

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Wojciecha BOGACZA**
pt.: „**Badanie zjawiska inkrustacji powierzchni stalowej w trakcie krystalizacji izohydrycznej wybranych nieorganicznych soli z roztworów wodnych**”

Praca Pana mgr inż. Wojciecha Bogacza pt.: *Badanie zjawiska inkrustacji powierzchni stalowej w trakcie krystalizacji izohydrycznej wybranych nieorganicznych soli z roztworów wodnych* została wykonana w Katedrze Inżynierii Chemicznej i Projektowania Procesowego, na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej pod kierunkiem **dr hab. inż. Janusza Wójcika, prof. PŚI** i przedstawiona Radzie tego Wydziału, jako rozprawa doktorska.

Dysertacja została napisana na 163 stronach, które obejmują: Wstęp, rozdział 1 – przegląd literatury, rozdział 2 – opis stanowisk laboratoryjnych, rozdział 3 – opis procedur pomiarowych i materiałów, rozdział 4 – zawiera wyniki i ich omówienie. Zasadnicza część pracy zakończona jest podsumowaniem, po którym zamieszczono: Wykaz oznaczeń, Bibliografię (137 pozycji), Spis tabel (13), Spis rysunków (53), dorobek Doktoranta oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. Ponadto do pracy dołączono trzy załączniki (każdy osobno numerowany) o łącznej liczbie 33 stron.

Inkrustacja jest to niepożądany proces krystalizacji soli o normalnej rozpuszczalności na powierzchni wymiany ciepła, w którym mamy do czynienia z powstawaniem nowej fazy oraz wymianą masy i ciepła w układzie ciecz – ciało stałe. Efektywność zarastania układów chłodniczych zależy od warunków

operacyjnych procesu, właściwości fizykochemicznych chłodzonego roztworu oraz geometrii wymiennika i rodzaju zarastanej powierzchni. Poznanie zależności pomiędzy tymi czynnikami nie zapewnia eliminacji zarastania, może jednak w znaczącym stopniu ograniczyć intensywność tego zjawiska. Uzasadniając słuszność podjętego tematu badań Doktorant wskazuje w części teoretycznej pracy aspekt ekonomiczny związany ze stratami energetycznymi, które w wielu przypadkach przekładają się bezpośrednio na zwiększenie emisji zanieczyszczeń do środowiska. Niemniej istotnym jest negatywny wpływ inkrustacji na jakość produktu krystalicznego, co z kolei decyduje o możliwości jego zastosowania w różnych gałęziach przemysłu. Zatem, podjęta do realizacji tematyka badawcza jest aktualna i ważna nie tylko z poznawczego punktu widzenia, ale również ze względu na jej użyteczny charakter.

Wstęp pracy poświęcony jest szkicowo zjawisku tworzenia narostów krystalicznych na powierzchniach kontaktu międzyfazowego oraz wskazaniu czynników wpływających na ten proces. W części teoretycznej rozprawy przedstawiono pokrótce podstawowe definicje oraz kategorie zarastania, omówiono mechanizm procesu wraz z ilościowym ujęciem zagadnienia oraz dokonano szerokiego przeglądu literatury odnośnie parametrów procesowych zarastania, stosowanych do opisu zjawiska modeli matematycznych oraz metod detekcji i sposobów przeciwdziałania zarastaniu. W tym jakby się wydawało, bardzo silnie penetrowanym obszarze badawczym istnieją nisze. Zdecydowana większość badań dotyczy krystalizacji soli o odwrotnej rozpuszczalności oraz zarastania w przepływie burzliwym. Złożoność zagadnienia sprawia, że nie istnieje żaden ogólny matematyczny opis procesu. Natomiast trudności z zachowaniem jednolitych warunków badawczych utrudniają poprawnie zdefiniować mechanizm. Część teoretyczna dysertacji wraz z kończącym je podsumowaniem stanowią dobre uzasadnienie nie tylko podjętego celu i zakresu pracy, ale również przyjętej na potrzeby realizacji pracy doktorskiej metodyki badawczej.

Przedstawiona do recenzji praca doktorska ma charakter eksperymentalny. Badania inkrustacji soli nieorganicznych na powierzchniach stalowych o różnej chropowatości i zwilżalności, przeprowadzono w specjalnie w tym celu przygotowanych układach wymiany ciepła: (1) w reaktorze o działaniu okresowym analizowano wpływ prędkości mieszania i szybkości chłodzenia roztworu soli, natomiast (2) w zamkniętym układzie przepływowym analizowano wpływ strumienia przepływu soli nad chłodzoną powierzchnią wymiany ciepła. Chcę w tym miejscu podkreślić, że przygotowanie warsztatu badawczego wraz z doбором parametrów procesowych było najistotniejszym elementem pracy doktorskiej, a przy tym najbardziej pracochłonnym jej etapem. Nadrzędnym warunkiem było zapewnienie stałej temperatury powierzchni wymiany ciepła. Specjalnie w tym celu opracowano oryginalne rozwiązania konstrukcyjne i pomiarowe. W układzie z reaktorem okresowym był to równoległy system ogrzewania i chłodzenia wody obiegowej wraz z regulatorem PID do monitorowania i regulacji temperatury. W zamkniętym układzie przepływowym zastosowano złożony moduł chłodzenia, którego składową było ogniwo Peltiera. Rozwiązanie to pozwoliło na utrzymanie kontrolowanego strumienia ciepła, co z kolei umożliwiło wyznaczenie współczynnika zarastania na podstawie zmiany lokalnej temperatury powierzchni. Zasługą Doktoranta jest jasny, szczegółowy opis stanowisk badawczych i procedur pomiarowych. Ponadto, w dołączonych do dysertacji załącznikach 1-3, znajduje się opis badań wstępnych, które posłużyły do wyznaczenia optymalnych warunków inkrustacji wybranych do analizy soli oraz opracowania nowej metodyki wyznaczania temperatury nasycenia. Wszystko to stanowi dla mnie niewątpliwy dowód zaangażowania Doktoranta w realizację wyznaczonego zakresu pracy.

