

Termiczne odgazowanie wody zasilającej kotły parowe.

Krzysztof Szalucki

1. Wstęp

Jeżeli szklankę napełnimy zimną wodą surową i pozostawimy ją w ciepłym miejscu, to po chwili - nie dłuższej niż ta, którą poświęcimy na przeczytanie niniejszego artykułu - zaobserwujemy formowanie się na dnie i ściankach szklanki pęcherzyków powietrza, jak na rysunku 1. W ten sposób dowodzimy istnienia rozpuszczonych w wodzie gazów oraz obserwujemy zjawisko zmniejszenia się rozpuszczalności gazów w wodzie wraz ze wzrostem temperatury.



Rysunek 1. Pęcherzyki powietrza na ściankach szklanki wypełnionej wodą

Spośród gazów rozpuszczonych w wodzie najbardziej niebezpieczne dla instalacji parowych i wodnych - ze względu na silne oddziaływanie korozyjne - są tlen i dwutlenek węgla. Dla poprawnej, długotrwałej i bezpiecznej pracy instalacji pary i kondensatu konieczne jest zastosowanie urządzeń, które usuną niebezpieczne dla instalacji gazy rozpuszczone w wodzie, czyli odgazują wodę. Odgazowanie wody można przeprowadzić w oparciu o metody mechaniczne lub chemiczne. W praktyce kotłowni przemysłowych stosuje się przede wszystkim systemy odgazowania mechanicznego, przy ewentualnym wykorzystaniu odgazowania chemicznego dla eliminacji tlenu szczytkowego. Indywidualne systemy odgazowania chemicznego nie są wykorzystywane w powyższych zastosowaniach, między innymi ze względu na duży koszt czynników chemicznych (siarczan sodu lub hydrazyna) dodawanych w celu związania tlenu i dwutlenku węgla rozpuszczonych w wodzie zasilającej.

2. Teoria odgazowania mechanicznego

Już samo sformułowanie tematu tego rozdziału brzmi zniechęcająco: Teoria odgazowania mechanicznego, ale bez znajomości tej teorii - choćby na minimalnym, przedstawionym poniżej poziomie - nie będzie możliwa ocena, czy zastosowany system odgazowania ma w ogóle szansę na poprawną pracę.

2.1 Prawo Daltona

Prawo ciśnień cząstkowych Daltona: całkowite ciśnienie mieszaniny wielu gazów zajmujących pewną określoną objętość, będzie równe sumie ciśnień cząstkowych, które każdy gaz mieszaniny będzie wywierał pozostając indywidualnie w objętości zajmowanej przez mieszaninę ($p_{\text{całkowite}} = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n$).

Dla lepszego zrozumienia można posłużyć się przykładem: jeżeli określona objętość mieszaniny tlenu i dwutlenku węgla o ciśnieniu całkowitym 10 bar, charakteryzuje się udziałami molowymi 75% tlenu i 25% dwutlenku węgla, to ciśnienie cząstkowe tlenu w tej mieszaninie będzie równe 7,5 bar, a dwutlenku węgla 2,5 bar.

2.2 Prawo Henry'ego

Ilość gazu rozpuszczonego w pewnej ilości rozpuszczalnika (tu: woda) jest wprost proporcjonalna do jego ciśnienia cząstkowego w mieszaninie gazów znajdującej się nad roztworem (z wyłączeniem gazów, które wchodzą w reakcje chemiczne z rozpuszczalnikiem). Sformułowane powyżej Prawo Henry'ego opisywane jest wzorem:

$$c_a \stackrel{def}{=} k_H \cdot p_g \quad (1)$$

gdzie

c_a – koncentracja rozpuszczonego gazu

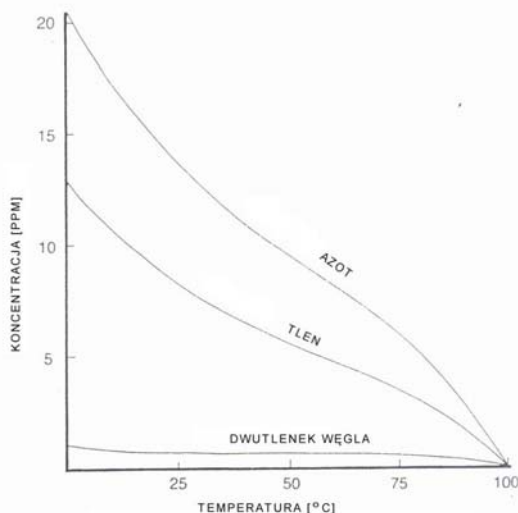
k_H – stała Henry'ego

p_g – ciśnienie cząstkowe gazu nad roztworem

Analizując prawo Henry'ego dochodzimy do wniosku, że proporcjonalnie do wzrostu ciśnienia cząstkowego gazu wzrasta jego rozpuszczalność. Dwukrotny wzrost ciśnienia cząstkowego gazu nad roztworem spowoduje dwukrotny przyrost ilości gazu rozpuszczonego w roztworze; i odwrotnie, co oznacza, że dla usunięcia gazu rozpuszczonego w roztworze, konieczne jest wyeliminowanie tego gazu ze składu mieszaniny gazów nad roztworem, w takim przypadku koncentracja tego gazu w rozpuszczalniku będzie dążyła do zera. Czyli **warunkiem koniecznym usunięcia tlenu i dwutlenku węgla** z wody jest zapewnienie, że w procesie odgazowania wody i później magazynowania, nie będzie ona miała żadnej styczności z tymi gazami.

