เอกสารอ้างอิง

1. Thomas, W.M.; Nicholas, E.D.; Needham, J.C.; Murch, M.G.; Emple Smith, P.; and Dawes, C.J.. (1991). **Friction-stir butt welding.** GB Patent No. 912597. 8, International patent application No. PCT/GB92/02203.
2. **"Friction Stir Welding – Process."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มาhtt://www.twi.co.uk/Content/military_caseg56.html. (9 พฤษภาคม 2554)
3. Terry Khaled. (2005). **An Outsider Looks At Friction Stir Welding.** Report #. ANM-112N-05-06, Paramount Boulevard, Lakewood.
4. **"Steps of the Process."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.ajtint.com/Theprocess. html. (12 พฤษภาคม 2554).
5. ประโยชน์ ไชยมงคล, ประธานกรรมการ บริษัท เชียงใหม่สกายแอดเวนเจอร์ จำกัด, สัมภาษณ์, 23 พฤษภาคม 2552.
6. บริษัท เชียงใหม่สกายแอดเวนเจอร์ จำกัด. 2551. **"ไมโครไลท์ไทยทำ สู่ตลาดโลก."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.lampangparamotor.com . (17 มกราคม 2551).
7. นิพันธ์ ศิริศักดิ์. **ปัญหาในการเชื่อมอะลูมิเนียม.** ศูนย์วิจัยพัฒนาและตรวจสอบงานเชื่อม ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าธนบุรีพระนครเหนือ, 2536.
8. กระทรวงมหาดไทย กรมโยธาธิการและผังเมือง. **มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อม-โครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย .** จำนวน200 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: กรมโยธาและผังเมือง, 2551.
9. อนันต์ พรหมสิทธิบุตร. **"การพัฒนาเทคนิคการเชื่อมแบบแรงเสียดทานสำหรับเชื่อมต่อโลหะ".** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2546.
10. "Rotation Friction Welding." [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา htt://www.cetic.be/article24.Html. (12 พฤษภาคม 2554).
11. Frigaard, O., Grong, O., and Midling, OT., (2001). **A process model for friction-stir welding of age hardening aluminum alloys.** Metallurgical and Material Transactions, 32A(5) : 1189-1200.

12. **"What is Friction Stir Welding (FSW)."** [ระบบออนไลน์] . แหล่งที่มา http://www.m-osaka.com/fsw/en/fsw/about_fsw.html. (6 พฤษภาคม 2554).

13. National Research Council Canada. **"FSW Welding Technology."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มาhttp://www.nrccnrc.gc.ca/eng/facilities/imi/atc/Welding technology.html. (6 พฤษภาคม 2554).

14. Rajiv, S. Mishra; Murray, W. Mahoney. **Friction stir welding and processing/ editors**. USA: ASM International, 2007.

15. Elangovan, K. ; V. Balasubramanian. **"Influences of pin profile and rotational speed of the tool on the formation of friction stir processing zone in AA2219 aluminium alloy."** Materials Science and Engineering: A, 2007. 459(1-2): p. 7-18.

16. **"แบบรอยต่องานเชื่อมด้วยแรงเสียทานแบบกวน."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.frictionstirlink.com/desc.html. (9 พฤษภาคม 2554)

17. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี-อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร. **"งานเชื่อมโลหะ".** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มาhttp://www.eng.su.ac.th/me/elearning/615282Manufacturing ProcessesTechnology/01_Welding.pdf. (9 พฤษภาคม 2554).

18. **"Friction Stir Welding - Materials and thicknesses."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มาhttp://materialteknologi.hig.no/Lettvektdesign/joining%20 methods/joining- welding-friction%20stir%20weld.htm. (9 พฤษภาคม 2554).

19. **"Friction Stir Welding - Process advantages."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.twi.co.uk/content/military_caseg56.html. (9 พฤษภาคม 2554).

20. บรรเจิด ดอนเนตรงาม. **"อิทธิพลรูปร่างสลักแกนหมุนแบบหัวโค้งของการเชื่อมอะลูมิเนียมเจือAA6063-T6 ต่อคุณสมบัติทางกลด้วยกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน".** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.

