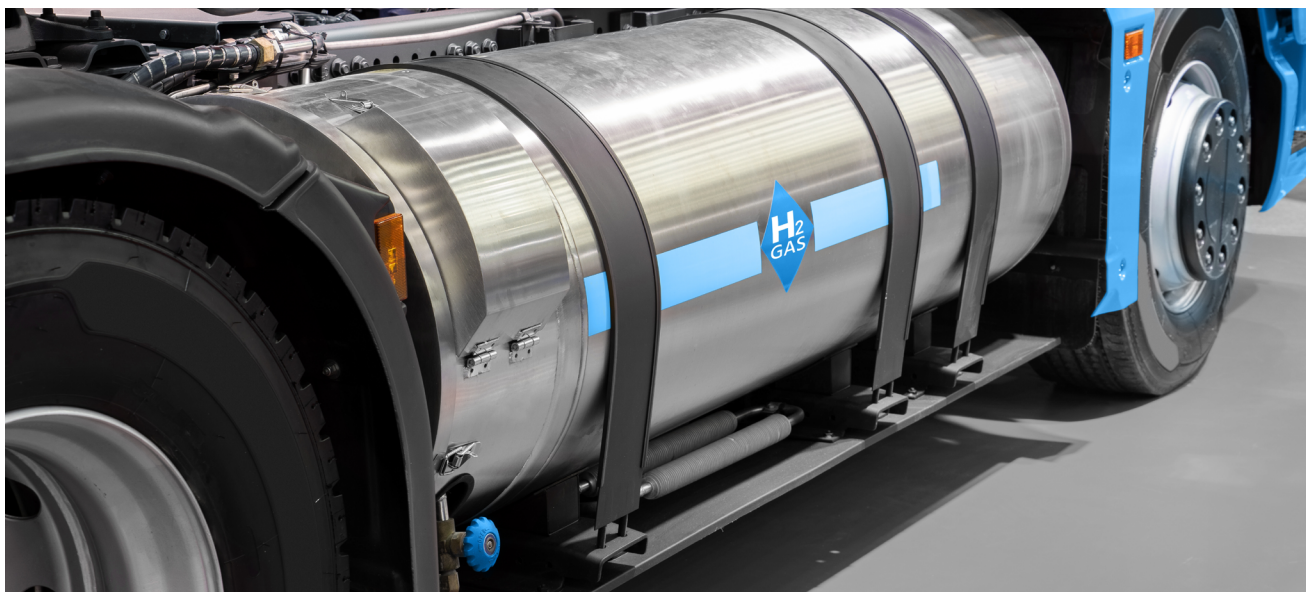


Który czujnik ciśnienia nadaje się do pracy z wodorem?

Wraz z rosnącym rozprzestrzenianiem się wodoru jako nośnika energii rośnie również zapotrzebowanie na odpowiednie czujniki ciśnienia. Chociaż wodór jest od lat używany pod niskim ciśnieniem w przemyśle chemicznym i przetwórczym, nowe wyzwania pojawiają się w zastosowaniach związanych z mobilnością H_2 : zakresy pomiarowe przekraczające 1000 barów, ograniczona przestrzeń i wysokie koszty w przypadku dużych serii wymagają nowych, innowacyjnych koncepcji czujników.



Cząsteczka wodoru – jako najmniejsza ze wszystkich – ma tę właściwość, że dzięki dyfuzji może przenikać w strukturę wielu dostępnych na rynku stali i innych materiałów. Może być przechowywana na stałe w strukturze lub może wnikać w strukturę (za pomocą przenikania), może być także połączeniem tych dwóch efektów. Kruchość wodorowa jest dobrze znana i spowodowana jest tym, że wnikaący wodór zmienia strukturę stali. Przenikanie, czyli proces sorpcji (absorpcji) wodoru na powierzchni membrany, dyfuzji przez materiał membrany i desorpcji z tyłu, nie stanowi problemu w większości zastosowań, takich jak zbiorniki ciśnieniowe, ponieważ posiadają one wystarczająco duże grubości ścian. Jednak w przypadku czujników ciśnienia, które posiadają ścianki cienkiej grubości, przenikanie wodoru przez membranę pomiarową może prowadzić do powstawania reakcji z elementami czujnika.