2.3 Wpływ temperatury

Stała Henry'ego k_H jest zależna od rodzaju gazu i temperatury roztworu (wody), w którym gaz jest rozpuszczony. Ze wzrostem temperatury czynnika stała Henry'ego maleje, oznacza to zmniejszanie koncentracji rozpuszczonego gazu przy wzroście temperatury. Na rysunku 2 pokazano krzywe zależności ilości tlenu, dwutlenku węgla i azotu rozpuszczonych w wodzie od temperatury wody przy ciśnieniu atmosferycznym. Kiedy roztwór (woda) osiąga temperaturę nasycenia wszystkie niezwiązane chemicznie gazy są teoretycznie w nim nierozpuszczalne i mogą zostać samoistnie usunięte.



Rysunek 2. Rozpuszczalność różnych gazów w wodzie w funkcji temperatury.

Jednakże całkowite usunięcie tlenu i dwutlenku węgla z wody podgrzanej do temperatury nasycenia nie będzie możliwe, jeżeli woda ta wciąż będzie miała kontakt z powietrzem, w którym tlen i dwutlenek węgla mają swoje ciśnienia cząstkowe. Nie jest spełniony warunek konieczny usunięcia tych gazów. Co więcej takie samoistne usuwanie gazów przy osiągnięciu temperatury nasycenia wody będzie długotrwałe (powstające pęcherzyki gazu muszą wzrosnąć do rozmiarów zapewniających powstanie sił wyporności umożliwiających ruch ku powierzchni).

W przypadku wody idealnym rozwiązaniem jest zastosowanie pary wodnej równocześnie jako gazu podgrzewającego wodę do stanu nasycenia oraz jako gazu otaczającego, co nie dopuści do ponownego kontaktu wody odgazowanej z gazami zawartymi w powietrzu.

2.4 Inne czynniki

Użycie pary jako czynnika przemywającego wodę ma bardzo istotne znaczenie ze względu na szybkość odgazowania. Para przemywająca jest równocześnie czynnikiem podgrzewającym wodę do stanu nasycenia. Sam fenomen usuwania gazów z wody za pomocą pary przemywającej wykorzystuje dwa mechanizmy. Po pierwsze powstające pęcherzyki gazów łączą się z przepływającymi przez wodę pęcherzami pary, które ułatwiają i przyspieszają ich usuwanie z objętości wodnej. Po drugie przepływający przez objętość wodną pęcherz pary umożliwia dyfuzję molekularną i odprowadzanie cząstek rozpuszczonych gazów.

Intensywne mieszanie całej objętości wody zapewnia również dużo lepsze usuwanie rozpuszczonych w niej gazów poprzez intensyfikację odprowadzania powstałych pęcherzyków i ciągłe zmiany cząsteczek na powierzchni omywanej parą, co wyraźnie przyspiesza proces odgazowania.

Ukształtowanie strumienia przepływającej wody w formie cienkiego filmu wodnego ogrzewanego parą z obu stron – cząstki uwalnianego gazu mają bardzo krótką drogę do przestrzeni wypełnionej parą – przyspieszony proces usuwania gazu.

Dla zapewnienia możliwie jak najmniejszej koncentracji gazów usuwanych z wody w procesie odgazowania w parze grzewczej i przemywającej (znikome ciśnienie cząstkowe tlenu i dwutlenku węgla), konieczne jest ich usuwanie z systemu odgazowania przez wydmuch do otoczenia.

Czas jest bardzo ważny w procesie odgazowywania termicznego. Im więcej czasu będziemy mieli na realizację wyżej wymienionych czynności, tym zapewnimy lepszą efektywność procesu odgazowania. Pamiętajmy, że woda surowa może charakteryzować się nawet 20ppm zawartości tlenu, a odgazowacz w ciągu kilku-kilkunastu sekund musi zredukować tę wartość do 0,02ppm – to jest 1000 krotna redukcja!

2.5 Podtrzymanie stanu odgazowania

System odgazowujący musi zapewnić nie tylko odgazowanie wody, ale również uniemożliwić powstanie wtórnego rozpuszczenia gazów w magazynowanej wodzie zasilającej. Jeżeli dopuścimy w zbiorniku wody zasilającej do obniżenia temperatury poniżej temperatury nasycenia lub zniknie poduszka parowa lub woda będzie miała styczność z powietrzem, to nastąpi natychmiastowe ponowne rozpuszczenie się gazów w wodzie, znajdującej się w zbiorniku wody zasilającej. W takim przypadku, nawet najlepszy system odgazowujący, nie zapewni nam wymaganego poziomu ilości rozpuszczonego tlenu i dwutlenku węgla w wodzie zasilającej.