21. วิลเลียมส์ ดี., คาลิสเตอร์ เจ. อาร์. **วัสดุศาสตร์และวิศวกรรมวัสดุพื้นฐาน** (หน้า 97-312) แปลจาก Materials Science and Engineering โดย สุวันชัย พงษ์สุกิจวัฒน์ และคณะ. กรุงเทพฯ: ท้อป, 2548.

22. สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย. 2551. **"ข้อมูลด้านเทคนิค."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มาhttp://www.isit.or.th/techinfoview.asplnk=/object/1000000000/ ToolSteels. htm&ContentID=1011&CatID=100000. (1 พฤษภาคม 2554).

23. บริษัท ศรีเพชรสตีลอิมปอร์ต เอ็กซ์ปอร์ต จำกัด. **"เหล็กทำแม่พิมพ์และเครื่องมือ."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.sripetch.com/default.asp. (4 พฤษภาคม 2554).

24. บริษัท ไทย- เยอรมันสเปเชี่ยลสตีลเซ็นเตอร์ จำกัด. **"Cold Work Steel 2379."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มาhttp://www.thyssenkruppmaterials.co.th/ dmdocuments/2379.pdf . (4 พฤษภาคม 2554).

25. บริษัท เอส.เอ็ม.โมเดลเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด. **"ตารางเปรียบเทียบเหล็กตามมาตรฐานนานาชาติ."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.sm-eng.com/material2. htm. (4 พฤษภาคม 2554).

26. ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม-เกล้าธนบุรี. **"Instruction for aluminium."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http:www.The WebPage Assissted Instuction for Aluminum.com. (22 มีนาคม 2554).

27. ยุคล จุลอุภัย. **มาตรฐานและชนิดของอะลูมิเนียม.** ศูนย์วิจัยพัฒนาและตรวจสอบงานเชื่อม ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าธนบุรีพระนครเหนือ, 2536.

28. วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. **"Temper designation."** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา http://en. wikipedia. org/wiki/Aluminium_alloy#Temper_designation. (22 มีนาคม 2554).

29. วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. **"6061 aluminium alloy."** [ออนไลน์].แหล่งที่มา http://en. wikipedia. org/wiki/Aluminium_alloy#6061-T6. (22 มีนาคม 2554).

30. W. Smith, J. Hashemi. **วัสดุศาสตร์** (หน้า184-193) แปลจาก Foundation of Materials Science and Engineering 4th edition โดย แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ. กรุงเทพฯ: แมกรอ-ฮิล, 2551.

31. ชูชาติ ด้วงสงค์. **การทดสอบงานเชื่อมแบบทำลายสภาพ.** กรุงเทพฯ: ส.ส.ท., 2550.

32. An American National Standard American Welding Society , Specification for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys for Aerospace Hardware.

33. "เครื่องมือทดสอบแรงดึง." [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มาhttp://www.abdn.ac.uk/~eng 907/teaching/plasticity/lab.htm. (1 เมษายน 2554).

34. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคล. **"สภาพยืดหยุ่น"** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/balance/index8-8. htm. (8 เมษายน 2554).

35. **"การทดสอบแรงดึง."** 2554. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มาhttp://www.elecnet.chandra. ac.th/learn/courses/5513101/chaptor_6/tension_test.doc. (28 มีนาคม 2554).

36. **"Tension stress–strain."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://forums.randi.org/ showthread. (31 มีนาคม 2554).

37. "ความเค้น-ความเครียดทางวิศวกรรม". 2554. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www. atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/tensile.html. (28 มีนาคม 2554).

38. "Engineering strain."[ระบบออนไลน์]. http://www.thefabricator.com/article/ metalsmaterials/measuring-the-plastic-strain-ratio-of-sheet-metals. (31 มีนาคม 2554).

39. **"พฤติกรรมความเค้น-ความเครียดของวัสดุแบบเหนียวและเปราะ."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.mbindustries.com/projectiles.html. (3 มีนาคม 2554).

40. ทัศนัย แสนพลพัฒน์. **แนวทางการวัดทดสอบความแข็ง.** ฝ่ายมาตรวิทยาเชิงกล สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ. (1 เมษายน 2554).

41. "**Microhardness Test**." [ออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.gordonengland.co.uk/ hardness/microhardness.htm. (28 มีนาคม 54).

