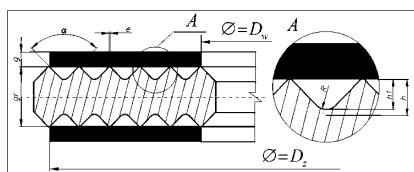


# Symulacja formowania uszczelki wielokrawędziowej w połączeniu kołnierzowo-śrubowym – dobór optymalnego przekroju poprzecznego rdzenia

RADOSŁAW SIECZKOWSKI, JACEK STADNICKI\*

Uszczelki wielokrawędziowe (rys. 1) służą do uszczelniania połączeń kołnierzowo-śrubowych urządzeń ciśnieniowych. Podczas montażu miękkie nakładki z ekspandowanego grafitu są wciskane w rowki stalowego rdzenia, co pozwala uzyskać wymaganą szczelność.

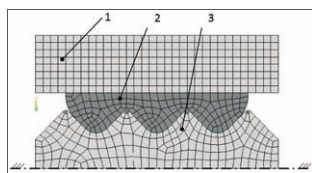
Aby poprawnie zaprojektować uszczelkę – dobrać wymiary jej przekroju poprzecznego – należy zbadać wpływ tych wymiarów na naprężenia i odkształcenia uszczelki w połączeniu, decydujące one bowiem o bezpieczeństwie i szczelności połączenia.



Rys. 1. Uszczelka wielokrawędziowa – przekrój poprzeczny

■ **Model obliczeniowy.** Model MES uszczelki w połączeniu (rys. 2) zbudowany w środowisku ANSYS spełnia następujące założenia: jest płaski; ma płaszczyznę symetrii; grafitowe nakładki są uformowane wstępnie i wypełniają rowki rdzenia; materiał nakładek jest sprężysto-plastyczny [2, 4]; materiał przyłg jest liniowo-sprężysty; materiał rdzenia uszczelki jest liniowo-sprężysto-plastyczny; do dyskretyzacji wykorzystano elementy skończone typu *PLANE 183*; styk nakładek grafitowych z przyłgami oraz rdzeniem to jednostronne więzi z tarcieniem suchym – elementy kontaktowe typu *CONTA 172*, współczynnik tarcia grafit – stal  $\mu = 0,1$  [3]; możliwe przecięcie nakładek przez krawędzie rdzenia – elementy kontaktowe j.w., współczynnik tarcia stal – stal  $\mu = 0,16$ .

Model stworzony według powyższych założeń wykorzystano do wyznaczenia charakterystyki nacisk powierzchniowy – odkształcenie, którą porównano z charakterystyką wyznaczoną doświadczalnie na specjalnym stanowisku badawczym [5]. Uzyskano dobrą zgodność symulacji i eksperymentu, a zatem opracowany model MES uszczelki jest poprawny i został doświadczalnie zweryfikowany.



Rys. 2. Model MES uszczelki: 1 – przyłga, 2 – rdzeń, 3 – nakładka

■ **Optymalizacja przekroju poprzecznego uszczelki.** Uwzględniając technologię wykonania rdzenia uszczelki, przyjęto, że pojedynczy wariant uszczelki będzie identyfikowany wektorem  $\{w\} = [g_r, R, h]^T$  (rys. 1). Zbiór technicznie akceptowalnych wartości składowych wektora  $\{w\}$  umożliwił wygenerowanie 48 kombinacji wektora dla dwóch stosowanych grubości rdzenia  $g_r = 3$  i  $4$  mm – łącznie 96 wariantów.

Za pomocą modelu MES uszczelki przeprowadzono symulacje ściskania. Każdy wariant poddano działaniu czterech reprezentatywnych wartości równomiernie rozłożonego nacisku powierzchniowego  $p = 160, 120, 80$  i  $40$  MPa [1]. Przykładowy rozkład naprężeń zredukowanych w przekroju uszczelki pokazano na rys. 3.

