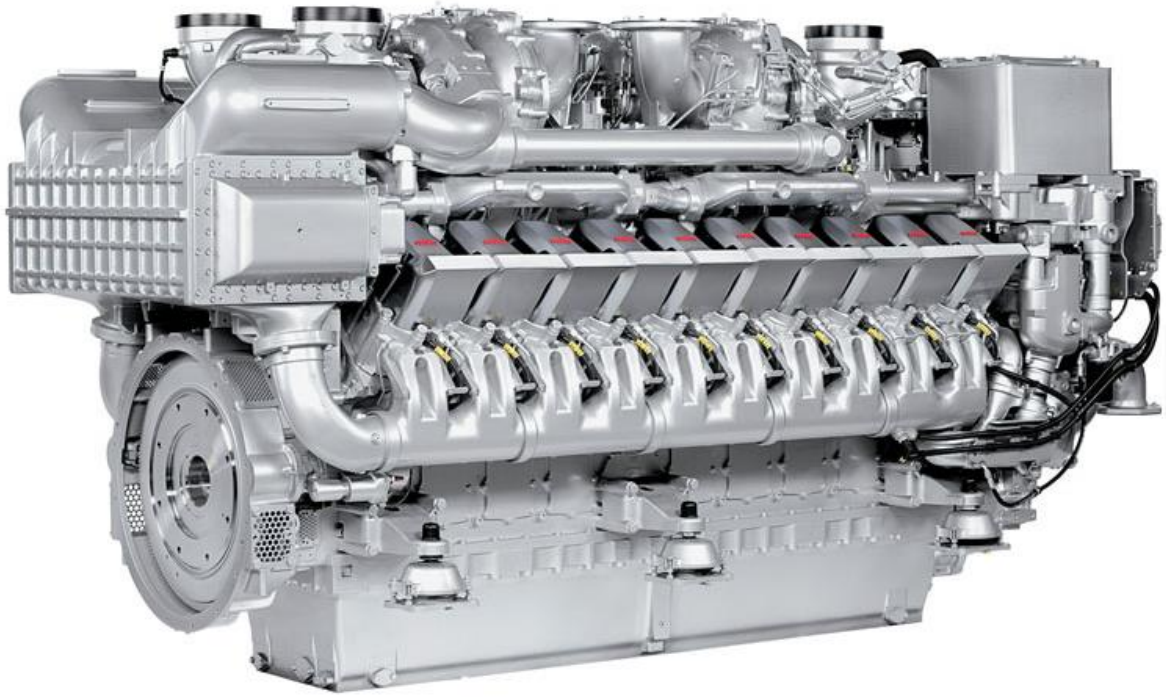
คู่มือเครื่องยนต์

MTU 396



เรียบเรียงโดย แผนกห้องสมุด กรมพัฒนาการช่าง กรมอู่ทหารเรือ ปี 2565

ขั้นตอนการซ่อมทำเครื่องยนต์ MTU 396

<u>รายละเอียดทั่วไปของเครื่อง</u>

บริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์ดีเซล MTU คือ บริษัท Motoren and Turbinen Union ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน ซึ่งได้ผลิตเครื่องยนต์ดีเซลออกมาหลายแบบเพื่อการใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น ใช้ในเรือ ใช้ในรถไฟ เป็นต้น ปัจจุบันที่มีใช้อยู่ในเรือรบของกองทัพเรือ อนุกรม (Series) หนึ่ง คือ อนุกรม 396

เครื่องยนต์ดีเซล MTU อนุกรม 396 นี้ มี 4 ขนาด คือ V.6 สูบ , V.8 สูบ , V.12 สูบ และ V.16 สูบ โดยทั้ง 4 ขนาดนี้ จะมีระบบการทำงานบางอย่างต่างกัน 3 แบบ คือ TC , TB และ TE ซึ่งโดยหลักการทำงานแล้วเครื่องยนต์ในอนุกรมเดียวกัน แม้จะต่างขนาดหรือต่างแบบกันก็จะมีส่วนประกอบและหลักการทำงานเหมือนกัน จะต่างกันเฉพาะรายละเอียดบางประการ ซึ่งจะต้องดูในคู่มือประจำเครื่องนั้นๆ เท่านั้น

1.กลุ่มการใช้งานของเครื่อง (Application Groups)

เครื่องยนต์ MTU แต่ละแบบหรือแต่ละขนาด จะถูกสร้างขึ้นมาใช้ให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภทแตกต่างกันออกไปแยกเป็นกลุ่มตามลักษณะการใช้งาน ซึ่งจะสัมพันธ์กับการใช้งานและการซ่อมบำรุงรักษาเครื่อง ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

1.1 เป็นเครื่องจักรใหญ่ในเรือ

กลุ่ม 1 A.(สำหรับเรือความเร็วต่ำ)

ใช้กับเรือที่ไม่จำกัดระยะเวลาการใช้เครื่อง และ/หรือ เรือที่ไม่จำกัดระยะเวลาการใช้กำลังงานต่อเนื่อง (Continuous Rating)

ได้แก่เครื่อง 6V,8V,12V 396 TC-62

6V,8V,12V,16V 396 TC-63

12V,16V,20V 1163 TB 62-63

กลุ่ม 1 D.(สำหรับเรือความเร็วสูง)

ใช้กับเรือโดยสาร, เรือท่องเที่ยว, เรือตรวจการณ์ (Patrol Boats), เรือที่มีระบบขับเคลื่อนหลายเครื่อง (Combined Propulsion System), เรือความเร็วสูง เช่น เรือช่วยชีวิตในทะเล เป็นต้น

ได้แก่เครื่อง 6V,8V,12V 396 TB-83

12V,1 6V,20V 538 TB-82

กลุ่ม 1 DS.(สำหรับเรือความเร็วสูงมาก)

ใช้กับเรือความเร็วสูง เรือตรวจการณ์ความเร็วสูง(FPB's)และเรือที่ใช้งานพิเศษ

ได้แก่เครื่อง 6V,8V,12V,16V 396 TB-93

12V,16V,20V 538 TB-91

12V,16V,20V 1163 TB-92/93

1.2 เป็นเครื่องขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

กลุ่ม 3 A.

ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้งานต่อเนื่อง(Continuous Operation)

ได้แก่เครื่อง 6V,8V,12 V 396 TC-32, 52

6V,8V,12V,16V 396 TC-33, 53

6V,8V,12V,16V 396 TB-33, 53

12V,16V,20V 1163 TB-32, 52

กลุ่ม 3 C.

ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้งานต่อเนื่องแต่หยุดพักทุกปี(Annual Limit) ได้แก่เครื่องในกลุ่ม 3 A. ซึ่งแยกเป็น 2 ลักษณะการใช้ คือ

ใช้ในเรือ ได้แก่เครื่อง TB-52,53 / TC-52,53

ใช้ติดตั้งอยู่กับที่ ได้แก่เครื่อง TB-32,33 / TC-32,33

1.3 เป็นเครื่องจักรช่วย

กลุ่ม 4 A

ใช้กับงานต่อเนื่อง เช่น เครื่องสูบน้ำ,เครื่องอัดลมเครื่องเป่าลม(Blowers),เครื่องเจาะ(Drilling Rigs) เป็นต้น

ได้แก่เครื่อง 6V,8V,12V 396 TC-52,32

6V,8V,12V,16V 396 TC-53,33

12V,16V,20V 1163 TB-52,32

กลุ่ม 4 C.

ใช้กับงานระยะเวลาสั้นๆ เช่น เครื่องสูบน้ำดับเพลิง,เครื่องสูบน้ำฉุกเฉิน เป็นต้น

ได้แก่เครื่องในกลุ่ม 4 A. ซึ่งแยกเป็น 2 ลักษณะการใช้ คือ

ใช้ในเรือ	ได้แก่เครื่อง	TB 52,53 /TC 52,53
ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม	ได้แก่เครื่อง	TB 32,33 /TC 32,33

1.4 ใช้ในรถไฟ

กลุ่ม 2 A.

เป็นหัวลากรถไฟ(Rail Traction)

ได้แก่เครื่อง 6V,8V,12V 396 TC-12

6V,8V,12V 396 TC-13

12V,16V,20V 1163 TB-12

กลุ่ม 3 A.

เป็นเครื่องขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ได้แก่เครื่อง 6V,8V,12V 396 TC-12

6V,8V,12V,16V 396 TC-13

1.5 ใช้กับยานพาหนะหรืองานหนัก

กลุ่ม 5 A.

ใช้กับงานหนักระยะเวลาสั้นๆแต่ต้องการกำลังงานสูง เช่น เครื่องกว้าน รถกวาดหิมะ เป็นต้น

ได้แก่เครื่อง 6V,8V,12V,16V 396 TC -43

2.กำลังงานออกของเครื่อง (Power Output)

กำลังงานออกของเครื่องขึ้นอยู่กับความเร็วและสภาวะแวดล้อมต่างๆของเครื่อง คือ อุณหภูมิอากาศดีเข้าเครื่อง อุณหภูมิน้ำทะเลและความกดดันบรรยากาศ ซึ่งเมื่อค่าต่างๆดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์กำหนด เครื่องยนต์จะสามารถให้กำลังงานออกมาได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดเช่นกัน ในการคิดค่ากำลังงานออกของเครื่องทั้งหมดจะคิดเป็น 3 ระยะ คือ

= กำลังงานต่อเนื่อง(Continuous Power) = 100 %

= กำลังงานเกินกำลัง(Overload Power) = 110 %

= กำลังงานสูงสุด(Maximum Power) = 120 %

เช่น เครื่อง 12 V 396 TC 82

	ให้กำลังงานต่อเนื่อง	970	kw.	ที่	1,750	รอบ/นาที
	ให้กำลังงานเกินกำลัง	1,050	kw.	ที่	1,800	รอบ/นาที
เมื่อ	อุณหภูมิอากาศดีเข้าเครื่อง	27°C				
	อุณหภูมิน้ำทะเลระบายความร้อน	32°C				
	ความกดบรรยากาศ	1,000 mbar(ของ บาโรมิเตอร์)				

แต่ในการใช้งานจะใช้ 1, 2 หรือ 3 ระยะ ขึ้นอยู่กับกำลังงานออกของเครื่อง(Power Output) ตามกลุ่มการใช้งานของเครื่อง เช่น (ดูในคู่มือประจำเครื่อง)

เครื่องในกลุ่ม 1A	สามารถให้กำลังงานออกได้ถึง	กำลังงานต่อเนื่อง
เครื่องในกลุ่ม 1D	สามารถให้กำลังงานออกได้ถึง	กำลังงานเกินกำลัง
เครื่องในกลุ่ม 1DS	สามารถให้กำลังงานออกได้ถึง	กำลังงานสูงสุด

การใช้งานในย่านกำลังงานต่างๆ นี้สามารถใช้ได้โดยไม่ทำให้เครื่องเสียหายเนื่องจากความเค้นของโลหะ(Overstress) ดังนี้

กำลังงานต่อเนื่อง	ใช้ได้ตลอดเวลาโดยไม่จำกัดระยะเวลาใช้งาน(ตลอด 24 ชม.)
กำลังงานเกินกำลัง	ใช้ได้ 2 ชม. ในระยะเวลาใช้งาน 12 ชม.(2+10)
กำลังงานสูงสุด	ใช้ได้ 1/2 ชม. ในระยะเวลาใช้งาน 6 ชม.(1/2+5 1/2)

Propeller Curve เป็นเส้นโค้งทางทฤษฎีซึ่งกำหนดโดยผู้ผลิตเครื่องยนต์ จากหลักการที่ให้เครื่องยนต์และใบจักรทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด แสดงถึง การเพิ่มขึ้นของกำลังงานออก (Power Output) ของเครื่อง เมื่อค่าความเร็วเครื่องและค่าการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเปลี่ยนไป

MCR-Curve (Max. Continuous Rating Curve) แสดงถึง ค่าความเร็วเครื่องที่สัมพันธ์กับการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ที่เครื่องยนต์มีภาระทางความร้อน (Thermally Load) ถึง 100%

3.รหัสตัวเลขและตัวอักษรของเครื่อง

<u>ตัวอย่าง</u>	เครื่องยนต์ 12 V 396 TB 83 - DB 51 L	
	12	หมายถึง จำนวนสูบ (12 สูบ)
	V	หมายถึง ลักษณะการวางสูบเป็นแบบอักษร V
หรือ	R.	หมายถึง ลักษณะการวางสูบเรียงแถว (In-Line)
	396	หมายถึง อนุกรมของเครื่อง(Series) เมื่อหารด้วย 100 จะเป็นความจุกระบอกสูบ 1 สูบ เป็นลิตร(3.96 ลิตร)

	T	หมายถึง เป็นเครื่องที่ใช้เทอร์โบชาร์จขับหมุนด้วยแก๊สเสีย
หรือ	A	หมายถึง ไม่มีการอัดส่งอากาศดีเข้าเครื่อง
	B	หมายถึง ระบายความร้อนอากาศดีเข้าเครื่องด้วยน้ำจากภายนอกเครื่อง(น้ำทะเล)และมีการระบายความร้อนลูกสูบ
หรือ	C	หมายถึง ระบายความร้อนอากาศดีเข้าเครื่องด้วยน้ำจากภายในเครื่อง(น้ำจืด)และมีการระบายความร้อนลูกสูบ
หรือ	E	หมายถึง ระบายความร้อนอากาศดีเข้าเครื่องด้วยระบบระบายความร้อนแยกส่วน(Split-Circuit Coolant System)และมีการระบายความร้อนลูกสูบ
หรือ	A	หมายถึง ไม่มีระบบระบายความร้นอากาศดีเข้าเครื่องแต่มีการระบายความร้อนลูกสูบ
หรือ	Z	หมายถึง ไม่มีระบบระบายความร้อนอากาศดีเข้าเครื่องและไม่มีการระบายความร้อนลูกสูบ
5,6,9,8		หมายถึง เป็นเครื่องที่ใช้กับเรือ
หริอ	4	หมายถึง เป็นเครื่องที่ใช้กับยานพาหนะหรืองานหนัก
หรือ	3	หมายถึง เป็นเครื่องที่ใช้ติดตั้งบนบก
หรือ	1	หมายถึง เป็นเครื่องที่ใช้กับรถไฟ
	3	หมายถึง ดัชนีของแบบ(Design Index)
	D	หมายถึง ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล
	B	หมายถึง เรือนสูบเป็นเหล็กหล่อสามารถติดตั้งกลไกหน้าแปลนส่งอาการขับหมุน(Flang Mounting of Driven Machinary)
	5	หมายถึง ไม่มีอำนาจแม่เหล็กและป้องกันการสั่นสะเทือน
	1	หมายถึง ประกอบด้วยสูบน้ำทะเลและหม้อระบายความร้อนใช้น้ำทะเล
	L	หมายถึง ทิศทางการหมุนของเครื่องทวนเข็มนาฬิกา(CCW.)

4.ลักษณะรูปแบบของเครื่อง

เป็นเครื่องที่วางลักษณะสูบเป็นแบบอักษร V โดยเรียกชื่อแต่ละด้าน(End)และแต่ละแถวสูบ

(Bank) ดังนี้

KS. หรือ HKS. คือ ด้านส่งกำลังงานออก(Main PTO. End.)

KGS. หรือ GKS. คือ ด้านตรงข้ามด้านส่งกำลังงานออก(Auxiliary PTO.End.)

เมื่อมองจากด้าน KS. เข้าหาเครื่อง ด้านซ้ายมือ คือ แถวสูบ A หรือ A-Bank

ด้านขวามือ คือ แถวสูบ B หรือ B-Bank

โดยเริ่มนับสูบเป็นสูบ ๑ จากด้าน KS. เข้าไปตามลำดับ และ ชิ้นส่วนประกอบอื่น ๆ ของเครื่องที่เหมือนกัน ๒ ชิ้นส่วนขึ้นไปจะนับ หรือเรียกชื่อ เช่นเดียวกับสูบของเครื่อง

5.รายละเอียดจำเพาะของเครื่อง

การทำงาน	เครื่อง 4 จังหวะ, ทำงานด้านเดียว
การเผาไหม้	ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยตรง(Direct Injection)
การส่งอากาศดีเข้าเครื่อง	เทอร์โบชาร์จขับหมุนด้วยแก๊สเสีย
การระบายความร้อน	น้ำระบายความร้อน
การวางสูบ	แบบอักษร V ทำมุม 90°C.
ความโตกระบอกสูบ	165 มม.
ช่วงชัก	185 มม.
ความจุกระบอกสูบ	3.96 ลิตร
อัตราส่วนการอัด	ประมาณ 12-13 : 1
ทิศทางการหมุน (มองจากด้าน KS)	ทวนเข็มนาฬิกา(กลับทางหมุนไม่ได้)
ความเร็วการจุดระเบิด(Firing Speed) (ที่อุณหภูมิน้ำจืดระบายความร้อน 40°C.)	ประมาณ 100 - 120 รอบ / นาที
ความเร็วเครื่องใช้งานคงที่ (ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า)	1,200,1,500 หรือ 1,800 รอบ / นาที
ความเร็วเครื่องเดินเบา (เป็นเครื่องจักรใหญ่)	ประมาณ 600-700 รอบ / นาที
ระยะห่างของลิ้น (เมื่อเครื่องเย็น)	ลิ้นอากาศดี 0.30 มม., ลิ้นแก๊สเสีย 0.45 มม

6.ค่าใช้การต่างๆ ของเครื่อง (Operational Data)

เกณฑ์ค่ากำลังดันและอุณหภูมิในคู่มือประจำเครื่องนั้น เป็นเกณฑ์มาตรฐานของเครื่องเท่านั้น ในการใช้งานเครื่องจริง ค่าต่างๆเหล่านี้จะแตกต่างออกไปบ้างตามสภาวะแวดล้อมของเครื่อง ดังนั้น เกณฑ์ค่าที่แน่นอนของแต่ละเครื่องให้ดูในบันทึกการทดสอบเพื่อการตรวจรับเครื่อง (Engine Acceptance Test Record) ประจำเครื่องเท่านั้น

สำหรับเครื่องอนุกรม 396 นี้ จะมีอยู่หลายแบบ (TC,TB,TE) และ หลายขนาด (6V,8V,12V,16V) ดังนั้นเกณฑ์ค่าต่างๆดังกล่าวในเครื่องแต่ละแบบหรือแต่ละขนาดจะแตกต่างกันมาก ในคู่มือเล่มนี้จะเป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น

กำลังดันน้ำมันหล่อลื่น(ก่อนเข้าเครื่อง) (ที่ความเร็วใช้การ)(Rated Speed)	4.0-5.5	บาร์
กำลังดันน้ำจืดระบายความร้อนเครื่อง (ก่อนเข้าสูบน้ำจืด)	0.2-1.0	บาร์
กำลังดันน้ำมันเชื้อเพลิง (ก่อนเข้าสูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง)	2.5-3.5	บาร์
กำลังดันอากาศดีเข้าเครื่อง (หลังจากหม้อระบายความร้อนอากาศดี)	(-0.14)-(1.3)	บาร์
อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ (ก่อนเข้าเครื่อง)	85-105	^{o}C.
อุณหภูมิน้ำจืดระบายความร้อนเครื่อง (ก่อนเข้าเครื่อง)	80-90	^{o}C.
อุณหภูมิแก๊สเสีย (หลังเทอร์โบชาร์จ)	480-530	^{o}C.
อุณหภูมิอากาศดีเข้าเครื่อง (หลังจากหม้อระบายความร้อนอากาศดี)	45-60	^{o}C.

