

Aleksandra REWOLIŃSKA, Karolina PERZ

e-mail: aleksandra.rewolinska@put.poznan.pl

Zakład Maszyn Spożywczych i Transportu Żywności, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Politechnika Poznańska, Poznań

Analiza regeneracji uszczelnień czołowych stosowanych w urządzeniach mleczarskich

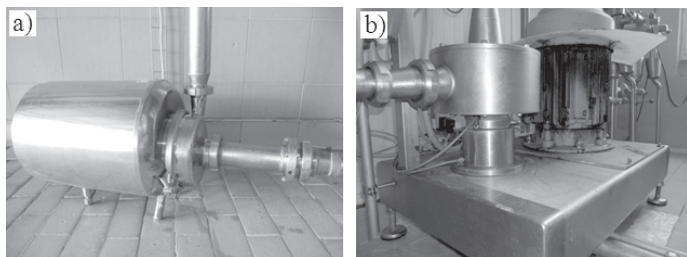
Wstęp

Obecnie stosowane uszczelnienia to często skomplikowane i drogie elementy, które coraz częściej poddawane są procesowi regeneracji [Netzel i in., 2002; Jones, 2004]. Do uszczelnień tych zalicza się między innymi uszczelnienia czołowe, które znajdują szerokie zastosowanie w przemyśle spożywczym, np. w mleczarstwie [Rewolińska, 2013a,b]. W przemyśle tym, czystość i higieniczność procesu jest jednym z kluczowych czynników decydujących o jakości końcowego produktu [Zarczyński, 2010]. Niewłaściwie wykonana regeneracja uszczelnień może doprowadzić do zanieczyszczenia żywności. Zanieczyszczenie surowca będącego w trakcie procesu produkcyjnego nie tylko generuje koszty związane z eliminacją całej partii produkcyjnej, ale również stwarza niebezpieczeństwo zatrucia konsumenta. Decyzję o wymianie uszczelnienia na nowe należy poprzedzić analizą dotyczącą rodzaju uszkodzenia uszczelnienia oraz kosztów zakupu nowego uszczelnienia lub jego regeneracji [Rewolińska, 2009].

W pracy przedstawiono analizę problemów związanych z eksploatacją uszczelnień czołowych stosowanych w urządzeniach mleczarskich. Omówiono kryteria wymiany uszczelnień czołowych, rodzajów uszkodzeń, możliwości postępowania po utracie zdolności oraz metody regeneracji.

Obiekt badań

Uszczelnienia czołowe, określane też mianem uszczelnień mechanicznych (*mechanical face seals*), stosowane są w wielu rozwiązaniach konstrukcyjnych węzłów uszczelniających maszyn i urządzeń przemysłu spożywczego. Są wykorzystywane niemal w każdej grupie maszyn z obrotowym elementem roboczym, do uszczelniania przepustów wałów obrotowych. W mleczarniach uszczelnienia czołowe pracują w różnych obiektach technicznych. Przede wszystkim jednak w pompach wirowych oraz mieszalnikach. Warunki pracy uszczelnień są różnorodne. Pracują między innymi przy uszczelnianiu mleka, serwatki, wody, tłuszczów, serków w różnych zakresach ciśnień, temperatur oraz prędkości (Rys.1).



Rys. 1. Urządzenia mleczarskie a) pompa wirowa, b) mikser uszczelnione przy użyciu uszczelnień czołowych

Kryteria wymiany uszczelnień

Z informacji zebranych w badanej mleczarni wynika, że decyzja o wymianie uszczelnienia czołowego jest podejmowana na podstawie:

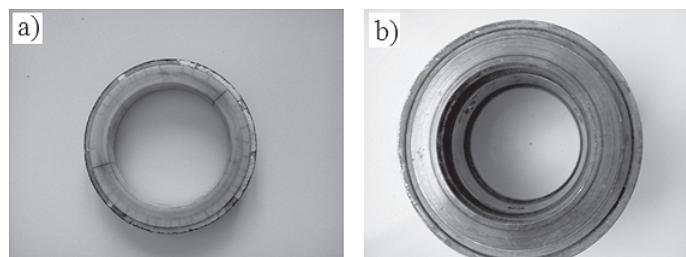
- stwierdzonego uszkodzenia,
- osiągnięcia ustalonego czasu pracy,
- osiągnięcia wartości granicznych przyjętego wskaźnika, który charakteryzował stan uszczelnienia.

