

Jacek SALACH<sup>1</sup>, Adam BIENKOWSKI<sup>1</sup>, Roman SZEWCZYK<sup>1,2</sup>, Marcin SAFINOWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INSTYTUT METROLOGII I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

<sup>2</sup> PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW

## Nowe możliwości zastosowania sensorów magnetoelastycznych do pomiaru momentu skręcającego w zaworach kulowych

Dr inż. Jacek SALACH

Absolwent Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w roku 2008 na tym samym Wydziale. Jego zainteresowania naukowe koncentrują się wokół wpływu naprężeń tnących na charakterystyki magnesowania oraz możliwości wykorzystania tego zjawiska w budowie sensorów. Zaangażowany w liczne projekty badawcze i rozwojowe. Autor lub współautor czterestu artykułów w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym oraz trzech zgłoszeń patentowych.

e-mail: j.salach@mchtr.pw.edu.pl



Dr inż. Roman SZEWCZYK

Absolwent Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w roku 2003 na tym samym Wydziale. Zaangażowany w prace badawcze z zakresu sensoryki oraz magnetoelastycznych właściwości nowoczesnych materiałów magnetycznie miękkich. Autor lub współautor kilkudziesięciu artykułów w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym oraz trzech zgłoszeń patentowych.

e-mail: szewczyk@mchtr.pw.edu.pl



Dr hab. inż. Adam BIENKOWSKI

Od 2001 roku prof. nzw. w Politechnice Warszawskiej. Prowadzi prace nt. metrologii wielkości elektrycznych i magnetycznych, mechatronicznych właściwości magnetyków, procesów magnesowania magnetyków w obecności naprężeń od sił zewnętrznych, magnetoelastycznych sensorów naprężeń i sił. Kierownik kilkunastu prac i projektów badawczych w ramach grantów KBN, Rektora, i Dziekana oraz na zlecenie przemysłu. Autor lub współautor 43 publikacji w materiałach konferencyjnych oraz 41 artykułów w czasopiśmie.

e-mail: bienko@mchtr.pw.edu.pl



Mgr inż. Marcin SAFINOWSKI

Absolwent Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej, pracownik Ośrodka Układów Pomiarowych w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów. Jego prace badawcze koncentrują się wokół funkcjonalnych właściwości krytycznych elementów armatury przemysłowej. Ma szerokie doświadczenie w projektowaniu aparatury do pomiaru szczelności zaworów oraz w pomiarach ultramiałych przepływów.

e-mail: safi11@o2.pl



### Streszczenie

W referacie przedstawiono nowe możliwości zastosowania sensorów magnetoelastycznych z rdzeniami z taśm amorficznych do pomiaru momentu skręcającego wytwarzanego w trakcie pracy zaworu kulowego. Wyniki pomiarów wskazują na w przybliżeniu liniową zmianę wartości momentu skręcającego w funkcji kąta obrotu trzpienia zaworu również w momencie początkowym, w którym konieczne jest pokonanie oporów wynikających z tarcia statycznego.

**Słowa kluczowe:** zawory kulowe, sensory magnetoelastyczne.

### New possibilities of application of magnetoelastic sensors for torque measurement in ball valves

#### Abstract

Measurements of torque during the operations of ball valve have great practical significance. Changes of value of torque may indicate malfunction of such valve. Paper presents new method of real-time measurements of torque in ball valve utilizing magnetoelastic sensors with amorphous alloy cores. Figure 1 presents the general, schematic block diagram describing operation of magnetoelastic sensor. In Figures 2 and 3 technical solution for magnetoelastic torque sensors is presented. In this solution uniform shearing stresses may be achieved in ring-shaped magnetoelastic core made of amorphous alloy. Figure 4 presents view of system for measurements of torque in ball valves, composed of magnetoelastic sensor, pneumatic actuator as well as 2 inch SNL ball valve. Results of experiments presented in Figure 5 indicate nearly linear characteristics of torque versus angle of valve's spindle. This phenomenon was observed also in initial range of valve operation, where static rubbing has to be overcome. Probably linear characteristic of torque versus angle is connected with the presence of elastic seal covering the ball in the valve.

**Keywords:** ball valves, magnetoelastic sensors.

## 1. Wstęp

Pomiary momentu skręcającego koniecznego do zamknięcia zaworów kulowych mają istotne znaczenie praktyczne. Zawory

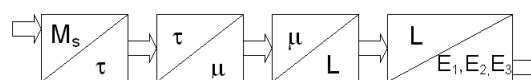
tego typu są istotnym elementem składowym armatury przemysłowej, zaś ich awaria może mieć poważne konsekwencje z punktu widzenia procesu przemysłowego [1].

