

5ER-O28: การวิเคราะห์ความเค้นของคลิปยึดรางรถไฟด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

The stress analysis of railway fastenings clips using finite element method

ปิ่นพงศ์ ไชยนคร^{1*}, ภาณุพิชญ์ ชินเขียว¹ และ ปฐมภรณ์ ชัยกุล¹Pinphong Chainakorn^{1*}, Phanupitch Keunkieow¹ and Pathamakorn Chaikul¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความเค้นของคลิปยึดรางรถไฟด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยวิเคราะห์ความแข็งแรงของคลิปยึดรางแบบ e-type เพื่อทราบพฤติกรรมการเกิดความเค้น ความเครียดและการเสียรูปของคลิปยึดรางแบบ e-type เป็นแนวทางในการออกแบบและวิเคราะห์ระบบยึดรางด้วยคลิปแบบ e-type การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับคลิปยึดรางจึงได้ทำการออกแบบชุดคลิปยึดรางโดยใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ผล โดยกำหนดรูปทรงเอลิเมนต์ที่ใช้คำนวณเป็นเอลิเมนต์ (Tetrahedral element) จุดต่อที่ใช้คำนวณมี 10 จุด ในแต่ละเอลิเมนต์ทรงสี่หน้า วัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นเหล็กสปริงเกรด ASTM 9260 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความเค้นที่เกิดขึ้น จากการวิเคราะห์ผลพบว่ามีความเค้น 1301 MPa การเสียรูปนั้นจะมีค่าที่ 8.1098 mm และความเครียดมีค่าอยู่ที่ 6.91E-03 ที่ระยะยกตัวที่ 8 mm นั้นจะทำให้วัสดุเลยจุดคราก วัสดุจะไม่สามารถกลับสู่รูปเดิมได้

คำหลัก: คลิปยึดรางแบบ e-type ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ความเค้น ความเครียด การเสียรูป

Abstract

The objectives of this research were to study and analysis the stress of railway clip using finite element method. The analyzed the strength of the e-type rail clips to know the stress, strain behavior and deformation of e-type rail fastening clips. The guideline for designing and analyzing rail fastening clips system with e-type. In this study, the information about rail fastening clips therefore designing rail clip sets using design help program in designing and analyzing the results. Determining the shape of element used to calculate it as a tetrahedral element. The connecting point that is used to calculate in 10 points in each of the tetrahedral element. The material used for analysis is spring steel grade ASTM 9260. For use in the analysis of the stress that occurs from the analysis of the results, it was found that the stress 1301 MPa. The deformation is 8.1098 mm and the strain is 6.91E-03 at an elevation distance of 8 mm will cause the material past of yield point. Materials failing returned to their primary form.

Keywords: Rail fastening clips e-type, Finite element method, Stress, Stress, Deformation

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

¹ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, KhonKhan Campus

* Corresponding author. E-mail: pinphong359@gmail.co.th

บทนำ

โครงสร้างทางรถไฟ (Structural Gauge) มีลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างทางรถไฟ (Track Structural Geometry) การออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟทั้งแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง (Ballasted Track) และทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทาง (Ballastless Track) ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือราง (Rail) แผ่นรองราง (Rail Pad) อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง (fastening systems) หมอนรองราง (Sleeper) หินโรยทาง (Ballast) แผ่นพื้น (Slab) และคันทาง อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางเป็นส่วนประกอบสำคัญของทางรถไฟที่มีหน้าที่ยึดรั้งให้รางอยู่ติดกับหมอนหรือพื้นคอนกรีตอย่างมั่นคง โดยตลอดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางนั้นจะมีแรงต่างๆ ที่มากระทำอยู่ตลอดเวลา เช่น แรงจากการยึดหดตัวและการโก่งตัวออกด้านข้าง รวมไปถึงการขยับขึ้นลงแนวดิ่งของราง แรงกระแทกจากล้อรถไฟซึ่งแปรผันไปตามความเร็วของรถไฟและสภาพของทางรถไฟ เป็นต้น ปัจจัยดังกล่าวมีผลทำให้การออกแบบและเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่สามารถรักษาตำแหน่งของรางไว้ให้อยู่บนหมอนอย่างมั่นคงสามารถต้านแรงกระทำกับตัวรางในแนวดิ่ง แนวด้านข้าง และแนวยาว สามารถดูดซับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากล้อรถไฟโดยให้ความยืดหยุ่นกับหมอนรองราง (Elastic Resilience) ปกป้องหรือลดการเสียดสีบนรางกับหมอนรองรางเป็นฉนวนไฟฟ้าสำหรับวงจรไฟฟ้าของอุปกรณ์อาณัติสัญญาณ มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมในพื้นที่ และสามารถทนต่อแรงที่กระทำซ้ำๆ ติดตั้งได้ง่ายโดยไม่ต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อน มีการออกแบบที่ป้องกันการขโมยถอดหรือออกจากทางได้โดยง่าย มีส่วนประกอบน้อยชิ้น และง่ายต่อการซ่อมบำรุง และมีความสามารถในการปรับแต่งตำแหน่งของรางได้หลังจากติดตั้ง อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางประกอบไปด้วย คลิปยึด (Clip) ฉนวน (Insulator) แผ่นรองเสริม (Spacers) แผ่นรองราง (Rail Pad).

