

**Aleksandr Draczew<sup>1</sup>, Antoni Świć<sup>2</sup>, Wiktor Taranenko<sup>2</sup>**

## **STEROWANIE DOKŁADNOŚCIĄ OBRÓBKIELEKTROCHEMICZNEJ WAŁÓW DŁUGOWYMIAROWYCH**

**Streszczenie.** Przetawiono system automatycznego sterowania procesem obróbki elektrochemicznej wałów o małej sztywności, minimalizujący poziom osiowych naprężeń szczytkowych w wyniku trawienia warstwy metalu kęsa (wlewka) o zmiennej grubości oraz zmniejszający odkształcenie kęsa (wlewka).

**Słowa kluczowe:** sterowanie, obróbka elektrochemiczna, wały długowymiarowe

### **WSTĘP**

Zwiększenie dokładności obróbki wałów osiowosymetrycznych o małej sztywności jest zadaniem złożonym, pomimo wysokiego poziomu technologicznego urządzeń stosowanych w przemyśle maszynowym [1, 2, 4]. Zagwarantowanie niezmienności kształtu geometrycznego części osiowosymetrycznych jest dotychczas problemem nierozwiązanym. Złożoność zagadnienia wynika z nierównomiernego rozkładu naprężeń szczytkowych w materiale części i procesu relaksacyjnego naprężeń szczytkowych, zachodzącego niejednocześnie w całej objętości materiału gotowych części [5].

W celu likwidacji dziedziczności technologicznej przy obróbce mechanicznej i minimalizacji poziomu naprężeń szczytkowych zaproponowano technologiczną metodę sterowania automatycznego stabilizującą kształt wałów długowymiarowych [3,6].

### **CHARAKTERYSTYKA URZĄDZENIA DO OBRÓBKIELEKTROCHEMICZNEJ WAŁÓW DŁUGOWYMIAROWYCH**

Istota rozwiązania technologicznego polega na dokonaniu rozkładu w powierzchniowej warstwie półfabrykatu w procesie obróbki elektrochemicznej wału o małej sztywności osiowych naprężeń szczytkowych i osiowych naprężeń ściskających. Zmienna warstwa materiału, zgodnie z zarysem półfabrykatu w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu, poddawana jest wytrawianiu w taki

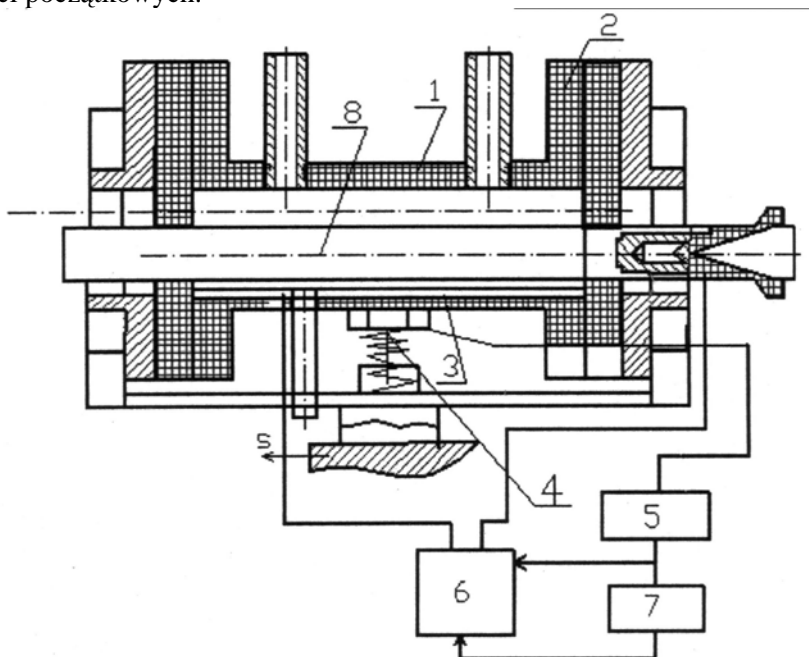
---

<sup>1</sup> Państwowy Uniwersytet Techniczny w Togliatti, Rosja.