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง

ส่วนประกอบต่างๆที่สำคัญของเครื่อง มีดังนี้

= เรือนสูบ(Crank case) (รายละเอียดข้อ 1)

= ส่วนขับหมุนเครื่อง(Running Gear) (รายละเอียด ข้อ 2)

= ฝาสูบ(Cylinder Head) (รายละเอียด ข้อ 3)

= กลไกควบคุมลิ้น(Valve Gear) (รายละเอียด 4)

= อุปกรณ์ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel Injection Equipment) (รายละเอียด ข้อ 5)

= เครื่องควบคุมความเร็วเครื่องยนต์(Engine Governor) (รายละเอียด ข้อ 6)

= อุปกรณ์ตัดการทำงานของแถวสูบ(Cylinder Bank Cut-out) (รายละเอียด ข้อ 7)

1.เรือนสูบ (Crankcase)

เป็นส่วนประกอบหลักของเครื่อง ทำด้วยเหล็กหล่อคุณภาพสูง(High-Grade Cast-iron)

มี 2 แบบ คือ แบบส่วนเดียว(Single-unit) (รายละเอียดข้อ 1.1)

แบบสองส่วน(Two-Piece) (รายละเอียดข้อ 1.1)

1.1 แบบส่วนเดียว(Single-Unit Crankcase)

ลักษณะ

ส่วนบน จะเป็นช่องประกอบปลอกสูบ(Liner) 2 แถวสูบ (Bank) และ ช่องทางเดินของน้ำจืดระบายความร้อนและน้ำมันหล่อลื่น ด้านในทั้งสองแถวสูบจะเป็นช่องสำหรับประกอบเพลาลูกเบี้ยว (Camshaft) ด้านละเพลา

ส่วนกลางตอนบน ประกอบด้วยท่อน้ำมันหล่อหลัก(Main Oil Gallery) ซึ่งยาวตลอดเรือนสูบ สำหรับส่งน้ำมันหล่อลื่นไปหล่อลื่นระบายความร้อนให้กับส่วนต่างๆ ของเครื่อง เช่น ส่งผ่านท่อแยกลงไปหล่อลื่นแบริ่งใหญ่ (Main Bearing) และไปฉีดพ่นที่หัวฉีดฝอย (Spray Nozzle) ไประบายความร้อนลูกสูบ เป็นต้น

ส่วนกลางตอนล่าง จะเป็นช่องสำหรับประกอบเพลาข้อเหวี่ยง(Crank Shaft) ซึ่งรองรับด้วยแบริ่งใหญ่ (Main Bearing) แบบฝา ๒ ชิ้น (Shell Bearing) และฝาครอบแบริ่งใหญ่ (Main Bearing Cap) ซึ่งยึดกับเรือนสูบด้วยสลักยึด

ด้านล่างของเรือนสูบ เป็นห้องเพลาข้อเหวี่ยง(Crank Space)ประกอบด้วยอ่างน้ำมันหล่อ(Oil Pan)ซึ่งเป็นโลหะเบา(Light Metal) สำหรับเก็บน้ำมันหล่อไว้ใช้ภายในระบบของเครื่อง

ด้านบนทั้งสองแถวสูบ ประกอบด้วยฝาสูบ(Cylinder Head)

ด้าน KGS. ประกอบด้วยหมู่เฟืองขับ(Gear Train)อยู่ภายในห้องหมู่เฟือง(Gear Case) ได้รับกำลังขับหมุนจากเฟืองเพลาข้อเหวี่ยง(Crankshaft Gear)และส่งอาการไปขับหมุนอุปกรณ์ช่วยต่างๆ เช่น สูบน้ำมันหล่อลื่น(Oil Pump) เป็นต้น

ด้าน KS. ประกอบด้วยล้อช่วยแรง(Flywheel)อยู่ภายในเรือนล้อช่วยแรง(Flywheel Housing)ซึ่งจะมีช่องสำหรับประกอบเครื่องมือหมุนเครื่องด้วยมือ(Barring Tool),ช่องตรวจดูขีดเครื่องหมายจังหวะการจุดระเบิดของเครื่องสูบ(สูบ A1)และช่องตรวจดูสภาพหน้าแปลนต่อ(Coupling)ด้วย

1.2 แบบสองส่วน(Two–piece Crankshaft)

ลักษณะ

มีลักษณะส่วนใหญ่ เช่นเดียวกับแบบส่วนเดียวที่กล่าวมาแล้ว

ที่แตกต่าง คือ สร้างเป็น 2 ส่วน คือ เรือนสูบส่วนบน(Crankshaft Upper Section)และเรือนสูบ Crankcase Intermediate Frame) ประกอบเข้าด้วยกันโดยใช้สลักยึด

ที่เรือนสูบส่วนกลางด้านใน ประกอบด้วยฝาครอบแบริ่งใหญ่(Main Bearing Cap) ด้านข้างทั้งสองด้านประกอบด้วยช่องตรวจ(Inspection Ports)สำหรับตรวจดูส่วนต่างๆภายใน ปกติจะปิดด้วยฝาปิด(Cover)

1.3 ส่วนประกอบที่สำคัญอื่นๆของเรือนสูบ มีดังนี้

1.3.1 ปลอกสูบ(Liner)

ลักษณะ

ทำด้วยเหล็กหล่อแบบแรงเหวี่ยงคุณภาพสูง(High–grade Centrifugal Cast Iron)(เทวัตถุลงในแม่พิมพ์ที่กำลังหมุนอยู่) ใช้น้ำจืดระบายความร้อนเดินโดยรอบด้านนอกสัมผัสกับปลอกสูบ ด้านบนทำเป็นบ่ายื่นออกมารับกับด้านบนของเรือนสูบมีการกันรั่วด้วยวงกันรั่ว(O–Ring) 1 วง ด้านล่าง 2 วง (Sealing Ring)

ปลอกสูบ จะประกอบเข้ากับช่องของเรือนสูบจากด้านบนลงมา

1.3.2 ส่วนระบายกำลังดันเรือนสูบ(Crankcase Breather)

ทำหน้าที่ ลดกำลังดันภายในห้องเพลาข้อเหวี่ยง(Crank Space)

ประกอบอยู่บนสูบแถว B (B–Bank) ด้าน KGS

ลักษณะการทำงาน

เป็นหม้อกรองอากาศแบบเปียก(Wet–type Air filter) หรือ แบบไส้ตะแกรงโลหะ(Metal Mesh filling) ซึ่งอาจจะมีลักษณะต่างกันบ้าง แต่การทำงานเหมือนกัน ดังนี้

ประกอบด้วยไส้กรองโลหะ ที่จะทำหน้าที่แยกน้ำมันหล่อออกจากอากาศ(Oil Separation)อยู่ภายในเรือน(Housing)ซึ่งด้านล่างมีท่อทางถึงภายในห้องเพลาข้อเหวี่ยง ด้านบนประกอบด้วยฝาปิด(Cover)ซึ่งจะมีช่องทางสำหรับต่อท่อระบาย(Vent Line)ไปเข้าที่ทางดูดของเทอร์โบชาร์จ

เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน เกิดความร้อนและมีกำลังดันขึ้นภายในห้องเพลาข้อเหวี่ยง อากาศซึ่งมีไอน้ำมันหล่อปนอยู่ จะถูกดูดโดยเทอร์โบชาร์จผ่านหม้อกรองแบบเปียกหรือใส้ตะแกรงโลหะ ส่วนที่เป็นน้ำมันหล่อจะเกาะติดอยู่ที่หม้อกรองหรือใส้กรองและตกลงอ่างน้ำมันหล่อไป ส่วนที่เป็นอากาศจะถูกดูดโดยเทอร์โบชาร์จเข้าไปอัดส่งเข้ากระบอกสูบต่อไป

การซ่อมบำรุงรักษาเรือนสูบและส่วนประกอบ

ไม่มี

2.ส่วนขับหมุนเครื่อง(Running Gear or Crankdrive)

หมายถึง ส่วนประกอบของเครื่องที่ทำงานเปลี่ยนกำลังงานจากการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบให้เป็นกำลังงานทางกล(กำลังงานขับหมุน) ส่งไปใช้งานภายนอกและขับหมุนอุปกรณ์ช่วยต่างๆของเครื่อง

ประกอบด้วยส่วนต่างๆ 3 ส่วนคือ ลูกสูบ(Piston) (รายละเอียดข้อ 2.1)

ก้านต่อ(Connecting Rod) (รายละเอียดข้อ 2.2)

เพลาข้อเหวี่ยง(Crankshaft) (รายละเอียดข้อ 2.3)

2.1 ลูกสูบ(Piston)

ทำหน้าที่ เปลี่ยนกำลังงานจากการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ ให้เป็นกำลังงานทางกล(เลื่อนกลับไป-กลับมา)

เป็นแบบใช้น้ำมันหล่อระบายความร้อน(Oil-Cooled Piston) สร้างเป็น 2 ส่วน คือ ยอดลูกสูบ (Piston Crown)และกระโปรงลูกสูบ(Piston Skirt) นำมาประกอบเข้าด้วยกัน

มี 2 แบบ คือ แบบแยกส่วนไม่ได้(Groove Insert Type) (รายละเอียดข้อ 2.1.1)

แยกส่วนได้(Composite Type) (รายละเอียดข้อ 2.1.2)

2.1.1 แบบแยกส่วนไม่ได้(Groove Insert Type)

ลักษณะ

ยอดลูกสูบ ทำด้วยโลหะเบาชนิดพิเศษ(Special Grade Light Alloy) ด้านบนตรงกลางทำเว้าเป็นห้องเผาไหม้ 1 ห้องและเป็นห้องระยะห่างลิ้น(Valve Clearance Pocket) 4 ห้อง ด้านข้างจะมีร่องสำหรับประกอบแหวนอัดกันรั่ว(Compression Ring) 2-3 วง

กระโปรงลูกสูบ ทำด้วยโลหะผสมกราไฟท์(Graphite) ภายในจะมีช่องทางส่งน้ำมันหล่อและช่องทางน้ำมันหล่อกลับ ด้านข้างจะมีช่องสำหรับประกอบสลักลูกสูบแบบลอยตัว(Floating Piston Pin) โดยมีแหวนล็อค(Snap Ring)ทั้งสองด้าน

ยอดลูกสูบและกระโปรงลูกสูบ ประกอบเข้าด้วยกันด้วยวิธีเชื่อมประสานทางไฟฟ้า(Electron Beam Welding)และมีแหวนกวาดน้ำมันหล่อลื่น(Oil Control Ring)ประกอบอยู่ในร่องระหว่างส่วนทั้งสอง 1 วง

2.1.2 แยกส่วนได้(Composite Type)

ลักษณะ

ยอดลูกสูบ ทำด้วยโลหะแข็ง(Steel) ด้านบน ทำเป็นห้องเช่นเดียวกับแบบแรกและมีช่องสำหรับร้อยสลักยึด(Stress Bolt) ด้านข้างมีร่องสำหรับประกอบแหวนอัดกันรั่ว 2 วง

กระโปรงลูกสูบ ทำด้วยโลหะเบา(Light Metal) ด้านบนจะมีช่องสำหรับประกอบปลอกเกลียว (Threaded Bushes)หรือนัตพิเศษ(Special Nuts) ส่วนอื่นๆจะมีลักษณะเช่นเดียวกับแบบแรก

ยอดลูกสูบและกระโปรงลูกสูบ ประกอบเข้าด้วยกันโดยใช้สลักยึดร้อยผ่านช่องที่ยอดลูกสูบลงมายึดกับปลอกเกลียวหรือนัตพิเศษที่กระโปรงลูกสูบ เพื่อให้มีกำลังยึดมากกว่าการยึดกับกระโปรงลูกสูบซึ่งเป็นโลหะเบา

ลูกสูบทั้งสองแบบได้รับการระบายความร้อนโดยน้ำมันหล่อที่ฉีดพ่นจากหัวฉีดฝอย(Spray Nozzle)ที่เรือนสูบ ฉีดพ่นน้ำมันหล่อผ่านช่องทางที่กระโปรงลูกสูบเข้าไปผ่านระบายความร้อนภายใน

ช่องว่างระหว่างยอดลูกสูบกับกระโปรงลูกสูบแล้วตกลงหล่อลื่นสลักลูกสูบและตกลงอ่างน้ำมันหล่อไป

2.2 ก้านต่อ(Connecting Rod or Con rod)

ทำหน้าที่ รับกำลังงานจากลูกสูบและส่งต่อไปยังเพลาข้อเหวี่ยง(Crankshaft)

ลักษณะ

เป็นแบบธรรมดา(Blade Rod) เหมือนกันทั้งสองแถวสูบ(ทุกสูบ)

ทำด้วยวิธี Drop-forged (ตอกวัตถุลงบนแม่พิมพ์)แล้วปรับแต่งให้เรียบร้อย

ปลายเล็ก(ปลายบน) จะประกอบเข้ากับสลักลูกสูบ(Piston Pin)โดยมีแบริ่งแบบปลอก(Bushig)เป็นส่วนรองรับผิวสัมผัส ได้รับการหล่อลื่นโดยน้ำมันหล่อระบายความร้อนลูกสูบตกลงมาตามช่องทางภายในลูกสูบ เข้าหล่อลื่นแล้วตกลงอ่างน้ำมันหล่อไป

ปลายใหญ่(ปลายล่าง) ประกอบด้วยฝาครอบก้านต่อ(Con rod Cap) โดยใช้สลักยึด(Con rod Bolt)เข้ากับก้านต่อ เมื่อประกอบเข้ากับเดือยข้อเหวี่ยง(Crank Pin) ก้านต่อ 2 อันของสูบตรงข้ามกัน(เช่น สูบ A1 และ B1)จะประกอบอยู่บนเดือยข้อเหวี่ยง(Crank Pin)อันเดียวกัน โดยมีแบริ่งแบบฝา 2 ชิ้น(Shell Bearing)ของก้านต่อแต่ละอันเป็นส่วนรองรับผิวสัมผัส ได้รับการหล่อลื่นโดยน้ำมันหล่อจากรูเพลาข้อเหวี่ยงเข้ามาหล่อลื่นแล้วตกลงอ่างน้ำมันหล่อไป

2.3 เพลาข้อเหวี่ยง(Crank Shaft) ทำหน้าที่ เปลี่ยนกำลังงานเลื่อนขึ้นลงของลูกสูบและก้านต่อให้เป็นกำลังงานทางหมุน

ลักษณะ

ทำด้วยโลหะตีขึ้นรูป(Forging) เจาะรูทะลุตลอดเพลา(เพื่อเป็นทางส่งน้ำมันหล่อไปหล่อลื่นแบริ่งก้านต่อชุดล่าง) เคลือบแข็งและขัดมันในส่วนที่รองรับกับแบริ่งต่างๆ ทุกๆแขนข้อเหวี่ยงจะประกอบด้วยน้ำหนักถ่วง(Counterweight) เพื่อให้เพลาได้สมดุลย์

ปลายเพลาด้าน KGS ประกอบด้วยเฟืองเพลาข้อเหวี่ยง(Crankshaft Gear) สำหรับส่งอาการขับหมุนให้หมู่เฟืองขับ(Gear Train)

ปลายเพลาด้าน KS ประกอบด้วยหน้าแปลนส่งกำลังงานออก(PTO Flange)และล้อช่วยแรง(Flywheel)สำหรับส่งต่อกำลังงานไปใช้งานภายนอก เช่น ขับหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือขับหมุนเพลาใบจักร เป็นต้น ซึ่งที่หน้าแปลนส่งกำลังงานออกจะมีขีดเครื่องหมายตำแหน่งจุดระเบิดของสูบ A1 อยู่ โดยมีเข็มชี้อยู่ที่เรือนล้อช่วยแรง(Flywheel housing)

แบริ่งใหญ่(Main Bearing) เป็นแบบฝา 2 ชิ้น(Sleeve Bearing)ตลอดเพลาและแบบลูกกลิ้งกลม (Deep Groove Ball Bearing) 1 ชุด ประกอบอยู่ด้าน KS เพื่อทำหน้าที่กันรุน(Axial)ด้วย การหล่อลื่นแบริ่งเหล่านี้โดยน้ำมันหล่อจากท่อน้ำมันหล่อหลักต่อท่อทางแยกลงมาหล่อลื่นแบริ่งทุกชุดแล้วไหลผ่านรูเพลาข้อเหวี่ยงไปหล่อลื่นแบริ่งก้านต่อชุดล่าง แล้วตกลงอ่างน้ำมันหล่อไป

<u>หมายเหตุ</u>

ในเครื่อง TE บางรุ่นจะมีชุดรับแรงสั่นสะเทือนประกอบอยู่ที่ปลายเพลาข้อเหวี่ยงด้าน KGS ด้วย

การซ่อมบำรุงรักษาส่วนขับหมุนเครื่อง

รายละเอียดบทที่ 9 ข้อ 1-5

3.ฝาสูบ(Cylinder Head)

ทำหน้าที่ ปิดผนึกห้องเผาไหม้ด้านบน

ลักษณะ

เป็นแบบฝาสูบแยก(1สูบ/1ฝาสูบ) ทำด้วยเหล็กหล่อชนิดพิเศษ(Special-grade Cast Iron)

ภายใน เจาะเป็นช่องทางเดินอากาศ-แก๊สเสีย,น้ำจืดระบายความร้อนและช่องทางส่งน้ำมันหล่อประกอบอยู่บนเรือนสูบทุกสูบด้วยสลักยึด(Stress Bolt)โดยมีแผ่นรอง(Supporting Plate)และแผ่นกันรั่ว(Gasket)ช่วยกันรั่วทุกฝาสูบ

ด้านบนฝาสูบ จะประกอบด้วยเรือนกลไกควบคุมลิ้น(Valve Gear Housing)และฝาครอบฝาสูบ(Cylinder Head Cover)ตามลำดับ

ส่วนประกอบที่สำคัญของฝาสูบ คือ(1ฝาสูบ)

ลิ้นอากาศดี 2 ลิ้น(Inlet Valve) (รายละเอียดข้อ 3.1)

ลิ้นแก๊สเสีย 2 ลิ้น(Exhaust Valve) (รายละเอียดข้อ 3.1)

หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 1 หัว (Fuel Injector)(รายละเอียดข้อ 5.3)

ลิ้นลมเริ่มเดินและไล่อากาศ 1 ลิ้น(Starting and Decompression Valve)

(รายละเอียด บทที่ ข้อ)

3.1 ลิ้นอากาศดี-ลิ้นแก๊สเสีย(Inlet-Exhaust Valve)

ประกอบอยู่โดยรอบหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ฝาสูบละ 2 ลิ้น

ลักษณะการทำงาน

ลิ้นทั้งสองจะประกอบอยู่ในปลอกนำลิ้น(Valve Guide)โดยมีสปริงลิ้น(Valve Spring) ลิ้นละ 2 อัน ลิ้นทั้งสองปกติจะปิดด้วยกำลังสปริงลิ้นและเปิดด้วยกำลังกดจากกระเดื่องกดลิ้น(Valve Rocker Arm)

ลักษณะของลิ้นทั้งสอง คือ ลิ้นแก๊สเสียจะมีหัวลิ้น(Valve Head)ขนาดโตกว่า,ก้านลิ้น(Valve Stem)สั้นกว่าและภายในลิ้นบรรจุไว้ด้วยโซเดียม(Sodium)เพื่อให้มีการถ่ายเทความร้อนที่ดี(ลิ้นอากาศดีไม่มี) และลิ้นแก๊สเสียจะประกอบด้วยชุดหมุนลิ้น(Valve Rotator)(บางเครื่องอาจประกอบอยู่ทั้งลิ้นอากาศดีและแก๊สเสีย) ที่ทำให้ลิ้นหมุนตัวเล็กน้อยขณะเปิดเพื่อป้องกันไม่ให้หัวลิ้น(Valve Head)ได้รับความร้อนเฉพาะจุดและไม่ให้คราบเขม่า(Carbon)เกาะสะสมบ่าลิ้น(Valve Seat)

ลักษณะการทำงานของชุดหมุนลิ้น(Valve Rotator)

ทิศทางการหมุนทวนเข็มนาฬิกา

ประกอบอยู่ด้านล่างของแผ่นรองสปริง(Cap)ของลิ้นแก๊สเสีย

ประกอบด้วยแผ่นสปริง(Belleville Spring),ฝาบังคับลูกกลิ้ง(Ball Race)และลูกกลิ้ง(Steel Ball) พร้อมสปริงลูกกลิ้ง(Ball Spring)ที่ประกอบอยู่ในร่องซึ่งลาดเอียงเป็นแอ่งลึกตรงกลางร่องของเรือน(Body)

เมื่อลิ้นปิดอยู่ คือ ไม่มีกำลังกดจากกระเดื่องกดลิ้นลูกกลิ้งจะถูกสปริงลูกกลิ้งดันให้เลื่อนไปอยู่ด้านริมสุดของร่องลูกกลิ้งซึ่งเป็นส่วนที่สูงของร่อง

ในขณะที่ลิ้นเปิด คือ กระเดื่องกดลิ้นกดลงจะมีแรงส่งผ่านก้านลิ้น,แผ่นรองสปริง,แผ่นสปริงและฝาลูกบังคับลูกกลิ้งถึงลูกกลิ้งตามลำดับ ทำให้ลูกกลิ้งถูกกดให้เลื่องลงไปอยู่ส่วนที่ต่ำที่สุดของร่องซึ่งในขณะที่ลิ้นเปิดนี้ ผิวสัมผัสระหว่างส่วนที่ส่งผ่านกำลังกดดังกล่าวจะมีความฝืดสูง ทำให้มีการส่งต่ออาการเลื่อนตัวของลูกกลิ้งย้อนกลับทำให้ลิ้นหมุนตัวไปตามระยะเลื่อนของลูกกลิ้ง

ในขณะที่ลิ้นปิดด้วยกำลังสปริงลิ้น คือ ไม่มีกำลังกดจากกระเดื่องกดลิ้น ผิวสัมผัสระหว่างส่วนที่ส่งผ่านกำลังกดดังกล่าวจะมีความฝืดน้อย ลูกกลิ้งจะถูกสปริงลูกกลิ้งดันให้เลื่อนกลับตำแหน่งเดิมโดยไม่มีการส่งต่ออาการเลื่อนตัวของลูกกลิ้งกลับไปยังลิ้น ทำให้ลิ้นไม่หมุนตัวตามระยะเลื่อนของลูกกลิ้ง

4.กลไกลควบคุมลิ้น(Valve Gear)

หมายถึง ส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ควบคุมการปิด-เปิดของลิ้นอากาศดีและลิ้นแก๊สเสีย

ประกอบด้วยส่วนต่างๆ 3 ส่วน คือ เพลาลูกเบี้ยว(Camshaft)

ก้านส่ง(Push Rod)

กระเดื่องกดลิ้น(Rocker Arm)

ลักษณะการทำงาน

เพลาลูกเบี้ยว(Camshaft) ประกอบอยู่ส่วนกลางด้านในเรือนลูกสูบ จำนวน 2 เพลา ควบคุมการทำงานของลิ้นทั้งสองแถวสูบ(Bank)เพลาละแถวสูบ ลักษณะเป็นเพลายาวตลอดเรือนสูบ แต่ละสูบจะมีลูกเบี้ยว 2 ลูก สำหรับลิ้นอากาศดี 1 ลูกและลิ้นแก๊สเสีย 1 ลูก รองรับเพลาด้วยแบริ่งแบบฝา 2 ชิ้น (Sleeve Bearing)ตลอดเพลา โดยแบริ่งด้าน KGS จะทำหน้าที่กันรุน(Axial Thrust)ด้วย ปลายเพลาด้าน KGS จะประกอบด้วยเฟืองขับ(Drive Gear)สำหรับรับอาการขับหมุนจากหมู่เฟืองขับ(Gear Train)และส่งอาการหมุนผ่านลูกเบี้ยว(Cam)ให้ก้านส่งและกระเดื่องกดลิ้นไปควบคุมการปิด-เปิดของลิ้นอากาศดี-ลิ้นแก๊สเสีย

ก้านส่ง(Push Rod) เป็นแบบมีลูกกลิ้งที่ขาก้านส่ง(Roller Tappet) ใน 1 สูบ ประกอบด้วยก้านส่ง 2 ก้าน สำหรับลิ้นอากาศดีและลิ้นแก๊สเสียอย่างละ 1 ก้าน โดยชุดก้านส่ง คือ ขาก้านส่งและก้านส่งจะรับอาการจากลูกเบี้ยวของเพลาลูกเบี้ยวและส่งต่ออาการให้กระเดื่องกดลิ้น

กระเดื่องกดลิ้น(Rocker Arm) เป็นแบบกระเดื่องแขนคู่(Twin Arm Rocker) ประกอบอยู่กับเพลากระเดื่อง(Rocker Shaft)อยู่บนฝาสูบภายในเรือนกลไกลควบคุมลิ้น(Valve Gear Housing) จำนวน 2 ชุด คือ กระเดื่องยาวสำหรับลิ้นแก๊สเสียและกระเดื่องแขนสั้นสำหรับลิ้นอากาศดี โดยปลายแขนเดี่ยวของกระเดื่องทั้งสองจะรับอาการจากปลายบนของก้านส่งและปลายแขนคู่จะส่งอาการปิด-เปิดให้ลิ้นทั้งสี่ ซึ่งที่ปลายแขนคู่ของกระเดื่องกดลิ้นจะประกอบด้วยสลักเกลียวปรับแต่ง(Adjusting Screw) สำหรับปรับแต่งระยะห่างลิ้น(Valve Clearance)ขณะไม่ได้เดินเครื่อง