Aktualnie, w Polsce nie ma obowiązujących wymagań normatywnych określających w sposób jednoznaczny maksymalne, dopuszczalne wartości momentu skręcającego koniecznego do zamknięcia zaworu kulowego o danej średnicy przyłącza. Pewnych wytycznych w tym zakresie dostarcza jedynie Polska Norma PN-EN 12570:2002 „Armatura przemysłowa. Metoda ustalania wielkości elementu napędowego” oraz projekt normy PN-M-75201-1 „Kurki kulowe wytwarzane z metali”.

Pomiar momentu zamykania zaworów kulowych nastęrcza wielu problemów praktycznych. Przede wszystkim wiąże się on z koniecznością opracowania czujnika momentu, który będzie mógł wykonać obrót razem z trzpieniem zamykanego zaworu. Utrudnia to zastosowanie tensometrycznych czujników momentu skręcającego. Dlatego podjęto próbę praktycznego zastosowania do tego typu pomiarów czujników magnetoelastycznych, wykorzystujących rdzenie pierścieniowe z magnetyków amorficznych.

## 2. Magnetoelastyczne czujniki momentu skręcającego

Efekt magnetoelastyczny, znany także jako magnetoelastyczny zjawisko Villariego, związany jest ze zmianą wartości indukcji magnetycznej  $B$  w rdzeniu, magnesowanym polem o natężeniu  $H$ , pod wpływem działania naprężeń osiowych  $\sigma$  lub tnących  $\tau$  [2, 3]. Stosowane w warunkach przemysłowych sensory magnetoelastyczne przetwarzają sygnał pomiarowy zgodnie z algorytmem według łańcucha przetwarzania:



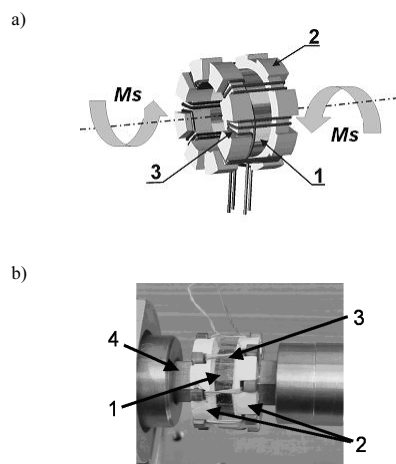
Rys. 1. Schemat łańcucha przetwarzania sensora magnetoelastycznego  
Fig. 1. Schematic block diagram of magnetoelastic sensor

przy czym  $M_s$  – jest momentem skręcającym,  $\tau$  – naprężeniami tnącymi występującymi w rdzeniu sensora,  $\mu$  – amplitudową przenikalnością magnetyczną rdzenia,  $L$  – indukcyjnością cewki z rdzeniem sensora,  $E_j \neq E_n$  są wielkościami elektrycznymi np. napięciem, prądem lub częstotliwością.

Indukcyjność  $L$  cewki z rdzeniem sensora, ze względu na nieliniową zależność strumienia magnetycznego  $\phi$  od pola magnesującego  $H$ , w rdzeniu jest elementem nieliniowym. Bezpośrednio nieliniowość indukcyjności  $L$  wynika z nieliniowej zależności przenikalności magnetycznej  $\mu$  od pola magnesującego  $H$ , a więc od prądu  $I$  płynącego w uzwojeniu magnesującym [4].

### 3. Metoda i wyniki badań

Na rysunku 2 przedstawiono ideę opracowanej metody zadawania momentu skręcającego oraz magnesowania rdzenia. W metodzie tej moment skręcający  $M_s$  zadawany jest wzdłuż osi rdzenia pierścieniowego. Linie pola magnesującego  $H$  zamykają się w rdzeniu, tak jak przedstawiono na rysunku 3; [5].



Rys. 2. Metoda zadawania momentu skręcającego do magnesowanego rdzenia:

- a) idea metody, b) realizacja techniczna  
1 – rdzeń, 2 – niemagnetyczne nakładki, 3 – uzwojenia rdzenia,  
4 – sprzęgło niemagnetyczne,  $M_s$  – moment skręcający

Fig. 2. The method of applying the torque to magnetized core:

- a) schematic diagram, b) technical solution  
1 – magnetoelastic core, 2 – nonmagnetic backings, 3 – windings,  
4 – nonmagnetic shaft,  $M_s$  – torque

Do rdzenia sensora magnetoelastycznego (1) są przytwierdzone na stałe niemagnetyczne nakładki (2). W nakładkach tych wykonane są promieniście, w równomiernych odstępach, nacięcia. W nacięciach tych umieszczone są uzwojenia magnesujące i pomiarowe (3) oraz zaczepy sprzęgła przenoszącego moment skręcający  $M_s$ . Dzięki nakładkom z nacięciami możliwe jest jednoczesne magnesowanie rdzenia poprzez uzwojenie magnesujące i wprowadzenie naprężeń tnących  $\tau$  od momentu skręcającego  $M_s$  wzdłuż całego zamkniętego magnetowodu rdzenia.