<sup>2</sup> Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych, Politechnika Lubelska.

sposób, aby w powierzchniach warstwy półfabrykatu z wypukłej jego strony powstały ściskające osiowe naprężenia szczątkowe o mniejszej wartości niż ze strony wklęsłej. Taki rozkład naprężeń szczątkowych zachodzi, dlatego, że przy zwiększeniu ugięcia półfabrykatu wału proporcjonalnie zwiększa się amplituda prądu o przebiegu sinusoidalnym i okresie równym czasowi jednego obrotu półfabrykatu.

Z wypukłej strony półfabrykatu zdejmowany jest, więc większy naddatek niż z wklęsłej – w powstałej warstwie powierzchniowej półfabrykatu ma miejsce równomierne zmniejszenie osiowych naprężeń szczątkowych w stosunku do ich wartości początkowych.



**Rys. 1.** Urządzenie do obróbki elektrochemicznej długowymiarowych wałów o małej sztywności

**Fig. 1.** The device for electrochemical processing of long length non-rigid shafts

Schemat funkcjonalny zautomatyzowanego urządzenia do obróbki elektrochemicznej długowymiarowych wałów o małej sztywności przedstawiono na rys. 1.

Układ sterowania automatycznej wymiarową obróbką elektrochemiczną wałów o małej sztywności zawiera wannę elektrolityczną 1, elektrodę 2 zamocowaną wewnątrz wanny i obwód sterowania źródłem prądu o szeregowo połączonych czujnikach kontroli ugięcia części 3 rozmieszczonych naprzeciwko elektrody 2, dociskanych sprężyną 4 do wanny elektrolitycznej, blok obliczeniowy 5, oraz blok sterowania 6, którego wyjście jest połączone do

źródła prądu 7. Zautomatyzowane urządzenie do wymiarowej obróbki elektrochemicznej pracuje w sposób następujący. Obrobiony wstępnie wał 8 umieszczany jest w wannie elektrolitycznej 1 jako jedna z elektrod w zależności od tego, jaki (anodowy lub katodowy) proces obróbki elektrochemicznej będzie realizowany. Następnie wał 8 przez tuleje dielektryczne ustawiany jest w kłach tokarki, a wanna elektrolityczna 1 z luzem promieniowym poprzez oprawkę w suporcie. Wanna 1 uzyskuje posuw wzdłużny od suportu tokarki, a wał obrabiany 8 wprawiany jest w ruch obrotowy. Po włączeniu prądu elektrycznego, między elektrodami 2 i 8, jest realizowany proces obróbki elektrochemicznej. Przy ugięciu wału 8 wanna elektrolityczna 1 oraz wał 8 przemieszczają się w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu. Czujnik 3 kontroli ugięcia wału generuje sygnał elektryczny proporcjonalny do wielkości amplitudy prądu zmieniającego się harmonicznym z uwzględnieniem napływających danych o wielkości ugięcia wału obrabianego 8 i wielkości współczynnika proporcjonalności, określonego w oparciu o dane eksperymentalne. Sygnał proporcjonalny do wielkości amplitudy prądu z bloku obliczeń 5 jest przesyłany do bloku sterowania 6, określającego sygnał sterujący podawany na źródło prądu 7. Źródło prądu 7 zmienia wielkość prądu technologicznego według zależności harmonicznej, zgodnie z okresem równym czasowi jednego obrotu wału o małej sztywności i amplitudą prądu, proporcjonalnie do ugięcia wału w miejscu, gdzie znajduje się wanna elektrolityczna 1.

## BADANIA EKSPERYMENTALNE

Na zautomatyzowanym stanowisku przeprowadzono badania eksperymentalne obróbki elektrochemicznej próbek laboratoryjnych. Obrabiano wał o małej sztywności o średnicy  $d = 30$  mm i długości  $L = 800$  mm ze stali nierdzewnej 12X18H10T, o ugięciu  $y = 1,0$  mm po obróbce tokarskiej przy zastosowaniu następujących parametrów skrawania: głębokość  $a_p = 0,7 \div 1$  mm,  $n = 400$  obr./min. i  $f = 0,109$  mm/obr. Wstępnie ustalono, na podstawie badań eksperymentalnych, rozkład osiowych naprężeń szczytkowych w warstwie powierzchniowej wału i określono współczynnik proporcjonalności  $k = 6,76$ . Również w oparciu o uzyskane dane określono znak i intensywność naprężeń szczytkowych; w warstwie powierzchniowej powstały, do głębokości 0,15 mm, ściskające naprężenia osiowe o wielkość równej  $588 \text{ N/mm}^2$ . Anodowe rozpuszczanie zachodziło w elektrolicie – roztworze wodnym soli kuchennej o koncentracji 250 g/l przy dostatecznie dużym luzie międzyelektrodowym równym 4 mm, co umożliwiło otrzymanie dokładności zdejmowania materiału 0,008 mm. Obróbka była wykonywana przy napięciu technologicznym 23 V i stałym natężeniu prądu 300 A, które mierzono zgodnie z przebiegiem

