

การศึกษาเบื้องต้นของลักษณะการเสียรูปทรงท่อโลหะกลมที่เกิดจากเครื่องตัดในกระบวนการ ผลิตท่อแบบอาศัยความต้านทานไฟฟ้าด้วยวิธีการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

Preliminary Study of Metal Pipe Deformation Resulted from Cutting Machine in Electric Resistance Welding Pipe Production using Finite Element Method

วัชร แก้วตา¹ ณัฐพล จันทร์พานิชย์^{1*} และ วีรชัย ชัยวรพฤษ²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

199 ถ.สุขุมวิท ต.ทุ่งสุขลา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20230

โทร: 038-354-580 E-mail: nattapon@eng.src.ku.ac.th

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถ.งามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

โทร: 02-797-0999 E-mail: fengwcc@ku.ac.th

บทคัดย่อ

รูปทรงของปลายท่อโลหะตัดกลมที่ผลิตจากเครื่องตัดแบบตัดเฉือนมักมีรูปทรงหน้าตัดไม่เป็นวงกลม ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอกบริเวณด้านปลายท่อไม่ได้คุณลักษณะตามต้องการ ทำให้ต้องตัดปลายท่อส่วนที่มีหน้าตัดไม่เป็นวงกลมออกด้วยกระบวนการตัดเฉือนจึงทำให้เสียวัสดุ จึงได้มุ่งศึกษาหาวิธีการตัดด้วยมิดที่ช่วยลดปัญหาดังกล่าวโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เข้าช่วยวิเคราะห์การเสียรูปดังกล่าว งานวิจัยนี้เน้นการศึกษาความน่าเชื่อถือของผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ และศึกษาความสัมพันธ์ของความเร็วตัดกับลักษณะการเสียรูป ผลการศึกษาพบว่าผลที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีความคลาดเคลื่อนจากการตัดจริงด้วยเครื่อง ร้อยละ 7 ถึง 13 และการใช้ความเร็วตัดน้อยจะส่งผลให้มีการเสียรูปปลายท่อมากขึ้น

คำสำคัญ: การเสียรูป ความเร็วตัด การผลิตท่อเหล็กกลม วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ABSTRACT

Edge of metal pipe resulted from cutting machine is deformed. The cross section is not circular in shape, outside diameter of pipe is out off specification. Deformed edge needed to be removed which increase waste in the process. In order to find cutting methods which could reduce the aforementioned problem, Finite Element Method (FEM) is applied. In this paper, it describes the validity of Finite Element results and relation between cutting speed and deformation. It can be seen that deformation of pipe obtained from FEM differs from

physical cut pipe by 7-13 percents, and low cutting velocity leads to increase of pipe edge deformation.

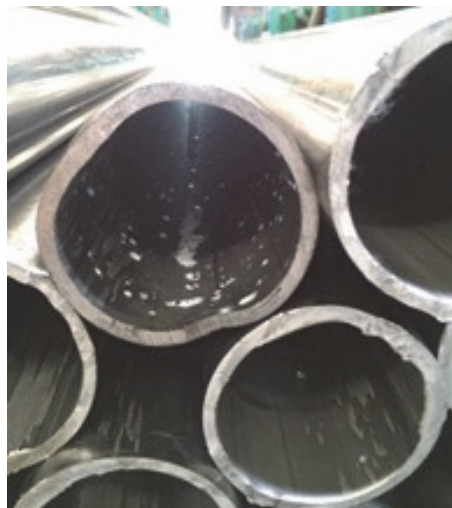
Keywords: Deformation, Cutting Velocity, Pipe Manufacturing, Finite Element Methods.