การหล่อลื่น โดยน้ำมันหล่อจากท่อน้ำมันหล่อหลัก(Main Oil Gallery)ส่งผ่านช่องทางภายในเรือนสูบเข้าหล่อลื่นแบริ่งเพลาลูกเบี้ยว แล้วส่วนหนึ่งจะส่งผ่านท่อส่งด้านในเครื่องและช่องทางที่ฝาสูบเข้าหล่อลื่นชุดกระเดื่องกดลิ้นและเพลากระเดื่องก่อนตกลงหล่อลื่นชุดขาก้านส่งแล้วตกลงอ่างน้ำมันหล่อผ่านท่อทางด้านนอกเครื่อง โดยด้านบนฝาสูบจะประกอบด้วยเรือนกลไกลควบคุมลิ้น(Valve Gear Housing)และฝาครอบฝาสูบ(Cylinder Head Cap)ทำหน้าที่กั้นส่วนที่เป็นน้ำมันหล่อกับน้ำมันเชื้อเพลิงไม่ให้รั่วไหลปนกัน

ก่อนเริ่มเดินเครื่องครั้งแรก(Initial Startup)ต้องเติมน้ำมันหล่อใส่สลักเกลียวปรับแต่งให้เต็ม

การซ่อมบำรุงรักษา

รายละเอียด บทที่ 9 ข้อ 6-10

5.อุปกรณ์ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel Injection Equipment)

หมายถึง ส่วนประกอบที่ทำหน้าที่สูบส่งน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงเข้าห้องเผาไหม้

ประกอบด้วยส่วนต่างๆ 4 ส่วน คือ

สูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงหรือสูบน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูง(Fuel Injection Pump) (รายละเอียดข้อ 5.1)

ท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูง(Fuel Pressure Line) (รายละเอียดข้อ 5.1)

ส่วนปรับแต่งจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel Injection Timer) (รายละเอียดข้อ 5.2)

หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel Injection Nozzels) (รายละเอียดข้อ 5.3)

5.1 สูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงหรือสูบน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูง(Fuel Injection Pump)

ในเครื่องแต่ละแบบหรือแต่ละขนาดหรือใช้งานต่างกัน รายละเอียดของสูบน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงจะต่างกันด้วย แต่จะมีลักษณะการทำงานเหมือนกัน ดังนี้

ทำหน้าที่ สูบส่งน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงไปเข้าหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ผ่านท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูง(Fuel Pressure Line)ซึ่งเป็นท่อสำเร็จรูปและในบางเครื่องจะเป็นท่อ 2 ชั้น **ห้ามดัดให้เสียรูปทรง**

เป็นแบบลูกสูบเลื่อน(Plunger)ของบริษัท Bosch ประกอบรวมกันเป็นชุดเดียว อยู่ตรงกลางเครื่องด้านบนเรือนสูบ(ระหว่างแถวสูบทั้งสอง)

ลักษณะ

เรือนสูบ(Pump Housing) ทำด้วยโลหะเบา(Light metal) เป็นที่ประกอบส่วนต่างๆ คือ ชุดส่งลิ้นและช่องจำกัดน้ำมันกลับ(Delivery Valve and Return Restrictor)หรือชุดลิ้นส่งและลิ้นผ่อนกำลังดัน(Delivery and pressure Relief Valve),ลูกสูบเลื่อน(Pump Element),คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel Rack), ลูกกลิ้งขาก้านส่ง(Roller Tappet),เพลาลูกเบี้ยว(Camshaft)และลิ้นส่งน้ำมันหล่อ

ชุดลูกสูบเลื่อน(Pump Element) ประกอบอยู่ภายในส่วนกลางเรือนสูบ ประกอบด้วยลูกสูบเลื่อน(Plunger)และปลอกลูกสูบเลื่อน(Barrel)เป็นชุด จำนวนชุดเท่ากับจำนวนสูบของเครื่อง ลักษณะของลูกสูบเลื่อน(Plunger) ปลายบนจะมีร่องถึงแง่เฉียงล่าง ตอนล่างประกอบด้วยสปริงลูกสูบเลื่อน(Plunger Spring)และปลอกควบคุม(Control Sleeve)ที่มีฟันเฟืองขบอยู่กับเฟืองของคันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel Rack) ปลอกลูกสูบเลื่อน(Barrel)ตอนบนจะมีช่องทางน้ำมันเชื้อเพลิงเข้า-ออก อยู่ 2

ช่องทาง ด้านบนประกอบด้วยลิ้นส่งและช่องจำกัดน้ำมันกลับ หรือ ลิ้นส่งและลิ้นผ่อนกำลังดัน (รายละเอียด ข้อ 5.1.1)

เพลาลูกเบี้ยว(Camshaft) ได้รับการขับหมุนจากหมู่เฟืองขับ(Gear Train)ผ่านส่วนปรับแต่งจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel Injection Timer)และส่งต่ออาการผ่านลูกกลิ้งขาก้านส่งให้ลูกสูบเลื่อน(Plunger)เลื่อนตัวขึ้นในการสูบส่งน้ำมันเชื้อเพลิง(เลื่อนขึ้นโดยลูกเบี้ยวและเลื่อนลงโดยสปริงลูกสูบเลื่อน)

คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิง(F มีลักษณะเป็นคันยาวตลอดเรือนสูบและมีเฟืองขบอยู่กับเฟืองของปลอกควบคุม(Control Sleeve) ได้รับอาการเลื่อนตัวจากเครื่องควบคุมความเร็ว(Governor)และส่งอาการผ่านปลอกควบคุมให้ลูกสูบเลื่อนหมุนตัวในการปรับแต่งปริมาณการส่งหรือการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

ในเครื่องยนต์ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ตัดการทำงานของแถวสูบ(Cylinder Bank Cut-out) คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงนี้ จะเป็นแบบ 2 ชั้น (รายละเอียดข้อ 7)

ลิ้นส่งน้ำมันหล่อ(Oil Feed Valve) ประกอบอยู่ภายในส่วนกลางของเรือนที่ท่อทางน้ำมันหล่อเข้า ปกติจะปิดด้วยแรงกดของสปริงลิ้นและจะเปิดด้วยลูกเบี้ยวเพื่อส่งน้ำมันหล่อเข้าหล่อลื่นส่วนต่างๆ ภายในเรือน น้ำมันหล่อภายในเรือนถ้ามีปริมาณสูงจะไหลกลับอางน้ำมันหล่อทางช่องทางน้ำมันล้น (Spill Line)

การทำงาน

จังหวะที่ 1 ลูกสูบเลื่อน เลื่อนลง จนกระทั้งบ่าบนเปิดช่องทางน้ำมันของปลอกลูกสูบเลื่อน (Barrel)เป็นจังหวะดูด ให้น้ำมันเชื้อเพลิงจากห้องดูด(Suction Gallery)เข้ามาภายในห้องส่ง(Delivery Chamber)ด้านบนลูกสูบเลื่อน

จังหวะที่ 2 ลูกสูบเลื่อน เลื่อนขึ้น จนกระทั้งบ่าบนปิดช่องทางน้ำมันของปลอกลูกสูบเลื่อน เป็นจังหวะเริ่มส่งน้ำมันเชื้อเพลิงภายในห้องส่ง(ไปเข้าห้องเผาไหม้)

จังหวะที่ 3 ลูกสูบเลื่อน เลื่อนขึ้น จนกระทั้งแง่เฉียงล่างเปิดช่องทางน้ำมันของปลอกลูกสูบเลื่อน ให้น้ำมันเชื้อเพลิงภายในห้องส่งด้านบนลูกสูบเลื่อนไหลออกผ่านช่องทางออกสู่ห้องดูดได้เป็นจังหวะสิ้นสุดการส่ง

ปริมาณการส่งน้ำมันเชื้อเพลิง คือ ระยะจากบ่าบนถึงแง่แฉียงล่าง

ในจังหวะที่ 1,2,3 จะมีการส่งน้ำมันเชื้อเพลิงมากที่สุด(Max..Delivery)

ในจังหวะที่ 4,5 ลูกสูบเลื่อนได้รับอาการหมุนตัวทำให้มีระยะจากบ่าบนถึงแง่เฉียงล่างน้อยลง นั่นคือ จะมีการส่งน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยลงหรือส่งเพียงบางส่วน(Partial Delivery)

ในจังหวะที่ 6 ลูกสูบเลื่อนได้รับอาการหมุนตัวจนกระทั้งร่องน้ำมันตรงกับช่องทางของปลอกลูกสูบเลื่อน(Plunger) ทำให้ไม่มีการอัดส่งน้ำมันเชื้อเพลิงแม้ว่าลูกสูบเลื่อน เลื่อนขึ้น นั่นคือ จะไม่มีการส่งน้ำมันเชื้อเพลิง(Zero Delivery)

น้ำมันเชื้อเพลิงรั่วไหล(Leak off)ระหว่างลูกสูบเลื่อนกับปลอกลูกสูบเลื่อน จะไหลผ่านช่องทางรั่วไหลที่ปลอกลูกสูบเลื่อนกลับห้องดูดหรือบางแบบต่อช่องทางออกภายนอก

5.1.1 ลิ้นส่งและช่องจำกัดน้ำมันกลับ(Delivery Valve and Return Restrictor)

หรือ ลิ้นส่งและลิ้นผ่อนกำลังดัน(Delivery Valve and Pressure Relief Valve)

ชุดลิ้นทั้งสองประกอบอยู่ด้านบนของชุดลูกสูบเลื่อน(Pump Element) มีใช้ในเครื่องต่างรุ่นกัน แต่ทำหน้าที่เหมือนกัน คือ

- ป้องกันการเกิดแรงกระแทกในท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูง
- ป้องกันน้ำมันเชื้อเพลิงหยดลงห้องเผาไหม้
- ลดภาระให้ท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูง(ให้ไม่ต้องรับกำลังดันสูงตลอดเวลา)

* ลิ้นส่งและช่องจำกัดน้ำมันกลับ *(Delivery Valve and Return Restrictor)

ลักษณะการทำงาน

ส่วนบน ประกอบด้วยกรวยลิ้น(Valve Cone)มีสปริงกดอยู่ด้านบนอยู่ภายในเรือนลิ้นส่ง (Delivery Valve Holder) และที่เรือนลิ้นชั้นในจะมีช่องจำกัด(Restrictor)อยู่ด้วย

ส่วนล่าง ประกอบด้วยลิ้นส่ง(Delivery Valve)อยู่ภายในปลอกลิ้น(Valve Guide)มีสปริงกดอยู่ด้านบน ที่ลิ้นส่งจากส่วนล่างจะมีลักษณะเป็นร่องทางตั้ง(Vertical Flute),ลูกสูบ(Piston)และบ่ากรวย (Conical Seat) ตามลำดับ

ในจังหวะส่งของลูกสูบเลื่อน(Plunger) กำลังดันภายใต้ลิ้นส่งจะดันให้ลิ้นส่งเลื่อนขึ้นจนกระทั่งลูกสูบ(Piston)เปิดช่องทางให้น้ำมันเชื้อเพลิงผ่านขึ้นไปทางช่องจำกัด ดันให้กรวยลิ้นเปิดให้น้ำมันเชื้อเพลิงส่งเข้าท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงและไปฉีดพ่นออกที่หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(ด้วยกำลังดันน้ำมันเชื้อเพลิง)เข้าห้องเผาไหม้ไป

เมื่อสิ้นสุดจังหวะส่งของลูกสูบเลื่อน คือ กำลังดันภายใต้ลิ้นส่ง ลดลงต่ำกว่าด้านบน ลิ้นส่งและกรวยลิ้นจะเลื่อนลงปิดช่องทางด้วยกำลังดันสปริง ลิ้นส่งจะเริ่มปิดช่องทางด้วยลูกสูบและเลื่อนลง

ต่อไปอีกจนกระทั่งบ่ากรวย(Conical Seat)ปิดช่องทาง ซึ่งปริมาตรของระยะเลื่อนของลูกสูบถึงบ่ากรวยจะทำให้กำลังดันภายในด้านบนลิ้นส่งลดลงและกำลังดันภายในท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงจะระบายกลับผ่านช่องจำกัดด้วย ทำให้หัวฉีดปิด(ด้วยกำลังสปริงภายใน)อย่างรวดเร็วน้ำมันเชื้อเพลิงจึงไม่หยดลงห้องเผาไหม้และเป็นการลดภาระให้ท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงให้ไม่ต้องรับกำลังดันสูงมากตลอดเวลาและการที่มีกำลังดันบางส่วนอยู่ในท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงทำให้ไม่เกิดแรงกระแทกขึ้นภายใน ในจังหวะส่งของลูกสูบเลื่อน(Plunger)

- ลิ้นส่งและลิ้นผ่อนกำลังดัน *(Delivery Valve and Pressure Relief Valve)

ภายในชุดลิ้นประกอบด้วยลิ้นกันกลับ 2 ชุด ทำงานตรงข้ามกัน คือ ชุดลิ้นใหญ่เป็นลิ้นส่ง(Delivery Valve)มีสปริงกดอยู่ด้านบน ชุดลิ้นเล็กเป็นลิ้นผ่อนกำลังดัน(Pressure Relief Valve)มีสปริงดันอยู่ด้านล่าง

ในจังหวะส่งของลูกสูบเลื่อน(Plunger) กำลังดันภายใต้ชุดลิ้นจะดันให้ลิ้นผ่อนกำลังดันปิดในขณะเดียวกันจะดันให้ลิ้นส่งเปิด ส่งน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าผ่านท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงและฉีดพ่นออกที่หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(ด้วยกำลังดันน้ำมันเชื้อเพลิง)

เมื่อสิ้นสุดจังหวะส่งของลูกสูบเลื่อน กำลังดันภายใต้ชุดลิ้นจะลดลง กำลังดันภายในท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงจะสูงกว่า จะดันให้ลิ้นส่งปิดในขณะเดียวกันลิ้นผ่อนกำลังดันจะเปิดระบายกำลังดันภายในท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงออกให้ต่ำลงกว่ากำลังสปริงลิ้น ลิ้นผ่อนกำลังดันจึงจะปิดให้มีกำลังดันบางส่วนอยู่ภายในท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงเป็นการลดภาระให้ท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงและทำให้หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงปิด(ด้วยกำลังสปริงภายใน)อย่างรวดเร็วน้ำมันเชื้อเพลิงจึงไม่หยดลงห้องเผาไหม้และการที่มีกำลังดันบางส่วนอยู่ภายในทำให้ไม่เกิดแรงกระแทกขึ้นภายใน ในจังหวะส่งของลูกสูบเลื่อนด้วย

การซ่อมบำรุงรักษา

รายละเอียดบทที่ 9 ข้อ 321 และ 38-39

5.2 ส่วนปรับแต่งจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel Injection Timer)

ทำหน้าที่ ปรับแต่งจังหวะเริ่มส่ง(เริ่มฉีด)น้ำมันเชื้อเพลิงให้สัมพันธ์กับความเร็วเครื่อง เพื่อให้พอดีกับจังหวะจุดระเบิดของเครื่อง(ความเร็วสูงจะต้องฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงล่วงหน้ามาก) โดยการส่งอาการให้เพลาลูกเบี้ยวของสูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงหมุนล่วงหน้าเฟืองขับ(Drive Gear)

มุมการปรับแต่งสูงสุดประมาณ 5°-8° ของเพลาลูกเบี้ยว(10°-16° ของเพลาข้อเหวี่ยง)

ลักษณะ

ประกอบอยู่กับเฟืองขับ(Drive Gear)ของหมู่เฟืองขับ(Gear train)

เพลาขับ(Drive Shaft) ประกอบอยู่ภายในช่องที่ส่วนกลางของเฟืองขับ(Drive Gear) จะทำหน้าที่ส่งต่ออาการหมุนผ่านปลอกเฟือง(Coupling Sleeve)ให้เพลาลูกเบี้ยว(Camshft)ของสูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel Injection Pump)

จานหน่วง(Counter flange) ยึดแน่นกับเพลาขับ(Drive Shaft)ด้วยแหวนล็อค(Ring Spring Clamp) 2 ชุด(4 วง) โดยมีสลักยึด(Stress Bolt)กวดอัดปลอกนำ(Locating Sleeve)และปลอกอัด(Collared Bush)ให้แหวนล็อคไม่หลุดหลวม

ลูกเบี้ยว(Cam) ที่ปลายด้านในยึดติดกับเฟืองขับ ปลายด้านในเลื่อนตัวหมุนได้

สปริง(Spring) ที่ปลายด้านหนึ่งจะดันอยู่กับจานหน่วง อีกด้านหนึ่งดันอยู่กับปลายด้านนอกของลูกเบี้ยว

ตุ้มเหวี่ยง(Flyweight) จำนวน 5 ลูก ประกอบอยู่ระหว่างร่องของจานหน่วงกับลูกเบี้ยว

การทำงาน

เมื่อเฟืองขับได้รับอาการหมุน จะส่งต่ออาการหมุนผ่านลูกเบี้ยว,ตุ้มเหวี่ยง,จานหน่วง,เพลาขับและปลอกเฟือง(Coupling Sleeve)ให้เพลาลูกเบี้ยวหมุนของสูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงหมุนและส่งต่ออาการให้ลูกสูบเลื่อน(Plunger)เลื่อนตัว

เมื่อความเร็วสูงขึ้น ตุ้มเหวี่ยงจะถูกเหวี่ยงตัวออกจากจุดศูนย์กลางเพลา ดันให้จานหน่วงหมุนไปล่วงหน้า ทำให้เพลาลูกเบี้ยวขับลูกสูบเลื่อนหมุนล่วงหน้าไปด้วย ซึ่งการหมุนล่วงหน้าดังกล่าวนี้จะสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วเครื่อง นั่นคือ ทำให้มีการส่ง(การฉีด)น้ำมันเชื้อเพลิงเร็วขึ้น เมื่อความเร็วเครื่องสูงขึ้น เพื่อให้พอดีกับจังหวะจุดระเบิดของเครื่อง

5.3 หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel Injector)

ในเครื่องแต่ละรุ่นจะมีขนาดต่างกันแต่ลักษณะการทำงานเหมือนกันดังนี้คือ

ทำหน้าที่ ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงเข้าห้องเผาไหม้

จำนวนรูหัวฉีด 5 รู ทำมุมการฉีด 152°

ค่ากำลังดันเปิดหัวฉีดใช้งาน ประมาณ 235-278 บาร์(แต่ละรุ่นไม่เท่ากัน ให้ดูในคู่มือประจำเครื่อง)

ประกอบอยู่กึ่งกลางฝาสูบๆละ 1 หัว

ลักษณะ

หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะประกอบอยู่ภายในปลอกรับ(Protective Sleeve)ซึ่งยึดแน่นอยู่กับฝาสูบ มีวงกันรั่ว 2 วง(CE ring and Back-up ring)สำหรับกันรั่วระหว่างหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงกับปลอกรับ ด้านบนจะมีปลอกเกลียว(Thrust Screw) กวดยึดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ากับฝาสูบและปลอกอัด(Thrust Sleeve)รับแรงอัดอยู่ระหว่างปลอกเกลียวกับหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(ในบางเครื่องจะไม่ใช้ปลอกอัดใช้แต่ปลอกเกลียว)

ประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 2 ส่วนคือ เรือนหัวฉีด(Nozzle Holder)และปลายหัวฉีด(Injection Nozzle)

เรือนหัวฉีด(Nozzle Holder) ภายในเจาะเป็นช่องทางเดินน้ำมันเชื้อเพลิงและห้องสปริงซึ่งประกอบด้วยเดือยกั้นสปริง(Thrust Pin),สปริงหัวฉีด(Spring)และแผ่นรองสปริง(Shim)

ปลายหัวฉีดฉีด(Injection Nozzle) ประกอบด้วยตัวหัวฉีด(Nozzle Body)และเข็มหัวฉีด(Nozzle Needle) โดยมีนัตหัวฉีด(Retaining Nut)กวดยึดส่วนทั้งสองเข้ากับเรือนหัวฉีดมีแหวนรอง(Washer) 1 อัน *ตัวหัวฉีดและเข็มหัวฉีดนี้ จะใช้เป็นคู่ห้ามใช้สลับคู่กันถ้าเปลี่ยนต้องเปลี่ยนเป็นชุดทั้งสองส่วน*

การทำงาน

ปกติเข็มหัวฉีดจะปิดรูหัวฉีดด้วยแรงกดของสปริงหัวฉีดกดผ่านเดือยกั้นสปริง(Thrust Pin)

ในจังหวะส่งของสูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงจะถูกส่งผ่านท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงมาเข้าหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและผ่านช่องทางภายในเรือนหัวฉีดและตัวหัวฉีดเข้าไปภายในห้องกำลังดัน(Pressure Chamber)ของตัวหัวฉีดเป็นแรงดันต่อเข็มหัวฉีด ที่จะทำให้เข็มหัวฉีดเลื่อนขึ้น

เมื่อแรงดันต่อเข็มหัวฉีดดังกล่าวสูงกว่าแรงกดสปริงหัวฉีด เข็มหัวฉีดจะเลื่อนขึ้นเปิดรูหัวฉีดฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากห้องกำลังดันเข้าห้องเผาไหม้ไป

น้ำมันเชื้อเพลิงที่รั่วไหล(Leak-off)ระหว่างตัวหัวฉีดและเข็มหัวฉีด จะถูกระบายออกภายนอกผ่านห้องสปริงและช่องทางที่เรือนหัวฉีดเพื่อช่วยในการหล่อลื่นระบายความร้อนส่วนทั้งสองด้วย

เมื่อสิ้นสุดจังหวะส่งของสูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง กำลังดันภายในห้องกำลังดันจะลดลงและต่ำกว่ากำลังดันสปริงหัวฉีด เข็มหัวฉีดจะปิดด้วยแรงกดของสปริงหัวฉีด

ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากำลังดันหรือความแข็งของสปริงหัวฉีดจะเป็นตัวกำหนดค่ากำลังเปิดของหัวฉีดซึ่งสามารถปรับแต่งได้โดยการเปลี่ยนความหนาของแผ่นรองสปริง(Shim)

การซ่อมบำรุงรักษา

รายละเอียด บทที่ 9 ข้อ 33 - 37

6.เครื่องควบคุมเครื่องยนต์(Engine Governor)

ทำหน้าที่ เป็นเครื่องควบคุมความเร็ว(Speed Governor) โดยการปรับแต่งการฉีดน้ำมันเชื้เพลิงให้เหมาะสมกับภาระและความเร็วเครื่อง

