Surface Dissolution and Formation of Scallops

Mr.Pasit Warunphaisal

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
2009

Thesis Title: Surface Dissolution and Formation and Scallops

By: Pasit Warunphaisal

Program: Petroleum 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 Dean

(Asst. Prof. Pomthong Malakul)

Thesis Committee:

.....

(Assoc. Prof. Thirasak Rirksomboon)

.....

(Prof. Derek H. Lister)

.....

(Prof. Frank R. Steward)

.....

(Assoc. Prof. Anuvat Sirivat)

.....

(Assoc. Prof. Vissanu Meeyoo)

ABSTRACT

5073006063: Petroleum Technology Program
Pasit Warunphaisal: Surface Dissolution and Formation of Scallops.
Thesis Advisors: Assoc. Prof. Thirasak Rirksomboon, Prof. Derek H. Lister and Prof. Frank R. Steward
Keywords: Scallop Surface, Flow accelerated corrosion, Dissolution

Flow-assisted corrosion (FAC) is a significant problem with carbon steel components exposed to rapidly moving water or water-steam mixtures. Such components often develop distinctive patterns of surface damage producing a dimpled surface looking like orange peel, called "Scalloping". This roughness plays an important role in the corrosion of pipes made of carbon steel and it seems that the formation of scallops are major factors in the thinning rate of the pipes. To characterize scallops, study the mechanisms of scallop formation and investigate how the formation of scallops and scallop phenomena affect the dissolution rate, experiments on the pressure drop and flow characteristics, of pipes made of plaster of Paris ($CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$) were performed. Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) was used to analyze the dissolution rate of the plaster. The surface was photographed with a digital camera to observe the initiation of scallops. Pressure transducer was used to measure pressure drop. The size decreases with increasing flow rate whereas the population of scallops increases with increasing flow rate. Scalloping is believed to initiate from defect at the surface and it was found that size and population of scallops increase with increasing initial defect size and initial defect concentration respectively. The average dissolution rate increases with increasing flow rate, particle size, particle concentration and temperature. The dissolution rate of plaster is controlled by mixed kinetics. The entrance section affected the mechanism of the gypsum dissolution. It is found that concentration of defects on the plaster surface has a greater effect on the dissolution rate than effect of defect size. Pressure drop increases with increasing flow rate and temperature but decreases with increasing initial defect size and concentration. This means that the diameter of the plaster pipe has a greater effect than the surface roughness.

บทคัดย่อ

ภาษิต วรุณไพศาล : ชื่อหัวข้อวิทยานิพนธ์ การสลายตัวบนพื้นผิวและการก่อรูปสแกลลอปบนพื้นผิวท่อ (Surface Dissolution and Formation of Scallops) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ธีรศักดิ์ ฤกษ์สมบูรณ์ ศ. ดร. ดีเรก เอช ลิสเตอร์ และ ศ. ดร. แฟรงค์ อาร์ สจ้วต 129 หน้า