W zdecydowanej większości uszczelnień czołowych stosowanych w analizowanej mleczarni pracują one do momentu uszkodzenia. Niestety w zakładzie nie prowadzi historii uszkodzeń uszczelnień. Zebrane informacje pochodzą z wywiadu przeprowadzonego z pracownikami służb utrzymania ruchu mleczarni.

Stwierdzenie uszkodzenia. Poniżej przedstawiono wybrane przykłady uszkodzenia uszczelnień.

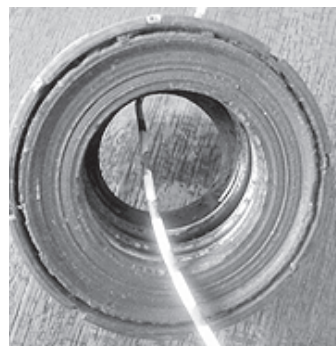
W dziale proskowni w mikserze pracuje uszczelnienie czołowe, które jest wymieniane zwykle dwa razy w roku. Uszczelnienie to pracuje w środowisku mleka oraz tłuszczu. Na zdjęciu widoczne jest pęknięcie pierścienia ceramicznego oraz zużycie zmęczeniowe spowodowane obciążeniami cieplnymi pierścienia (Rys. 2a).

Kolejny przykład uszkodzonego uszczelnienia podwójnego pracującego w nieuzdatnionej wodzie przedstawiono na rys. 2b. Na powierzchni czołowej pierścienia widoczne są ślady zużycia ściernego co jest skutkiem pracy w wodzie zawierającej kamień kotłowy, który wnika w pierścienie grafitowe współpracujące z tą częścią. Zainkludowane cząstki ściernie zużywają powierzchnię przeciwpierścienia.



Rys. 2. Uszkodzone pierścienie ślizgowe pracujące: a) w mikserze w środowisku mleka oraz tłuszczu, b) w pompie wody nieuzdatnionej

Kolejne podwójne uszczelnienie czołowe pracowało w pompie przetłaczającej wodę. Stan uszczelnienia po demontażu jest katastrofalny (Rys. 3). Widać zużycie ściernie pierścieni grafitowych, które dawno przekroczyło stan graniczny. Uszczelnienie to nie powinno być dopuszczone do kontaktu ze środkiem spożywczym.



Rys. 3. Uszkodzony pierścień grafitowy podwójnego uszczelnienia czołowego pracującego w wodzie

Czas pracy jest następnym kryterium wymiany uszczelnienia. Kryterium to jest stosowane, gdy utrata zdolności przez uszczelnienie jest niedopuszczalna. Może się to bowiem wiązać ze znacznymi kosztami i utrudnieniami związanymi np. z koniecznością zatrzymania całej linii w mleczarni. To kryterium stosowane jest także do uszczelnień zainstalowanych w newralgicznych miejscach. W praktyce oznacza to wymianę uszczelnienia podczas remontu głównego.

Osiągnięcie wartości granicznych przyjętego wskaźnika to ostatni przypadek podejmowania decyzji o wymianie uszczelnienia. Oznacza to ocenę wskaźnika w toku eksploatacji i wymianę uszczelnienia w przypadku stwierdzenia, że wskaźnik osiągnął wartość graniczną. Do najczęściej wykorzystywanych wskaźników oceny stanu uszczelnienia w mleczarni należy wartość przecieku. Wartości przecieków mogą być różne i są zależne od miejsca pracy uszczelnienia. W niektórych pompach pracujących w mleczarni nieszczelności powodują jedynie powiększenie ubytku uszczelnianego czynnika. Natomiast taka sama nieszczelność w miejscu, gdzie wymagana jest higieniczność i sterylność procesu jest niedopuszczalna. Stan uszczelnień, których niezawodność jest bardzo istotna, sprawdzany jest każdego dnia. Przeglądu dokonują pracownicy mleczarni i w przypadku dostrzeżenia przecieku informują głównego mechanika, który podejmuje decyzję o dalszej eksploatacji uszczelnienia lub jej zaprzestaniu. Uszczelnienia pracujące w miejscach gdzie warunek szczelności nie jest tak istotny są sprawdzane raz w tygodniu.

