

prof. dr hab. inż. Oleg Draczow  
Państwowy Uniwersytet w Togliatti (Rosja)  
prof. dr hab. inż. Wiktor Taranenko  
Politechnika Lubelska, Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych  
mgr inż. Witold Hałas  
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chełmie  
doc. dr inż. Georgij Taranenko  
Sewastopolski Narodowy Uniwersytet Techniczny (Ukraina)

## **STEROWANIE OBRÓBKĄ WIBRACYJNĄ WAŁÓW O MAŁEJ SZTYWNOŚCI**

*W artykule omówiono miejsce obróbki wibracyjnej wałów długowymiarowych o małej sztywności w procesie technologicznym i jej wpływ na niezawodność eksploatacyjną gotowych wyrobów. Wprowadzenie operacji obróbki wibracyjnej obniża poziom technologicznych naprężeń szczątkowych. Przedstawione metody sterowania obróbką wibracyjną oparte są na kontroli położenia stref nagrzania półfabrykatu, to znaczy miejsc relaksacji naprężeń. Zmiana technologicznych parametrów obróbki wibracyjnej pozwala na sterowanie stopniem przygotowania każdej części półfabrykatu wzdłuż jego osi co powoduje zmniejszenie odkształceń wałów w wyniku obniżenia technologicznych naprężeń szczątkowych.*

## **CONTROL OF VIBRATION PROCESSING SHAFTS ABOUT SMALL STIFFNESS**

*In the article talked over the place of vibratory processing the long dimension shafts about small stiffness in technological process and it's influence on the exploational reliability finished products. The introduction of the vibratory processing operation reduces the level of technological residual tensions. The introduced methods of control the vibratory processing are leaning on the control of the positions of the warming zones of semimanufactured products, it means the places of the tensions relaxation. The change of the technological parameters of the vibratory processing allows to control the degree of the preparation of every part of semimanufactured product along his axis what causes decrease of the shafts deformations in the result of the lowering of technological residual tensions.*

### **WSTĘP**

Obróbkę wibracyjną dokładnych części o małej sztywności wprowadza się w celu obniżenia poziomu technologicznych naprężeń szczątkowych. To sprzyja stabilizacji geometrycznych parametrów części w procesie wytwarzania oraz w czasie eksploatacji. Zwiększenie efektywności obróbki wibracyjnej jest związane z bardziej równomiernym przygotowaniem półfabrykatu wg wymiarów wzdłużnych oraz diagnostyką procesów relaksacyjnych w czasie obróbki [1].

## PODWYŻSZENIE STABILNOŚCI WAŁÓW O MAŁEJ SZTYWNOŚCI PRZY OBRÓBCE WIBRACYJNEJ

Obróbka wibracyjna półfabrykatu może odbywać się nie tylko za pomocą drgań zginających, ale również przez zastosowanie drgań wzdłużnych oraz skrętnych. Opracowano stanowiska do obróbki wibracyjnej wykorzystujące wszystkie rodzaje drgań. Przy tym oddziaływanie na półfabrykat może być dokonywane drganiami kompleksowymi. W wyniku tego w materiale półfabrykatu powstają dwie fale odkształceniowe: odkształceń wzdłużnych i stycznych. W wyniku różnych prędkości rozprzestrzeniania się tych odkształceń przy tej samej częstotliwości oddziaływania, umiejscowienie strzałek i węzłów tych fal jest różne. Dzięki temu, przygotowanie półfabrykatu wzdłuż osi przebiega bardziej równomiernie [2]. Generowane są drgania kompleksowe za pomocą falowego przetwornika wykonanego w postaci pręta z rowkami śrubowymi [3]. Jednym z czoł konwertor falowy sztywno mocuje się na półfabrykacie. Na drugie czoło oddziałuje wibrator elektromechaniczny (na przykład bijak młotka pneumatycznego). W wyniku zastosowania rowka śrubowego przemieszczenie wzdłużne swobodnego końca konwertora przekształca się w kompleksowe wzdłużno - skrętne drgania półfabrykatu.

