

# PRZEGLĄD TECHNICZNY

TYGODNIK POŚWIĘCONY SPRAWOM TECHNIKI I PRZEMYSŁU.

TREŚĆ. Mierzejewski H. O drganiach w obrabiarkach do metali.—Zużytkowanie pary w różnych operacjach przemysłu włókienniczego.—Silniki wysokoprężne (Diesela) dwu- i czterosuwowe.—Przegląd wydawnictw zawodowych.—Związki i Stowarzyszenia techniczne.—Konkursy. Z 3-ma rysunkami w tekście.

## O DRGANIACH W OBRABIARKACH DO METALI.

Podał Henryk Mierzejewski, prof. Politechniki Warszawskiej.

Zjawiska rezonansu sprężystego w maszynach zwróciły oddawna uwagę techników. Drgania własne wału giętkiego w turbinie Laval, drgania skrętne w długich wałach okrętowych, kilka przykładów drgań w silnikach, wreszcie rezonans sprężysty w konstrukcjach żelaznych, były traktowane mniej lub więcej wyczerpująco. O ile wiem, nie próbowano natomiast badać doświadczalnie lub teoretycznie zjawisk rezonansu sprężystego w obrabiarkach do metali. Objaśnić to można chyba tem, że drżenie obrabiarek podczas skrawania w określonych warunkach jest zjawiskiem tak elementarnym i naocznym, że zdaje się nie być godnym żywszego zainteresowania. Rzecz charakterystyczna, że rzemieślnicy, którym jest obce oczywiście pojęcie prędkości krytycznych i drgań własnych, posiadają niekiedy empiryczną ale dość gruntowną świadomość rezonansu sprężystego i przewidują trafnie przebieg zjawiska. Wykwalifikowany tokarz wie np., że czasem nie tylko zmniejszenie, lecz i zwiększenie prędkości toczenia wpływa na usunięcie drgań giętkiego wału korbowego, lub cienkiego wałka.

W obrabiarkach mamy do czynienia z drganiami giętymi i skrętnymi narzędzi, z drganiami łóż, kadłubów, tarcz uchwytych i stołów roboczych, wreszcie z drganiami przedmiotów obrabianych. W porównaniu z silnikami, gdzie się ma do czynienia z jednym typem drgań, w obrabiarkach do metali można by mówić o „orkiestrze” drgań. W słabych, niesztynnych obrabiarkach, dawniej budowanych, w których przedmiot obrabiany, zwłaszcza cięższy lub bardziej skomplikowany, nie był prawie nigdy należycie zamocowany, wszystkie części maszyny po kolei lub równocześnie drżały. Dla przykładu wspomnę o kołówkach do złożów osiowych z przed dwudziestu laty: jak tylko zwiększono prędkość toczenia lub wzięto nieco grubszy wiór, zaczynało drzeć samo złożenie, zabieracz, łoża, drżały tarcze, a nawet i przekładnie. Ten układ drgań sprężonych mógłby wzbudzić zainteresowanie teoretyczne, niestety jednak sprawiał wiele kłopotu rzemieślnikowi obsługującemu kołówkę, jak to mogłem stwierdzić na podstawie praktyki osobistej.

W miarę zwiększania się mocy obrabiarek i stosowania coraz to większych posuwów zaczęto domagać się od konstruktorów, by budowali coraz sztywniejsze obrabiarki. Droga w kierunku ulepszeń wskazywały rady i przestrogi ze strony praktyków warsztatowych. Z zadowoleniem można stwierdzić, że udoskonalenia konstrukcyjne obrabiarek okazują się słuszne i celowe z punktu widzenia teorii. W konstrukcji nowoczesnych obrabiarek można przytoczyć wiele przykładów półświadomego liczenia się ze zjawiskami rezonansu sprężystego.

**Drgania skrętne.** Wskutek odłupywania się płytek wiórowych, powstają przy skrawaniu częste zmiany oporu i dlatego we wszystkich obrabiarkach typowych należy liczyć się z drganiami skrętnymi wałów i wrzecion nawet dość krótkich. Obliczenie częstości tych drgań nie nastrocza trudności ze względu na to, że wobec znacznej bezwładności kół pasowych i zębatach można pominąć bezwładność samych wałów lub wrzecion.

