EFFECTS OF DISSOLUTION RATE AND FLOW CHARACTERISTICS ON SCALLOPING OF PIPE SURFACES

Suphanan Sinthuphan

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University
in Academic Partnership with
The University of Michigan, The University of Oklahoma,
Case Western Reserve University and Institut Français du Pétrole
2008

Thesis Title:	Effects of Dissolution Rate and Flow Characteristics on Scalloping of Pipe Surfaces
By:	Suphanan Sinthuphan
Program:	Petrochemical Technology
Thesis Advisors:	Assoc. Prof. Thirasak Rirksomboon Prof. Derek H. Lister Prof. Frank R. Steward

---

Accepted by the Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Science.

.... College Director

(Assoc. Prof. Nantaya Yanumet)

Thesis Committee:

....

(Assoc. Prof. Thirasak Rirksomboon)

....

(Prof. Derek H. Lister)

....

(Prof. Frank R. Steward)

....

(Assoc. Prof. Anuvat Sirivat)

....

(Dr. Boonrod Sajjakulnukit)

ABSTRACT

4971019063: Petrochemical Technology

Suphanan Sinthuphan: Effects of Dissolution Rate and Flow Characteristics on Scalloping of Pipe Surfaces.

Thesis Advisors: Assoc. Prof. Thirasak Rirksomboon, Prof. Derek H. Lister, and Prof. Frank R. Steward 109 pp.

Keywords: Scallop/ Dissolution/ Corrosion/ Plaster of Paris/ Gypsum/ Solubility/ Water chemistry

The phenomenon of flow-accelerated corrosion (FAC) is a significant problem with steels in water-cooling systems. The sculpting of surfaces that undergo FAC normally develops a characteristic described as "scalloping". To obtain further insight into FAC it is of interest to understand the formation of scallops and their significance in the dissolution rate of steel piping. This study investigated how the dissolution rate and the flow characteristics lead to scalloping by altering water chemistry, temperatures and flow velocities. Experiments comprised of twelve-conditions were carried out on the dissolution of pipe coated with gypsum ($CaSO_4.2H_2O$). Scallop morphology was characterised with a digital camera. Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) was used to analyse the dissolution rate. It was found that the large population of scallops develops with increasing water flow rate. The average dissolution rate increases with flow rate and temperature but is not significantly affected by the pH. The dissolution rate increases with time at pH 3 and 7 but decreases with time at pH 10. The dissolution rate of gypsum is controlled by diffusion transport mechanism at room temperature (25°C). At a lower temperature (10°C), the dissolution rate of gypsum is first controlled by the surface reaction mechanism but changes to diffusion transport mechanism after 2 hours into the experiment.

บทคัดย่อ

สุภานันท์ สินธุพันธ์ : ชื่อหัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบจากอัตราการละลายและลักษณะการไหลต่อพื้นผิวชนิดสแกลอปบนพื้นผิวของท่อ (Effects of Dissolution Rate and Flow Characteristics on Scalloping of Pipe Surfaces) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ธีรศักดิ์ ฤกษ์สมบูรณ์ ศ. ดร. ดีเรก เอช ลิสเตอร์ และ ศ. ดร. แฟรงค์ อาร์ สจ้วต 109 หน้า