Na stabilność kształtu i wymiarów części największy wpływ mają osiowe naprężenia szczątkowe, które eliminowane są w czasie obróbki wibracyjnej drganiami zginającymi. Wibrator zginający składa się z silnika elektrycznego, połączonego elastycznym napędem z multiplikatorem z regulowanymi mimośrodami, które wytwarzają oddziaływanie wymuszające. Jednoczesne zastosowanie wibratorów, działających na półfabrykat drganiami zginającymi oraz kompleksowymi zmniejsza ogólny stan naprężeń w półfabrykacie.

Sterowanie obróbką wibracyjną może być oparte na wykorzystaniu procesów cieplnych w postaci kanału diagnostycznego.

Proces relaksacji naprężeń związany jest z mikroskopijnymi poślizgami powstającymi dzięki energii, która jest doprowadzana w czasie drgań, zachodzącymi nierównomiernie w objętości półfabrykatu. Energia drgań w materiale półfabrykatu rozprasza się, przekształcając w energię cieplną. Część energii odkształcenia sprężystego przekształca się w energię odkształcenia plastycznego, co powoduje relaksację naprężeń szczątkowych. Im bardziej energia ta pochłaniana jest przez materiał półfabrykatu, tym intensywniej zachodzi proces relaksacji. Mechanizm przekształcenia energii sprężystej w ciepłą wyjaśnia się tarciem wewnętrznym, które charakteryzuje się współczynnikiem pochłaniania [4]:

$$\psi = \frac{\Delta W}{W}, \quad (1)$$

gdzie:  $\Delta W$  - energia, rozproszona w jednym okresie drgań w całej objętości próbki;

$W$  - energia wibracji, określana wielkością amplitudy naprężeń i odkształceń.

Wielkość tarcia wewnętrznego w czasie obróbki wibracyjnej określa się wzorem dla drgań skrętnych wzdłużnych i poprzecznych:

$$Q^{-1} = c \frac{I}{\nu_0^2 \cdot A}, \quad (2)$$

gdzie:  $c$  – stała konstrukcji;  $I$  - natężenie prądu w napędzie;  $A$  – amplituda rezonansu odkształceń;  $\nu_0$  - częstotliwość rezonansu.

Tarcie wewnętrzne dla układu liniowego również określa się zależnością:

$$Q^{-1} = \frac{\Delta v}{v_0 \cdot 2\pi}, \quad (3)$$

gdzie:  $\Delta v$  połowa szerokości piku rezonansowego

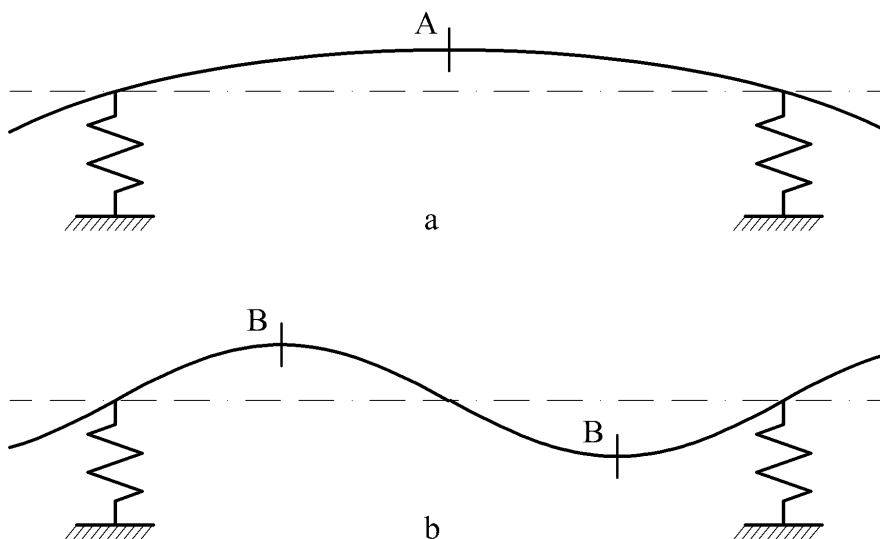
Na podstawie tych zależności przeprowadza się diagnostykę procesu obróbki wibracyjnej wg zmian natężenia prądu lub zmian szerokości piku rezonansowego i odpowiednio, kontroluje relaksację naprężeń w zależności od zmian tarcia wewnętrznego. Obróbka odbywa się w amplitudowo-zależnej strefie tarcia wewnętrznego przy zachowaniu warunku, że wielkość tarcia wewnętrznego zmienia się z upływem czasu (przebiega proces odkształceń mikroplastycznych).