1. บทนำ

การใช้ใบมีด (Blade) ตัดท่อโลหะกลมประเภทผนังบางถือเป็นกระบวนการที่นิยมใช้เพื่อตัดท่อกลมให้มีขนาดความยาวตามต้องการ [1] แต่การตัดนั้นมักก่อให้เกิดการเสียรูปบริเวณปลายท่อ ดังแสดงในภาพที่ 1 ทำให้ต้องตัดบริเวณนั้นทิ้ง จึงมีผลให้อัตราของเสียเพิ่มมากขึ้นและเพิ่มเวลาที่ใช้ในการผลิต ซึ่งก็ได้มีงานค้นคว้าวิธีตัดท่อเพื่อให้มีของเสียในกระบวนการน้อยลง เช่น Chen et al [2] และ Tian et al [3] ได้ใช้วิธีกัดโลหะด้วยการปล่อยประจุกระแสไฟฟ้า (Electrical Discharge Machining, EDM) หรือ Yi et al [4] ที่ได้พัฒนาเครื่องตัดท่อโลหะกลมโดยการนำมีดมาหมุนรอบท่อเพื่อตัดคล้ายกับเครื่องกลึง แต่วิธีการดังกล่าวนี้มักทำได้ช้าและไม่ทันต่อความต้องการการผลิตท่อปริมาณมาก วิธีที่นิยมและมักนำมาใช้คือการปรับรูปทรงใบมีดที่ใช้ตัดเนื่องด้วยแรงกระแทก (Cushion Force) เช่นในงานวิจัยของ Hussein et al [5] และ Son et al [6] แต่เนื่องจากปัจจัยในการตัดที่ส่งผลต่อการเสียรูปอาจมีอยู่หลายปัจจัยด้วยกัน จึงใช้วิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเสียรูปด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการทดลองจริง โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้เป็นที่นิยมวิเคราะห์ความเสียหายทางกลศาสตร์ เช่นในงานของ Al-Momanni et al [7] ที่ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์การตัดในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปแผ่นโลหะ และ Vastola et al [8] ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยควบคุมความเค้น

ตกค้างในไทเทเนียมเกรด Ti6Al4V ในกระบวนการขึ้นรูปแบบชั้น (Layer Manufacturing)

แต่เนื่องจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นเป็นวิธีเชิงตัวเลขซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ต้องทำการเทียบกับการทดลองจริงเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้วิเคราะห์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเน้นการตรวจสอบความน่าเชื่อถือดังกล่าวนี้ และทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัดกับการเสียรูปเนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีโอกาสส่งผลต่อการเสียรูปมากกว่าปัจจัยอื่น



ภาพที่ 1 ปลายท่อเสียรูปที่ปลายท่อ

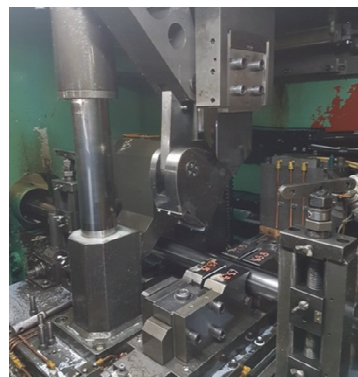
2. กระบวนการผลิตท่อเหล็กแบบอาศัยความต้านทาน

กระบวนการผลิตท่อเหล็กแบบอาศัยความต้านทานไฟฟ้า [9] นั้นมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบความต้านไฟฟ้าความถี่ต่ำ และความต้านไฟฟ้าความถี่สูง ซึ่งอุตสาหกรรมการผลิตท่อส่วนใหญ่จะใช้ความต้านทานแบบความถี่สูง โดยการผลิตเริ่มจากการขึ้นรูปเหล็กแผ่นเป็นท่อรูปทรงกระบอกเปิด (Open-Seam Tube) ด้วยลูกกลิ้งที่มีการจัดเรียงไว้ จากนั้นทำการเชื่อมขอบเหล็กทั้งสองด้านเข้าหากันด้วยความต้านทานไฟฟ้าความถี่สูง ซึ่งกระแสไฟฟ้าความถี่สูงจากถูกสร้างขึ้นด้วยเครื่องเชื่อม (Welder Generator) แล้วส่งผ่านมายังขดลวดเหนี่ยวนำ (Induction Coil) ที่อยู่รอบนอกของท่อรูปทรงกระบอกเปิดนั้น ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นตรงกลางของท่อรูปทรงกระบอกเปิด ดังนั้นอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่บนผิวท่อ (Skin Effect) กระแสไฟฟ้าจะไหลไปตามขอบเหล็กของท่อรูปทรงกระบอกเปิดไปยังจุดเชื่อมที่ขอบเหล็กทั้งสองติดกัน ซึ่งความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าจะมีมากขึ้นเมื่อระยะห่างขอบเหล็กน้อยลง (Proximity Effect) จากปรากฏการณ์ดังกล่าวจะส่งผลให้ขอบเหล็กเกิดการหลอมเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้น จากนั้นขอบเหล็กจะถูกบีบให้ติดกันด้วยลูกกลิ้ง (Squeeze) ส่วนที่เกินจากการบีบขอบเหล็กทั้งสองข้างให้เชื่อมติดกันนั้นจะถูกตัดออกด้วยใบมีดทั้งด้านนอกและด้านใน ก็จะได้เป็นท่อออกมา ต่อมาท่อจะถูกทำให้เย็นลงด้วยวิธีการหล่อเย็นด้วยน้ำยาหล่อเย็น และจะเข้าสู่กระบวนการปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางให้ได้ตามต้องการ หลังจากนั้นท่อจะถูกตัดให้ได้ความยาวที่ต้องการด้วยวิธีการตัดเฉือน เมื่อท่อถูกนำเข้ามาสู่เครื่องตัดท่อแบบตัดเฉือน ท่อจะถูกชุดจับยึด