..... ciąg dalszy dla zainteresowanych

Dla zorientowania się czytelnika o poruszanych w dalszej części artykułu tematach, poniżej zamieszczam spis treści wszystkich rozdziałów artykułu:

„Termiczne odgazowanie wody zasilającej kotły parowe”.

Istnieje możliwość wysłania e-mailem całego artykułu. Osoby zainteresowane proszę o przesłanie danych kontaktowych na adres: info@szalucki.pl

- 1. Wstęp.**
- 2. Teoria odgazowania mechanicznego**
 - 2.1 Prawo Daltona**
 - 2.2 Prawo Henry’ego**
 - 2.3 Wpływ temperatury**
 - 2.4 Inne czynniki**
 - 2.5 Podtrzymanie stanu odgazowania**
- 3. Zadania systemu termicznego odgazowania wody zasilającej kotły parowe**
 - 3.1 Usuwanie tlenu**
 - 3.2 Usuwanie dwutlenku węgla**
 - 3.3 Podniesienie bezpieczeństwa pracy kotła**
 - 3.4 Oszczędności energii**
- 4. Chemiczne odgazowanie wody zasilającej, jako uzupełnienie metody termicznej**
- 5. Wymagania norm EN12952 i EN12953 w zakresie odgazowania wody zasilającej kotły parowe.**
- 6. Podstawowe typy odgazowywaczy termicznych**
 - 6.1 Odgazowywacz próżniowy**
 - 6.2 Odgazowywacz atmosferyczny z częściowym odgazowaniem termicznym**
 - 6.3 Odgazowywacz nadciśnieniowy.**
 - 6.3.1 Kaskady ociekowe (tace otworowane)**
 - 6.3.2 Kaskady przelewowe (przepływ pary i wody we wspólnym kierunku)**
 - 6.3.3 Kaskady przelewowe (przepływ pary i wody w przeciwnym kierunku)**
 - 6.3.4 System z przepływem pary**
 - 6.3.5 System z dyszami o stałym lub zmiennym przekroju.**
 - 6.3.6 System z atomizacją parową**
 - 6.3.7 Inne systemy**
- 7. Dobór odgazowywacza i zbiornika wody zasilającej**
 - 7.1 Wymagana wydajność odgazowywacza i wielkość zbiornika wody zasilającej**
 - 7.2 Wybór typu odgazowywacza**
 - 7.3 Bilans odgazowywacza termicznego - zapotrzebowanie na parę grzewczą.**
 - 7.3.1 Bilans odgazowywacza termicznego ze zbiornikiem wody zasilającej**
 - 7.3.2 Zapotrzebowanie na parę grzewczą**
- 8. Omówienie podstawowych systemów zasilania parą grzewczą odgazowywaczy i zbiorników wody zasilającej**
 - 8.1 Zasilanie parą przez inżektor lub rurę barbotażową na dnie zbiornika wody zasilającej w funkcji temperatury**
 - 8.2 Zasilanie parą przez rurę barbotażową na dnie zbiornika wody zasilającej w funkcji ciśnienia**
 - 8.3 Zasilanie parą przez rurę barbotażową na dnie zbiornika wody zasilającej oraz przez wtrysk pary do kolumny odgazowywacza – sterowanie w funkcji ciśnienia**
 - 8.4 Zasilanie parą przez rurę barbotażową na dnie zbiornika wody zasilającej w funkcji temperatury oraz wtrysk pary do kolumny odgazowywacza w funkcji ciśnienia (system najczęściej stosowany w Polsce)**
 - 8.5 Zasilanie w przypadku częstych rozruchów zbiornika wody zasilającej z odgazowywaczem termicznym ze stanu zimnego**

- 9. Dobór elementów osprzętu zbiorników wody zasilającej z odgazowaniem termicznym**
 - 9.1 Zawór doprowadzający parę grzewczą**
 - 9.2 Zawór doprowadzający wodę uzupełniającą**
 - 9.3 Zawór (odwadniacz) przelewu**
 - 9.4 Zawór bezpieczeństwa**
 - 9.5 Zawór zwrotny łamacza próżni**
 - 9.6 Zawór wydmuchu oparów**
 - 9.7 Układ pomiaru poziomu**
 - 9.8 Inne elementy składowe systemu**
- 10. Zbiornik wody zasilającej z odgazowaniem termicznym jako element kompletnego systemu kotłowni parowej**
 - 10.1 Wykorzystanie pary z rozprężania odsolin i kondensatu w procesie podgrzewu wody zasilającej**
 - 10.2 Systemy podgrzewu wody uzupełniającej**
 - 10.3 Wymagana wysokość napływu pomp wody zasilającej**
- 11. Podsumowanie**