สำหรับเครื่องยนต์ mtu. อนุกรม(Series)396 นี้มีการใช้งานทั้งเป็นเครื่องจักรใหญ่และเป็นเครื่องขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในเรือ ดังนั้นเครื่องควบคุมเครื่องยนต์จึงมีความแตกต่างกันไปด้วย จำแนกได้ ดังนี้

สำหรับเครื่องจักรใหญ่มี 2 แบบคือ

แบบแรงเหวี่ยง(Centrifugal Direct Power Governor) (รายละเอียดข้อ 6.1)

แบบอิเล็คทรอนิก(Electronic Governor) (รายละเอียดข้อ 6.3)

สำหรับเครื่องขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามี 2 แบบ คือ

แบบแรงเหวี่ยงทำงานร่วมกับกำลังดันน้ำมันหล่อ(Centrifugal Hydraulic Power--Governor) (รายละเอียดข้อ 6.2)

แบบอิเล็คทรอนิก(Electronic Governor) (รายละเอียดข้อ 6.4)

6.1 เครื่องควบคุมความเร็วแบบแรงเหวี่ยง(Centrifugal Direct Power Governor)

ใช้ในเครื่องจักรใหญ่

ทำหน้าที่-ปรับแต่งการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เหมาะสมทุกย่านความเร็วเครื่อง

ผู้ผลิต Bosch

แบบ(Model) RQUV All Speed Governor

ลักษณะ

ชุดตุ้มเหวี่ยง(Flyweight) 1 ชุด(2 ลูก) ประกอบอยู่กับเดือยหมุน(Pilot Pin) และมีสปริงปรับความเร็ว(Speeder Spring)ประกอบอยู่ด้านนอกทำให้มีแรงกดให้ตุ้มเหวี่ยงเลื่อนเข้าหาจุดศูนย์กลางการหมุน ชุดตุ้มเหวี่ยงจะได้รับอาการขับหมุนจากเพลาลูกเบี้ยวของสูบน้ำมันเชื้อเพลิงผ่านเฟืองตรง(Spur Gear)ทำให้เกิดแรงเหวี่ยงให้ตุ้มเหวี่ยงเลื่อนออกจากจุดศูนย์กลาง การเลื่อนตัวเข้า-ออกของตุ้มเหวี่ยง จะส่งอาการผ่านข้อต่อหมุน(Bell Crank),ก้านส่งความเร็ว(Speeder Rod),ปลอกเลื่อน(Slide Shoe),คันส่ง

กำลัง(Power Lever)และคันลอย(Floating Lever)ให้คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel Rack)เลื่อนตัว ส่งอาการเพื่อให้มีการเพิ่ม-ลดการส่ง(ฉีด)น้ำมันเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้

คันส่งกำลัง(Power Lever) ถูกออกแบบให้เปลี่ยนจุดหมุนได้เพื่อเปลี่ยนอัตราการส่งต่ออาการ (Transmission Raito)และความสามารถในการทำงาน(Work Capacity)

การตั้งค่าความเร็วเครื่อง(Speed Setting) คือ การสั่งเพิ่ม-ลดความเร็วเครื่องที่มีใช้อยู่ปัจจุบัน(ในเรือ PCF) จะใช้หน่วยตั้งค่าความเร็วเครื่อง(Speed Setting Unit)แบบกลไก คือ ชุดสายส่งกำลัง(Teleflex Cable)ส่งอาการให้คันควบคุม(Control Lever),หมุนเพลาควบคุม(Control Shaft)และก้านนำ(Guide Lever) ทำให้คันส่งกำลัง(Power Lever)เลื่อนตัวส่งต่ออาการผ่านคันลอย(Floating Lever) ให้คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงเลื่อนตัวในการเพิ่ม-ลดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้

เครื่องควบคุมความเร็วได้รับการหล่อลื่นโดยน้ำมันหล่อลื่นจากระบบน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ที่ส่งเข้ามาและไหลกลับอ่างน้ำมันหล่อตลอดเวลาที่เครื่องเดินอยู่ ก่อนการใช้เครื่องครั้งแรก(Initial Operation)จะต้องเติมน้ำมันหล่อใส่ประมาณ 1 ลิตร และ ขณะใช้งานไม่ต้องตรวจสอบระดับน้ำมันหล่อในเครื่องควบคุมความเร็ว

การทำงาน

เมื่อเพิ่มความเร็วเครื่อง ตุ้มเหวี่ยงจะเลื่อนออกจากจุดศูนย์กลางเพิ่มแรงกดต่อสปริงปรับความเร็ว ถ้าความเร็วเครื่องสูงกว่าค่าที่กำหนด(Speed Setting) ตุ้มเหวี่ยงจะเลื่อนออกจากจุดศูนย์กลางส่งต่ออาการผ่านส่วนต่างๆดังที่กล่าวมาแล้ว ให้คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงเลื่อนตัวไปในทิศทางลดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงหรือทิศทางตำแหน่งหยุด(Toward Stop Position)

เมื่อลดความเร็วเครื่อง ตุ้มเหวี่ยงจะเลื่อนเข้าด้วยแรงกดของสปริงปรับความเร็ว และถ้าความเร็วเครื่องต่ำกว่าย่านที่กำหนด ตุ้มเหวี่ยงจะเลื่อนออกจากจุดศูนย์กลางส่งต่ออาการผ่านส่วนต่างๆดังที่กล่าวมาแล้ว ให้คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงเลื่อนตัวไปในทิศทางเพิ่มการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

6.2 เครื่องควบคุมความเร็วแบบแรงเหวี่ยงทำงานร่วมกับกำลังดันน้ำมันหล่อ

(Centrifugal Hydraulic Power Governor)

ใช้ในเครื่องขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตั้งค่าความเร็วเครื่องด้วยหน่วยตั้งค่าความเร็วเครื่อง(Speed Setting Unit) แบบไฟฟ้า

ผู้ผลิต mtu

แบบ(Model) R 071 E 01 F

ทำหน้าที่ ควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงขณะเริ่มเดินเครื่อง(ไม่มีกำลังดันน้ำมันหล่อ)
จำกัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงป้องกันเครื่องทำงานเกินกำลัง
ให้เครื่องยนต์เดินเบา(Idling Speed)ถ้ากำลังดันน้ำมันหล่อตกต่ำ
ปรับแต่งการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับความเร็วและภาระของเครื่องซึ่งต้องอยู่ในย่านความเร็วตกของเครื่อง(Speed Droop)

ลักษณะ

ชุดตุ้มเหวี่ยง(Flyweight) 1 ชุด(2 ลูก)ได้รับแรงกดชุดสปริงปรับความเร็ว(Speeder Spring) ทำให้ชุดตุ้มเหวี่ยงหุบเข้าและได้รับแรงขับหมุนจากเพลาลูกเบี้ยวของสูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel Injection Pump)ทำให้ชุดตุ้มเหวี่ยงกางออก การหุบเข้าและกางออกของชุดตุ้มเหวี่ยงนี้จะส่งอาการผ่านก้านปรับความเร็ว(Speeder Rod) ไปปิด-เปิดกำลังดันน้ำมันหล่อให้เข้าทำงานในชุดลูกสูบทำงาน(Actuating Piston)ซึ่งจะทำงานส่งอาการผ่านชุดคันส่งอาการต่างๆ(Transmissoin Rod/Lever) ให้คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิง(Injection Pump Rack)เลื่อนตัว ในการเพิ่ม-ลดการส่ง(ฉีด)น้ำมันเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้

การทำงาน

เมื่อเริ่มเดินเครื่อง(Start) จะไม่มีกำลังดันน้ำมันหล่อเข้าทำงานทางช่อง a ที่จะเข้าทำงานต่อลูกสูบชดเชย(14:Compensation Piston)ซึ่งประกอบอยู่ปลายก้านปรับความเร็ว(22:Speeder Rod) ในขณะนี้สปริงเริ่มเดิน(13:Starting Spring)จะทำหน้าที่เป็นสปริงปรับความเร็ว(Speeder Spring)ส่งอาการผ่านชุดคันส่งอาการ(12:Transmission Lever)ให้คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิง(34:Injection Pump Rack) เลื่อนตัวไปอยู่ในตำแหน่งเริ่มเดิน(Start) ในขณะเดียวกันลูกสูบทำงาน(18:Actuating Piston)ซึ่งประกอบอยู่ที่ปลายก้านปรับความเร็ว(22)จะส่งอาการให้ตุ้มเหวี่ยง(28:Flyweight)หุบเข้า ซึ่งจะทำให้ความเร็วเครื่องต่ำ

เมื่อเครื่องยนต์เริ่มเดิน ชุดตุ้มเหวี่ยงจะได้รับแรงขับหมุนจากเพลาลูกเบี้ยวของสูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel Injection Pump)ทำให้ชุดตุ้มเหวี่ยงกางออก และจะมีกำลังดันน้ำมันหล่อเข้าทำงานทางช่องทาง a เข้าทำงานที่ลูกสูบชดเชย(14)ให้เลื่อนไปทางขวา ทำให้ชุดลูกสูบทำงาน(18),ก้านปรับความเร็ว(22),แบริ่งลูกกลิ้ง(15:Grooved Ball Bearing)เป็นอิสระจากกัน ในขณะเดียวกันลูกสูบสปริงปรับความเร็ว(28:Speeder Spring Piston)และลูกสูบทำงาน(18)จะมีกำลังดันน้ำมันหล่อเข้าทำงาน ทำให้ลูกสูบสปริงปรับความเร็ว(28)มีแรงกดต่อสปริงปรับความเร็ว(29:Speeder Spring) เกิดแรงกดต่อชุด

ตุ้มเหวี่ยงให้หุบเข้า จนกระทั่งสมดุลย์กับแรงเหวี่ยงของชุดตุ้มเหวี่ยง(30) เครื่องยนต์จะเดินอยู่ที่ความเร็วเดินเบา(High Idle Speed)

การเพิ่มความเร็วเครื่อง(Increase Speed) โดยมอเตอร์ตั้งค่าความเร็วเครื่อง(36:Speed Setting Motor) ส่งอาการให้เพลาตั้งค่าความเร็วเครื่อง(33:Speed Setting Shaft)หมุนทวนเข็มนาฬิกา เป็นการส่งอาการให้เพลาเยื้องศูนย์(5:Eccentric)และคันปรับแต่ง(4:Adjusting Lever) ส่งต่ออาการให้ลิ้นนำลูกสูบสปริงปรับความเร็ว(27:Speeder Spring Piston Pilot Valve)เลื่อนไปทางซ้าย เปิดกำลังดันน้ำมันหล่อเข้าดันลูกสูบสปริงปรับความเร็ว(28)ให้เลื่อนไปทางซ้าย เพิ่มแรงกดต่อสปริงปรับความเร็ว(29)(ความแข็งของสปริงเพิ่มขึ้น) จนกระทั่งช่องทางน้ำมันหล่อถูกปิดอีกครั้งโดยลิ้นนำลูกสูบสปริงปรับความเร็ว สปริงปรับความเร็ว(29)จะทำให้ก้านปรับความเร็ว(22)และลิ้นนำลูกสูบทำงาน(16:Actuating Piston Pilot Valve)เลื่อนไปทางซ้ายด้วย ลิ้นนำลูกสูบทำงาน(16)จะเปิดให้กำลังดันน้ำมันหล่อเข้าดันลูกสูบทำงาน(18)ให้เลื่อนไปทางซ้าย เป็นการส่งอาการผ่านชุดคันส่งอาการ(12)ให้คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิง(34)เลื่อนตัวเพิ่มการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจนกระทั่งแรงเหวี่ยงของชุดตุ้มเหวี่ยง(30)สมดุลย์กับแรงสปริงปรับความเร็ว(29)และลิ้นนำลูกสูบทำงาน(16)ปิดช่องทางน้ำมันหล่อ ความเร็วเครื่องจะคงที่ที่ความเร็วสูงขึ้น เนื่องจากความแข็งของสปริงปรับความเร็ว(29)เพิ่มขึ้น

การเพิ่มกำลังงาน(Power lncrease) คือ เครื่องเมื่อภาระ(Load)ของเครื่องเพิ่ม ความเร็วเครื่องจะลดลง แรงเหวี่ยงของชุดตุ้มเหวี่ยงจะลดลงและหุบเข้า ทำให้ก้านปรับความเร็ว(22)และลิ้นนำลูกสูบทำงาน(16)เลื่อนไปทางซ้าย ซึ่งอาการทำงานก็จะเป็นเช่นเดียวกับการเพิ่มความเร็วของเครื่องที่กล่าวมาแล้ว แต่ความเร็วเครื่องจะคงที่ ที่ความเร็วเท่าเดิม เนื่องจากสปริงปรับความเร็ว(29)มีความแข็งเท่าเดิม

เมื่อลดความเร็วของเครื่อง(Speed Decrease) โดยมอเตอร์ตั้งค่าความเร็วเครื่อง(36) ส่งอาการให้เพลาตั้งค่าความเร็วเครื่อง(33) หมุนตามเข็มนาฬิกาเป็นการส่งอาการให้เพลาเยื้องศูนย์(5)และคันปรับแต่ง (4) ส่งต่ออาการให้ลิ้นนำลูกสูบสปริงปรับความเร็ว(27)เลื่อนไปทางขวา เปิดระบายกำลังดันน้ำมันหล่อออกจากลูกสูบสปริงปรับความเร็ว(28) ทำให้ลูกสูบปรับความเร็วเลื่อนไปทางขวาด้วยแรงกดของสปริงปรับความเร็ว(29)(ความแข็งของสปริงจะลดลง) จนกระทั่งช่องทางน้ำมันหล่อถูกเปิดอีกครั้งโดยลิ้นนำลูกสูบสปริงปรับความเร็ว(27) ขุดตุ้มเหวี่ยง(30) จะกางออกส่งอาการให้ลิ้นนำลูกสูบทำงาน(16)เลื่อนไปทางขวาเปิดระบายกำลังดันน้ำมันหล่อออกจากลูกสูบ(18) ทำให้ลูกสูบ(18)เลื่อนไปทางขวาด้วยกำลังดันสปริง(17:Holding Spring) เป็นการส่งอาการผ่านชุดคันส่งอาการ(12)ให้คันแร็ด

น้ำมันเชื้อเพลิงเลื่อนตัวลดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงความเร็งเครื่องจะลดลง จนกระทั่งแรงเหวี่ยงของชุดตุ้มเหวี่ยง(30)สมดุลย์กับแรงกดของสปริงปรับความเร็ว(29)และลิ้นนำลูกสูบทำงาน(16)ปิดช่องทางระบายน้ำมันหล่ออีกครั้ง ความเร็วเครื่องจะลดลงที่ความเร็วต่ำลงเนื่องจากความแข็งของปสริงปรับความเร็ว(29)ลดลง

การลดกำลังงาน(Power Decrease) คือ เมื่อภาระ(Load)ของเครื่องลดลง ความเร็วเครื่องจะเพิ่มขึ้น แรงเหวี่ยงของชุดตุ้มเหวี่ยง(30)จะเพิ่มขึ้นส่งอาการทำให้ปรับความเร็ว(22)และลิ้นนำลูกสูบทำงาน(16)เลื่อนไปทางขวาอาการทำงานก็จะเป็นเช่นเดียวกับการลดความเร็วเครื่องที่กล่าวมาแล้ว แต่ความเร็วเครื่องจะคงที่ ที่ความเร็วเดิมเนื่องจากสปริงปรับความเร็ว(29)มีความแข็งเท่าเดิม

การปรับแต่งย่านความเร็วตก(Droop Adjustment) ในขณะที่มีการเพิ่มการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง คือ ลูกสูบทำงาน(18)เลื่อนไปทางซ้าย จะทำให้ชุดชดเชย(23:Resilient Compensation) ถูกดึงเลื่อนลงด้วยซึ่งจะมีการส่งต่ออาการผ่านคันชดเชย(7:Compensation Lever)และคันหมุน(6:Angular Lever) ให้คันปรับแต่ง(4)ส่งอาการให้ลิ้นนำลูกสูบสปริงปรับความเร็ว(27)เลื่อนไปทางซ้าย แต่มีระยะเลื่อนน้อยกว่าลูกสูบทำงาน(18)ตามการออกแบบ การทำงานดังกล่าวนี้จะถูกหน่วง(Delay) ด้วยลูกสูบหน่วง(25)(Damper Piston)

การปรับแต่งย่านความเร็วตก(Droop) สามารถปรับแต่งได้ที่สลักเกลียวปรับแต่ง(9)(Droop Adjusting Screw)

เมื่อกำลังดันน้ำมันหล่อตกต่ำ(Low Oil Pressure) คือ ต่ำกว่าประมาณ 2 บาร์ ลูกสูบชดเชย(17:Compensation Piston) จะเลื่อนกลับด้วยกำลังสปริง ซึ่งจะมีการทำงานเช่นเดียวกับการเริ่มเดินเครื่องที่กล่าวมาแล้ว คือ จะทำให้เครื่องยนต์จะกลับมาเดินอยู่ที่ความเร็วเดินเบา (Idle Speed)

การซ่อมบำรุงรักษา

รายละเอียดบทที่ 9 ข้อ 11

6.3 เครื่องควบคุมความเร็วแบบอิเล็คทรอนิค R 082 (Electronic Goveronor R 082)

ใช้ได้ทั้งกับเครื่องจักรใหญ่หรือเครื่องขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอนุกรม(Series) 396

ปัจจุบัน ทร. มีใช้กับเครื่องจักรใหญ่เท่านั้น

ผู้ผลิต MTU

แบบ(Type) EMR-R 082

ทำหน้าที่ รักษาความเร็วเครื่องให้คงที่เมื่อภาระเปลี่ยนไป

ปรับแต่งการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อเริ่มเดินเครื่อง

จำกัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุดของเครื่อง

เลิกเครื่องถ้ากระแสไฟฟ้าเข้าระบบ(Power Supply) ขัดข้อง

ลักษณะ

ประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ

ตู้อิเลคทรอนิค(Electronic Box) ภายในประกอบด้วยแผ่นวงจรสำเร็จรูป(Plug-in Card)และอุปกรณ์อิเลคทรอนิคชนิดต่างๆ เช่น รีเลย์ เป็นต้น ใช้กระแสไฟเข้าเลี้ยง(Power Supply) 24 V.DC.

ส่วนควบคุมสุดท้าย(Final Control Ellement) ประกอบอยู่ที่สูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel Injection Pump) ภายในประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ขดลวดแม่เหล็ก(Magnet Coil) จำนวน 2 ขด ทำหน้าที่เป็นหน่วยตั้งค่าความเร็วเครื่อง(Speed Setting Unit)ทำงานด้วยกระแสไฟ 24 V.DC. ค่ากระแสไฟสูงสุด 10 A ในการส่งอาการให้คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงเลื่อนตัวเพื่อเพิ่มหรือลดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง,ความต้านทานป้อนกลับเปลี่ยนค่าได้(Feedback Potentiometer)จำนวน 2 ตัวเป็นตัวตรวจจับการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel-Feed Sensor) ทำหน้าที่วัดระยะเลื่อนแร็คน้ำมันเชื้อเพลิง(ซึ่งมีระยะเลื่อนประมาณ 0-20 mm)จะให้แรงเคลื่อนออกประมาณ 1-8 V. และสปริงดึงกลับ(Return Spring) เป็นสปริงที่ส่งอาการให้คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงเลื่อนตัวไปในทิศทางหยุดเครื่องเครื่อง(Stop)

ตัวตรวจจับความเร็งเครื่อง(Engine Speed Sensor) แบบ(Type) DM 11-A ประกอบอยู่ใกล้กับสูบน้ำจืด(Water Pump) ประกอบด้วยขดลวดจำนวน 2 ขดซึ่งจะกำเนิดสัญญาณแรงเคลื่อนกระแสไฟสลับ(Sine-wave AC.V.)โดยเฟืองขับสูบน้ำจืดจำนวน 2 สัญญาณ มีค่าความถี่สัมพันธ์กับความเร็วเครื่อง(31 pulse/รอบเพลาข้อเหวี่ยง)

การทำงาน

เครื่องควบคุมความเร็วแบบนี้ จะมีการทำงานเป็น 2 ส่วน สัมพันธ์กัน ดังนี้

ส่วนแรก ทำหน้าทีเป็นเครื่องควบคุมความเร็ว(Speed Governor) จะรับค่าความเร็วที่ต้องการ(Rated Speed Value)จากระบบควบคุมระยะไกล(Remote Control System)(ถ้าเป็นเครื่องจักรใหญ่)หรือจากปุ่มกดเพิ่ม/ลดความเร็ว(INC/DEC Push Buttons)(ถ้าเป็นเครื่องขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า)และค่าความเร็วจริง(Actual Speed Value)จากตัวตรวจจับความเร็วเครื่อง ค่าความเร็วทั้งสองจะถูกเปรียบเทียบประมวลผลให้เป็นค่าการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องการ(Rated Fuel-Feed Value)แล้วส่งให้ส่วนทั้งสอง

ส่วนที่สอง ทำหน้าที่เป็นเครื่องควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel-Injection Governor) จะรับค่าการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจริง(Actual Fuel-Feed Value)จากความต้านทานป้อนกลับเปลี่ยนค่าได้ เข้ามาประมวลผลเปรียบเทียบกับค่าการฉีดน้ำมันเชื่อเพลงที่ต้องการจากส่วนแรก ผลจากการเปรียบเทียบจะเป็นค่าที่ส่งไปควบคุมการทำงานของขดลวดแม่เหล็ก(Magnet Coil) เพื่อให้สูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมีการปรับแต่งการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

ถ้าระบบไฟฟ้าเข้าเลี้ยง(Power Supply)ขัดข้อง สปริงดึงกลับ(Return Spring)จะส่งอาการให้สูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมาอยู่ที่ตำแหน่งหยุดเครื่อง(Stop)ทันที

ตรวจจับความเร็วเครื่อง,ตัวตรวจจับการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและขดลวดแม่เหล็กที่มีใช้อย่างละ 2 ส่วน ก็เพื่อสำรองไว้ 1 ส่วน คือ ปกติระบบจะใช้งานเพียงส่วนเดียวซึ่งถ้าส่วนที่ใช้งานอยู่ขัดข้อง ระบบจะเปลี่ยนไปใช้งานส่วนที่ 2 โดยอัตโนมัติ

รายละเอียดต่างๆ ให้ดูในคู่มือ MTU Elektronik.