Ważne jest prawidłowe rozmieszczenie operacji obróbki wibracyjnej w procesie technologicznym. Obróbkę wibracyjną przeprowadza się przed operacjami wykańczającymi metodami odkształcania plastycznego, warstwa z wysoką wytrzymałością relaksacyjną kształtuje się podobnie jak umocniona warstwa wierzchnia półfabrykatu.

Główny efekt obróbki wibracyjnej zostaje osiągnięty drogą doboru częstotliwości rezonansu drgań. Obróbka na wyższych składowych harmonicznym jest bardziej efektywna ponieważ współczynnik pochłaniania wzrasta wraz ze wzrostem częstotliwości drgań własnych, z którymi wchodzi w rezonans obciążenie wymuszające [4].

$$\psi = \frac{2\pi \cdot \eta}{E} v_n, \quad (4)$$

gdzie:  $\eta$  - współczynnik ciągliwości materiału;  $v_n$  - częstotliwość drgań własnych,  $n$  - ta składowa harmoniczna.



Rys. 1. Miejsca lokalnego nagrzania w czasie obróbki wibracyjnej przez 1 min:  
a – z częstotliwością 39 Hz, b – z częstotliwością 98 Hz

Chociaż amplituda rezonansu posiada mniejszą wartość na wyższych harmonicznym, przygotowanie półfabrykatu w kierunku wzdłużnym przebiega bardziej równomiernie.

Energia wnoszona określona jest parametrami napędu wibratora. Dzięki znanej mocy napędu elektromechanicznego i sprawności multiplikatora określona jest ilość energii drgań wnoszonej do półfabrykatu. Wg wysokości temperatury w przekrojach wału określa się energię cieplną powstającą w wyniku mechanizmów tarcia wewnętrznego oraz procesów odkształceń plastycznych.

W czasie obróbki wibracyjnej przy oddziaływaniu na wał wymuszającej siły harmoniczej z amplitudą  $F = 400N$  i częstotliwością  $f = 1...120$  Hz w czasie jednej minuty nastąpiło lokalne nagrzanie półfabrykatu w miejscach przesunięcia węzłów fali powodujące wzrost temperatury w stosunku do otoczenia (około 20 °C) do 90 °C (temperatura maksymalna).

W węzłach przesunięć temperatura wzrosła nieznacznie. W czasie obróbki z częstotliwością 39 Hz rozgrzanie nastąpiło w przekroju A (rys. 1a).

W czasie obróbki z częstotliwością 98 Hz rozgrzanie nastąpiło w przekroju B (rys. 1b). Po 10 minutach obróbki wibracyjnej temperatura wału wzdłuż jego osi stopniowo wyrównywała się dzięki przewodności cieplnej. Kontrola położenia stref nagrzania pozwala określić miejsca relaksacji naprężeń.

## PODSUMOWANIE

W wyniku zmian parametrów technologicznych obróbki wibracyjnej (częstotliwości oddziaływania, twardości i bezwładności półfabrykatu) możemy sterować stopniem przygotowania każdej części półfabrykatu wzdłuż jego osi, kontrolując położenie i przemieszczenie stref pierwotnego nagrzania.

Obniżenie odkształcenia w wyniku zmniejszenia technologicznych naprężeń szczytkowych pozwala na zmniejszenie liczby operacji technologicznych, zwiększenie wydajności a szczególnie zwiększenie eksploatacyjną niezawodność gotowego wyrobu.

## LITERATURA

- [1] Драчев О. И.: *Технология изготовления мало жестких осесимметричных деталей*. – Санкт-Петербург: Издательство Политехника, 2005. – 289 с.
- [2] Draczow O., Taranenko W.: *Technologia modułowa wytwarzania osiowosymetrycznych wałów długowymiarowych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej Nr 230 Mechanika, z. 67 - Modułowe technologie i konstrukcje w budowie maszyn, Rzeszów 2006. – s. 47 – 50.
- [3] Патент № 2169058 РФ, МКИ В23В 29/03. Устройство для обработки глубоких отверстий.
- [4] Постников В. С.: *Внутреннее трение в металлах*. – М.: Metallurgia, 1974.