Weźmy pręt o przekroju kołowym zamocowany sztywno w jednym końcu. Niech na drugim końcu pręta będzie zaklinowane koło pasowe lub zębate, którego moment bez-

władności  $\Theta = mr^2$ . Dla naszych dalszych rozumowań okaże się rzeczą pożyteczną zastąpić owe koło wyobraźnym pierścieniem rozprędnym o promieniu  $r$  i masie  $m$ . Z punktu widzenia mechanicznego jest przytęm rzeczą obojętną, jaki ma być promień pierścienia, byle moment bezwładności pozostawał ten sam. Moment skręcenia  $M$ , przy obrocie pierścienia o kąt  $d\varphi$  udzieli mu pewnego przyspieszenia kąowego, wynoszącego przy pominięciu masy samego pręta:

$$M_s = -\Theta \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

Na podstawie własności sprężystych pręta mamy znowu:

$$M_s = GJ_0 \frac{d\varphi}{dl} = \sim GJ_0 \frac{\varphi}{l},$$

gdzie  $G$  jest modulem sprężystości postaciowej materiału pręta,  $\varphi$  kątem skręcenia pręta,  $l$  jego długością, zaś  $J_0$  momentem biegunowym bezwładności przekroju pręta, który dla przekroju kołowego wynosi  $J_0 = \frac{\pi d^4}{32}$ . Z porównania obu wzorów wynika:

$$\Theta \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{GJ_0}{l} \varphi = 0.$$

Rozwiązując powyższe równanie różniczkowe, otrzymujemy, że okres własnego drgnięcia pręta wynosi:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\Theta l}{GJ_0}}.$$

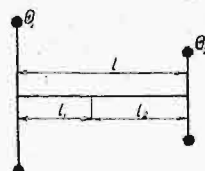
Jeśli wał jest swobodny i posiada po obu końcach zamocowane pierścienie o momentach bezwładności  $\Theta_1 = m_1 r_1^2$  i  $\Theta_2 = m_2 r_2^2$ , to możemy uważać, że drgania są sprężone i że gdy jeden pierścień obraca się w pewnym kierunku, to drugi w przeciwnym, jednak zgodnie z tym samym okresem wahnięć (rys. 1). Łatwo dowieść przytem, że o ile pominiemy masę samego pręta, to ruch drgający będzie się tak odbywał, że pewien punkt wału stanie się węzłem drgań. Węzeł ten wyznaczamy z warunku:

$$2\pi \sqrt{\frac{\Theta_1 l_1}{GJ_0}} = 2\pi \sqrt{\frac{\Theta_2 l_2}{GJ_0}},$$

skąd mamy  $\Theta_1 l_1 = \Theta_2 l_2$ , gdzie  $l_1 + l_2 = l$  = długości ogólnej pręta. Po dokonaniu łatwych przekształceń, otrzymamy na okres drgań:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{GJ_0 \left( \frac{1}{\Theta_1} + \frac{1}{\Theta_2} \right)}}.$$

Bardziej złożony przykład drgań sprężonych przedstawia pręt z trzema pierścieniami, których momenty bezwładności są równe  $\Theta_1 = m_1 r^2$ ,  $\Theta_2 = m_2 r^2$  i  $\Theta_3 = m_3 r^2$ . Niech odległości pomiędzy pierścieniami wynoszą odpowiednio  $l_{12}$  i  $l_{23}$ . Na odcinku  $l_{12}$  pręt posiada stały przekrój kołowy, którego moment biegunowy bezwładności  $= J_1$ , zaś na odcinku  $l_{23}$  — moment  $= J_2$ . Oznaczmy kąt obrotu pierwszego pierścienia względem pewnego położenia początkowego przez  $\varphi_1$ , drugiego przez  $\varphi_2$  i trzeciego przez  $\varphi_3$  (rys. 2). W celu uproszczenia wzorów zakładamy  $GJ_1 : l_{12} = c_{12}$  oraz  $GJ_2 : l_{23} = c_{23}$ . Równania ruchu pierścieni pozostawiamy samemu sobie będą:

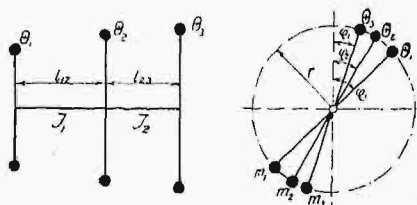


Rys. 1.

$$c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + m_1 r^2 \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} = 0$$

$$c_{12}(\varphi_2 - \varphi_1) + c_{23}(\varphi_2 - \varphi_3) + m_2 r^2 \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} = 0$$

$$c_{23}(\varphi_3 - \varphi_2) + m_3 r^2 \frac{d^2 \varphi_3}{dt^2} = 0.$$



Rys. 2.