ปรากฏการณ์การกัดกร่อนแบบเร่งด้วยความเร็วของของไหล (flow-accelerated corrosion) เป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นกับท่อเหล็กในระบบน้ำหล่อเย็น โดยปกติการกัดเซาะของงพื้นผิวที่เกิดขึ้นภายใต้ปรากฏการณ์นี้จะเกิดเป็นพื้นผิวที่มีลักษณะเฉพาะเรียกว่า พื้นผิวสแกลอป (scalloping) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับการก่อตัวของสแกลอปและความสัมพันธ์ของสแกลอปต่ออัตราการละลายตัวของท่อเหล็ก สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอัตราการละลายและลักษณะการไหลที่จะนำไปสู่การเกิดสแกลอป โดยการเปลี่ยนคุณสมบัติทางเคมีของน้ำ อุณหภูมิ และความเร็วของของไหล โดยใช้สภาวะการทดลองทั้งหมดสิบสองสภาวะ เพื่อวิเคราะห์ค่าการละลายตัวของท่อที่เคลือบด้วยยิปซัม ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ได้ศึกษารูปร่างของสแกลอปโดยใช้กล้องถ่ายรูปแบบดิจิตอล และวิเคราะห์อัตราการละลายโดยเครื่อง Atomic absorption spectroscopy จากผลการทดลองพบว่าจำนวนสแกลอปเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของของไหล อัตราการละลายโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นที่อัตราการไหลสูงขึ้น โดยที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการละลายโดยเฉลี่ยน้อย ที่สภาวะกรด (pH 3) และกลาง (pH 7) อัตราการละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลา แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อสภาวะของสารละลายเปลี่ยนเป็นด่าง (pH 10) ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) อัตราการละลายของยิปซัมถูกควบคุมโดยกลไกการเคลื่อนที่แบบแพร่ แต่ที่อุณหภูมิต่ำลง (10°C) อัตราการละลายของยิปซัมเมื่อเริ่มต้นถูกควบคุมโดยกลไกปฏิกิริยาบนผื้นผิว แล้วเปลี่ยนเป็นกลไกการเคลื่อนที่แบบแพร่หลังจากผ่านไปสองชั่วโมง

ACKNOWLEDGEMENTS

I am grateful for the partial scholarship and partial funding of the thesis work provided by the National Center of Excellence for Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials, Chulalongkorn University.

This work could not have been completed without the great kind help from Prof. Derek H. Lister, my supervisor. I am very grateful for his valuable advice, knowledge and support throughout my study.

I would like to thank my supervisors, Prof. Frank R. Steward and Assoc. Prof. Thirasak Rirksomboon for the opportunity to do research in Canada and their support and advice.

I would like to thank Mr. Andrew Feicht for his support and providing all equipment throughout my work. The kind help from Dr. Lihui Liu on the Laser Raman analysis and Scanning Electron Microscope is appreciated. The knowledge from Mr. Piti Srisukvatananan on the Atomic Absorption Spectrophotometer is appreciated. The construction of the testing loop from Mr. Gorngrit Intasopa is appreciated. The helping from Mr. Chien-Ee Ng on the computer and calculation is appreciated.

Finally, this work could not have been done without grate encouragement from my family. I would also like to thank all my seniors and friends at UNB and Thailand for their friendship and encouragement.

TABLE OF CONTENTS

CHAPTER **PAGE**

LIST OF TABLES

LIST OF FIGURES

FIGURE **PAGE**

ABBREVIATIONS

FAC	Flow-accelerated corrosion
AAS	Atomic absorption spectrophotometer
Conc.	Concentration
UNB	University of New Brunswick
CANDU	Canada deuterium uranium
PHWR	Pressurized heavy water reactor
SEM	Scanning electron microscope
LPM	Liters per minute
GPM	Gallons per minute
rpm	Revolutions per minute
USG	United States gypsum company
ID	Inside diameter
LRS	Laser raman spectroscopy

LIST OF SYMBOLS

R	Overall dissolution rate
C_s	Concentration at the surface
C_b	Concentration of dissolved species in the bulk
k_t	Mass transfer coefficient
ε	Diffusion layer thickness
D	Diffusion coefficient
ζ	Transport reaction factor
Ω	C_b/C_s
m_{eq}	Molal equilibrium concentration
E_a	Activation energy
f	Friction factor
R_o	Ratio of mass of water to mass of plaster of Paris
m_o	Weight of plaster conduit before run experiment
m_f	Weight of plaster conduit after run experiment
MW_{Ca}	Molecular weight of calcium
MW_G	Molecular weight of gypsum
t	Running time (min)
A	Surface area (m^2).
C_i	Initial calcium concentration
C_f	Final calcium concentration (ppm or mg/L)
U	Volumetric flow rate (L/min)
K	Dissolution coefficient (m/s)
K_m	Mass transfer coefficient (m/s)