W zależności od budowy i fizycznej zasady działania czujnika, w grę mogą wchodzić różne czynniki. W kolejnych sekcjach wyjaśniono najważniejsze opcje dla tych czujników, które są zwykle stosowane, gdy wodór jest używany jako nośnik energii. Pokazano również, jakie rozwiązania techniczne stosuje się do przeciwdziałania (szkodliwym skutkom) przenikania wodoru oraz jakie są tego zalety i wady. Na koniec przedstawiono najważniejsze kryteria wyboru odpowiedniego czujnika ciśnienia, a także wskazano na co zwrócić uwagę podczas oceny i kwalifikacji.

W przemysłowych zastosowaniach wodoru stosuje się niemalże wyłącznie czujniki piezorezystancyjne lub czujniki cienkowarstwowe

(patrz ramka z zasadami działania). Inne rodzaje czujników są albo nieodpowiednie technicznie (np. czujniki ceramiczne ze względu na dużą porowatość spiekane go materiału), albo są zbyt drogie oraz czysto niszowe.

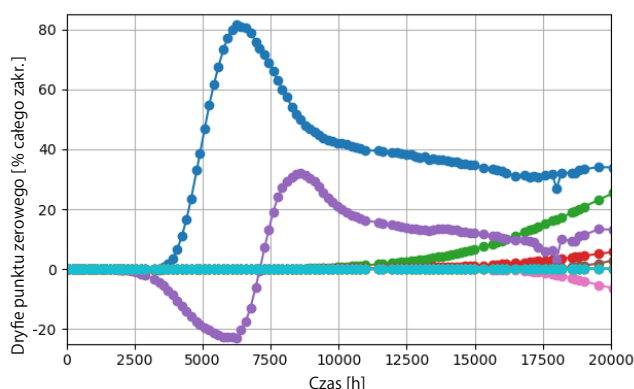
Czujniki piezorezystancyjne

W przypadku czujników piezorezystancyjnych niezwykle mała grubość ścianki membrany oddzielającej, wynosząca tylko około 70 mikrometrów to duże wyzwanie. Sama membrana rozdzielająca jest standardowo wykonana z kompatybilnego z wodorem materiału AISI316L, dzięki czemu nie odznacza się ona kruchością. Jednak przy wyższych ciśnieniach wodór może dyfundować przez ciekłą membranę oddzielającą do wypełnienia olejowego. Rozpuszczony w oleju wodór może tworzyć bąbelki, co wyraża się nagłym i silnym przesunięciem sygnału, które w zależności od krzywej ciśnienia może samoistnie zniknąć, gdy tylko bąbelek ponownie się rozpuści. Jako środek zaradczy membrana rozdzielająca jest po stronie wodoro-wej pokryta złotą powłoką, która działa jak bariera sorpcyjna. Testy Trafaga pokazują, że ta warstwa złota musi mieć określoną minimalną grubość, aby mogła pełnić funkcję ochronną. Efekt ochronny jest zmniejszony, jeśli warstwa jest zbyt cienka, jeśli jest uszkodzona przez mikrozarysowania lub jeśli posiada niewystarczającą przyczepność oraz najmniejsze pęcherzyki spowodowane zanieczyszczeniami w procesie galwanizacji.

Czujniki posiadające ciekłą warstwę na stali

Z drugiej strony czujniki z ciekłą warstwą na stali mają znacznie grubszą membranę. Jednak zwykle jest ona wykonana z materiału nieodpowiedniego dla wodoru (17-4PH lub 1.4542), czyli z wysoko-wydajnej stali martenzytycznej o raczej niskiej zawartości niklu. Stale austenityczne o zawartości niklu powyżej ok. 13 procent uważa się za odpowiednie do pracy z wodorem. Dlatego należy stosować alternatywne stopy stali. Zgodnie z tą zasadą wymagana jest wysoka granica plastyczności, aby membrana, a tym samym napyłone mostki oporowe, mogły rozciągać się tak bardzo, że generowany będzie użyteczny sygnał. Niestety, wiele stali kompatybilnych z H_2 , takich jak AISI316L, nie spełnia tego wymagania. Jeśli stosuje się czujniki stalowe z membranami wykonanymi z materiału AISI31L, zwykle nie są one wyposażone w długoterminowo stabilny napyłony mostek oporowy, ale posiadają powłokę, która wykazuje większą zmianę rezystancji przy tym samym naprężeniu, lecz jest ona często bardziej podatna na dryf sygnału.