Otrzymujemy stąd jednorodne równanie różniczkowe wyznaczające  $\varphi_1 - \varphi_2$  lub na podstawie symetrii również  $\varphi_2 - \varphi_3$ , co można łatwo sprawdzić bezpośrednio:

$$\frac{d^4 (\varphi_1 - \varphi_2)}{dt^4} + \frac{1}{r^2} \left( c_{12} \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} + c_{23} \frac{m_2 + m_3}{m_2 m_3} \right) \frac{d^2 (\varphi_1 - \varphi_2)}{dt^2} + \frac{c_{12} c_{23}}{r^4} \frac{m_1 + m_2 + m_3}{m_1 m_2 m_3} (\varphi_1 - \varphi_2) = 0.$$

Podstawiając jak zwykle  $\varphi_1 - \varphi_2 = a \sin(\lambda t + \delta)$ , gdzie  $a$  i  $\delta$  są stałymi dowolnymi, otrzymamy algebraiczne równanie:

$$\lambda^4 - \frac{\lambda^2}{r^2} \left( c_{12} \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} + c_{23} \frac{m_2 + m_3}{m_2 m_3} \right) + \frac{c_{12} c_{23}}{r^4} \frac{m_1 + m_2 + m_3}{m_1 m_2 m_3} = 0,$$

wyznaczające  $\lambda = 2\pi/T$ . Jak widzimy, układowi drgań sprzężonych odpowiadają w danym wypadku dwa okresy drgań własnych  $T_1$  i  $T_2$ .

Mamy:

$$\lambda^2 = \frac{1}{2r^2} \left[ \left( c_{12} \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} + c_{23} \frac{m_2 + m_3}{m_2 m_3} \right) \pm \sqrt{\left( c_{12} \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} - c_{23} \frac{m_2 + m_3}{m_2 m_3} \right)^2 + 4 \frac{c_{12} c_{23}}{m_2^2}} \right].$$

Wyrażenie pod znakiem pierwiastka jest zawsze dodatnie i mniejsze od wyrażenia przed pierwiastkiem. Tym sposobem otrzymujemy zawsze dwie rzeczywiste wartości dla  $\lambda^2$ . Uwzględniamy jedynie dodatnie wartości  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$ , pozostałe dwie ujemne, różniące się od pierwszych jedynie znakami pomijamy.

We wszystkich traktowanych przez nas przypadkach pomijamy jednostajny obrót pręta czy wału, co jest rzeczą zgoła zrozumiałą. Z chwilą obliczenia  $n = 1/T$ , częstości drgań własnych wału, mamy możliwość porównać  $n$  z liczbą impulsów zakłócających i sądzić do pewnego stopnia o możliwości rezonansu w danym przypadku. Przejdźmy obecnie do przykładów konkretnych.

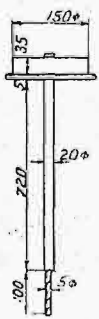
Rys. 3 przedstawia schemat napędu wrzeciona małej, t. zw. czulej (sensitive) wiertarki. Kołko pasowe zaklinowane bezpośrednio na wrzecionie posiada moment bezwładności równy w przybliżeniu  $\Theta = \frac{46,5}{981}$ .

Okres drgań własnych wrzeciona wyniesie:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{72 \cdot 46,5}{981 \cdot 700\,000 \cdot 1,57}} = 0,011 \text{ sek.}$$

Liczba własnych wahań skrotnych wrzeciona wyniesie  $n_{\text{sek.}} = 90$ , czyli  $n_{\text{min.}} = 5420$ .

(C. d. n.)



Rys. 3.