การซ่อมบำรุงรักษา

รายละเอียด บทที่ ข้อ

6.4 เครื่องควบคุมความเร็วแบบอิเลคทรอนิค Barber Colman

มีใช้ในเครื่องขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

แบบ(Model) DYNA 1+4

บริษัทผู้ผลิต Barber Colman

ทำหน้าที่ จำกัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อเริ่มเดินเครื่อง

ปรับแต่งการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เหมะสมกับภาระความเร็วเครื่อง

ลักษณะ

ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

ตู้ต่อปลายสาย(Junction Box) ภายในประกอบด้วยส่วนและอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ ตู้ควบคุมอิเลคทรอนิค(Electronic Control Box),ความต้านทานเปลี่ยนค่าได้(Potentiometer) จำนวน 2 ตัว ขนาดตัวละ 50 kohms,ความต้านทาน(Resistor)จำนวน 1 ตัวและแผงต่อปลายสายต่างๆ(Terminal)

ตู้ควบคุมอิเลคทรอนิค(Electronic Control Box) จะประกอบวงจรอิเลคทรอนิคที่จะทำงานเปรียบเทียบค่าความเร็วจริงของเครื่อง(Actual Speed Value)กับค่าความเร็วที่ตั้งไว้(Norminal Speed Value) เพื่อส่งอาการไปปรับแต่งการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่อง

ตัวตรวจจับความเร็วเครื่อง(Starter Ring Gear Sensor) ประกอบด้วยขดลวด(Coil) 1 ขด ซึ่งจะกำเนิดเครื่องแรงเคลื่อน(Volltage Puses)ที่มีค่าความถี่สัมพันธ์โดยตรงกับความเร็งเครื่อง

ตัวกระตุ้นการทำงาน(Actuator)ประกอบอยู่ที่สูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel Injection Pump) ภายในประกอบด้วยขดลวดแม่เหล็ก(Solenoid),ความต้านทานเปลี่ยนค่าได้(Potentiometer)และสปริง โดยขดลวดแม่เหล็กและสปริงทำหน้าที่ส่งอาการเลื่อนให้คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel Rack)ในทิศทางตรงข้ามกัน และความต้านทานเปลี่ยนค่าได้จะทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel-feed Sensor)ที่ส่งค่าการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจริงของเครื่องให้ตู้ควบคุมอิเลคทรอนิค

หน่วยตั้งค่าความเร็วเครื่อง(Speed Setting Unit) แบบไฟฟ้า(Electric) ทำหน้าที่ปรับแต่งความเร็วเครื่องโดยอัตโนมัติประกอบด้วยความต้านทานเปลี่ยนค่าได้(Poteniometer) ขนาด 5 Kohms 2 W. ที่ 10 รอบ ได้รับการหมุนปรับแต่งค่าความต้านทานจากมอเตอร์ผ่านเฟือง(Gear)หรือปุ่มหมุน (Knob)ผ่านเฟืองเช่นเดียวกัน,สวิทช์จำกัด 3 ตัว เป็นกลไกที่ทำหน้าที่จำกัดระยะเลื่อนในการปรับแต่งค่าความต้านทานเปลี่ยนค่าได้ของมอเตอร์ คือ S 1 ทำหน้าที่จำกัดความเร็วสูงสุด(Upper Limit) , S 2 ทำหน้าที่จำกัดความเร็วต่ำสุด(Lower Limit)และ S 3 ทำหน้าที่ส่งสัญญาณความเร็วกึ่งกลาง(Intermediate Setting)

การทำงาน

ตู้ควบคุมอิเลคทรอนิคส์ จะได้รับสัญญาณตั้งค่าความเร็ว(Speed Setting Signal) จากความต้านทานเปลี่ยนค่าได้ของหน่วยตั้งค่าความเร็งเครื่องและค่าความเร็วเครื่องจริง(Actual Speed Value)เข้ามาเปรียบเทียบหาค่าความแตกต่างของค่าทั้งสอง ผลของการเปรียบเทียบจะส่งเป็นสัญญาณออกโดยมีการขยายสัญญาณให้ตัวกระตุ้นการทำงาน ส่งอาการให้คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงของสูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมีการปรับแต่งการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับความเร็วและภาระของเครื่อง

การจำกัดระยะเลื่อนคันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้มีการเผาไหม้ดีที่สุด โดยความต้านทานเปลี่ยนค่าได้(10,11) มี 2 ขั้น(Stage) คือ ขั้นที่ 1 ช่วงเริ่มเดินเครื่อง(Start-up) จะเริ่มมีการทำงานได้เมื่อเปิดกระแสไฟเข้าระบบ(Switch on) ขั้นที่ 2 ช่วงเพิ่มความเร็วเครื่อง(Run up) จะเริ่มมีการทำงานได้เมื่อความเร็งเครื่องสูงประมาณ 300 รอบ/นาที โดยรีเลย์ความเร็วเครื่อง(Speed-Sensitive Relay) การจำกัดระยะเลื่อนคันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงนี้สามารถยกเลิกได้โดยการส่งสัญญาณของสวิทช์ต่างๆ คือ กำลังดันอากาศดีเข้าเครื่องหรือความเร็งเครื่องสูงถึง 80 เปอร์เซ็นของความเร็วใช้การ เมื่อการจำกัดระยะเลื่อนคันแร็คมีการทำงานกระแสไฟลบ(-) จะผ่านจุดต่อปลายสายC(Terminal C.)และความต้านทานเปลี่ยน

ค่าได้(ตัวที่ทำงานอยู่ในช่วงนั้น)ให้ตู้ควบคุมอิเลคทรอนิค เพื่อให้มีการจำกัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงเริ่มเดินเครื่อง(Strat up)และช่วงเพิ่มความเร็วเครื่อง(Run-up)

การตั้งค่าความเร็วเครื่อง คือ การเพิ่ม-ลดความเร็วเป็น ดังนี้ คือ เมื่อกดปุ่ม Increase กระแสไฟจะผ่านจุดต่อปลายสาย 4 , สวิทช์จำกัด S1 ตัวแบ่งกระแส(Voltage Divider) R3 , มอเตอร์และกลับทางจุดต่อปลายสาย 5 ทำให้มอเตอร์หมุนให้คานเลื่อน S(Slider) ของความต้านทานเปลี่ยนค่าได้ R1 เลื่อนไปทาง E แต่ถ้ากดปุ่ม Decrese กระแสไฟจะผ่านจุดต่อปลายสาย 5 ,สวิทช์จำกัด S2 , ตัวแบ่งกระแส S 3 , มอเตอร์และกลับทางจุดต่อปลายสาย 4 ทำให้มอเตอร์หมุนให้คานเลื่อน S เลื่อนไปทาง A

รายละเอียดต่างๆ ให้ดูในคู่มือ MTU Elektronik

การซ่อมบำรุงรักษา

รายละเอียดดูบทที่ 9 ข้อ 11

7. อุปกรณ์ตัดการทำงานของสูบ(Cylinder Cut-out)

เป็นอุปกรณ์เพิ่มเติม ใช้ในเครื่องจักรใหญ่บางเครื่องเท่านั้น

ทำหน้าที่ ตัดการทำงานของสูบ(Cut out) 1 แถวสูบ เมื่อเดินเครื่องตัวเปล่า(Idle Speed)และเมื่อเครื่องรับภาระน้อย(Low-load) โดยการตัดน้ำมันเชื้อเพลิง

ข้อดี ทำให้สูบที่จุดระเบิดมีการเผาไหม้ที่ดี

ลดควันขาวที่เกิดจากน้ำมันเชื้อเพลิงไม่เผาไหม้

ทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้จะไปปนน้ำมันหล่อลดลง

ลักษณะ

ส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์ตัดการทำงานของสูบจะประกอบอยู่ที่สูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Injection Pump) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

กลไกลตัดการทำงานของสูบ(Cylinder Cut-out Mechanism)และลิ้นแม่เหล็กไฟฟ้า 3/2 ทาง (3/2 WaySolwnoid Valve)

กลไกลตัดการทำงานของสูบ ประกอบอยู่ภายในสูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ทำงานด้วยกำลังดันน้ำมันหล่อ(จากระบบน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์) ประกอบด้วย

ปลอกสูบชั้นนอก(Outer Cylinder) เป็นส่วนที่ส่งอาการเลื่อนตัวให้กับคันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงชั้นนอก(Control Rack Outer Section)ซึ่งจะส่งต่ออาการหมุนให้ลูกสูบเลื่อน(Plunger)ของสูบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของแถวสูบที่จะมีการตัด-ต่อการทำงาน(Cut-out/Cut-in) และลูกสูบเลื่อนของสูบฉีดน้ำมัน

เชื้อเพลิงของแถวสูบที่จะทำงานจุดระเบิดตลอดเวลาที่เดินเครื่อง จะรับอาการหมุนจากคันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงชั้นใน(Control Rack inner Section)ซึ่งรับการทำงานจากเครื่องควบคุมความเร็ว(Speed Governor)โดยตรง

ลูกสูบ(Piston),สปริงล็อคคันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิง(Control Rack Lock-up Spring)และปลอกสูบชั้นใน(Inner Cylinder) จะเป็นส่วนที่จะตัด-ต่อการส่งต่ออาการ ระหว่างคันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงชั้นนอกกับคันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงชั้นใน

เรือนกลไกลตัดการทำงาน(Cut-out Housing) เป็นที่ประกอบอุปกรณ์กลไกต่างๆและเป็นช่องทางเข้า-ออก น้ำมันกำลังดันหล่อ

ลิ้นแม่เหล็กไฟฟ้า 3/2 ทาง(3/2 -Way Solenoid Valve) ประกอบด้วยขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า(Solenoid)ที่ทำงานด้วยกระแสไฟตรง 24 V.และอาร์เมเจอร์(Armature) ซึ่งถ้าไม่มีกระแสไฟฟ้าเข้าเลี้ยงขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า(De-energized) อาร์เมเจอร์จะส่งอาการให้ลิ้นปิดช่องทางน้ำมันหล่อและเมื่อมีกระแสไฟเข้าเลี้ยงขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า(Energized) จะทำให้อาร์เมเจอร์จะส่งอาการให้ลิ้นเปิดช่องทางน้ำมันหล่อ

การทำงาน

เมื่อลิ้นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่มีกระแสไฟเข้าเลี้ยง(De-energized) ทำให้ลิ้นปิดช่องทางน้ำมันหล่อจากท่อส่งน้ำมันหล่อ(Oil feed) ที่จะเข้าทำงานในกลไกตัดการทำงานของสูบและเปิดระบายกำลังดันภายในกลไกการตัดทำงานของสูบออกภายนอกทางท่อน้ำมันหล่อกลับ(Oil Return) ทำให้คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงชั้นในซึ่งรับอาการทำงานจากเครื่องควบคุมความเร็ว ส่งต่ออาการผ่านสปริงล็อคคันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงให้คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงชั้นนอกเลื่อนไปด้วย ทำให้ลูกสูบเลื่อน(Plunger)ของทั้งสองแถวสูบหมุนตัวให้มีการส่งน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสูบทุกสูบเหมือนกัน นั่นคือ ทุกสูบมีการจุดระเบิดหรือต่อการทำงานของสูบ(Cut-in)

เมื่อลิ้นแม่เหล็กไฟฟ้ามีกระแสไฟเข้าเลี้ยง(Energized) จะทำให้ลิ้นเปิดน้ำมันหล่อจากท่อส่งน้ำมันหล่อ เข้าทำงานในปลอกสูบชั้นในและชั้นนอกของกลไกลตัดการทำงานของลูกสูบและปิดช่องทางน้ำมันหล่อกลับ ทำให้คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงชั้นนอกเลื่อนตัว ส่งอาการหมุนลูกสูบเลื่อนใน 1 แถวสูบ ไปที่ตำแหน่งไม่ส่งน้ำมันเชื้อเพลิงหรือหยุดเครื่อง(Stop) นั่นคือ การตัดของสูบ(Cut-out) 1 แถวสูบ ในขณะที่คันแร็คน้ำมันเชื้อเพลิงชั้นในซึ่งรับอาการจากเครื่องควบคุมเร็วโดยตรง จะส่งอาการหมุนลูกสูบเลื่อนอีก 1 แถวสูบ ให้มีการส่งน้ำมันเชื้อเพลิงตามปกติ นั่นคือ มีการจุดระเบิดตามปกติ 1 แถวสูบ

การซ่อมบำรุงตามระยะเวลา

MTU.Diesel Engines V 396

Application Group 3 A Electric Power Generator(Continuous)

W1	ทุกครั้งที่เดินเครื่อง
W2	250 ชม. หรือ 6 เดือน
W3	1,000 ชม. หรือ 1 ปี
W4	2,000 ชม. หรือ 2 ปี
W5	6,000 ชม. หรือ 6 ปี
W6	24,000 ชม. หรือ 12 ปี

W1

1. ขณะเดินเครื่อง	- ฟังเสียงเครื่อง
	- ตรวจสีของแก๊สเสีย
	- ตรวจการรั่วไหลของเครื่องและท่อทางต่าง ๆ
	- ตรวจรอบเครื่อง อุณหภูมิและกำลังดันต่าง ๆ
2. ระบบแก๊สเสีย	- เดรนน้ำ(เฉพาะเครื่องที่ติดก๊อกเดรน)
3. Pre filter นม.ชพ.	- หมุนหม้อกรองบ่อยครั้ง
4. นม.ชพ.	- ตรวจ Supply
5. น้ำจืดหล่อเครื่อง	- ตรวจระดับน้ำจืด
6. น้ำมันหล่อลื่น	- ตรวจระบบ นมล.
7. ระบบลมสตาร์ท	- ตรวจ Supply
	- เดรนน้ำในระบบ

W2

1.ทางดูดอากาศ	- ตรวจระบบการทำงานของ Flap อากาศฉุกเฉิน
	- ตรวจการรั่วไหลและความแข็งแรงของท่อทางดูดอากาศ
2. น้ำจืดหล่อเครื่อง	- น้ำตัวอย่างน้ำจืดใบตรวจสอบ
	ดู Working Materials Spec. No.1061

3. น้ำมันหล่อลื่น	- นำตัวอย่าง นมล.ไปตรวจสอบ
4. Filter นมล.	- เดรน นมล. สกปรกและตรวจหาเศษโลหะ
5. น้ำมันหล่อ	- เปลี่ยน = เครื่องยนต์ที่ไม่มี Secondary Fion Filter = เครื่องยนต์ที่มี Secondary Fion Filter ทุก 2 ครั้ง ของการ Maintenance
6. Secondary Flow	- เปลี่ยน Insert และ Seailng Ring ,ทำความสะอาด Housing ทุก 2 ครั้ง ของการ Maintenance
7. Filter นมล.	- เปลี่ยน Fine Filter Inserts และ Sealing Ring
8. ระบบลมสตาร์ท	- เติม นมล.ของ Air Compressor ให้ได้ระดับ
9. V–Belts	- ตรวจสถานะ และ Tension

W3

1. จุดหล่อลื่น	- อัดจาระบีตามจุดต่าง ๆ
2. Valve Gear	- ตรวจ Supply ของ นมล.(โดยการสังเกต) - ตรวจ Clearance ของลิ้นและตั้งใหม่
3. ส่วนต่อเครื่องบังคับ	- ตรวจให้มีการหมุนโดยอิสระและทำการหล่อลื่น
4. หม้อกรองอากาศ	- ทำความสะอาด
5. ระบบแก๊สเสีย	- ตรวจความหนาแน่นของท่อแก๊สเสียและ Turbochargers - ทดสอบโดยการเดรนน้ำเพื่อ Free Passage
6. Filter นม.ชพ.	- เดรนน้ำมันให้หมดมเปลี่ยน Paper Inserts ทำความสะอาด Filter Tube Insert
7. Pre filter นม.ชพ.	- ทำความสะอาด
8. Pump น้ำจืด	- ตรวจ Relief Bore เพื่อ Free Passage
9. Pump น้ำทะเล	- ตรวจ Relief Bore เพื่อ Free Passage
10. Water Recooler	- ตรวจการทำงานของครีบและอัดจาระบีส่วนต่อ
11. น้ำทะเล	- ตรวจสอบ Supply
12. น้ำจืดหล่อเครื่อง	- ตรวจการทำงานของ Water Lever Control Switch

13. ระบบลมสตาร์ท	- ทำความสะอาด Filter หรือเปลี่ยนไส้กรอง
14. แบตเตอรี่	- ตรวจประจุ ความหนาแน่นน้ำกรดและระดับ
	- เปลี่ยน นมล.
	- ทำความสะอาดหม้อกรอง
15. Compressor	- ทำความสะอาดอุปกรณ์วัด นมล.
	- ทำความสะอาดลิ้นทางดูดและลิ้นอัด
16. Coupling	- ตรวจสอบอัตราการอัด
17. V–Belts	- Re–Tension
W4	
1. กระบอกสูบ	- ตรวจสอบอัตราการอัด
2. Valve Gear	- ตรวจส่วนประกอบ(โดยการสังเกต)
3. ทางดูดอากาศ	- ตรวจ Charge Air Pressure
4. หัวฉีด	- ถอดทำการ Test เปลี่ยนถ้าจำเป็น
5. Filter นม.ชพ.	- เปลี่ยน Filter Insert
6. น้ำจืดหล่อเครื่อง	- ทำความสะอาดระบบและเปลี่ยนน้ำจืด
7. Starter	- อัดจาระบีหัวต่อด้วย Contact Grease
8. ระบบกันสะเทือน	- ตรวจสอบความหนาแน่นของ Screws
9. อุปกรณ์ตรวจเช็ค	- ตรวจเครื่องมือในการตรวจเช็คต่างๆ เพื่อการทำงานที่สมบูรณ์
10. Compressor	- เปลี่ยนลิ้นทางดูดและลิ้นอัด
11. Dynamo	- ตรวจ Coupling
	- ตรวจแปรงถ่าน
12. การทำงานของเครื่อง	- ตรวจการทำงานและ Delaying Time
W5	
1. Gear Train	- ตรวจสอบขณะติดตั้ง
2. Crankdrive	- ตรวจด้วยสายตาโดยผ่าน นมล.ใน Oil Pan
	- ตรวจการทำงานของ Cylinder Linners

	- ตรวจ Piston Crown (ด้วยสายตา) และทำความสะอาด
	- สำหรับแบ็งค์เดียว ถอด 1 ลูกสูบพร้อม Conrod และ ตรวจ ถอด 1 Cylinder Line ตรวจสอบ Cylinder Liner และส่วนที่มีน้ำหล่อใน Housing
3. Cylinder Heads	- ถอด กลับหน้าลิ้นและ Valve Seats
	- เปลี่ยน Gasket ของ Cylinder Head และSealing Rings ของน้ำจืดและน้ำมันหล่อ
	- เปลี่ยน(O-Rjngs ของ Protecting Sleeve ของน้ำจืดและน้ำมันหล่อ
4.Valve Fear	- ถอด Rockers และตรวจสอบ
	- เช็คความสึกหรอของ Valve Tappets
5.Turbocharger	- ถอดทำความสะอาด เช็คกระยะเบียดของ Bearing
	- ทำ Pressure Test ด้วยน้ำ
6. ทางอากาศดี	- ถอดทำความสะอาด
7. ท่อแก๊สเสีย	- ถอดทำความสะอาด เปลี่ยน Gasket
8. Charge Air Cooler	- ทำความสะอาดตรวจหาจุดรั่วไหล
9. ระบบแก๊สเสีย	- ตรวจสถานะการติดตั้ง
10. ท่อแก๊สเสีย	- ทำ Pressure Test ด้วยน้ำ
11. Injection Pump	- ถอด Test
12. Injection Pump	- ตรวจเช็คกำลังดัน Coupling เปลี่ยน Seals ของ Plug–In Sleeves
	- ตรวจการเริ่มต้นการส่ง
	- เปลี่ยน Fine Filter Insert ของ Sealing Oil Filter
13. นม.ชพ.	- ทำความสะอาดถัง ตรวจเช็คข้อต่อและท่อทาง
14. Pump น้ำจืด	- ตรวจเช็คชิ้นส่วนต่างๆ เปลี่ยน Gaskets
15. Pump น้ำทะเล	- ตรวจเช็คชิ้นส่วนต่างๆ เปลี่ยน Gaskets
16. Water Recooler	- ตรวจทำความสะอาดทดสอบหาจุดรั่วไหล

17. น้ำจืดหล่อเครื่อง	- ตรวจเช็ค Preheating
18. พัดลมระบายอากาศ	- ทำความสะอาดครีบระบายอากาศ
19. น้ำจืดหล่อเครื่อง	- ทำความสะอาดถัง ตรวจสอบข้อต่อท่อทาง
20. Heat Exchanger	- ถอดทำความสะอาด ตรวจหาจุดรั่วไหล
21. Filter นมล.	- ถอดเปลี่ยน Gasket ทำความสะอาด Housing เปลี่ยน Insert
22. นมล.	- ทำความสะอาดถัง ตรวจสอบข้อต่อและท่อทาง
23. Heat Exchanger	- ตรวจเช็ค Control Valve และ By–Pass Valve
24. Starting Valve	- ตรวจสอบหาจุดรั่วไหล
25. ระบบลมสตาร์ท	- Test Starting Valve
26. ท่อทางลมสตาร์ท	- ถอดทำความสะอาด
27. Starting Air Distrtbutor	- ถอด ทดสอบ ตั้งใหม่
28. ระบบลมสตาร์ท	- ตรวจสอบขวดอากาศตาม Safety Rules
29. Starter	- ถอดและทดสอบ
30. ระบบกันสะเทือน	- ตรวจเช็ค Alignment ของเครื่อง
31. อุปกรณ์ตรวจเช็ค	- เปลี่ยนอุปกรณ์รับอากาศและชุดควบคุม
32. Dynamo	- ถอดและทดสอบ
33. Generator	- เปลี่ยนจาระบี หรือ นมล.ของ Bearing
34. Generator	- ตรวจเช็คค่าต่างๆ ถ้าจำเป็นทำความสะอาด Generator และอบแห้ง
35. การทำงานของเครื่อง	- ตรวจเช็ค ตั้งใหม่ถ้าจำเป็น
36. พัดลม Mech	- เปลี่ยนจาระบีและเพลาหัวพัดลม Tensioning Roller และ Drive Coupling - เปลี่ยน Rearing และ V–Belts