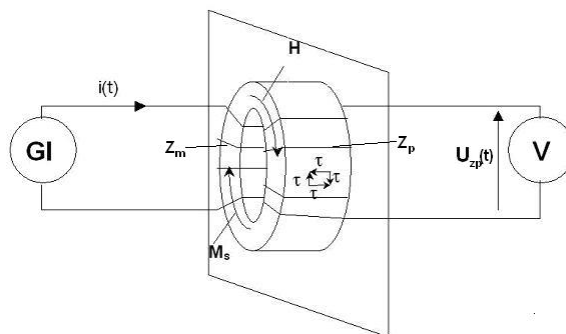
Konfigurację układu pracy zastosowanego sensora magnetoelastycznego podano na rysunku 3.

W układzie tym rdzeń sensora uzwojony jest uzwojeniem magnesującym  $z_m$  i pomiarowym  $z_p$ . Uzwojenie magnesujące  $z_m$  sensora jest zasilane ze źródła prądowego GI. W tej konfiguracji pracy sensora pole  $H$  magnesujące rdzeń jest proporcjonalne do wartości prądu  $I$  płynącego w uzwojeniu magnesującym. Wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu pomiarowym  $z_p$  może być wyznaczona z ogólnej zależności:

$$U_{z_p}(t) = -z_p \cdot S \cdot \frac{dB}{dt} \quad (1)$$

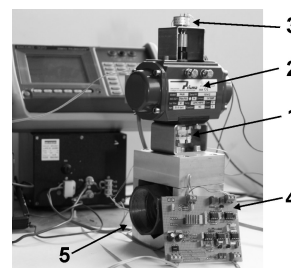
w której  $z_p$  jest liczbą zwojów uzwojenia pomiarowego,  $S$  – przekrojem poprzecznym rdzenia zaś  $B$  – indukcją w rdzeniu. Czujniki magnetoelastyczne tego typu charakteryzują się powta-

rzalnością wskazań poniżej 0,2%, klasą dokładności 2 i zakresem pomiarowym do 4 Nm, co jest wystarczające do badania charakterystyk zaworów o średnicy przyłącza 2”.



Rys. 3. Konfiguracja układu pracy zastosowanego sensora magnetoelastycznego  
Fig. 3. Diagram of magnetoelastic sensor

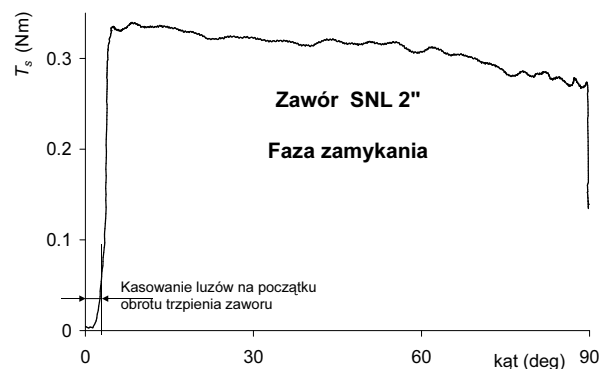
Na rysunku 4 przedstawiono widok opracowanego stanowiska do badania charakterystyk zaworów kulowych, w którym zastosowano czujnik magnetoelastyczny z rdzeniem ze stopu amorficznego o składzie  $Fe_{70}Ni_8Si_{10}B_{12}$  wyżarzonym w 350 °C przez 1 godzinę, w polu 350 kA/m prostopadłym do kierunku taśmy.



Rys. 4. Widok opracowanego stanowiska do badania charakterystyk zaworów kulowych: 1 – czujnik magnetoelastyczny, 2 – silownik pneumatyczny, 3 – potencjometr do pomiaru kąta, 4 – układ elektroniczny sensora, 5 – badany zawór kulowy

Fig. 4. View of the system for testing of ball valves: 1 – magnetoelastic torque sensor, 2 – pneumatic actuator, 3 – potentiometer for angle measurement, 4 – electronic sensor board, 5 – ball valve under tests

Rysunek 5 przedstawia wyniki pomiarów momentu skręcającego  $T_s$  w trakcie zamykania zaworu kulowego z przyłączem 2” produkcji firmy SNL. Wyniki podano w funkcji kąta obrotu trzpienia zaworu.