การกัดกร่อนแบบมีอัตราของของไหลเป็นตัวเร่ง (flow-accelerated corrosion) เป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นกับท่อเหล็กคาร์บอนที่สัมผัสกับน้ำหรือส่วนผสมระหว่างน้ำและไอน้ำที่ไหลอย่างรวดเร็ว ท่อเหล็กคาร์บอนนี้มักจะเกิดความเสียหายบนพื้นผิวในแบบลักษณะพิเศษซึ่งจะสร้างพื้นผิวขรุขระลักษณะคล้ายเปลือกส้ม, เรียกว่า "สแกลลอป" ผิวขรุขระนี้มีบทบาทที่สำคัญในการกัดเซาะของท่อที่สร้างจากเหล็กคาร์บอนและดูเหมือนว่าการก่อรูปของสแกลลอปนี้จะเป็นตัวแปรหลักในอัตราการบางลงของท่อ การก่อเกิดสแกลอปนี้เป็นปัญหาในการคำนวณอายุการใช้งานของท่อ และเครื่องมือ บ่อยครั้งที่สแกลลอปถูกนำมาใช้อย่างสอดคล้องกันในด้านความขรุขระที่ใช้น้ำในการขับเคลื่อน, การเพิ่มความดันลด และการถ่ายเทมวล ทั้งนี้เพื่อจะดูลักษณะพิเศษของสแกลลอป, ศึกษากลไกของการเกิดสแกลลอป, ศึกษาการเกิดสแกลลอปและปรากฏการณ์ของสแกลลอปว่าส่งผลอย่างไรต่ออัตราการสลายตัว, การศึกษาความดันลด และลักษณะของการไหล, การทดลองได้ถูกสร้างขึ้นจากท่อที่สร้างจากปลาสเตอร์ออฟปารีส (Plaster of Paris, $CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$) เครื่องอะตอมมิกแอปซอปชั่นสเปกโตรสโคปี (AAS) ได้ถูกใช้เพื่อวิเคราะห์อัตราการสลายตัวของปลาสเตอร์ พื้นผิวถูกถ่ายรูปด้วยกล้องดิจิตอลเพื่อศึกษาการเกิดสแกลลอป เครื่องวัดความดันแบบแปรกระแสได้ถูกใช้เพื่อวัดความดันลด ผลปรากฏว่าลักษณะของสแกลลอปมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหล ขนาดของสแกลลอปลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล ในขณะที่จำนวนของสแกลลอปได้เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล สแกลลอปนั้นถูกเชื่อว่าเกิดขึ้นจากข้อบกพร่องบนพื้นผิว และพบว่า ขนาดและจำนวนของสแกลลอปเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของขนาดและความเข้มข้นของข้อบกพร่องบนพื้นผิวตามลำดับ อัตราการสลายตัวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล, ขนาดของอนุภาค, ความเข้มข้นของอนุภาค และอุณหภูมิ อัตราการสลายตัวของปลาสเตอร์ถูกควบคุมโดยจลศาสตร์แบบรวม (Mix Kinetics) และยังพบอีกว่าความเข้มข้นของพื้นผิวที่บกพร่องนั้นมีผลต่อการสลายตัวของปลาสเตอร์มากกว่าผลจากขนาดของพื้นผิวที่บกพร่อง ความดันลดเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลและอุณหภูมิ แต่ความดันลดลดลงตามการเพิ่มขึ้นของขนาดและความเข้มข้นของข้อบกพร่องบนพื้นผิว ซึ่งหมายความว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อปลาสเตอร์มีผลมากกว่าผลจากความขรุขระบนพื้นผิว

ACKNOWLEDGEMENTS

First of all, I would like to thank my supervisor, Prof. Derek H. Lister, for giving me these great opportunities with his worth advice, knowledge and useful comments on my thesis work. I am grateful for his patience and kindness for giving me a chance to complete my research.

I would like to thank my supervisors, Prof. Frank R. Steward and Assoc. Prof. Thirasak Rirksomboon for their decision to take me as a graduate student and opportunity to do research in Canada and their support and advice.

This thesis work is funded by the Petroleum and Petrochemical College; and the National Center of Excellence for Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials, Thailand.

Mr. Andrew Feicht and Mr. Piti Srisukvatananan are thanked for their technical advices, ideas and knowledge. I am grateful for providing all equipment throughout my work and solutions for any problems. Carl Murdock is thanks for all of his help providing the stuffs for my research work.

I would like to thank all graduate students in Chemical Engineering department and all my friends to help me in every ways to solve any problems. I have good memories and life in Canada because of you all.

Finally, this work could not been completed without my family. I would like to thank for their support and encouragement. Their love, supports and encouragement make me pass throughout the past year. I would also like to thank all my seniors and my friends in Thailand for their friendship and encouragement.

TABLE OF CONTENTS

LIST OF TABLES

TABLE **PAGE**

TABLE **PAGE**

LIST OF FIGURES

FIGURE **PAGE**

FIGURE **PAGE**

FIGURE **PAGE**

FIGURE **PAGE**

FIGURE **PAGE**

FIGURE **PAGE**

FIGURE **PAGE**

FIGURE **PAGE**

FIGURE **PAGE**

FIGURE **PAGE**

FIGURE **PAGE**

FIGURE **PAGE**

FIGURE **PAGE**