Sposoby przywracania zdadności uszczelnienia

Użytkownik, który zaobserwuje objawy utraty zdadności uszczelnienia, może podjąć następujące działania [Rewolińska, 2007]:

- wymienić uszczelnienie na nowe i usunąć zużyte (ubytek/odpis z inwentarza),
- naprawić uszczelnienie we własnym zakresie,
- skorzystać z serwisu firm regenerujących uszczelnienia.

W mleczarni można spotkać się ze wszystkimi przedstawionymi rozwiązaniami. Decyzję o wymianie uszczelnienia na nowe poprzedza analiza kosztów zakupu nowego i kosztów regeneracji. Decydującym kryterium regeneracji jest jej opłacalność, na którą wpływa:

- typ uszczelnienia – regenerowane są między innymi: uszczelnienia podwójne, tzw. *cartridge* oraz uszczelnienia o szczególnych rozwiązaniach konstrukcyjnych,
- rozmiar uszczelnienia – zwykle regenerowane są uszczelnienia o średnicach powyżej 35 mm.

Oczywiście nie wykonuje się regeneracji, której koszt przewyższa cenę zakupu nowego uszczelnienia. Warunek ten nie dotyczy uszczelnień, których nie można zastąpić nowymi, gdy np. nie są już produkowane lub stanowią indywidualne rozwiązania konstrukcyjne.

W mleczarni jest warsztat, który jest w stanie przeprowadzić proste naprawy uszczelnień, np. wymianę uszczelnienia *o-ring*. Przeszkolony pracownik wie, jak postępować z poszczególnymi elementami uszczelnienia oraz odpowiednio je zamontować.

Ostatnim rodzajem działania, jakie może podjąć użytkownik uszczelnienia jest jego regeneracja w serwisie regeneracyjnym. Współczesne metody regeneracji zapewniają osiągnięcie przez elementy zregenerowane właściwości użytkowych takich jak właściwości elementów nowych lub nawet lepszych. Problemem jest jednak ograniczony dostęp do urządzeń do regeneracji pierścieni, czyli do docieraków i dogładzarek powierzchni pierścieni ślizgowych. Regeneracja uszczelnienia we własnym zakresie jest niewskazana, gdy zakład nie dysponuje odpowiednim sprzętem lub nie ma wykwalifikowanych w tym zakresie pracowników. Ponadto regeneracja uszczelnienia wykonana na miejscu i niezakończona próbami szczelności może narazić zakład na znaczne koszty w przypadku awarii takiego niesprawzonego uszczelnienia. W serwisie uszczelnienie po regeneracji jest sprawdzone i ma gwarancję.

Zarys procesu regeneracji uszczelnień

Każda regeneracja uszczelnienia ma na celu przywrócenie mu pierwotnych właściwości użytkowych. Uzyskuje się to w wyniku wykonania określonych operacji technologicznych na uszczelnieniu. Proces regeneracji składa się zwykle z sześciu etapów: demontażu, czyszczenia, weryfikacji, naprawy, montażu i kontroli końcowej.

Demontaż

Pracownik mleczarni demontuje uszczelnienie, które zostało zakwalifikowane do regeneracji. Przed demontażem dokonuje oględzin, które są niezbędne do ponownego montażu i pracy uszczelnienia. Zdemon-

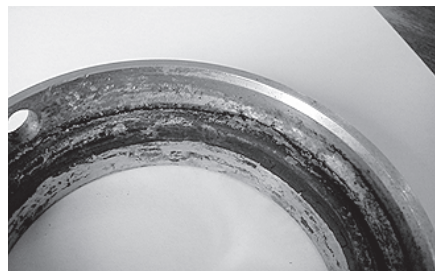
stowane uszczelnienie trafia do serwisu, gdzie demontowane jest na pojedyncze elementy. W zależności od typu uszczelnienia elementy te są różne, jednak do podstawowych należą:

- pierścienie ślizgowe,
- elementy elastyczne (*o-ringi*, mieszki),
- tuleja,
- pierścień ustalający,
- pokrywa,
- sprężyny,
- pierścień mocujący,
- śruby imbusowe,
- łapki mocujące.