Wybrany obiekt badań były płytki stalowe, na których badano inkrustację soli chlorku potasu (KCl) (tylko do badań w reaktorze okresowym), siedmiowodnego siarczanu (VI) magnezu ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

i siarczanu (VI) potasu (K_2SO_4). Płytki poddano piaskowaniu świeżymi i przepracowanymi piaskami w celu uzyskania powierzchni o różnej chropowatości i zwilżalności. Przeprowadzając badania w reaktorze okresowym, na żadnej z analizowanych powierzchni nie stwierdzono zadowalającej efektywności inkrustacji. Proces ten jednak zachodził, gdy płytki poddano chłodzeniu. Dlatego dalsze badania ograniczono do zamkniętego układu przepływowego z zachowaniem stałej temperatury kontaktu międzyfazowego i roztworu przy zmiennym natężeniu przepływu. Jak się można było spodziewać, wraz ze wzrostem prędkości przepływu następowała intensyfikacja inkrustacji, aż do pewnej wartości granicznej po przekroczeniu, której następował wzrost sił ścinających. W przypadku obu badanych roztworów soli wskazano na dyfuzyjny mechanizm krystalizacji, co poniekąd potwierdzają doniesienia literaturowe, w których badano proces krystalizacji dla przepływów laminarnych. Istotnym spostrzeżeniem jest tu różny sposób nukleacji i wzrostu warstwy krystalicznej dla obu analizowanych soli oraz odmienny wpływ chropowatości i zwilżalności powierzchni na ich inkrustację.

Rejestracja temperatury w bloku miedzi pozwoliła na wyznaczenie zależności obrazującej zmianę wartości współczynnika inkrustacji w czasie i stwierdzenie asymptotycznego przebiegu krzywych zarastania. Z kolei synchronizacja zapisu temperatury ze zdjęciami powierzchni umożliwiła lokalizację miejsc nukleacji kryształów na powierzchni płytek. Ta część pracy została dodatkowo uzupełniona wizualizacją formowania krystalicznych narostów na powierzchni, dołączonej do elektronicznej wersji dysertacji.

Ważną częścią rozprawy jest rozdział 4.4, w którym wykorzystano bilans energii do opracowania modelu inkrustacji dla przepływu laminarnego. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń dokonano analizy przewodzenia ciepła przez osad i analizowaną powierzchnię oraz wyznaczono zależność zmiany masy osadu w funkcji temperatury powierzchni wymiany ciepła. Zaslugą Doktoranta jest logiczny opis procedury obliczeniowej. Warto podkreślić, że

zastosowana metodyka badawcza pozwoliła na przyjęcie założeń, które w znacznym stopniu uprościły obliczenia modelowe. Zaobserwowana różnica w wartości wyznaczonych parametrów oraz jakości dopasowania modelu do danych eksperymentalnych, pozwoliła rzucić światło na odmienny mechanizm krystalizacji obu soli i wskazać odpowiedzialne za to czynniki.

Uważam, że przeprowadzone w ramach niniejszej pracy doktorskiej badania stanowią ważny przyczynek do poszerzenia wiedzy o procesie inkrustacji i poprawnej analizie tego zjawiska. Stwierdzam ponadto, że recenzowana praca doktorska została napisana starannie z naświetleniem znaczenia podejmowanej tematyki. Przedstawione w niej badania są spójne, dyskusja wyników prawidłowa zakończona podsumowaniem. Do dysertacji mam dwie uwagi:

1. zakres pracy powinien być ujęty w formie zwięzłych punktów odzwierciedlających plan realizacji pracy,
2. brak też uwydatniających problem badawczy, który Doktorant podjął się rozwiązać/udowodnić.

Doktorant posiada odpowiednią wiedzę i umiejętności do samodzielnego prowadzenia badań naukowych. O jego wkładzie w opracowanie otrzymanych wyników świadczy współautorstwo w trzech indeksowanych publikacjach naukowych oraz kilku referatów konferencyjnych. Ważną pozycją w dorobku naukowym Doktoranta jest zgłoszenie patentowe oraz wdrożenie. Ponadto Doktorant był współautorem jednego zgłoszenia patentowego oraz kilkunastu publikacji/referatów niezwiązanych z tematem pracy doktorskiej.

Podsumowując uważam, że dysertacja odpowiada warunkom stawianym pracom doktorskim w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym z dnia 14 marca 2003 roku i wnoszę o dopuszczenie Pana mgr inż. Wojciecha Bogacza do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