คลิปยึดรางสร้างจากเหล็กกล้าสปริงที่ผลิตตามกระบวนการหล่อ การชุบแข็ง และการดัด สามารถทนต่อแรงกระทำซ้ำๆ ที่เกิดจากปริมาณการจราจรในสายทางได้ โดยไม่เกิดความเสียหายจากการล้าของวัสดุ (Metal Fatigue) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าคลิปยึดรางรถไฟมักจะได้รับผลกระทบจากแรงที่มากระทำซ้ำๆ ส่งผลให้คลิปยึดรางเกิดความเสียหายหรือการแตกหัก และผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งเป็นผลมาจากความล้าของวัสดุ

จากที่กล่าวมานั้นความล้าของวัสดุ ยังเกิดขึ้นได้ทั่วไปตามเส้นทางเดินรถไฟซึ่งจะส่งผลให้ กระบดต่อสิ่งแวดลอมที่อยู่รอบๆ ทางเดินรถไฟซึ่งความล้าของวัสดุจะนำไปสู่ความเสียหายหรือการแตกหัก ทำให้รางเกิดแรงสั่นสะเทือนที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ผิวรางที่สัมผัสกับล้อรับแรงสั่นสะเทือนจากตัวรถไฟเพิ่มขึ้น มีความเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายกับสินค้าที่บรรจุอยู่ภายในรถไฟ รางรถไฟเกิดการขยายตัว ถึงขั้นร้ายแรงสามารถทำให้รถไฟตกจากรางได้

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การวิเคราะห์ความแข็งแรงของคลิปยึดรางแบบ e-type ตามมาตรฐานการทดสอบของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นจากการเสียรูปของคลิปยึดราง เพื่อทำการออกแบบและปรับปรุงคลิปยึดรางเพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับคลิปยึดราง เพื่อให้ได้แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ตามมาตรฐานการทดสอบของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

2. ศึกษาโครงสร้างของระบบยึดรางด้วยคลิปแบบ e-type

การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับคลิปยึดรางทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีผลต่อคลิปยึดมีอยู่หลายปัจจัย เช่น วัสดุ การประกอบของตัวคลิปยึดราง การติดตั้งที่ไม่เหมาะสม

การศึกษาที่เกี่ยวกับการแตกหักของตัวคลิปยึดรางรถไฟแบบ e-type ที่ใช้ในรถไฟใต้ดิน ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความเค้นที่เพิ่มขึ้นในตัวคลิปยึดรางรถไฟ เกิดจากการติดตั้งที่ไม่เหมาะสมในการประกอบระยะของคลิปยึดรางที่ประกอบเข้าใกล้ส่วนโค้งมากเกินไป ส่งผลให้เกิดความเค้นที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว รวมไปถึงผลจากการสั่นสะเทือนในตัวคลิปยึดราง และการสั่นสะเทือนที่เกิดจากรอยต่อของรางทำให้เกิดความถี่ขึ้น.[5]

การศึกษาและวิเคราะห์ความเสียหายจากความล้าของวัสดุที่เกิดขึ้นกับตัวคลิปยึดรางรถไฟและได้ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้น โดยโปรแกรม ABAQUS และ FE-SAFE พบว่าผลการวิเคราะห์นั้นแสดงให้เห็นว่าความล้าและการคลาดเคลื่อนของการประกอบคลิป ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อพฤติกรรมความล้าของ e-clip.[7]