Dużym wyzwaniem jest znalezienie odpowiednich stopów stali, które są kompatybilne z H_2 i jednocześnie nadają się do budowy czujników cienkowarstwowych. W przypadku ogniów cienkowarstwowych z rezystorami napyłanymi istnieją pewne stopy stali austenitycznej o wysokiej zawartości niklu, które również mają wystarczającą granicę plastyczności i dlatego są zasadniczo odpowiednie. Jednak dla producenta czujników trudność w przypadku tych stali polega na uzyskaniu takiej jakości materiału, która pozwala na wykonanie długoterminowo stabilnych czujników o niskim dryfie. Krytycznymi parametrami są zwykle jednorodność struktury, stopu i obróbka cieplna. Testy firmy Trafag z własnymi czujnikami wykonanymi z różnych stopów oraz czujnikami konkurencji wykazały, że wiele z oferowanych obecnie rozwiązań ma znacznie dłuższy dryf długoterminowy niż konwencjonalne czujniki do powietrza lub oleju. Dzięki bogatemu doświadczeniu, wieloletnim intensywnym badaniom i niezliczonym testom, Trafag zdołał opracować czujnik cienkowarstwowy wykonany ze stali kompatybilnej z wodorem, którego długoterminowa stabilność jest znacznie lepsza niż większości swoich konkurentów.



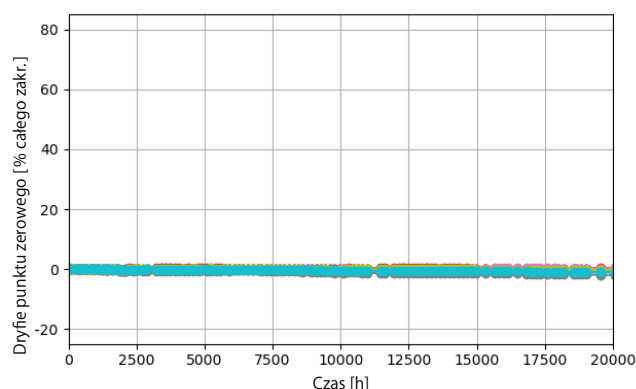
Zerowy dryf standardowych czujników cienkowarstwowych przy 100 barach wodoru

Kryterium wydajności, długoterminowa stabilność

Długoterminowa stabilność czujników ciśnienia wodoru jest obecnie głównym kryterium oceny przetworników ciśnienia. Projekt i rozmiar, elektronika i konstrukcja mechaniczna są w większości zaczerpnięte ze sprawdzonych przemysłowych czujników ciśnienia i dlatego prawie zawsze spełniają wymagania aplikacji wodorowych. Długoterminowa stabilność czujnika oznaczająca, że dokładność pomiaru nie zmienia się lub zmienia się tylko nieznacznie w okresie użytkowania, ma krytyczne znaczenie zwłaszcza w zastosowaniach wodorowych. Słaba stabilność długoterminowa znajduje odzwierciedlenie przede wszystkim w dryfie punktu zerowego, co oznacza, że sygnał nie pokazuje już zera, gdy nie ma ciśnienia.

Kruchość, która jest bardzo często wymieniana w literaturze jako największy problem, nie wystąpiła w przypadku czujników Trafag podczas przeprowadzonych testów. Testy na powstawanie pęknięć standardowych czujników, tj. wykonanych z materiału niekompatybilnego z wodorem, nie wykazały żadnego mierzalnego spadku ciśnienia rozrywającego nawet po dłuższym użytkowaniu w środowisku wodorowym, chociaż sygnały już wykazywały ogromny dryf. Podczas eksploatacji, szczególnie trzy parametry mają duży wpływ na długoterminową stabilność czujników ciśnienia wodoru:

- Ciśnienie: Im wyższe ciśnienie, tym silniejszy i szybszy efekt dyfuzji. Naprzemienne cykle obciążenia mogą również przyspieszyć ten efekt, ponieważ ruch konstrukcji ułatwia mobilność przenikniętego wodoru.
- Temperatura: Im wyższa temperatura, tym szybciej objawia się szkodliwy wpływ wodoru. Kruchość spada ponownie od około 60°C, ale dyfuzja nadal wzrasta.
- Czas: czas trwania narażenia na wodór jest krytyczny. Odchylenia sygnału stają się widoczne dopiero po pewnym czasie i nie są liniowe.