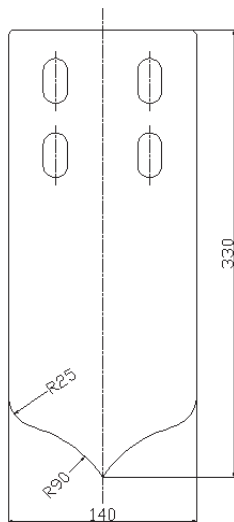
(Chuck) เพื่อไม่ให้ท่อเกิดการหมุนขณะตัดดังแสดงในภาพที่ 2 จากนั้นใบมีด (Blade) ดังแสดงในภาพที่ 3 จะลงมาตัดท่อเพื่อให้ผลิตเป็นท่อตามความยาวตามที่ลูกค้าต้องการ โดยท่อที่ผ่านการตัดแล้วอาจต้องนำมาถึงส่วนปลายเพื่อเก็บขอบให้มีความสมบูรณ์ รวมถึงผ่านกระบวนการป้องกันสนิมเป็นต้น

3. วิธีการวิจัย

การวิจัยเริ่มจากการสร้างแบบจำลองสามมิติ แบบจำลองสามมิติของท่อ Propeller Shaft ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 63.5 mm ความหนาผนังท่อ 1.60 mm และเงื่อนไขของการตัดตามที่กล่าวข้างต้น ได้ถูกสร้างในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ จากนั้นจึงนำแบบจำลองดังกล่าวไปสร้างเป็นแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ABAQUS (Dassault Systèmes, France) โดยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นจะใช้เอลิเมนต์รูปลูกบาศก์ 8 จุดต่อ (8 Node Hexahedral, HEX-8) โดยจำนวนจุดต่อและเอลิเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบมีจำนวน 80,649 จุดต่อและ 53,550 เอลิเมนต์ การวิเคราะห์ได้ทำในแบบ Explicit สมบัติวัสดุที่ใช้ในการจำลองประกอบด้วย STAM540H ซึ่งมีสมบัติตามตารางที่ 1 และ SKH51



ภาพที่ 2 เครื่องตัดท่อ



ภาพที่ 3 รูปแบบโม่มีด

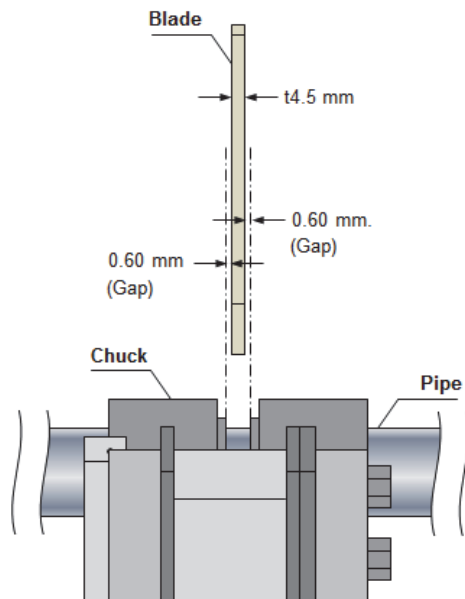
ตารางที่ 1 สมบัติวัสดุ STAM540H

วัสดุ	ค่า (หน่วย)
(1) ค่าโมดูลัส	372.5 (kPa)
(2) อัตราส่วนปัวซอง	0.30
(3) ความเค้นจุดคราก	614.4 (kPa)
(4) ความเค้นแรงดึงสูงสุด	652.3 (kPa)
(5) ความเค้นแรงดึงเมื่อขาด	561.5 (kPa)