Jeżeli uszczelnienie ma pierścień węglowy to metalowa obudowa, w której się znajduje, jest podgrzewana do odpowiedniej temperatury umożliwiającej jego swobodny demontaż. Wykorzystuje się tutaj różną rozszerzalność cieplną pierścienia wykonanego z węgla i metalowej obudowy. Kolejność czynności demontażowych zależy od konstrukcji uszczelnienia, wykonuje się je ręcznie.

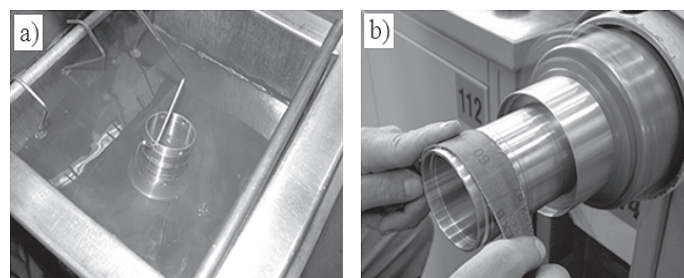
Czyszczenie

W czasie użytkowania na uszczelnieniu gromadzą się różne zanieczyszczenia, które pogarszają warunki jego pracy, a także utrudniają późniejszy demontaż, pomiary i badania weryfikacyjne (Rys. 4).



Rys. 4. Zanieczyszczony fragment uszczelnienia czołowego przeznaczony do regeneracji

Usuwanie zanieczyszczeń z elementów uszczelnienia polega na ich oczyszczeniu opłacalnymi, wydajnymi i ogólnie dostępnymi metodami, niepowodującymi ich uszkodzenia. Bardzo często jeszcze przed demontażem uszczelnienie czyści się z większych zanieczyszczeń, które uniemożliwiają demontaż. Po demontażu czyszczone są już pojedyncze elementy, które nadają się do regeneracji. Elementy czyści się w myjkach ultradźwiękowych w wodnych roztworach środków myjących lub w płynach organicznych (Rys. 5a). Zanieczyszczenia są również usuwane mechanicznie z użyciem szczotek, skrobaków lub papieru ściernego (Rys. 5b).



Rys. 5. Czyszczenie elementów uszczelnień czołowych: a) w myjkach ultradźwiękowych, b) mechaniczne

Ręczne czyszczenie jest mało wydajne, jednak w wielu przypadkach jest to jedyny sposób usunięcia zanieczyszczeń z powierzchni elementów. Stosując metody mechaniczne, trzeba uważać, aby nie uszkodzić elementów czyszczonych oraz powierzchni będących w kontakcie, a niepoddawanych czyszczeniu. Po oczyszczeniu należy wzrokowo ocenić stan powierzchni.

Weryfikacja

Elementy uszczelnienia można podzielić na nadające się do:

- ponownego montażu bez regeneracji, jak: tuleje, pokrywy, pierścienie mocujące, uchwyty metalowe; często wystarczy ich oczyszczenie;
- regeneracji, czyli: pierścienie ślizgowe, których zużycie osiągnęło lub przekroczyło stan graniczny oraz których zużycie nie osiągnęło stanu granicznego, lecz nie gwarantuje poprawnej pracy, np. na powierzchni pierścienia występują ślady zużycia ściernego;
- wymiany, której podlegają wszystkie elementy elastyczne, np. *o-ringi*, sprężyny, a także pierścienie węglowe i kołki zabierakowe.

Główny zakres weryfikacji polega na pomiarach zdemontowanych i oczyszczonych elementów uszczelnienia. Podstawowymi kryteriami oceny stanu elementów uszczelnienia są zmiany kształtów i wymiarów oraz stan powierzchni elementów lub stan powłok. Stan uszczelnienia weryfikuje się przez oględziny zewnętrzne i pomiary weryfikacyjne.