W6

เปลี่ยนเครื่องยนต์ และ เครื่องเก่านำไปรื้อออกตรวจสอบภายหลัง

<u>Maintenance เมื่อหยุดเครื่องนาน</u>

ถ้าเครื่องยนต์ไม่ได้ใช้งานมาเป็นเวลานาน การบำรุงรักษาต้องกระทำตามเวลาที่กำหนด เครื่องยนต์ต้องเริ่มต้นบำรุงรักษา(ประจำเดือน) และ Warmed Up ด้วย Load บางส่วน หลังจากนั้นเดินเครื่องประมาณ 30 นาที ด้วย Load ประมาณ 60–80 % ของ Load ต่อเนื่อง

One Time Additional Operation

สำหรับเครื่องยนต์ใหม่หรือหลังจากการบำรุงรักษา W5 หรือ การบำรุงรักษา W6 การปฏิบัติและการตรวจสอบจะต้องกระทำภายหลัง 50 ชม.แรกของการใช้งาน

W6

1. ส่วนติดตั้ง	- ตรวจสอบสลักยึดให้แน่นหนา
2. Valve Gear	- ตรวจเช็ค Clearance ของลิ้น ตั้งใหม่ถ้าจำเป็น
3. ทางดูดอากาศ	- ตรวจสอบสลักยึดให้แน่นหนา
4. ระบบแก๊สเสีย	- ตรวจสอบสลักยึดให้แน่นหนา
5. Main Filter	- เดรนน้ำมันออกเปลี่ยน Paper Insert
6. Pre filter นม.ชพ.	- ทำความสะอาด
7. Pump น้ำจืด	- ตรวจ Relief Bore เพื่อ Freeness
8. Pump น้ำทะเล	- ตรวจ Relief Bore เพื่อ Freeness
9. นมล.	- เปลี่ยน
10. Filter นมล .	- เปลี่ยน Insert
11. ระบบกันสะเทือน	- ตรวจความหนาแน่นสลักยึด

การเตรียมเครื่องมือซ่อมทำ เครื่องยนต์ MTU 396

1. ประแจชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นเครื่องมือพื้นฐานปกติ ไขควง ค้อน สกรู ฯลฯ
2. S4.1 Tool set for compression pressure recorder
3. S5.1 Tool set as supplementary set
4. S5.2 Group crankassembly
5. S5.3 Group cylinder head
6. S5.4 Group valve control gear and group injection pump
7. S5.5 Group engine cooling (for water pump)
8. S5.6 Group engine cooling (for sea water pump)
9. S5.7 Group Dynamo-bearing housing
10. S5.8 Group measuring tools
11. S5.9 Group hydraulic presses
12. S6.1 Group lifting gear
13. S6.2 Group crankcase (Assembly truck)
14. S6.3 Assembly stand for the complete engine
15. S6.4 Group crankcase
16. S6.5 Group crankassembly
17. S6.6 Group valve control gear and group injection equipment (injection timer)
18. S6.7 Group accessories (mechanical) coupling TEK 450/650
19. S6.8 Group oil pump
20. S6.9 Group governor
21. S6.10 Group measuring tools
22. S6.11 Group machining tools heli-coil tools, manual handing
23. S6.12 Group Electrical Units
24. เครื่องมือวัดความแข็งแบบปล่อยกระทบ Fallhartepriifer F1 (cankshaft)
25. รถเข็นสัมภาระชานต่ำ 1 คัน
26. โคมไฟส่งในที่มืด

27. ไฮโดรลิคส์ความดัน 600 bar และ 4300 PSI พร้อมโต๊ะรถเข็น
28. STAND GAUGE พร้อมแท่นหินระดับ 0 NO SokkI st-003
29. DIGITAL LINER GAUGE 0 NO SokkI EG-103
30. Aussenmikrometer 50-75 ม.ม.(Micrometer) ใช้วัดความสูงของ Outer race ball Bearing และ Roller Bearing ชุดหน้าแปลนเพลา
31. Dial caliper หรือ Depth Gauge ขนาด 200 ม.ม. สำหรับการวัดชุด Thrust Bearing หน้าแปลนเพลาด้าน KS
32. เตาอบ Heraens Type UT 6200 300^{O} C 1N/PE 230 V 1 ตู้ เพื่ออบ End cover และ Adjusting Ring ในการใส่ Outer race Roller Bearing และอุปกรณ์สวมวัดต่าง ๆ
33. ตู้เย็นขนาด 0.5 คิว เพื่อเก็บสารเคมี
34. ตู้เย็นเครื่องมือวัด 10 ลิ้นชัก ด้านบนเป็นโต๊ะวางเครื่องมือวัด
35. ปากกาจับก้านสูบปากเยื้องศูนย์ขนาด 150 mm DAWN
36. ฐานแท่นติดตั้ง Dialgauge วัดความคดและบิดก้านสูบ
37. เครื่องมือ ปาดหน้าลิ้น
38. Bargauge คู่ติดตั้ง Dialgauge สำหรับวัดหาค่า clearance ยอดสูบ
39. เครื่องมือกดแขนกลมาตรฐานโรงงานสำหรับการซ่อมทำ Governor
40. ชุดทำเกลียวมิล 1 ชุด
41. โต๊ะทำงานพร้อมปากกาจับงาน No 6 1 ชุด ขนาด 80x300x75 ซม.
42. กระดาษเช็ดมือ 2 ม้วน (ขนาดใหญ่)
43. ชั้นเก็บอุปกรณ์อะไหล่ที่ถอด
44. ถาดใส่น๊อตมีหมายเลขกำหนด จำนวน 7 ถาด
45. ถาดใส่ลูกปืน เพลา พร้อมหมายเลขกำหนด จำนวน 7 ถาด
46. สแตนบันได 4 ระดับ 150x60 (ชั้นบน) x 120 ซม. จำนวน 2 แท่น
47. รถแคร่สำหรับวางเครื่องและเลื่อนเครื่อง 1 คัน
48. ฐานแท่นสำหรับพลิกเครื่อง 1 แท่น
49. กระดาษรองรับอุปกรณ์ที่ถอด
50. ผ้าพลาสติกสำหรับคลุมเครื่องที่ถอด

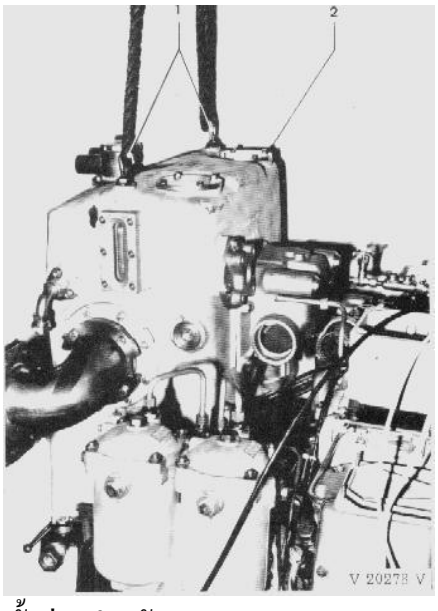
51. แท่นไม้รองรับเพลา
52. ฐานแท่น Roller รับเพลา

คู่มือ/เอกสารในการถอดประกอบการซ่อมทำขั้น W-6

1. MTU service diesel engine V396 T..3 Maintenance manual MO 20028/00 E
2. MTU service diesel engine V396 TC.2 Maintenance manual MO 20026/00 E
3. MTU service diesel engine 8V396 TE 74K Maintenance manual MO 20086/00 E
4. MTU service diesel engine 6V – 16V 396-04 Tool list M004021/30DE
5. MTU diesel engine V396 TB.3, TC.3 Tolerance and wear limits list MO 70018/10E
6. MTU service spare parts catalogue 8V 396 TB 63 MO 30590/KO QE
7. แผ่นบันทึกผลการตรวจสอบ Main bearing journal dia และ Crank pin dia
8. แผ่นบันทึกผลการตรวจสอบ Main bearing journal dia และ Crank pin dia
9. แผ่นบันทึกผลการตรวจสอบ Crank shaft data sheet
10. แผ่นบันทึกผลการตรวจสอบอุปกรณ์ประกอบฝาสูบ Valve และ Rockerarm
11. แผ่นบันทึกผลการตรวจสอบ Cylinder head Guide bush, Rockerarm Ablank
12. แผ่นบันทึกผลการตรวจสอบ Connecting rod
13. แผ่นบันทึกผลการตรวจสอบ Crank shaft data sheet Crankpin OD และ wep
14. แผ่นบันทึกผลการตรวจสอบ Cylinder Liners (installed)
15. แผ่นบันทึกผลการตรวจสอบ Cylinder Liner fit
16. แผ่นบันทึกผลการตรวจสอบ Valve and injection timing
17. แผ่นบันทึกผลการตรวจสอบ End plays and tooth backlash
18. แผ่นบันทึกผลการตรวจสอบ Crankcase bores

ขั้นตอนการถอดถอนเครื่องยนต์ MTU 396 ขั้น W6

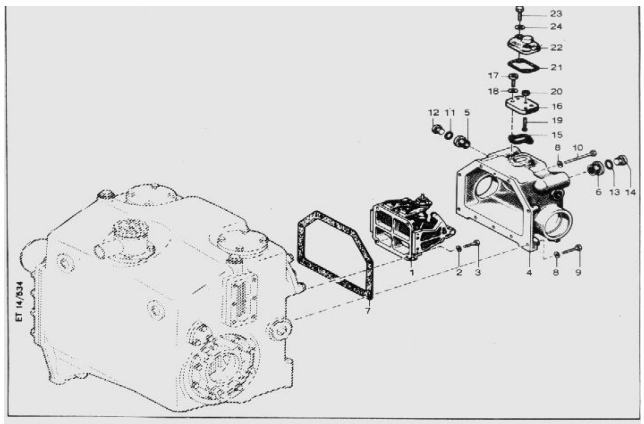
1. ทำการปลดสายไฟฟ้าจากอุปกรณ์ของเครื่องยนต์ทั้งหมด
2. ถอดตัว transducer block ของระบบควบคุมออก
3. ถอดฝาครอบกันความร้อน (cooling jacket) ของ turbocharger ออก
4. ถอดหม้อกรองอากาศ (wet air filter) บริเวณ flywheel ออก
5. ถอดระบบระบายความร้อนและท่อทางน้ำทะเลระบายความร้อนของเครื่องออกทั้งหมด
6. ถอดชุด coolant expansion tank ออก เพื่อความสะดวกและปลอดภัยในการถอดชุด coolant expansion tank ควรติดตั้งห่วงเพื่อทำการยกบริเวณด้านบนของ ชุด coolant expansion tank พร้อมคล้องเชือกเพื่อเป็นการยกชุด coolant expansion tank ไว้ก่อน ตามรูป



การติดตั้งห่วงสำหรับยกชุด Coolant expansion tank

จากนั้นทำการถอดสลักต่าง ๆ บริเวณ housing ของ ชุด coolant expansion tank ที่ติดกับตัวเครื่อง

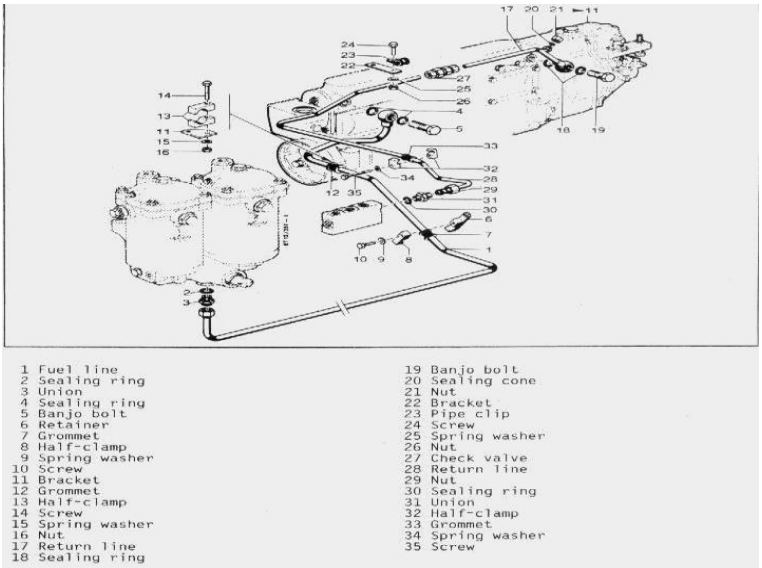
7. ถอดชุด thermostat ในหม้อน้ำออก โดยชุด thermostat ที่ประกอบติดกับชุด coolant expansion tank แสดงตามรูป



ชุด Thermostat ในหม้อน้ำ

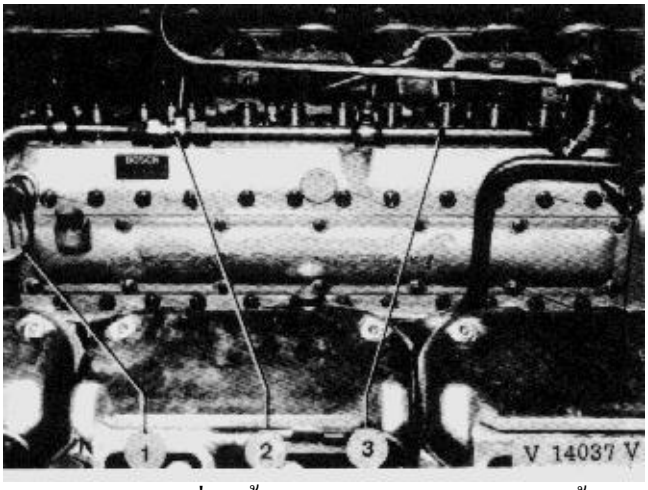
การถอดชุด thermostat ในหม้อน้ำกระทำได้โดยการถอดสลักต่าง ๆ ของชุด thermostat ที่ติดกับ housing ของ ชุด coolant expansion tank

8. ถอดชุด exhaust elbow downstream ที่ต่อจาก turbocharger ออก
9. ถอดถอนระบบท่อทางน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมดออกจากตัวเครื่องยนต์ ซึ่งระบบท่อทางน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ MTU 396 แสดงตามรูป



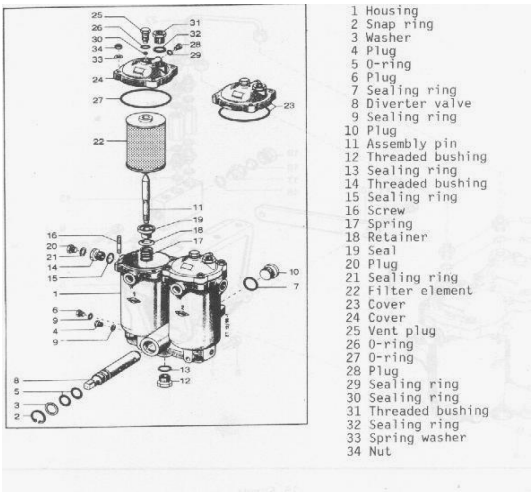
ระบบท่อทางน้ำมันเชื้อเพลิง

ซึ่งการถอดระบบท่อทางน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นจะเริ่มจากการถอด leak fuel lines และ damping strips ออกจาก valve gear housing จากนั้นทำการถอดท่อน้ำมันเชื้อเพลิงบริเวณ collector housing พร้อมทั้ง o-ring และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการถอดท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกลับถังพร้อมกับถอดcheck valve บริเวณท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกลับถัง ซึ่ง check valve บริเวณท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกลับถัง จะติดตั้งอยู่ในระบบท่อทางน้ำมันเชื้อเพลิงกลับถังตามรูป

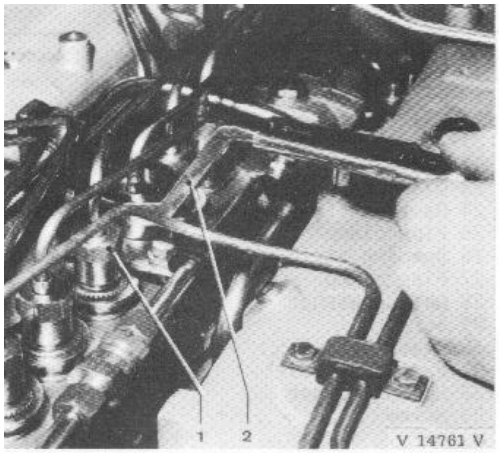


หมายเลข 2 ตามรูปจะเป็นบริเวณที่ติดตั้งของ check valve ในระบบน้ำมันเชื้องเพลิงกลับถัง

10. ถอดหม้อกรองน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมดของเครื่องยนต์ออก โดยเริ่มจากการถอด check valve บริเวณด้านล่างของหม้อกรองออกก่อน จากนั้นทำการถอด screw ทั้งหมดที่ติดอยู่กับหม้อกรองเพื่อทำการถอดไส้กรองออกจาก case โดยส่วนประกองทั้งหมดของหม้อกรองน้ำมันเชื้อเพลิงแสดงตามรูป

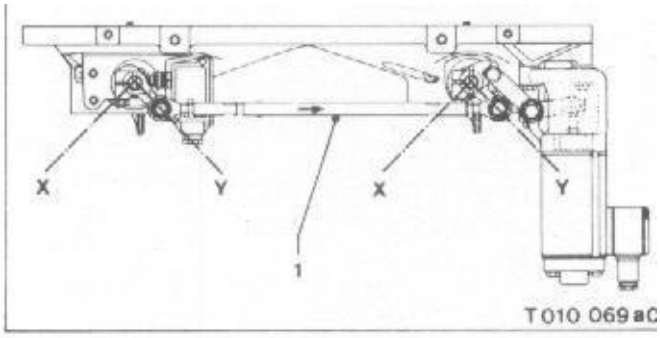


11. ถอดระบบท่อทางน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงของเครื่องยนต์ออก ซึ่งระบบท่อทางน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนสูบของเครื่องยนต์ ซึ่งการถอดท่อทางน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูงนั้นจะต้องใช้เครื่องมือพิเศษเพื่อถอดท่อน้ำมันเชื้อเพลิงออกจาก fuel injection pump ตามรูป



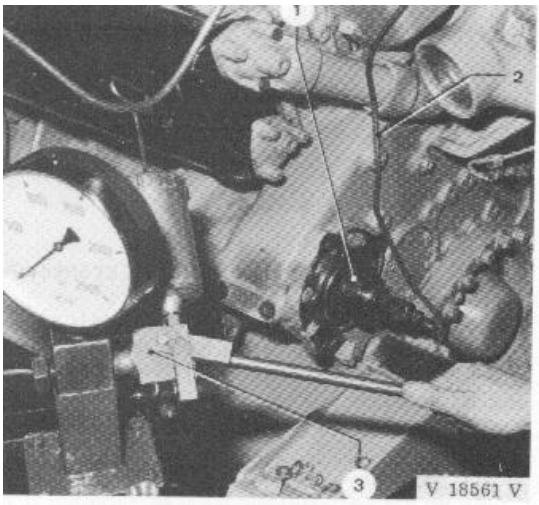
การถอดท่อน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูง

12. ถอดชุดพัดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ (fuel feed pump) ออก
13. ถอดชุดระบบควบคุมการจ่ายลมเข้าเครื่องยนต์ออกจากตัวเครื่องยนต์
14. ถอดชุด emergency air flap ตัวที่ติดตั้งอยู่ทางด้านก่อนเข้า intercooler
15. ถอดชุด emergency air flap ตัวที่ติดตั้งอยู่ทางด้านทางออกของ intercooler โดยชุด emergency air flap จะเป็นชุด solenoid ซึ่งการถอดนั้นให้ถอด screw ที่ยึดชุด solenoid ออก โดยส่วนประกอบของชุด emergency air flap แสดงตามรูป



16. ถอดถอยระบบท่อทางน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ออกทั้งหมด

17. ถอดถอน turbocharger ของเครื่องยนต์ออกทุกตัว ซึ่งตำแหน่งการติดตั้ง turbocharger นั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนสูบของเครื่องยนต์แต่ละเครื่องดังนั้นการถอดชุด turbocharger ผู้ปฏิบัติงานควรใช้คู่มือ maintenance manual ของเครื่องยนต์แต่ละเครื่องเป็นหนังสืออ้างอิงในการถอด เนื่องจากขนาดและตำแหน่งการติดตั้งจะแตกต่างกัน
18. ถอดถอนระบบท่อทางแก๊สเสียของเครื่องยนต์ออกทั้งหมด
19. ถอดชุด engine oil filter with carriers ออกทั้งหมด
20. ถอดถอนชุดพัดจืดน้ำระบายความร้อนของเครื่องยนต์ออก ซึ่งการถอดชุดพัดน้ำจืดระบายความร้อนของเครื่องยนต์จะต้องใช้การอัดกำลังดันของน้ำมันไฮดรอลิกส์ ซึ่งต้องใช้กำลังดันประมาณ 1500 bar โดยผู้ปฏิบัติงานจะต้องทำการติดตั้งชุด hydraulic hand pump บริเวณ catcher plate ซึ่งระยะ clearance ในการติดตั้งในประมาณ 5 มม. โดยการติดตั้งชุด hydraulic hand pump แสดงตามรูป

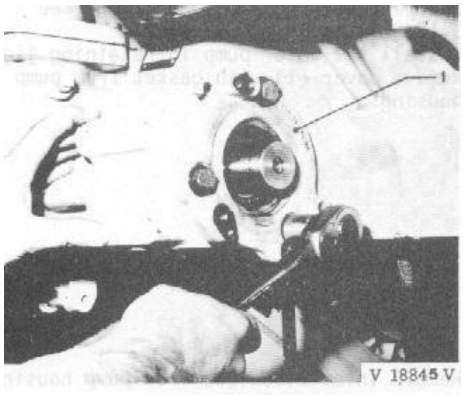


การติดตั้งชุด hydraulic hand pump เพื่อถอดชุดพัดน้ำจืดระบายความร้อน

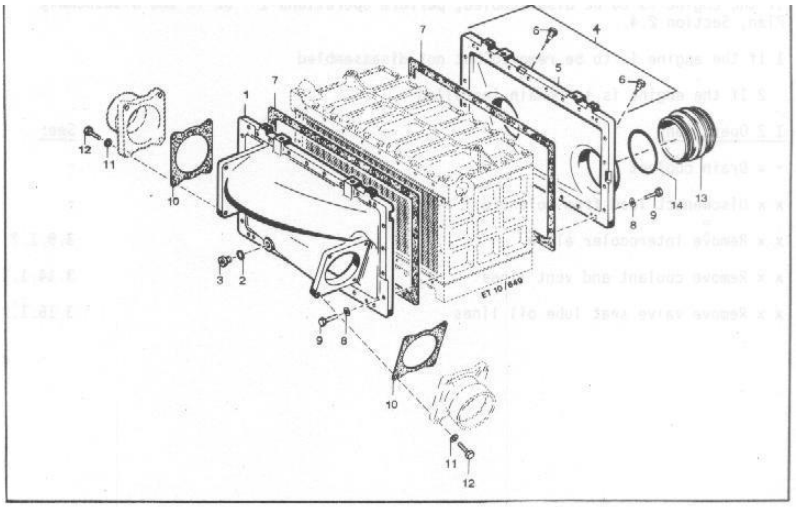
เมื่อทำการอัด hydraulic เพื่อถอดชุดพัดน้ำจืดระบายความร้อนออกแล้วให้ทำการถอด screw ออกจาก bearing flange ที่ยึดชุดพัดน้ำจืดระบายความร้อนออก จากนั้นให้ทำการถอดท่อระบายอากาศและทำการยกชุดพัดน้ำจืดระบายความร้อนออกจากตัวเครื่อง