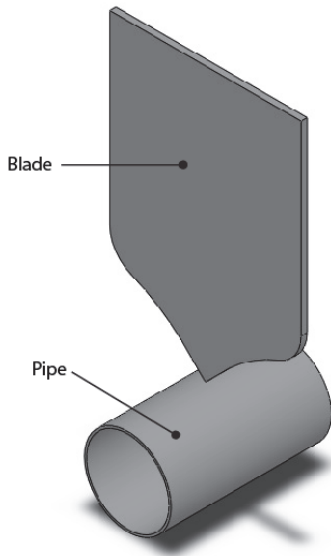
สำหรับเงื่อนไขของการตัดท่อในงานวิจัยนี้ จะใช้โม่มีดที่มีความหนา 4.50 mm ระยะห่าง (Gap) ระหว่างโม่มีดตัดกับชุดจับท่อเท่ากับ 0.60 mm ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยตำแหน่งระหว่างชุดจับเงื่อนไขการจำลองจะระบุให้จุดต่อบริเวณดังกล่าวไม่ให้เกิดการหมุนเพียงอย่างเดียว ส่วนจุดต่อที่อยู่บริเวณปลายท่อไกลออกไปจะนิยามไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ได้เลย ส่วนแบบจำลองของมีดที่ตัดนั้นจะให้เคลื่อนที่ลงมาตามความเร็วตัดที่ใช้ในการจำลองซึ่ง

ประกอบด้วย 100% 80% และ 60% ของความเร็วตัดสูงสุดเครื่อง (550 mm/s) โดยแบบจำลองสามมิติสำหรับจำลองการตัดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงในภาพที่ 5

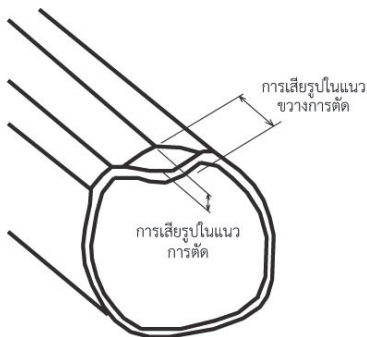
นอกเหนือจากจำลองการตัดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แล้ว งานวิจัยนี้ยังได้ทดสอบการตัดจริงด้วยเครื่องตัดด้วยการทดสอบแบบเดียวกัน ท่อแบบตัดเนื่องด้วยความเร็วดังกล่าวเพื่อเป็นการตรวจสอบว่าค่าที่ได้จากการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด โดยการทดลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และทดสอบการตัดที่โรงงานจะสนใจการเสียรูปในแนวการตัดและแนวขวางดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 4 การตั้งเงื่อนไขของการตัดท่อ



ภาพที่ 5 แบบจำลองการตัดในคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 6 การเสียรูปในแนวตัดและแนวขวาง

4. ผลการวิจัย

ผลการจำลองการตัดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบการตัดที่โรงงานแสดงในภาพที่ 7 โดยค่าการเสียรูปในแนวการตัดและแนวขวางการตัดของการวิจัยนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 และ 3

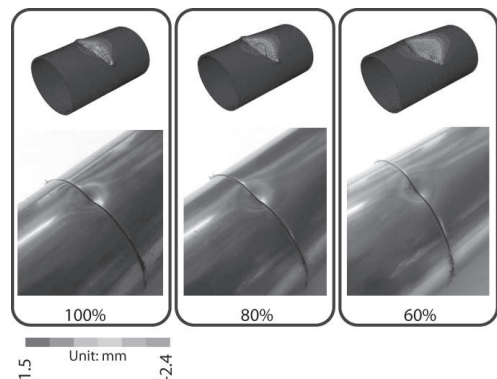
ตารางที่ 2 ผลการเสียรูปในแนวตัด (mm)

ความเร็วตัด	ผลวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	ผลทดสอบการตัดจริง
ร้อยละ 100	3.33	2.93
ร้อยละ 80	4.17	3.87
ร้อยละ 60	5.00	4.64

ตารางที่ 3 ผลการเสียรูปในแนวขวางการตัด (mm)

ความเร็วตัด	ผลวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	ผลทดสอบการตัดจริง
ร้อยละ 100	17.0	15.9
ร้อยละ 80	19.0	17.3
ร้อยละ 60	21.0	18.7

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าการเสียรูปที่ปลายท่อจากปลายใบมีดสัมผัสในขณะตัดนั้นที่ความเร็วตัด 100% มีการเสียรูปในแนวการตัดและการเสียรูปแนวขวางน้อยที่สุด ในขณะที่ความเร็วตัด 60% มีการเสียรูปในแนวการตัดและการเสียรูปแนวขวางการตัดมากที่สุด