Oględziny zewnętrzne umożliwiają wykrycie złamania, pęknięcia, wykruszenia, porysowania, korozji, wżerów erozyjno-korozyjnych oraz odkształceń trwałych elementów uszczelnienia. Dokładność oględzin zależy od wzroku i doświadczenia osoby je wykonującej. Można ją zwiększyć, używając lup ręcznych lub innych przyrządów optycznych (np. mikroskopu warsztatowego). Oględziny służą do sprawdzenia stanu pierścieni ślizgowych, gwintu śrub, śladu żłobkowania, wykończenia obudowy pierścienia węglowego, wielkości i wykończenia rowków pod *o-ringi*, a także tulei wewnętrznej i uchwyty metalowego.

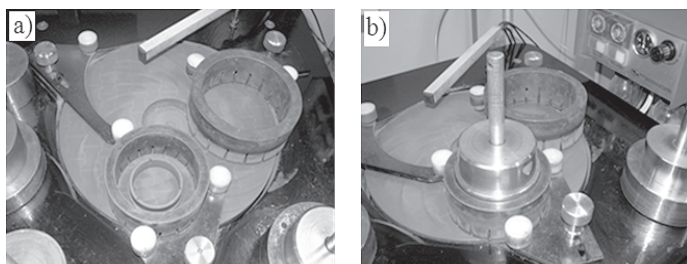
Pomiary weryfikacyjne mają na celu określenie zmian wymiarów pierścieni ślizgowych, zużycia otworów na sprężyny, zużycia szczelin kołków zabierakowych. Zmiany te mogą być spowodowane procesami starzenia fizycznego uszczelnienia lub uszkodzeniami nagłymi. Wyniki pomiarów weryfikacyjnych służą również do oceny intensywności zużycia uszczelnienia, co umożliwia prognozowanie terminu kolejnej inspekcji.

Naprawa

Naprawa uszczelnień czołowych to przede wszystkim regeneracja pierścieni. Sposoby regeneracji zależą od rodzaju materiałów [Rewolińska, 2013a,b], z których wykonano parę pierścieni oraz od ich przeznaczenia.

Jeśli pierścień z węgla impregnowanego żywicą jest skojarzony z pierścieniem z węgla krzemowego, to ten pierwszy podlega wymianie, ponieważ jego bardziej miękki materiał podczas pracy mógł wchłonąć twardsze zanieczyszczenia, których nie da się usunąć w wyniku regeneracji. W trakcie eksploatacji takie zanieczyszczenia mogłyby spowodować zużycie ścierne pierścienia współpracującego z pierścieniem węglowym. Pierścień z węgla krzemowego szlifuje się, a następnie dociera i poleruje. Docieranie wykonuje się na urządzeniach zwanych docierakami i jest to jedna z ważniejszych operacji regeneracji pierścieni. Przed docieraniem należy usunąć wszystkie zanieczyszczenia z poprzednich operacji. Docierany pierścień umieszcza się na płycie docieraka (Rys. 6a) i obciąża odpowiednio do materiału pierścienia (Rys. 6b).

Ponieważ jednocześnie dociera się kilka pierścieni, muszą być one odpowiednio dobrane, tzn. mieć jednakową wysokość i powinny być wykonane z tego samego materiału. Czas docierania również zależy od materiału pierścieni. Na tarczę wprowadza się stosowaną do docierania zawieszinę wodną bądź oleistą z węgla krzemowego, korundu, węgla boru lub diamentową. Zawieszina ma cząstki o różnym stopniu rozdrobnienia i jest odpowiednio podawana automatycznie przez spryskiwacz.



Rys. 6. Docieranie pierścieni ślizgowych uszczelnienia czołowego: a) pierścień ślizgowy w gnieździe docieraka, b) obciążony pierścień ślizgowy

Następnym etapem jest mycie pierścieni. Pierścienie nie mogą zbyt szybko schnąć, by na powierzchni nie pozostały charakterystyczne plamy. Po tej czynności są sprawdzane parametry obróbkowe pierścieni: wysokość, równoległość, chropowatość i płaskość. Gdy pierścień ma wykruszone krawędzie, zarysowania, pęknięcia lub ślady zatarcia, jest eliminowany z dalszego procesu. Pierścienie o właściwych parametrach są polerowane. Odbywa się to na docieraku, w którym ścierniwo jest drobniejsze. Czas polerowania jest krótszy od czasu docierania. Po polerowaniu, podobnie jak po docieraniu, pierścienie są myte i kontrolowane.