21. ถอดถอนชุดพัดน้ำ (bilge pump) ของเครื่องยนต์ออก โดยทำการถอดท่อทางน้ำมันหล่อของเครื่องออกจาก intermediate flange ก่อน จากนั้นทำการถอด screw ที่ยึดชุดพัดน้ำออก

22. ถอดถอนชุดพัดน้ำทะเลระบายความร้อน (raw water pump) ออก โดยการถอดนัตต่าง ๆ ที่ยึดชุดพัดน้ำทะเลระบายความร้อนให้ติดกับตัวเครื่องออก ตามรูป

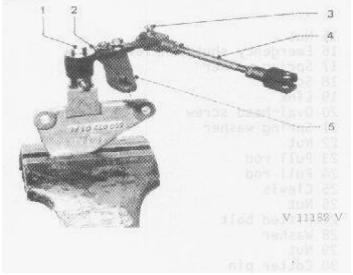


23. ถอดชุด intercooler ออกจากเครื่องยนต์ โดยเริ่มจากการถอด screw ที่ยึดบริเวณใต้ intercooler ออก จากนั้นทำการติดห่วง lifting hooks เพื่อทำการติดเชือกร้อยบริเวณด้านบนของ intercooler จากนั้นให้ทำการถอดท่อทางต่าง ๆ ที่ติดกับ intercooler ออก และขั้นตอนสุดท้ายให้ถอด screw ที่ยึด intercooler กับชุด flywheel housing ออกเพื่อทำการยกชุด intercooler ออกจากเครื่องยนต์ ซึ่งส่วนประกอบภายใน intercooler แสดงตามรูป



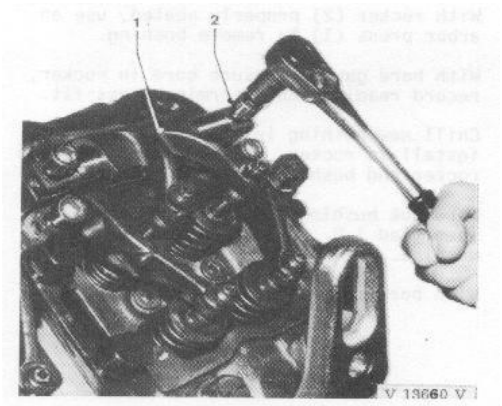
ส่วนประกอบภายใน intercooler

24. ถอดชุด speed transmitter with drive ออก โดยทำการถอด clamp bolt ออกจาก flange จากนั้นให้ทำการถอดชุด speed transmitter, snap ring, speed transmitter coupling และ drive shaft ออก ตามลำดับ
25. ถอดชุดจ่ายลมสตาร์ทเครื่องยนต์ (Starting Air distributor) ออก
26. ถอดลิ้นลมสตาร์ทและลิ้นลมไล่อากาศออก
27. ถอดอุปกรณ์การสตาร์ทเครื่องยนต์ออก
28. ถอดชุด crankcase breather ออก โดยเริ่มจากการถอด vent line ออกจาก cover จากนั้นให้ทำการถอด screws, spring washer และชุดฝาปิดและ air filter ออก ซึ่ง air filter จะเป็นชนิด wet-type และขั้นตอนสุดท้ายให้ทำการถอดสลักยึด breather housing ออก
29. ถอดหม้อดับความร้อนน้ำมันหล่อลื่น (engine oil heat exchanger) ออก โดยจะต้องติดห่วงด้านบนของ coolant housing ก่อนเพื่อยึดไม่ให้ coolant housing ซึ่งมีน้ำหนักค่อนข้างมากร่วงลงมาในขณะถอดสลักยึด จากนั้นให้ทำการถอดสลักยึดชุดหม้อดับความร้อนน้ำมันหล่อลื่นออก
30. ถอดท่อทางอากาศดีเข้าเครื่อง (air feed pipe) ออก
31. ถอดปั๊มน้ำมันหล่อลื่นสำหรับหล่อลื่นบ่าวาล์ว (oil pump for valve seat lubrication) ออก
32. ถอดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (fuel injection nozzles) ออกทั้งหมด ผู้ปฏิบัติงานจะต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการถอดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง จากนั้นให้ทำการคลาย thrust screw ที่ประกอบอยู่กับ thrust sleeve และ nozzle holder จากนั้นให้ทำการถอด backup ring และ CE-ring ออกจากฝาสูบ
33. ถอด control linkage ออก โดยเริ่มจากการถอด cotter pin โดยการถอด castel nut และ fitting bolt ออกจาก คันบังคับชุด control governor จากนั้นทำการถอด flange ออกจาก คันบังคับชุด control governor และถอด pull rod ออกจากชุด air/coolant manifold



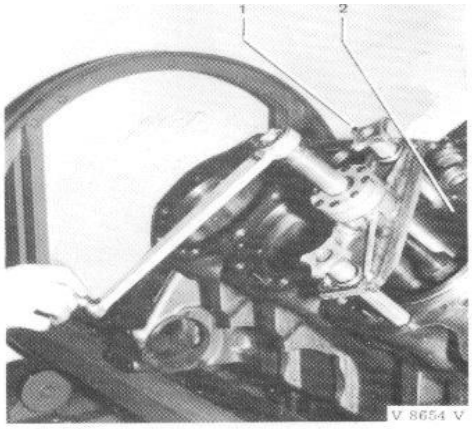
ให้ทำการถอด screw (หมายเลข 1 ตามภาพ) ออกจากชุด control lever และถอด washer, control lever (หมายเลข 2 ตามภาพ) และเพลาของชุด control linkage ออก จากนั้นถอด คันบังคับ (หมายเลข 5 ตามภาพ), fitted bolt (หมายเลข 3 ตามภาพ) ออกจาก pull rod ที่สำคัญคือก่อนที่จะทำการถอด pull rod จะต้องทำการวัดระยะความกว้างของ clevises เสียก่อน

34. ถอดปั๊มหัวฉีดออกจากชุด governor โดยก่อนถอดจะต้องทำการตั้งลูกสูบของเครื่องโดยให้สูบ A1 อยู่ในตำแหน่งศูนย์ตายบนเสียก่อนจึงจะสามารถดำเนินการถอดได้ ถอดเฟืองขับปั๊มหัวฉีดออกจากชุดปั๊มหัวฉีด
35. ถอดชุดควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (fuel injection timer) ออกจากชุดปั๊มหัวฉีด
36. ถอดฝาครอบหมู่ลิ้นแต่ละสูบ (valve gear housing) ออก
37. ถอดกระเดื่องกดลิ้น (rocker arm) ออกทั้งหมด โดยทำการถอดสลักยึดชุดกระเดื่องกดลิ้นออกตามรูป



38. ถอดฝาสูบ (cylinder head) ออกทั้งหมด
39. ถอด roller tappet ออกทั้งหมด
40. นำเครื่องยนต์ขึ้นติดตั้งบนแท่นหมุนเครื่องยนต์ (swiveling assembly stand)
41. ถอดอ่างน้ำมันเครื่อง (oil pan) ออก
42. ถอดเฟืองเกียร์ขับปั๊มน้ำมันหล่อลื่นออก
43. ถอดปั๊มน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ออก
44. ถอดชุดเพลาลูกเบี้ยว (camshaft) ออก
45. ถอดลูกสูบและก้านสูบออกทั้งหมด

46. ถอดชุด sealing ring carrier ทางด้านหน้าบริเวณ flywheel และทางด้านหลังของเครื่องยนต์ออก
47. ถอด flywheel ออก
48. ถอดฝาครอบ flywheel ออก
49. ถอดเพลาข้อเหวี่ยง (crankshaft) ออก
50. ถอดงวงฉีดน้ำมันหล่อลื่นระบายความร้อนใต้ลูกสูบ (oil spray nozzle for piston cooling) ออก
51. ถอดปลอกสูบทั้งหมดออกจากเสื้อสูบ โดยการถอดจะต้องติดตั้งเครื่องมือพิเศษในการถอด liner ตามรูป



เมื่อติดตั้งเครื่องมือเรียบร้อยแล้วให้ทำการกวดเครื่องมือเพื่อทำการดูด liner ออก

52. ถอด idler gears ออก
53. ถอด camshaft bearing bush ออกทั้งหมด
54. ถอดสลักยึดแบริ่งรับเพลาข้อเหวี่ยง (crankshaft bearing cap) ออกทั้งหมด
55. ถอดชุด pressure relief และ pressure control valve ออก
56. ถอดชุดผลิตกระแสไฟฟ้า (ถ้ามี) ออก

การตรวจสอบและวัดหาค่าและประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ

การตรวจสอบและวัดหาค่าของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ MTU 396 ตามคู่มืออ้างอิงของบริษัท MTU นั้นจะใช้คู่มือ Maintenance manual และคู่มือ Tolerance and wear limits list ในการตรวจสอบค่าของชิ้นส่วนต่าง ๆ เป็นข้อมูลอ้างอิงในการซ่อมทำซึ่งคู่มือทั้ง 2 เล่มนั้นค่าของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในเครื่องยนต์ MTU

396 จะขึ้นอยู่กับรุ่นของเครื่องยนต์ MTU 396 ที่ใช้ในแต่ละลำ โดยการซ่อมทำผู้ดำเนินการจะต้องเปิดคู่มือทั้ง 2 เล่มประกอบการซ่อมทำให้ตรงกับรุ่นของเครื่องยนต์ MTU 396 นั้น ๆ และในคู่มือดังกล่าวการตรวจสอบและวัดหาค่าประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ จะเรียงลำดับตามกลุ่มหรือ group ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในเครื่องยนต์ ซึ่งการแบ่ง group นั้นส่วนประกอบหลัก 20 group แรกของเครื่องยนต์แต่ละรุ่นจะเหมือนกันส่วน group ที่เหลือนั้นจะขึ้นอยู่กับการใช้เครื่องยนต์ MTU 396 ในเรือลำนั้นเป็นเครื่องจักรใหญ่หรือเครื่องขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งในคู่มือการซ่อมทำเครื่องยนต์ MTU 396 เล่มนี้จะกล่าวเพียงส่วนประกอบหลัก 20 group แรกของเครื่องยนต์เท่านั้น โดยการแบ่ง group ตามคู่มือทั้ง 2 เล่มจะแบ่งตามส่วนประกอบใหญ่ ๆ ของเครื่องยนต์ ดังนี้

Group 1 Crankcase

Group 2 Gear train

Group 3 Running gear

Group 4 End cover (timing end)

Group 5 Cylinder head

Group 6 Valve gear

Group 7 Governor

Group 8 Governor linkage

Group 9 Exhaust turbocharger

Group 10 Air/exhaust systems

Group 11 Fuel injection equipment

Group 12 Fuel system

Group 13 Coolant pump

Group 14 Coolant system

Group 15 Oil pump

Group 16 Oil system

Group 17 Speed transmitter drive

Group 18 Starter

Group 19 Engine mount

Group 20 Fan drive

โดยขั้นตอนการตรวจสอบและวัดหาค่าและประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ตาม group ของชิ้นส่วนเป็นดังนี้

Check List for MTU 396 Group 01(Crankcase)

1 ตรวจรอยร้าวของเสื้อสูบ และ ช่องทางน้ำมันหล่อ

2 วัดค่า Liner Bore 4 ตำแหน่ง

3 ตรวจสอบการสึกหรอ และ รอยพรุน บริเวณ Upper and Lower Fits ของ Liner Bore วัดค่าและจดบันทึก

4 วัดขนาดโตใน ของ Bush รองรับเพลาขับปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง

5 วัดขนาดโตในของ Bush รองรับ Rooler Tappet

6 วัด Bore ที่เสื้อสูบรองรับ Bush ของเพลาลูกเบี้ยว

7 ทำความสะอาดผิวหน้าสัมผัสของ Bearing Cap

8 ประกอบ Bearing Cap กวดด้วยแรงตามระบุในคู่มือ

9 วัด Bore ของเพลาข้อเสือ และ ถอด Bearing Cap ออก

10 ตรวจสอบช่องทางน้ำมันหล่อใหญ่

11 ตรวจสอบช่องทางน้ำมันหล่อสำหรับหล่อเย็นฝาสูบ

12 ตรวจสอบช่องทางน้ำมันหล่อ สำหรับหล่อเย็น Oil-Spray Nozzle และ แบริ่งรองรับเพลาข้อเสือ

13 วัด Bore รองรับ Bush เพลาขับปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง และโตนอกของ Bush เทียบหาค่าระยะเบียดตามระบุในคู่มือ

14 ทดลองอัดน้ำเสื้อสูบ

15 ตรวจสอบรอยร้าวของ Oil Pan

16 ตรวจสอบความเรียบหน้าสัมผัสของ Oil Pan

17 ตรวจสอบความเสียหายของ Bore รองรับ Oil Pump

18 ตรวจสอบรอยร้าวของ Flywheel Housing และความเสียหายของหน้าสัมผัส

Check List for MTU 396 Group 02(Gear Train)

1 ตรวจสอบรอยร้าว และ รอยขีดข่วนบริเวณผิวของ Idle Gear Shaft

2 วัดขนาดโตนอกของ Idle Gear Shaft

3 ตรวจสอบความสะอาดของ Oil Bore ของ Shaft

4 ตรวจสอบรอยขีดข่วนของ Bore in Cover และวัดขนาดโตใน

5 ตรวจสอบรอยขีดข่วนผิวหน้าฟันเฟือง

6 ตรวจสอบสภาพของ Roller Bearing

7 ตรวจสอบ รอยร้าว Idler gear, bearing pin, locknut และ stress bolt พร้อมตรวจสภาพผิวฟันเฟืองของชุดเฟืองเกียร์ขับ Oil Pump

8 วัดขนาดโตในของ Idle Gear bore เฟืองเกียร์ขับ Oil Pump

9 ตรวจสภาพชำรุดของ Angular-Contact Ball Bearing

10 วัดระยะ Backlash ของเฟือง Oil Pump หลังการประกอบ

11 วัด Axial Clearance เฟือง Idler 0.005-0.035 มม.

Check List for MTU 396 Group 03(Crank Drive)

1 ตรวจสอบลำดับหมายเลขของ Counterweight

2 ทำความสะอาดทางน้ำมันหล่อเพลาข้อเหวี่ยง

3 ตรวจสอบรอยร้าวของผิวเพลาข้อเสือ

4 วัดขนาดของ crankpin และ main journals 4 ตำแหน่ง

5 วัดขนาดของ gear journal

6 วัดความแข็งของ crankpin และ journal โดยใช้ rebound tester อย่างน้อย 4 ตำแหน่ง (49-53 HRC)

7 ตรวจสอบรอยร้าวของสลัก counterweight

8 ตรวจสอบสภาพเกลียวสลัก counterweight

9 ตรวจสอบความยาวสลัก counterweight โดยที่ มี Max. Permissible Length 143 mm

10 ทดลองเกลียว สลัก counterweight

11 ตรวจร้าวของ crankshaft gear และ วัดขนาดโตใน

12 ตรวจสอบความเสียหายผิวของ main bearing shells

13 ตรวจสอบรายละเอียดข้อกำหนดการเจียร์เพลาข้อเหวี่ยง ตามคู่มือการซ่อมทำ หากมีการเจียร์เพลา

14 ตรวจรั่วของ sealing plug เพลาข้อเหวี่ยงหลังการซ่อมทำเพลาข้อเหวี่ยง

15 วัด main bearing bore

16 ตรวจสอบ ความอิสระในการเคลื่อนตัวของ inner race ของ groove ball bearing

17 ตรวจสอบความอิสระในการเคลื่อนตัวของเพลาข้อเสือ

18 ตรวจสอบ Axial Clearance ของเพลาข้อเหวี่ยงหลัง ประกอบ Flywheel หรือ Coupling

19 ตรวจสอบสภาพ และ ตรวจร้าวของ ยอดสูบ

20 ตรวจสอบ clearance ของ ร่องแหวนลูกสูบโดยการใช้ gauge block

21 ใช้ feeler gauge วัดช่องว่างแหวนลูกสูบ หลังใส่แหวนเข้า ใน liner

22 ตรวจสอบรอยร้าวของ ก้านสูบและสลักก้านสูบ

23 วัดความยาวของสลักก้านสูบ (max. 85.50 mm)

24 ตรวจสอบ Axial fit ของ bush ก้านสูบ

25 ตรวจสอบอิสระในการเคลื่อนตัวของสลักก้านสูบ

26 ตรวจสอบหา Parallelism (Bend and Twist)ของก้านสูบ

27 ตรวจสอบหาค่า Bearing Clearance

28 ตรวจสอบ Axial Clearance ของ Con. Rod. Bearing

Check List for MTU 396 Group 04(Timing End)

1 วัดขนาด crankshaft bearing bore

2 ตรวจสภาพผิวของ running flange

3 วัดขนาด O.D. ของ flange หลังประกอบเข้าเพลาข้อเสือ

4 ทำความสะอาด ผิวสัมผัสของ vibration damper

5 วัดความยาวของ stress bolt (max. 68 mm)

6 ตรวจสอบความสะอาดของผิวสัมผัสระหว่างตัว Cover และ Bearing retaining plate

7 ตรวจสอบการชำรุดของ Track Ring โดยที่ความลึกของรอยขีดข่วนต้องไม่เกิน 0.1 มม.

8 ทำความสะอาด ผิวสัมผัสของ Oil Seal carrier bore ก่อนการประกอบ

Check List for MTU 396 Group 05(Cylinder Head)

1 ตอกหมายเลข Gasket ฝาสูบให้ตรงกับหมายเลขฝาสูบ ในกรณีที่ต้องการใช้ Gasket เดิม

2 แช่ลิ้นไว้ในน้ำยากัดสนิม 12-24 ชม.

3 ทำความสะอาดตัวฝาสูบและอุปกรณ์

4 ตรวจร้าวผิวหน้าฝาสูบ สลักฝาสูบ และ valve seat

5 อัดน้ำทดสอบรั่วฝาสูบที่ 80 องศาเซลเซียส ที่ 0.5 bar นาน30 นาที โดยการใช้ลม

6 เปลี่ยน Sealing cap หากมีการรั่วที่ฝาสูบ และ ประกอบ Sealing Cap ให้อยู่ในตำแหน่งลึกประมาณ 2 มม.

7 ตรวจสอบความเรียบของผิวหน้าฝาสูบ หากจำเป็นให้เจียร์หน้าฝาสูบออกโดยปฏิบัติตามคู่มือการซ่อมบำรุง

8 ตรวจสอบ valve guide โดยใช้ Go-NoGo guage

9 ในกรณีเปลี่ยน valve guide วัดขนาด valve guide bore เปลี่ยนฝาสูบหากขนาดเกินกว่ากำหนด

10 วัดระยะจาก ตำแหน่ง valve guide ถึง ผิวฝาสูบต้องมี ระยะ 18+0.5 มม.

11 วัดระยะระหว่าง ผิวหน้าฝาสูบกับ หน้าลิ้น หากค่าที่วัดได้เกินเกณฑ์ที่กำหนดให้เปลี่ยน เบาะลิ้น (valve seat)

12 ตรวจสอบรอยร้าวของ ลิ้น ไอดี-ไอเสีย และ collects วัดขนาดก้านลิ้น

13 เจียร์หน้าลิ้นเพื่อเพิ่มความเรียบของผิวสัมผัสกับเบาะลิ้นหลังจากนั้นตรวจสอบรอยร้าว และวัดความหนาของหน้าลิ้น หากค่าที่ได้เกินกำหนด เปลี่ยนลิ้นใหม่

14 ตรวจรอยร้าวของ valve spring และทดสอบแรงดึง หากค่าที่วัดได้เกินกำหนด เปลี่ยน spring ใหม่

15 ตรวจสอบ valve recess หลังประกอบเข้าชุด

16 ตรวจสอบความสะอาดของ เกลียวปลอกหัวฉีดและเบ้ารับในฝาสูบ เปลี่ยนปลอกหัวฉีดหากชำรุด

17 หาค่า TDC ของลูกสูบ (ดู 3.5.1.16)

18 คำนวณหาความหนาของ Gasket ฝาสูบ

19 ตรวจสภาพของ supporting plate เปลี่ยนหากชำรุด

20 เปลี่ยน O-ring ของ Oil transfer pipe

21 ตรวจสอบความเสียหายของสลักฝาสูบ ก่อนการกวด

Check List for MTU 396 Group 06 (Valve Gear)

1 ทำความสะอาด เพลาลูกเบี้ยวด้วยน้ำมันดีเซล และเป่าไล่ทำความสะอาด ด้วยลม

2 ตรวจสอบ รอยร้าวและการชำรุดของเพลา drive gear และ follower

3 ตรวจสอบ ความกลมและความสึกหรอของ journal ของ เพลาลูกเบี้ยว

4 วัดขนาดของ journal และจดบันทึก

5 ทำความสะอาด journal และ guide sleeve ให้สะอาด และชโลมด้วยน้ำมันหล่อ

6 ตรวจสอบความอิสระในการเคลื่อนที่ของเพลาหลังการประกอบ

7 กวดสลัก drive gear ของเพลาลูกเบี้ยวด้วย torque ตามกำหนดในคู่มือซ่อมทำ

8 ตรวจสอบหา Axial Clearance เปรียบเทียบค่าตามคู่มือ tolerance

9 หมุนเครื่องให้สูบ A1 หรือ B1 อยู่ในตำแหน่ง TDC

10 หา Valve Clearance

11 หา Valve Overlap รายละเอียดตาม 3.6.1.8

Inlet valve: 1.72+0.5/-0.4 mm

Exhaust valve: 1.47+0.3/-0.25 mm

12 ทำความสะอาด และวัดขนาดของ Roller Tappet

13 วัดขนาด Rocker shaft จดบันทึกค่า คำนวณหา bearing clearance

14 ตรวจสอบการชำรุดของเกลียวของ rocker และ lock nuts

15 ทำความสะอาด ช่องทางน้ำมันหล่อใน rocker

16 วัดความยาวของ Push rod

Inlet : 260 mm

Exhaust : 273 mm

17 วัดความยาวของสลัก rocker ตัวยาว (max. 81 mm)

18 วัดความยาวของสลัก rocker ตัวสั้น (max. 51 mm)

19 ตรวจสอบความอิสระในการเคลื่อนที่ของ Rockers

20 วัดความหนาและสภาพของ gasket ของฝาครอบฝาสูบอย่างน้อยต้อง 3 มม.(ดู 3.6.4.4)

Check List for MTU 396 Group 08 (Governor Linkage)

1 วัดระยะห่างระหว่าง bore ของ clevises

2 วัด control lever shaft และ dry bushing

3 ทำความสะอาด articulated joint

4 ตรวจสอบเกลียวของ nuts และ clevises ทั้งหมด

5 ตรวจสอบทำความสะอาด grease nipple และ grease bores ใน control shaft

6 หลังการประกอบ control lever ตรวจสอบว่า linkage ต้องเคลื่อนที่อย่างอิสระ

7 ทำความสะอาดอุปกร์ทุกชิ้นของ intermediate housing ของ shutdown lever พร้อมตรวจสอบสภาพชำรุด

8 ตรวจสอบการชำรุดของ control rack follower

9 ตรวจสภาพของ groove ball bearing

Check List for MTU 396 Group 07 (Governor)

หมายเหตุ: ดูรายละเอียดในคู่มือการซ่อมทำของ Governor **และ** Fuel Injection Pump

Check List for MTU 396 Group 10 (Air/Exhaust System)

1 ตรวจสอบสิ่งสกปรกใน cooling core

2 นำส่ง intercooler ให้ รง.ช่างหม้อ เพื่อทดสอบรั่วและทำความสะอาด

3 ตรวจสอบการชำรุดของ spring pin ก่อนการประกอบ

4 ตรวจสอบความเสียหายและทำความสะอาด sleeves

5 ประกอบ oil metering pump และท่อทางน้ำมันหล่อหล่อลื่น เบาะลิ้น ก่อนการประกอบ Intercooler

6 ล้างทำความสะอาด ท่ออากาศดีและท่อน้ำจืดด้วย สารละลาย P3 ตรวจสอบรอยร้าว

7 ตรวจสอบการชำรุดของ sealing surface ของท่ออากาศดีและ ท่อน้ำจืด

8 ทดลองอัดรั่ว Air/Coolant manifold

9 ทำความสะอาด exhaust elbow, protective plate, cover และ housing โดยการแช่ในน้ำยากัดสนิม 12-24 ชม.