42. "**Material Hardness**." [ออนไลน์]. แหล่งที่มาhttp://www.calce.umd.edu/TSFA/ Hardness_ ad _.htm#3.4. (28 มีนาคม 2554).

43. วิลาสินี วุฒิถิรสก, อุมารินทร์ พงศ์โสภิตานันท์, และธนาภรณ์ โกราษฎร์. **การศึกษาและวิเคราะห์โลหะจากภาพ.** กรุงเทพฯ : ไทยเอฟ สตูดิโอ, 2548.

44. สมนึก วัฒนศรียกุล. **การวิเคราะห์โครงสร้างของโลหะด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับโลหะ.** 2549. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา htt://202.28.17.1/article/atc34/atc00117.html. (30 มีนาคม 2554)

45. "ใบตัดอะแบรซีฟ." [ออนไลน์]. แหล่งที่มาhttp://www.testinginstrument.com/product/ product.asp?parentid=276. (19 เมษายน 2554).

46. ห้องปฏิบัติการทดสอบสมบัติทางกล. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2009. **"เทคนิคในการเตรียมชิ้นงานด้วยการขัด."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.mtec.or.th/ laboratory/mech/index.php/knowlegde. (30 เมษายน 2554).

47. **"hot mount and cold mount."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http:// www.ebsd.com . (20 เมษายน 2554).

49. P. Cavaliere, G. Campanile, F. Panella, and A. Squillace, (2006). **Effect of Welding parameters on mechanical and microstructural properties of AA6056 joints produced by friction stir welding.** Materials Processing Technology 180, 263–270.

50. อนุชา ขวัญสุข. **"เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของแนวเชื่อมอลูมิเนียมเจือAA6063-T1 โดยการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวนด้วยแกนหมุนทรงกระบอกผิวเรียบและผิวเกลียว".** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.

51. P.M.G.P. Moreira. (2009). **Mechanical and metallurgical characterization of Friction stir welding joints of AA6061-T6 with AA6082-T6.** Materials & design, 30, 180-187.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางเทียบเกรดมาตรฐานเหล็กนานาชาติ และ

กระบวนการชุบแข็งเหล็กเครื่องมืองานเย็น D2

ตารางเปรียบเทียบเกรดเหล็ก

THAI-GERMAN GRADE		DIN	JIS	AISI	UNI	ASSAB	BOHLER	BUDERUS	DAIDO	HITACHI	KOSHUHA	ROCHLING
COLD WORK STEEL	2210 (h8)	115CrV3	SKS 2	L2	107CrV3KU		K510					
COLD WORK STEEL	2379	X153CrVMo12	SKD 11	D2	X155CrVMo121KU	XW-42	K110	2379	DC11	SLD	KD11V	RCC SUPRA
COLD WORK STEEL	2510	95MnCrW5	SKS 3	O1	95MnCrW5KU	DF-3	K460	2510	GOA	SGT	KS3	RUS-3
HOT WORK STEEL	2344 EFS	X40CrMoV51	SKD 61	H13	X40CrMoV511KU	8407	W302	2344	DHA1	DAC	KDA	RDC-2V
PLASTIC STEEL	2083 ESR	X40Cr14	SUS 402J2	420J2	X40Cr14	STAVAX	M310	2083		HPM38		RNOH
PLASTIC STEEL	2311	40CrMnMo7	-	P20	35CrMo8KU	618	M202	2311	PX4	HPM22	P-20	
PLASTIC STEEL	2312	40CrMnMoS86	-	P20+S	-	HOLDAX	M200					MOULREXA
PLASTIC STEEL	2316	X38CrMo16	-	420 Mod.	X38CrMo161KU	RAMAX S	M300	2316				RHOX
PLASTIC STEEL	2738	40CrMnNiMo864	-	P20+Ni	-	718	M238					-
PRECIPITATION	PH42 ESR	-	-	-	-				NAK80			
HIGH SPEED STEEL	3243	S 6-5-2-5	SKH 55	M35	HS 6-5-2-5		S705					M5CO
HIGH SPEED STEEL	3343	S 6-5-2	SKH 51	M2	HS 6-5-2		S600	3343	MH51	YXM 1		GIANT M5
POWDER METAL STEEL	TSP 4	S 6-5-4	SKH 54	M4 PM	-		S690 PM REX M4					
POWDER METAL STEEL	TSP 23	S 6-5-3	SKH 53	M3/2 PM	-	ASP 23						
STAINLESS	4125	X105CrMo17	SUS 440C	440C	X105CrMo17		N695					
MACHINERY	4140	42CrMo4	SCM 440	4140	38CrMo4KB	709			SCM440		SCM440	
BARING	3505	100Cr6	SUJ 2	52100	100Cr6		R100				SUJ2	RW-3
MACHINERY	6582	34CrNiMo6	SNCM 439H	4340H	35NiCrMo6KB	7210	V155	6582	SNCM439		SNCM439	MONIX 15
MACHINERY	7225	42CrMo4	SCM 440H	4140H	38CrMo4KB	705	V 320	7225				MO 40
CARBURIZING	5919	15CrNi6	SNC 415	3115	16NiCr11			5920				RECN
CARBURIZING	7131	16MnCr5	SCM 415	5115	16MnCr5				SCM415		SCM415	EC 80
NITRIDING	8509	41CrAlMo7	SACM 645	E71400	41CrAlMo7			8550				
CARBON	CK45	CK45	S 45C	1045	C 45				S45C		S45C	
CARBON	S50C	CK50	S 50C	1050	C 50	760					RMS 50C	
CARBON	S55C	CK55	S 55C	1055	C 55							