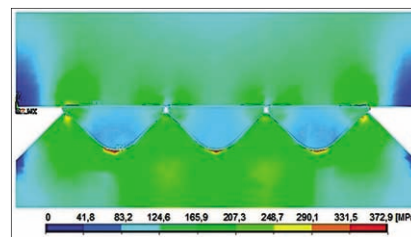
**ZBIÓR WARIANTÓW DOPUSZCZALNYCH:** Za warianty dopuszczalne uznano te, które mają następujące ograniczenia:

- naprężenia zredukowane na dnie rowka nie mogą przekroczyć wytrzymałości materiału rdzenia – warunek bezpieczeństwa,

$$\sigma(\{w\}) \leq \frac{Re_{0,2}}{b} = \frac{320}{1,5} = 213 \text{ MPa}, \text{ gdzie } b = 1,5 [6] \text{ wsp. bezp.}$$

- krawędzie rdzenia uszczelki powinny przeciąć grafitową nakładkę tak, aby zetknęły się z przyłgą, głębokość „wbicia” krawędzi w przyłgę nie powinna przekroczyć zalecanej chropowatości przyłg  $Rz = 0,05$  mm (wg EN 1092-1 – warunek szczelności,  $0 \leq x(\{w\}) \leq 0,05$  mm).

W rezultacie ze zbioru 96 wariantów pozostały 72 warianty dopuszczalne, spełniające warunki bezpieczeństwa i szczelności.



Rys. 3. Przykładowy rozkład naprężeń zredukowanych w przekroju uszczelki dla wariantu  $\{w\} = [3 \ 0,4 \ 0,7]^T$  i nacisku  $p = 160$  MPa

■ **Wybór wariantu optymalnego.** Za kryterium wyboru wariantu optymalnego uznano tzw. powrót sprężysty uszczelki, tj. zwiększenie całkowitej wysokości uszczelki razem z nakładkami po zmniejszeniu wartości nacisku  $p$  do  $1/3$  wartości początkowej [1]. Im większy powrót sprężysty, tym łatwiej zachować szczelność połączenia kołnierzowo-śrubowego, które podczas zmian ciśnienia i temperatury medium roboczego podlega odkształcaniu. Warianty optymalne  $\{w\}_p$  wyznaczono dla danego nacisku  $p$ , który wynika z warunków eksploatacji uszczelki w połączeniu.

Opisane postępowanie można uznać za metodykę doboru wymiarów przekroju poprzecznego uszczelki.

Zastosowanie symulacji komputerowych istotnie zmniejsza koszty opracowywania projektu, a co ważniejsze – często umożliwia obliczenie ważnych wielkości (np. naprężeń) w miejscach, w których ich zmierzenie jest bardzo trudne lub wręcz niemożliwe. Opisana w artykule metodyka wyboru optymalnego wariantu wymiarowego uszczelki wielokrawędziowej z grafitowymi nakładkami przebiega wg schematu:

- opracowanie efektywnego numerycznie modelu MES uszczelki;
- weryfikacja doświadczalna modelu MES uszczelki;
- sparametryzowanie przekroju poprzecznego uszczelki i wyspecyfikowanie zbioru technicznie akceptowalnych wariantów wymiarowych uszczelki,
- przeprowadzenie analiz MES dla wszystkich wariantów zbioru,
- sformułowanie zadania optymalizacji, którego rozwiązaniem jest wariant optymalny uszczelki.

W efekcie zastosowania opisanej metodyki optymalizacji przekroju poprzecznego uszczelki wielokrawędziowych przez ich wytwórcę, uzyskano poprawę bezpieczeństwa i niezawodności połączeń kołnierzowo-śrubowych, w których są wykorzystywane.

## LITERATURA

1. PN-EN 13555:2005
2. PN-EN 1591-2:2002
3. Sigraflex products manufactured from flexible graphite foil. SGL Carbon Group, 12/ 2002.
4. B. ANDREEV et al.: Stress and strain state characteristics research of graphite sealing rings. *Valve World* ( 9), 5/2004.
5. R. SIECZKOWSKI, J. STADNICKI: Formowanie uszczelki wielokrawędziowej z miękką nakładką. *Górnictwo odkrywkowe*, nr 7-8/2006. ■

\* Dr inż. Radosław Sieczkowski – SPETECH Bielsko-Biała, prof. dr hab. inż. Jacek Stadnicki – ATH w Bielsku Białej