Table 2.1 แสดงค่ากำหนดวัสดุ

วัสดุที่กำหนด	Elastic modulus (MPa)	Density (kg/m ³)	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)
ASTM 9260	2.06×10^5	7800	1274	1176	5

จากการศึกษาพบว่าส่วนที่เกิดความเค้นมากที่สุดคือส่วนโค้งของคลิปยึดราง จึงนำมาซึ่งการวิเคราะห์ปัญหาของความเค้นต่อระยะการยกตัวที่ส่งผลต่อคลิปยึดราง

3. การออกแบบและสร้างแบบจำลอง

3.1 จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับคลิปยึดรางจึงได้ทำการออกแบบชุดคลิปยึดราง โดยใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบ

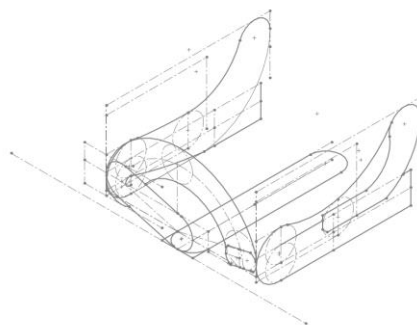


Figure 3.1 ภาพสเก็ต 3 ด้าน

3.1.1 ทำการสร้างแบบ 2 มิติ ทั้ง 3 ด้านแล้วจึงนำมาประกอบให้เป็นรูปแบบโครงสร้าง

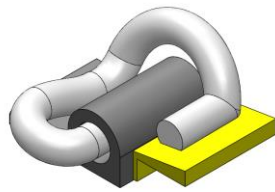


Figure 3.2 คลิปยี่ดราง 3มิติ

3.1.2 เมื่อได้ภาพสเก็ต 3มิติแล้วก็จะนำมาเพื่อใช้ในการคำนวณรูปแบบของชิ้นงาน โดยใช้ค่าวัสดุตามตารางที่ 2.1

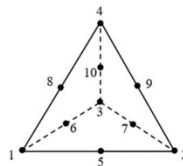
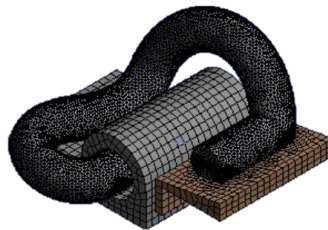
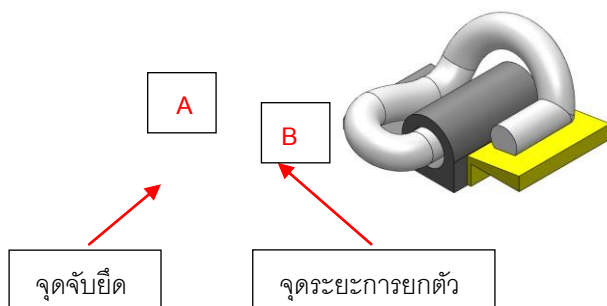


Figure 3.3 การกำหนดคิลลิเมนต์

3.1.2 เมื่อกำหนดคิลลิเมนต์หลังจากนั้นเลือกใน 3 มิติ ซึ่งมีจุดที่ใช้คำนวณทั้งหมด 10 จุดซึ่งจะมีความชิ้นงานที่ซับซ้อน



รูปที่ 3.4 แสดงการกำหนดแรงที่กระทำ

3.1.3 การกำหนดจุดมีอยู่ 2 จุด ด้วยกันคือ จุดขึ้นส่วน A คือจุดจับยึด (อยู่กับที่) และจุดขึ้นส่วน B คือ จุดที่ให้ระยะการยกตัวของชิ้นงาน

3.2 วิเคราะห์แบบจำลองด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ แบบสถิตศาสตร์

1. การเสียรูป

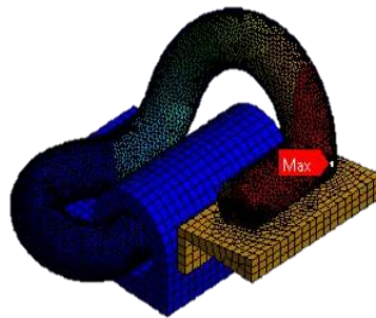


Figure 3.5 การเสียรูปของวัสดุ

การเสียรูปของวัสดุเกิดขึ้นจากการกำหนดระยะการยกตัวของตัวคลิปปัดรางโดยใช้โปรแกรมจำลองการทดสอบ