Rys. 5. Zależność momentu skręcającego  $T_s$  od kąta obrotu w trakcie zamykania zaworu kulowego z przyłączem 2” produkcji firmy SNL

Fig. 5. Measurement results of torque vs. rotation angle collected during closing of the 2” Ball valve produced by SNL

Wyniki pomiarów wskazują na w przybliżeniu liniową zmianę wartości momentu skręcającego  $T_s$  mierzonego w trakcie zamyka-

nia zaworu kulowego. Ponadto obserwuje się, że nie jest wymagana duża wartość momentu skręcającego do pokonania tarcia statycznego w początkowym zakresie obrotu trzpienia zaworu. Uzyskano w trakcie zamykania zaworu liniową charakterystykę  $T_s$  od kąta obrotu, co wynika prawdopodobnie z obecności uszczelki z tworzywa sztucznego, poprawiającej warunki pracy kuli zaworu.

#### 4. Podsumowanie

Przedstawione w pracy wyniki doświadczalne potwierdziły przydatność opracowanej metodyki pomiaru momentu skręcającego koniecznego do zamykania zaworów kulowych. Zastosowanie do tego pomiaru czujników magnetoelastycznych z rdzeniem ze stopu amorficznego umożliwiło pomiar momentu w trakcie obrotu trzpienia zaworu. Ponadto uzyskane wyniki wykazały, że polimerowa uszczelka w zaworze nie tylko zmniejsza ryzyko przecieku w zaworze, lecz także wyraźnie poprawia warunki pracy zaworu minimalizując tarcie statyczne w momencie rozpoczynania obrotu trzpienia.

Przedstawione w artykule nowe możliwości zastosowania sensora magnetoelastycznego do pomiaru momentu skręcającego w zaworach kulowych mają istotne znaczenie praktyczne w odniesieniu do monitorowania pracy zaworów, a w tym wykrywania ich

uszkodzeń, przejawiających się np. znacznym wzrostem momentu skręcającego koniecznego do zamknięcia zaworu.

#### 5. Literatura

- [1] Nesbitt B.: Handbook of Valves and Actuators, Butterworth-Heinemann, 2007.
- [2] Culity B. D.: Introduction to magnetic materials, Addison Wesley, 1972.
- [3] Bieńkowski A.: Magnetoelastyczne zjawisko Villarięgo w ferrytach i możliwość jego wykorzystania w budowie przetworników naprężeń i sił, OWPW, Warszawa 1995.
- [4] Salach J., Bieńkowski A., Szewczyk R.: Influence of the torque moment on the magnetic properties of amorphous ring cores, Elektronika, vol. 8-9, pp. 250-251, 2004.
- [5] Salach J., Bieńkowski A., Szewczyk R.: Urządzenie do zadawania momentu skręcającego do rdzenia pierścieniowego przetwornika magnetoelastycznego, Zgłoszenie patentowe P-370124, 2004.

*Artykuł recenzowany*

## INFORMACJE

Drodzy Czytelnicy i Autorzy artykułów

Rada Programowa miesięcznika Pomiary Automatyka Kontrola na swoim zebraniu w dniu 23.03.2009 r. ustaliła oficjalną nazwę miesięcznika PAK w języku angielskim:

# Measurement Automation and Monitoring

Począwszy od numeru PAK 06/2009 nazwa ta występuje na okładce i stronie redakcyjnej pod tradycyjnym tytułem w języku polskim. Celem tej zmiany jest promocja miesięcznika w środowisku międzynarodowym i łatwiejsze jego wprowadzenie do najważniejszych baz danych.

W związku z wymaganiami automatycznego pewnego wyszukiwania w bazach danych artykułów opublikowanych w PAK określa się zalecane alternatywne formy cytowania artykułów opublikowanych w PAK:

- w publikacjach polskojęzycznych:

- a) nazwiska autorów, tytuł artykułu, Pomiary Automatyka Kontrola, vol. xx, nr xx/xxxx, str. xx – yy
- b) nazwiska autorów, tytuł artykułu, PAK, vol. xx, nr xx/xxxx, str. xx – yy

- w publikacjach anglojęzycznych:

- c) nazwiska autorów, tytuł artykułu w języku angielskim, Measurement Automation and Monitoring, vol. xx, no xx/xxxx, pp. xx – yy
- d) nazwiska autorów, tytuł artykułu w języku angielskim, MAaM, vol. xx, no xx/xxxx, pp. xx – yy.

Te zalecane formy cytowania należy stosować w pracach publikowanych zarówno w miesięczniku PAK, jak i w innych czasopiśmie, zwłaszcza indeksowanych na liście ISI.

Nie należy stosować innych skrótów nazwy miesięcznika PAK, ponieważ niektóre wyszukiwarki mogą ich nie identyfikować. Zastosowanie się do podanych wyżej zaleceń leży w interesie Autorów, jak i miesięcznika PAK.