Montaż

Zregenerowane uszczelnienie jest montowane. Pierścienie węglowe są umieszczane w obudowie przez wcisk. Ponieważ po szlifowaniu i docieraniu pierścienie mogą mieć mniejszą wysokość, różnica jest kompensowana przez montaż pierścienia węglowego o odpowiedniej wysokości. W ten sposób uszczelnienie jest zamontowane na właściwej dla swojej pracy długości wału. Wszystkie elementy są składane zgodnie z instrukcją uszczelnienia danego typu.

Kontrola końcowa

Uszczelnienie po regeneracji powinno być poddane próbie szczelności. Jednak nie każde uszczelnienie wymaga takiej kontroli, a ponadto nie wszystkie serwisy posiadają stanowisko badawcze. Parametry próby szczelności zależą od rodzaju uszczelnienia i jego przeznaczenia. Do tych parametrów zalicza się ciśnienie uszczelnianej cieczy, jej temperaturę, a także czas trwania prób. Po pomyślnej próbie szczelności uszczelnienie jest suszone i przygotowane do pakowania.

Wnioski i zalecenia

Proces regeneracji uszczelnień w obserwowanej mleczarni wykonywany jest od kilku lat i należy podkreślić, że z roku na rok liczba regenerowanych uszczelnień wzrasta.

Obecnie stosowane uszczelnienia to często bardzo skomplikowane konstrukcyjnie rozwiązania, w przypadku których znacznie korzystniej jest zrehabilitować poszczególne elementy niż zakupić nowe uszczelnienie. Także w przypadku uszczelnień, które charakteryzują się znacznymi wymiarami regeneracja okazuje się być korzystniejszym rozwiązaniem.

Należy podkreślić, że jeśli zachodzi konieczność przeprowadzenia regeneracji uszczelnienia to jej wykonanie powinno zostać powierzone osobom wykwalifikowanym w tej dziedzinie oraz dysponującym odpowiednim sprzętem. Przeprowadzenie procesu regeneracji przez osoby nieposiadające odpowiedniej wiedzy często generuje koszty związane z problemami eksploatacyjnymi, czyli dezorganizacją pracy w zakładzie, utratą uszczelnianego czynnika oraz koniecznością przeprowadzenia powtórnej regeneracji.

LITERATURA

- Jones, G., 2004. On the tribological behaviour of mechanical seal face materials in dry line contact. *Wear*, 256, nr 3-4, 415-432. DOI: 10.1016/S0043-1648(03)00539-8
- Netzel J., Redpath D., Wallace N., 2002. Avoiding premature machinery failures – applying API 682 and case histories. *Sealing Tech.*, nr 5, 6-10
- Rewolińska A., 2007. Regeneracja uszczelnień czołowych. *Slużby Utrzymanie Ruchu*, nr 6, 38-45. DOI: 10.1016/S1350-4789(02)80135-0
- Rewolińska A., 2009. Analiza kryteriów decydujących o wymianie uszczelnień stosowanych w maszynach i urządzeniach przemysłu spożywczego. *Inż. Ap. Chem.*, 48, nr 2, 116-117
- Rewolińska A., 2013a. Problem doboru materiałów na elementy uszczelnień czołowych stosowanych w maszynach i urządzeniach przemysłu spożywczego. *Inż. Ap. Chem.*, 52, nr 2, 105-106
- Rewolińska A., 2013b. *Uszczelnienia w przemyśle spożywczym. Eksploatacja uszczelnień czołowych*. Wyd. Pol. Poznańskiej, Poznań
- Żarczyński K., 2010. *Higienicznie zaprojektowana linia – podstawa efektywnej czyszczenia*. Forum Mleczarskie Biznes, nr 2 (08.2014) <http://www.forum-mleczarskie.pl/RAPORTY/128/higienicznie-zaprojektowana-linia/>