ภาพที่ 7 ผลการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เมื่อเทียบกับการตัดด้วยเครื่องตัด

นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่าความแตกต่างระหว่างผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบที่โรงงานพบว่ามีความใกล้เคียงกันมาก โดยค่าความแตกต่างของผลการเสียรูปในแนวตัด และการเสียรูปแนวขวางที่ได้ อยู่ระหว่างร้อยละ 7.8-13.3 และร้อยละ 6.9-12.3 ตามลำดับ แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จึงมีความถูกต้องและสามารถนำไปวิเคราะห์ปัญหาการเสียรูปดังกล่าวได้ต่อไป นอกจากนี้ยังจะเห็นได้ว่าความเร็วตัดส่งผลต่อการเสียรูปของปลายท่อเป็นอย่างมาก ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัด (x) และการเสียรูปของปลายท่อในแนวตัด (y) เป็นแบบเส้นตรง โดยมีค่า R-square เท่ากับ 0.99 ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$y = -0.04x + 7.23 \quad (1)$$

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัด (x) และการเสียรูปของปลายท่อในแนวขวางการตัด (y) เป็นแบบเส้นตรงเช่นเดียวกัน โดยมีค่า R-square เท่ากับ 1 ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$y = -0.07x + 22.90 \quad (2)$$

ซึ่งสมการที่ได้ทั้งสองนี้จะมีขอบจำกัดการใช้งานกับรูปทรงมีดตัดดังกล่าว รวมถึงความหนาและระยะความห่างของชุดจับตามที่ได้ระบุไว้เท่านั้น

5. สรุปผลที่ได้

จากการทดลองเพื่อศึกษาการเสียรูปของปลายท่อเหล็กกลมจากเครื่องตัดท่อแบบตัดเฉือนใน

กระบวนการผลิตท่อแบบอาศัยความดันทานไฟฟ้าพบว่า ผลการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการตัดจริงในโรงงานนั้นมีความสอดคล้องกัน โดยความเร็วตัดที่สูงจะทำให้การเสียรูปที่ปลายท่อทั้งในแนวตัดและในแนวขวางการตัดนั้นน้อยที่สุด นอกจากนี้ความสัมพันธ์ของความเร็วตัดกับการเสียรูปในแนวการตัดและแนวขวางการตัดนั้นจะเป็นแบบเส้นตรง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Kasuga, T. Machida, and N. Kato. Effect of cutting condition on press cutting of a square pipe. Journal of Materials Processing Technology 2003; vol.143-144: 716-722.
- [2] S.L. Chen, M.H. Lin, S.F. Hsieh, and S.Y. Chiou. The characteristics of cutting pipe mechanism with multi-electrodes in EDM. Journal of Materials Processing Technology 2008; vol.203: 461-464.
- [3] X. Tian, Y. Liu, B. Cai, R. Lin, Z. Liu, R. Zhang. Characteristic investigation of pipe cutting technology based on electro-discharge machining. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2013; vol. 66: 1673-1683.
- [4] J. Yi, Y. Qian, Z. Shang, Z. Yan, Y. Jiao. Design of Cutting Head for Efficient Cutting Machine of Thin-walled Stainless Steel Pipe. Procedia Engineering 2017; vol.174: 1276-1282.

- [5] R.D. Hussein, D. Ruan, G. Lu, Cutting and Crushing of Square Aluminium/CFRP Tubes. Composite Structures 2017; vol.171: 403–418.
- [6] D. Son, H. Kim, J.-Y. Kang, H.Y. Yun, J.-J. Lee, S.K. Park, T.-H. Lee, J. Lee. Analyses of the Failures on Shear Cutting Blades after Trimming of Ultra High-strength Steel. Engineering Failure Analysis 2017, vol. 71: 148–156.
- [7] Al-Momani, E., and Rawabdeh I. An application of Finite Element Method and Design of Experiments in the Optimization of Sheet Metal Blanking Process. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering 2008, vol.2: 53-63.
- [8] G. Vastola, G. Zhang, Q.X. Pei, Y.-W. Zhang. Controlling of Residual Stress in Additive Manufacturing of Ti6Al4V by Finite Element Modeling. Additive Manufacturing 2016, vol.12: 231–239.
- [9] Brensing, K.H., Sommer, B. Steel Tube and Pipe Manufacturing Processes. Steel Tube and Pipe Manufacturing Processes.
http://www.smrw.de/files/steel_tube_and_pipe.pdf.