują nieznaczne obniżenie poziomu hałasu szczególnie zauważalne w zakresie prędkości 1500-1800 $[\text{min}^{-1}]$.

Przedstawione wnioski, poparte szczegółową analizą częstotliwościową uzyskanych wyników, stanowią podstawę dla opracowania metody doboru cech konstrukcyjnych i parametrów działania pił tarczowych do cięcia metalu.

LITERATURA

- [1] J.T. Broch: Mechanical vibration and shock measurements, Bruel Kjaer 1973.
- [2] M. Heckl: Minderung der Körperschallentstehung und Körperschallfortleitung bei Maschinen und Maschinenelementen. VDI - Berichte Nr 239, 1975 p. 39.
- [3] H. Lamb, R.V. Southwell: The vibrations of a spinning disk. Proc. Royal Soc. of London vol. 99, 1921 p. 272.
- [4] C.D. Mote Jr.: Free vibration of initially stressed circular disks. Trans. ASME 87 B May 1965 p. 258.
- [5] R.V. Southwell: On the free transverse vibrations of a uniform circular disc clamped at its centre; and on the effects of rotation. Proc. Royal Soc. of London vol. 101, 1922 p. 133.
- [6] D. Steužek: Analýza hluku pilových kotúčov pomocou vlastných frekvencií.
- [7] T. Wah: Vibration of circular plates. The Jour. Acoust. Soc. Amer. vol. 34, No. 3, 1962 p. 275.
- [8] G. Pahlitzsch, W. Meins: Geräuschuntersuchungen an Kreissägemaschinen für die Holzbearbeitung. Werkstattstechnik 52 (1962) p. 8.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСКОВЫХ ПИЛ
ДЛЯ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛА С УЧЁТОМ КРИТЕРИЯ ШУМА

Р е з ю м е

Исследования доказали, что главной причиной испускаемого дисковой пилой шума являются колебания диска. Представлен метод измерения стационарных собственных колебаний диска. Поданы зависимости, позволяющие транспонировать результаты в колебательную систему, а также описание испытательного стенда для исследований дисковой пилы. Полученные во время измерений результаты являются основанием для введения изменений в конструкционные свойства диска и параметры действия пилы.

NOISE CRITERION EMPIRICAL TESTS OF CIRCULAR SAWS

S u m m a r y

The paper deals with the circular saws natural frequency vibration measurements. The basic equation is used to transfer the results onto a rotating system. The description of the circular saw test rig is given. Changes of constructional features of discs are presented.