ตารางเทียบเกรดเหล็กตามมาตรฐาน

BOHLER	GERMANY	JIS	AISI	
S50C	S50C	S50C	1050	เหล็กแข็งหัวแดง
SCM4	SCM4	SCM4		เหล็กแข็งหัวฟ้า
M202	2311	P20	P20	เหล็กงานพลาสติก
M238	2738	P20+Ni	P20+Ni	เหล็กงานพลาสติก
M310	2083	SUR420J2	420J2	เหล็กสตาร์นเวค
M300	2316	SUS431	431	เหล็กสตาร์นเวค
W302	2344	SKD61	H13	เหล็กน้ำมันงานร้อน
W303	2367			เหล็กน้ำมันงานร้อน
K460	2510	SKS93	O1	เหล็กทนกระแทก
	2379	SKD11	D2	เหล็กน้ำมันงานเย็น
K105	2436	SKD2	D6	เหล็กน้ำมันงานเย็น
S600	3343	SKH51	M2	เหล็กไฮสปีด
V320	7225	SCM440	4130	เหล็กน้ำมันเฟือง
V155	6582	SNCM440	4340	เหล็กน้ำมันเฟือง
R100	3505	SUJ2	E52100	เหล็กเพลาลูกปืน
N695		SUS440	440C	