10 ตรวจสอบร้าวของอุปกรณ์ทุกชิ้นโดยวิธี Dry Penetrant

11 ตรวจสอบการชำรุดของ thread และ thread insert

12 ตรวจสอบ sealing surface ของอุปกรณ์ระบุในข้อ 9

13 ตรวจสอบสภาพของ สลักทั้งหมด

14 ทดสอบ Pressure Test ของ Exhaust Housing

7 Bar สำหรับ Fluid Pressure Test

1 Bar สำหรับ Air Pressure Test

15 ตรวจสอบขนาด torque กวดสลักยึดท่อแก๊สเสีย

16 ตรวจสอบสภาพของ gasket ของ flap ตัดอากาศฉุกเฉิน

17 ตรวจสอบผิวสัมผัสของ cover และ flap

18 วัดขนาดของ bearing bushing และ โตนอกของ เพลา

19 ตรวจสอบความเสียหายของ bushing, เพลา และ roller

20 ตรวจสอบความเสียหายของ pull rod ของ solenoid , dowell pin และ ผิวสัมผัสของ roller

21 ตรวจสอบความเสียหาย และ ความอิสระของการเคลื่อนที่ของ rod ends ของ pull rod

22 ตรวจสอบความเสียหายของ connecting pin ของ pull rod ตรวจสอบการทำงานของ grease nipples

23 หลังการประกอบ ตรวจสอบความอิสระในการเคลื่อนที่ของ flap ตัดอากาศฉุกเฉิน

24 ตรวจสอบความยาวของ pull rod (ดู ตัวเลขในคู่มือซ่อมทำ)

25 ตรวจสอบสภาพจารบีใน pull rod

26 ตรวจสอบ รอยร้าวของ exhaust outlet elbow

27 กวดสลัก ยึด elbow ให้ได้ตามค่า torque ที่กำหนด

Check List for MTU 396 Group 11 (Fuel Injection Pump)

1 ตรวจสอบรอยร้าว ของ drive shaft และ stress bolt

2 วัดขนาด bore ของ groove ball bearing (ดู 3.1.1.2 สำหรับคำแนะนำในการวัด)

3 วัด bearing seat บน drive shaft

4 ตรวจสอบฟันเกลียวของ stress bolt และ drive shaft

5 วัดความยาวของ stress bolt (max. 165 mm.)

6 ตรวจสอบความเสียหายของ lock ring

7 เปลี่ยน groove ball bearing เมื่อครบรอบการซ่อมทำ W-6

8 วัด bearing bore ใน drive gear

9 ตรวจสอบรอยร้าวของอุปกรณ์ทุกชิ้นของ injection timer

10 ตรวจสอบความชำรุดเสียหายของ ฟันเฟืองของเกียร์ต่างๆ ของ Fuel injection timer

11 วัดขนาดโตในและโตนอก ของอุปกรณ์ ต่างๆ ของ Fuel Injection Pump

12 ตรวจสอบฟันเกลียวและ ความยาวของ stress bolt ของ Fuel injection timer

13 ตรวจค่ากำลังดันของ spring ใน fuel inject. Timer

14 ตรวจสอบ clearance ระหว่าง drive gear และ flyweight

(see 3.11.2.5 ระยะ 3-1.5 mm.)

ขั้นตอนการประกอบเครื่องยนต์ MTU 396

1. ติดตั้งเสื้อสูบลงไปในแท่นหมุนเครื่องยนต์ (swiveling assembly stand)
2. ดำเนินการตรวจวัดค่าต่างๆ ของเสื้อสูบ
3. ดำเนินการตรวจสอบรูทางเดินของน้ำมันหล่อลื่นในเสื้อสูบ
4. ประกอบแบริ่งเพลาข้อเหวี่ยง (Crankshaft bearing cap) โดยการกวดสลักต่างๆ ให้ปฏิบัติตามคู่มือกำหนด
5. ประกอบปลอกสูบ
6. ตรวจสอบการรั่วไหลของเสื้อสูบภายหลังจากการใส่ปลอกสูบ ทุกสูบ
7. ประกอบ Camshaft bearing bush ทั้งหมด
8. ประกอบงวงฉีดน้ำมันหล่อลื่นใต้ลูกสูบ (Piston cooling oil spray nozzle) ทุกสูบ
9. ประกอบหมู่เฟืองขับ
10. ประกอบ Camshaft bearing shell ทั้งหมด
11. ประกอบเพลาข้อเหวี่ยง
12. ประกอบลูกสูบและก้านสูบ
13. ประกอบปั๊มน้ำมันหล่อลื่นลงไปในอ่างน้ำมันหล่อลื่น
14. ประกอบปั๊มน้ำมันหล่อลื่นเข้ากับชุดเฟืองขับปั๊ม
15. ประกอบอ่างน้ำมันหล่อลื่นเข้ากับเสื้อสูบ
16. ประกอบตัว End cover
17. ประกอบเพลาลูกเบี้ยว
18. ประกอบตัว Roller Tappet
19. ประกอบฝาสูบทุกฝา
20. ประกอบตัว Crankcase Breather
21. นำเครื่องยนต์ลงจากแท่นหมุนเครื่องยนต์
22. ประกอบชุดควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง
23. ประกอบปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง
24. ประกอบหน้าแปลนของปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ากับเครื่องยนต์

25. ประกอบชุด Governor เข้ากับชุดปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง
26. ทำการปรับแต่งปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงให้ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้ได้ตามเกณฑ์
27. ประกอบสายสัญญาณต่างๆ สำหรับควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง
28. ประกอบกระเดื่องกดลิ้นทั้งหมด
29. ประกอบฝาครอบวาล์วทั้งหมด
30. ฝาครอบ Flywheel
31. ประกอบ Sealing ring carrier ตามที่คู่มือกำหนด
32. ประกอบ Fuel injection pump solenoid
33. ประกอบตัว Intercooler
34. ประกอบท่อทางแก๊สเสียของเครื่องยนต์
35. ประกอบชุด Turbocharger เข้ากับเครื่องยนต์
36. ประกอบชุดปั๊มน้ำมันหล่อลื่นสำหรับบ่าวาล์ว
37. ประกอบตัว Flywheel
38. ประกอบตัว Emergency air flap befor intercooler
39. ประกอบตัว Emergency air flap after intercooler
40. ประกอบปั๊มน้ำจืด (Engine coolant pump)
41. ประกอบปั๊มน้ำทะเลด้านขวา (Bilge pump)
42. ประกอบปั๊มน้ำทะเลด้านซ้าย (Raw water pump)
43. ประกอบอุปกรณ์ Speed transmitter with drive
44. ประกอบอุปกรณ์การจ่ายลมสตาร์ทเครื่องยนต์ (Air distributor)
45. ประกอบลิ้นลมสตาร์ทและลิ้นลมไล่อากาศ
46. ประกอบท่อทางระบบลมสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์
47. ประกอบชุดสตาร์ทเครื่องยนต์
48. ประกอบปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel supply pump with drive)
49. ประกอบชุดหัวฉีด (Fuel injection nozzle) ทุกหัว
50. ประกอบระบบท่อทางระบบน้ำมันเชื้อเพลิงกำลังดันสูง (high-pressure fuel line)
51. ประกอบหม้อกรองน้ำมันเชื้อเพลิงละเอียด (Fuel filter)

52. ประกอบท่อส่งน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าเครื่องยนต์ (Fuel feed line) และท่อทางน้ำมันเชื้อเพลิงกลับไปถังใช้การ
53. ประกอบระบบท่อทางน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์
54. ประกอบท่อทางแก๊สเสียที่เข้าชุดเทอร์โบชาร์จ (Exhaust elbows of turbochargers)
55. ประกอบชุดระบายความร้อนของน้ำมันหล่อลื่น (Engine oil heat exchanger)
56. ประกอบฝาปิดหม้อกรองน้ำมันหล่อลื่น (Engine oil filter with filter carrier)
57. ประกอบชุด coolant thermostat
58. ประกอบหม้อพักน้ำระบายความร้อนของเครื่องยนต์ (Coolant expansion tank with water cooler)
59. ประกอบท่อทางน้ำระบายความร้อนของเครื่องยนต์ (Engine coolant lines)
60. ประกอบชุด Pressure-test engine coolant spaces
61. ประกอบชุด Transducer block with monitoring devices
62. ประกอบชุดระบายความร้อนให้กับเทอร์โบชาร์จ (Cooling jacket)
63. ประกอบชุดขับชุดผลิตกระแสไฟฟ้า (Generator drive) (กรณีเป็นเครื่องขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า)
64. ประกอบอุปกรณ์ต่อเชื่อมระหว่างตัว Generator และตัวเครื่องยนต์ (Generator coupling) (กรณีเป็นเครื่องขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า)
65. ประกอบชุด Generator (กรณีเป็นเครื่องขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า)
66. ประกอบชุด wet air filter
67. ประกอบสายไฟฟ้าสำหรับระบบควบคุมเครื่องยนต์

<u>หมายเหตุ</u> ในการประกอบเครื่องยนต์ MTU 396 นั้น ในแต่ละ group ของอุปกรณ์ ผู้ปฏิบัติงานจะต้องทำการกวดอัดสลักในตำแหน่งต่าง ๆ ให้ได้ค่าแรงบิดตามที่คู่มือกำหนด โดยค่าแรงบิดในการกวดอัดสลักนั้น เป็นไปตามตารางมาตรฐานในการกวดอัดสลักตามจุดต่าง ๆ ดังนี้

มาตรฐานของแรงที่ใช้ในการกวดสลักจุดต่างๆ สำหรับการประกอบเครื่องยนต์ MTU 396

ลำดับที่	การปฏิบัติ	กวดด้วยแรงบิด	ระยะ
	CRANKCASE		
๑	สลักแบริ่งรับเพลาข้อเสือ ความยาวของสลักตัวยาวที่โผล่ออกจากเสื้อสูบ ความยาวของสลักตัวสั้นที่โผล่ออกจากเสื้อสูบ		 169 - 0.5 mm 169 - 0.5 mm
๒	ความยาวของสลักแบริ่งรับเพลาข้อเสือที่โผล่ออกจาก bearing cap (ระยะยืดตัวของสลัก - Elongation) สลักตัวใน (inner studs) สลักตัวนอก (outer studs) นัตสลักแบริ่งรับเพลาข้อเสือตัวใน- กวดเบื้องต้น นัตสลักแบริ่งรับเพลาข้อเสือตัวนอก- กวดเบื้องต้น นัตสลักแบริ่งรับเพลาข้อเสือทั้งสองตัว- กวดครั้งที่ ๒ นัตสลักแบริ่งรับเพลาข้อเสือด้านหัวและท้ายเครื่อง	 200 Nm 110 Nm 270+20 องศา 300 Nm	 1.3+0.05 mm 1.1+0.05 mm
๓	นัตสลักยึดอ่างน้ำมันเครื่อง	110 Nm	
๔	ฝาอุดน้ำมันหล่อลื่นใน main gallery บริเวณหัวเครื่อง	300 Nm	
๕	สลักยึดฝาครอบ Flywheel ท้ายเครื่องยนต์	110 Nm	
๖	สลักหกเหลี่ยมสำหรับยึดงวงฉีดน้ำมันหล่อลื่นใต้ลูกสูบ	23 Nm	
	GEAR TRAIN		
๗	การกวดสลักขนาด ๑๐ มม. (M10) ของปั๊มน้ำระบบระบายความร้อนด้านขวาของเครื่องยนต์ที่ต่อกับหมู่เฟืองขับ การกวดสลักขนาด ๑๒ มม. (M12) ของไดชาร์จที่ต่อกับหมู่เฟืองขับ (ถ้ามี) ด้านซ้ายของเครื่องยนต์	45 Nm 90 Nm	

ลำดับที่	การปฏิบัติ	กวดด้วยแรงบิด	ระยะ
๘	สลักอัดแรงสำหรับกวดเพื่อป้องกันชุดเฟืองขับปั๊มน้ำมันหล่อลื่นเคลื่อนตัว (stress bolt for oil pump idler gear)		0.15+0.01 mm
๙	การกวดสลักฝาครอบปิดชุดเฟืองขับปั๊มน้ำระบายความร้อนของเครื่องยนต์	25 Nm	
๑๐	การกวดสลักฝาครอบปิดชุดเฟืองขับไดชาร์จ (ถ้ามี) ของเครื่องยนต์	45 Nm	
	RUNNING GEAR		
๑๑	การกวดสลักสำหรับยึดตัว counterweight ให้ติดกับเพลาข้อเสือ		
	กวดครั้งแรก	100+10 Nm	
	กวดอัดแรงครั้งที่ ๒	180+20 องศา	
	กวดเพื่อตรวจสอบครั้งที่สาม	300+ 10 องศา	
๑๒	การกวดสลักก้านสูบ (connecting rod bolts)		
	กวดครั้งแรก	160 Nm	
	กวดอัดแรงครั้งที่ ๒	90+10 องศา	
๑๓	การกวดสลักยึด flywheel กับเพลาข้อเสือ		
	กวดครั้งแรก	250+20 Nm	
	กวดอัดแรงครั้งที่ ๒	90+10 องศา	
๑๔	กวดสลักฝาปิด sealing ring ทั้งหัวเครื่องและท้ายเครื่อง	25 Nm	
๑๕	กวดสลักตัว locating ring	46 Nm	
	CYLINDER HEAD		
๑๖	กวดสลักฝาสูบ (stress bolt) ขนาดสัก M18 ทุกฝา		
	- กวดครั้งแรก	90+10 Nm	
	- กวดอัดแรงครั้งที่ ๒	90+10 องศา	

ลำดับที่	การปฏิบัติ	กวดด้วยแรงบิด	ระยะ
	กวดสลักแผ่นล็อคฝาสูบ (clamping piece) ขนาดสลัก M20 - กวดครั้งแรก - กวดอัดแรงครั้งที่ ๒	 180+10 Nm 90+10 องศา	
๑๗	กวดตัว protective sleeve ในช่องใส่หัวฉีด	60+5 Nm	
๑๘	กวดสลักหัว Allen ที่ด้านล่างของฝาสูบ	47+10 Nm	
๑๙	กวดสลักแบริ่งท้ายเพลาลูกเบี้ยว (camshaft end bearing)	25 Nm	
๒๐	กวดสลักสำหรับยึดเฟืองขับที่ต่อจากเพลาลูกเบี้ยว (camshaft drive gear)	48 Nm	
๒๑	กวดสลักยึดกระเดื่องกดลิ้น (rocker arm shaft)	120+10 Nm	
๒๒	กวดสลักยึดฝาครองชุดกระเดื่องกดลิ้น (valve gear housing)	24 Nm	
EXHAUST TURBOCHARGER			
๒๓	กวดสลักขนาด M10 ของชุด exhaust turbocharger ทั้งหมด	40 Nm	
๒๔	กวดสลักของชุด compressor housing clamp	8-10 Nm	
AIR SUPPLY - EXHAUST SYSTEM			
๒๕	กวดสลักยึดชุด charge air manifold	47 Nm	
๒๖	กวดสลักขนาด M10 ของฝาปิดกันความร้อนท่อแก๊สเสีย	65 $\pm$ 5 Nm	
๒๗	กวดสลักขนาด M12 ของท่อแก๊สเสียรวมของเครื่องยนต์	90$\pm$ 10 Nm	
FUEL INJECTION SYSTEM			
๒๘	กวดสลักยึดชุดปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์	47 Nm	
๒๙	กวดสลักส่วนส่งกำลังที่ต่อระหว่างตัวปั๊มกับเครื่องยนต์ (pressure valve holder) - กวดครั้งแรก	 120 Nm	

ลำดับที่	การปฏิบัติ	กวดด้วยแรงบิด	ระยะ
	- กวดอัดแรงครั้งที่ ๒	90 Nm	
๓๐	กวดสลักยึดตัว coupling half ที่ต่อกับเพลาลูกเบี้ยว	200 Nm	
๓๑	กวดสลักยึด stress bolt ด้านหัวเครื่องยนต์ - กวดครั้งแรก - กวดอัดแรงครั้งที่ ๒ - ตรวจสอบขนาดความยาวของสลักต้องไม่ยาวเกิน 165 mm	 180+20 Nm 180 องศา	
๓๒	กวดสลักยึดตัว bearing flange จำนวน ๔ ตัวด้านหัวเครื่องยนต์	47 Nm	
๓๓	กวดสลักฝาปิด (end cover) ของ bearing flange	25 Nm	
๓๔	กวดสลักสำหรับยึดชุด curved piece เข้ากับชุด idler gear - กวดครั้งแรก - กวดอัดแรงครั้งที่ ๒ - ตรวจสอบขนาดความยาวของสลักต้องไม่ยาวเกิน 38 mm	 50+5 Nm 45+5 องศา	
๓๕	การกวดสลักตัวอื่นๆ ในชุดปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงนอกเหนือจากที่กล่าวมาทั้งหมด	60-80 Nm	
๓๖	กวดสลักยึดหัวฉีด (thrust bolt for nozzle holder)	90 Nm	
FUEL SYSTEM			
๓๗	กวดสลักยึดท่อทางที่ต่อเข้าตัวปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง	35 Nm	
๓๘	กวดสลักยึดท่อทางที่ต่อเข้าตัวหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	30 Nm	
๓๙	กวดสลักของชุดท่อทางน้ำมัน leak กลับถังและจุดเชื่อมต่อท่อทางต่างๆ	47 Nm	
ENGINE COOLANT AND RAW WATER PUMPS			
๔๐	ปั๊มน้ำจืดใช้การ (engine coolant pump) - กวดสลักยึดชุดพัดน้ำ - กวดครั้งแรก - กวดอัดแรงครั้งที่ ๒	 120 Nm 90 องศา	

ลำดับที่	การปฏิบัติ	กวดด้วยแรงบิด	ระยะ
๔๑	ปั๊มน้ำทะเล (bilge pump and raw water pump) - กวดสลักยึดชุดพัดน้ำ - กวดอัดแรงครั้งที่ ๒	 90+10 Nm 350 Nm	
	ENGINE OIL PUMP		
๔๒	กวดสลักยึดชุดปั๊มน้ำมันหล่อลื่นติดกับอ่างน้ำมันเครื่องยนต์	62 Nm	
๔๓	กวดสลักยึดเฟืองขับปั๊มน้ำมันหล่อลื่น	100 Nm	
๔๔	กวดสลักยึดฝาปิดเฟืองขับปั๊มน้ำมันหล่อลื่น	40 Nm	
๔๕	กวดสลักยึดท่อทางดูดน้ำมันหล่อลื่นในอ่างน้ำมันเครื่องยนต์	47 Nm	
	STARTING SYSTEM		
๔๖	กวดสลักยึดตัวจานจ่ายลม (distributor disc)	40 Nm	
	ENGINE MOUNTING		
๔๗	กวดสลักตัวบนของฐานแท่นเครื่องท้ายเครื่องยนต์	40 Nm	
๔๘	กวดสลักตัวบนของฐานแท่นเครื่องหัวเครื่องยนต์	270 Nm	
๔๙	กวดสลักตัวบนของฐานแท่นเครื่องบริเวณอ่างน้ำมันหล่อลื่น (ถ้ามี)	110 Nm	
	อุปกรณ์ระบบไฟฟ้าและระบบลม ACESSORIES (ELECTRICAL , PNEUMATIC)		
๕๐	กวดสลักขนาด M12สำหรับต่อเชื่อมระหว่างอุปกรณ์ผลิตกระแส ไฟฟ้าของเครื่อง (generator) กับตัวเครื่องยนต์	63 Nm	
๕๑	กวดสลักยึดชุดเฟืองส่งกำลังของตัว Generator	300 Nm	
	อุปกรณ์เสริม		
๕๒	nut for coupling disc on crankshaft	56 Nm	
๕๓	nut for drive gear (compressor)	180 Nm	