Zero dryfu czujników cienkowarstwowych wykonanych ze stali kompatybilnej z H_2 przy 100 barach wodoru

Podczas gdy wpływ ciśnienia i temperatury jest oczywisty i uwzględnia się je w ocenie w kryteriach badania, czas często nie jest uwzględniany w wystarczającym stopniu. Testy Trafaga wykazały, że czujniki wykonane z nieodpowiedniej standardowej stali membranowej czasami wykazują charakterystyczne efekty dryfu punktu zerowego po 10 000 godzin kontaktu z wodorem oraz że powstaje duży rozrzut, kiedy faktycznie rozpoczyna się dryf punktu zerowego.

Wiele z efektów dryfu jest odwracalnych w przypadku czujników stalowych: Gdy czujnik nie jest już wystawiony na działanie wodoru, stężenie wodoru powoli spada - w wyższych temperaturach (powyżej około 80°C) spada ono stosunkowo szybko.

Konsekwencje oceny czujników ciśnienia wodoru

Kwalifikacja odpowiednich urządzeń jest dużym wyzwaniem dla użytkownika czujników ciśnienia wodoru. Ponadto nieprawidłowy pomiar ciśnienia może prowadzić do poważnych konsekwencji – w tym zagrożenia życia ludzkiego. Dlatego testy muszą być przeprowadzane przez kilka tysięcy godzin, najlepiej w konfiguracji testowej zorientowanej na aplikację. Zorientowanie na zastosowanie oznacza, że przede wszystkim poziom ciśnienia, cykle ciśnienia i warunki temperaturowe najlepiej reprezentują najgorsze warunki w docelowych zastosowaniach. Aby nie ograniczać różnorodności urządzeń, które muszą być testowane w tak złożony sposób, warto brać pod uwagę tylko dostawców z dużym doświadczeniem i wiedzą, którzy również przeprowadzają intensywne wewnętrzne testy kwalifikacyjne, już na etapie wstępnej selekcji.

Szukasz niezawodnych i wytrzymałych czujników ciśnienia wodoru?

Skontaktuj się z nami.

Nasi specjaliści z przyjemnością doradzą i wspólnie z Tobą znajdą odpowiednie rozwiązania dla Twojego zastosowania.

Trafag AG
Industriestrasse 11
8608 Bubikon (Switzerland)
Telefon +41 44 922 32 32
trafag@trafag.com | www.trafag.com

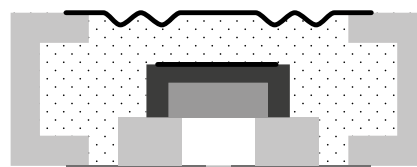
Zasada działania różnych czujników ciśnienia



Czujnik piezorezystancyjny

Ciśnienie medium oddziałuje na membranę rozdzielającą, która przenosi ciśnienie na wypełnienie olejowe. Aktywna warstwa elementu półprzewodnikowego w oleju ulega deformacji pod wpływem ciśnienia. Ze

względu na zmianę kształtu zmienia się mierzona rezystancja. Membrana oddzielająca musi być bardzo cienka, aby mogła przenosić ciśnienie na olej bez zniekształceń.



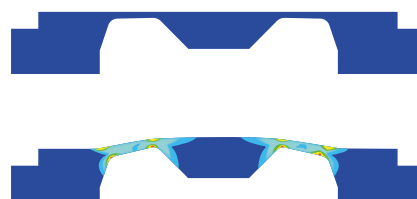
Schematyczny przekrój piezorezystancyjnego czujnika ciśnienia z membraną separującą, wypełnieniem olejowym i warstwą aktywną.



Czujnik posiadający cienką warstwę na stali

Ciśnienie medium działa na stalową membranę. Ma ściśle określoną sztywność i tylko lokalnie odkształca się ze względu na swój specjalny kształt. Rezystory są nakładane

na stronę odwróconą od medium w miejscach o maksymalnym odkształceniu. W zależności od położenia opory są ściskane lub rozciągane, co prowadzi do wzrostu lub spadku. Suma bezwzględnych zmian rezystancji jest mierzona za pomocą mostka Wheatstone'a.



Przekrój czujnika stalowego jako model elementu skróconego, powyżej w stanie bezciśnieniowym, a poniżej z maksymalnym ciśnieniem.