## Zużytkowanie pary w różnych operacjach przemysłu włókienniczego.

W styczniowym zeszycie z r. 1920 organu Stowarzyszenia Amerykańskich Inżynierów Mechaników „*Mechanical Engineering*”, spotykamy referat G. W. Perkinsa o zużyciu pary w różnych operacjach przemysłu włókienniczego. Jak wielką wagę do badań tego rodzaju przywiązują amerykańscy inżynierowie widać z tego, że referat ten był wygłoszony w Sekcji włókienniczej na dorocznym zjeździe Stowarzyszenia. W kraju naszym racjonalna gospodarka parowa ma szczególnie doniosłe znaczenie i dlatego podajemy poniżej w streszczeniu wywody G. H. Perkinsa z kilku uwagami, dotyczącymi naszych stosunków, pragnąc na tę sprawę zwrócić uwagę inżynierów ruchu w fabrykach włókienniczych.

Perkins dzieli amerykański przemysł włókienniczy na siedm następujących gałęzi wytwórczości: fabryki dywanów, fabryki powroźnicze i niciarnie, fabryki wyrobów bawełnianych, farbiarnie i wykończalnie, fabryki trykotaży, fabryki wyrobów jedwabnych, fabryki wyrobów wełnianych i filcowych.

Jakkolwiek klasyfikacja ta niezupełnie odpowiada naszym stosunkom, bo nie uwzględnia fabryk wyrobów lnianych, a przytem przemysł powroźniczy jest u nas raczej rękodzielniczy, ale daje możność łatwiejszego orjentowania się w ogromnej dziedzinie wytwórczości włókienniczej; z klasyfikacji tej widać jeszcze, że w Ameryce fabryki papieru nie są zaliczane do włókiennictwa.

Z tablic podanych przez Perkinsa widać, że w amerykańskim przemyśle włókienniczym silniki wodne i silniki spalinowe mają szersze zastosowanie niż u nas, pomimo to jednakże 66,8% całkowitej ilości koni mech. zużywanych w tym przemyśle dostarczają instalacje kotłowe.

Stopień racjonalności gospodarki parowej w różnych gałęziach wytwórczości włókienniczej nie jest jednakowy, jak to wskazuje tablica porównawcza zużycia paliwa, gdzie w kolumnie I podana jest liczba funtów angielskich (avoirdupois) zużytego węgla, przypadająca na 1 ang. konia mech. (Horsepower) w 1 godzinę pracy, zaś w kolumnie II to samo, przeliczone stosownie do naszych warunków na kilograme i metryczne konie mechaniczne.

	I	II
Fabryki wyrobów bawełnianych . .	3,12	1,40
„ powroźnicze i niciarnie . .	3,48	1,56
„ wyrobów wełnianych . .	5,20	2,33
„ trykotaży . . . . .	5,96	2,68
„ dywanów . . . . .	7,26	3,26
Farbiarnie i wykończalnie . . . .	10,00	4,49
Fabryki wyrobów jedwabnych . .	13,36	6,00

Z tablicy tej jest widoczne, że najekonomiczniej zużywają paliwo fabryki wyrobów bawełnianych, co się tłumaczy tem, że odpowiednio do dużych rozmiarów tych fabryk instalacje kotłowe urządzone są według wymagań wiedzy technicznej.

Jak wiadomo, w przemyśle włókienniczym wytworzona w kotłowni para stosowana jest nie tylko do poruszania silników, lecz również do ogrzewania pomieszczeń i maszyn, a także do gotowania surowców i preparatów chemicznych, oraz innych podobnych operacji.

Co do drugiego rodzaju zastosowania pary Perkins podaje następującą klasyfikację (p. tabl. na str. 43).

Z tablicy tej widzimy, jak obszerny i różnorodny jest ten rodzaj zastosowania pary w włókiennictwie; zrozumiałem jest znaczenie ulepszeń, mających na celu zaoszczędzenie pary przy tych operacjach. Perkins podaje szereg wskazówek dla odpowiednich badań, które dają się streścić, jak następuje:

a) Należy zbadać wysokość temperatury, stopień wilgotności powietrza i prędkość jego krążenia, przy których intensywne suszenie surowców różnego rodzaju może być uskutecznione z najmniejszym zużyciem paliwa.