sinusoidalnym przy występowaniu ugięcia części. Wanna elektrolityczna 1 przemieszczała się z posuwem  $f = 0,21$  mm/obr., a wał obracał się z prędkością  $n = 200$  obr./min. Na końcach wału zdejmowany był równomierny naddatek  $a_{p0} = 0,12$  mm, co odpowiadało wielkości osiowych naprężeń szczytkowych  $\sigma_0 = 138$  N/mm<sup>2</sup> w pozostałej warstwie powierzchniowej. Określona w miejscu wału o ugięciu  $y = 1,5$  mm, wielkość amplitudy prądu o przebiegu sinusoidalnym była równa  $I_0 = 10,1$  A, a zmiana natężenia prądu technologicznego  $I = 20,2$  A. W wyniku odpowiedniej zmiany natężenia prądu był zdejmowany zmienny naddatek według zarysu części w przekroju prostopadłym do osi obrotu. Ze strony wypukłej zdjęto warstwę materiału  $a_{p1} = 0,13$  mm, a z wklęsłej  $a_{p2} = 0,11$  mm. Naprężenia szczytkowe były odpowiednio równe: z wypukłej strony  $\sigma_1 = 98$  N/mm<sup>2</sup>, z wklęsłej  $\sigma_2 = 176$  N/mm<sup>2</sup>. Wielkość ugięcia wału po obróbce była równa  $y = 0,02$  mm.

Proponowana metoda elektrochemicznej obróbki wymiarowej części o małej sztywności umożliwia sterowanie drganiami wału.

## PODSUMOWANIE

Opracowano zautomatyzowane urządzenie do obróbki elektrochemicznej długowymiarowych wałów o małej sztywności, na którym przeprowadzono badania eksperymentalne obróbki elektrochemicznej próbek laboratoryjnych ze stali nierdzewnej 12X18H10T.

W wyniku przeprowadzonych badań potwierdzono, że zaproponowana metoda elektrochemicznej obróbki wymiarowej części o małej sztywności umożliwia sterowanie drganiami wału, minimalizujące poziom osiowych naprężeń szczytkowych w wyniku trawienia warstwy metalu kęsa (wlewka) o zmiennej grubości oraz zmniejszające odkształcenie kęsa (wlewka).

## PIŚMIENNICTWO

1. Bajsupov I. A. Elektrochemическая обработка металлов. Издание второе, переработанное и дополненное. Mashinostroyeniye, Moskva 1988.
2. Elektrochemическая обработка металлов: Учебное пособие для технических училищ. Под редакцией I. A. Bajsupova. Vyszhaya. Shkola, Moskva 1981.
3. Sawicki J., Paczkowski T.: Obróbka elektrochemiczna krzywoliniowych powierzchni kształtowych, Zagadnienia konstrukcyjne i technologiczne niekonwencjonalnych technik wytwarzania. Bydgoszcz: Wydawnictwa Uczelniane ATR, 2006, 110-117.

4. Paczkowski T., Sawicki J.: Electrochemical machining of curvilinear surfaces (MST410/07), Journal of Machining Science and Technology, USA.
5. Szulc S., Stefko A.: Obróbka powierzchniowa części maszyn. Podstawy fizyczne i wpływ na własności użytkowe. WNT, Warszawa 1976.
6. Świć A. Technologia obróbki wałów o małej sztywności. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2009.

## **QUALITY CONTROL OF LONG SHAFTS ELECTROCHEMICAL PROCESSING**

### **Summary**

Automatic control system for the electrochemical machining process of low rigid shafts is described. The system minimizes axial residual stress level by the pickling metal variable layer to billet profile and provide decrease of billet distortion.

**Keywords:** control, electrochemical processing, non-rigid long length shafts.