2. ความเค้น

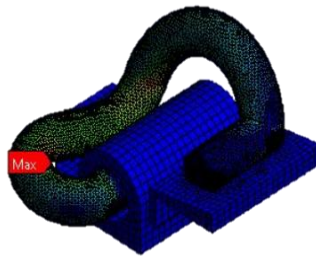


Figure 3.6 ความเค้นของวัสดุ

ความเค้นของวัสดุเกิดจากการกำหนดระยะการยกตัวของตัวคลิปปัดรางซึ่งความเค้นจะแปรผันตามระยะการยกตัวของตัวคลิปปัดราง

3. ความเครียด

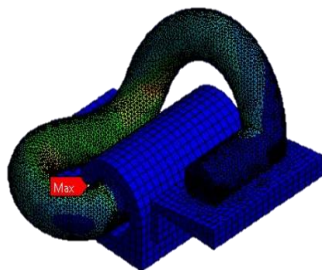


Figure 3.7 ความเครียดของวัสดุ

ความเครียดของวัสดุเกิดจากการกำหนดระยะการยกตัวของตัวคลิปปัดราง ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของตัวคลิปปัดราง

ผลการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์ทั้ง 3 รูปแบบ จะได้ผลดังนี้

Table 4.1 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ แบบสถิตศาสตร์

displacement (mm)	stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Deformation (mm)
1	97.977	4.77E-04	0.60001
2	183.64	9.54E-04	1
3	298.51	1.56E-03	1.5839
4	529.65	2.75E-03	2.7688
5	645.29	3.34E-03	3.3613
6	992.22	5.12E-03	5.1387
7	1107.9	5.72E-03	5.7311
8	1339.2	6.91E-03	6.9167
9	1570.4	8.10E-03	8.1098
10	1801.7	9.29E-03	9.303
10.5	2033	1.05E-02	10.496

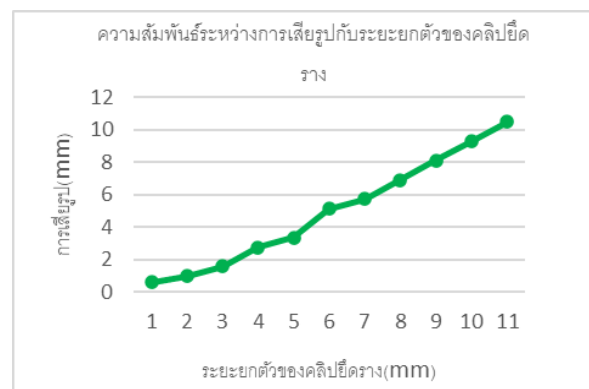


Figure 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเสียรูปกับระยะยกตัวของคัลปีดราง

การเสียรูปเกิดจากค่าความเค้นที่เพิ่มมากขึ้นเกินค่าจุดครากของวัสดุ จึงส่งผลให้วัสดุไม่สามารถกลับไปอยู่ในลักษณะเดิมได้ โดยสังเกตจากราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเสียรูปกับระยะยกตัวของคัลปีดราง จะเห็นว่าระยะยกตัวเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้การเสียรูปเพิ่มมากขึ้นตาม

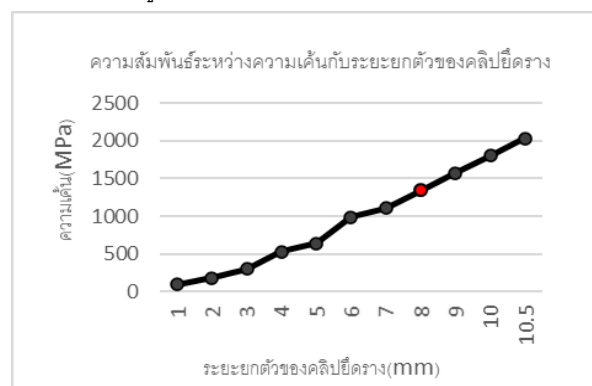


Figure 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับระยะยกตัวของคัลปีดราง

ความเค้นที่เกิดขึ้นนั้นจะแปรผันตามระยะการยกตัวของคลิปปีดราง จะสังเกตได้ว่าค่าระยะการยกตัวมีผลทำให้เกิดค่าระยะยืดของชิ้นงานแปรผันตามทำให้เกิดความเค้น จากระยะยืดที่ 8 มม. ชิ้นงานมีความเค้นเกินจุดคราก

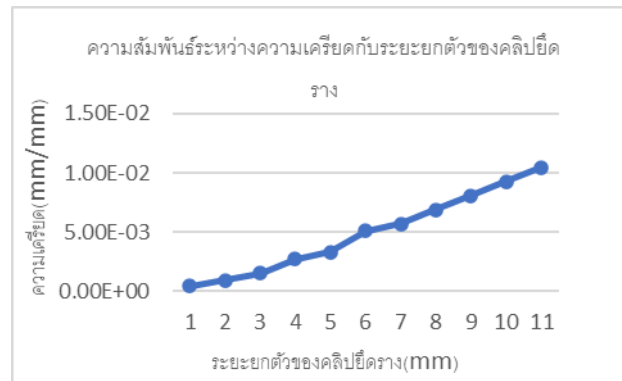


Figure 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับระยะยกตัวของคลิปปีดราง

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับระยะยกตัวของคลิปปีดราง จะเห็นได้ว่าระยะการยืดตัวที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าความเครียดจะมีค่าสะสมเพิ่มขึ้นตามลำดับ

สรุป

จากบทความเรื่องการวิเคราะห์ความเค้นของคลิปปีดรางรถไฟด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ x-e-clip ซึ่งได้ศึกษาเกี่ยวกับความแข็งแรงสถิตเพื่อหา ความเค้น ความเครียด การเสียรูป ของวัสดุเมื่อให้ระยะการยกตัวของคลิปปีดรางจะส่งผลทำให้มีค่าความเค้น และความเครียดเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการเสียรูปของวัสดุยังมีค่าสูง ซึ่งในตารางที่ 2.1 ค่าจุดครากของวัสดุที่นำมาวิเคราะห์นั้นอยู่ที่ค่า 1176 MPa ผลการทดสอบค่าความเค้นสะสมที่ระยะยืดตัวที่ 8 mm ค่าความเค้นจะมีค่าเกินจุดครากที่วัสดุทนต่อความเค้นได้ จะสังเกตได้ในตาราง 4.1

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่นที่สนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณเงินรายได้ และ ขอขอบพระคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, 2561. มาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ.สงวนลิขสิทธิ์ ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2558.
- สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, 2561. คู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้าง ทางรถไฟ.สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2558.
- ศิริวรรณ มนัฒระผดุง, 2558. ยุทธศาสตร์ระบบรางรถไฟทางคู่ไทยและจีน. สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา.
- Anat Hasap, Phanasindh Paitekul, Nitikorn Noraphaiphapaksa and Chaosuan Kanchanomai, (2017). Influence of toe load on the fatigue resistance of elastic rail clips.
- Anat Hasap, Phanasindh Paitekul, Nitikorn Noraphaiphapaksa, Chaosuan Kanchanomai, (2018). Analysis of the fatigue performance of elastic rail clip.

- Diego Ferreño, José Antonio Casado, Isidro Alfonso Carrascal, Soraya Diego, Estela Ruiz, María Saiz, José Adolfo Sainz-Aja, Ana Isabel Cimentada, (2019). Experimental and finite element fatigue assessment of the spring clip of the SKL-1 railway fastening system.
- Hong Xiao, Jia-Bin Wang, Yan-Rong Zhang, (2017). The fractures of e-type fastening clips used in the subway: Theory and experiment.
- I.A. Casado, I. Carrascal, J.A. Polanco, F. Gutie´rrez-Solana, (2006). Dynamic behavior of high-speed rail fastenings in the presence of desert sand.
- I.A. Carrascal, J.A. Casado, J.A. Polanco, F. Gutie´rrez-Solana, (2006). Dynamic behavior of railway fastening setting pads.
- M. Oregui, Z. Li, R. Dollevoet, (2015). An investigation into the modeling of railway Fastening mechanical analysis.
- Xiao Hong, Guo Xiao, Wang Haoyu, Ling Xing and Wu Sixing, (2018). Fatigue damage analysis and life prediction of e-clip in railway fasteners based on ABAQUS and FE-SAFE.