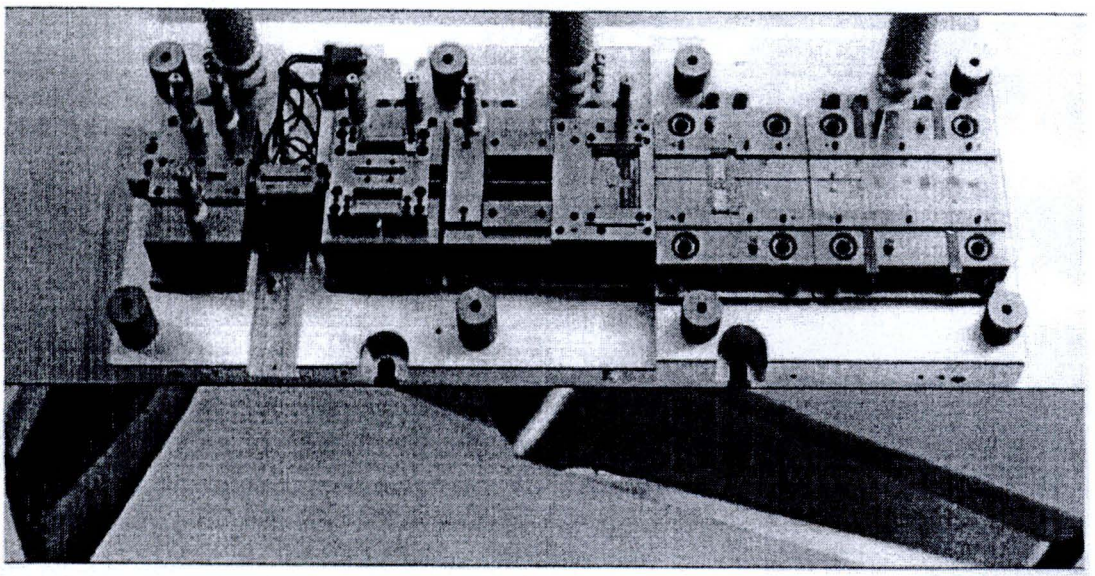
COLD WORK TOOL STEETS

(เหล็กกล้าสำหรับงานเย็น)

ลักษณะเด่น

ความแข็งสูงมากเมื่อผ่านการชุบแข็ง ทนต่อการเสียดสีดีมาก
ทนต่อแรงกดอัดได้ดีเยี่ยม และมีความเหนียวแกร่งพอสมควร

Cold Work Steel
2379



❑ คุณลักษณะทั่วไป (General Characteristics)

ส่วนผสมทางเคมี (%wt.)	C	Cr	Mo	V
	1.55	12.0	0.7	1.0
AISI	D2			
JIS	SKD-11			
DIN	1.2379 / X155CrVMo12-1			
สภาพจำหน่าย	อบอ่อน ความแข็งสูงสุด 250 HB			
สภาพหลังชุบ	ชุบแข็งและอบคืนตัว 58-62 HRC			

2379 เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มงานเย็นที่มีส่วนผสมของคาร์บอนและโครเมียมในปริมาณสูง จัดเป็นเหล็กกล้าในกลุ่ม 12% เลเตบูไรติกโครเมียมสตีล ซึ่งมีความต้านทานต่อการเสียดสีดีมาก นอกจากนี้ยังมีการผสมธาตุโมลิบดีนัมเพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง ให้ความเหนียวแกร่งดี และยังมีการผสมธาตุวานาเดียมให้สูงถึง 1% เพื่อช่วยรักษาคมตัดให้มีความแข็งคมและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ช่วยให้ทนต่อการเสียดสีและต้านทานต่อการสึกหรอได้สูงมากขึ้น 2379 นี้ยังมีคุณสมบัติเด่นทางด้านการต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเหนือกว่าเหล็กกล้าในกลุ่ม 12% เลเตบูไรติกโครเมียมสตีลเกรดอื่น จึงสามารถทำไนไตรดิ้งได้ดี นิยมใช้ทำแม่พิมพ์สำหรับงานปั๊ม งานตัด งานเพรส งานอัดขึ้นรูปเย็น ลูกกลิ้ง ใบมีดตัดโลหะ และงานที่ต้องทนกับการเสียดสีสูง ๆ และแม่พิมพ์พลาสติกที่ต้องการความต้านทานต่อการสึกหรอมาก ๆ เช่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปไฟเบอร์กลาส

❍ คุณลักษณะเด่น (Significant Characteristics)

- มีความต้านทานต่อการสึกหรอสูงมาก
- มีความเหนียวแกร่งพอใช้
- ชุบแข็งได้ลึกมาก
- มีความสามารถในการชุบแข็งสูงมาก
- สามารถชุบแข็งในเตาสูญญากาศได้
- รักษาคมตัดให้มีอายุการใช้งานยาวนาน
- ต้านทานการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงได้ดี
- เกิดการบิดงอน้อยมากหลังการชุบแข็ง
- ต้านทานการสูญเสียคาร์บอนที่ผิวได้ต่ำ
- สามารถทำไนไตรดิ้งหลังการชุบแข็งได้
- สามารถเคลือบผิวด้วยเทคนิคพีวีดีได้

❑ คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

คุณสมบัติ	อุณหภูมิทดสอบ		
การนำความร้อน / Thermal Conductivity (W/m·K)	20°C	350°C	700°C
	16.7	20.5	24.2
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนระหว่าง 20°C ถึง Coefficient of thermal expansion between 20°C (10^{-6}/°C)	100°C	200°C	
	10.5	11.5	
	300°C	400°C	
	11.9	12.2	
โมดูลัสของการบิดหยุ่น Modulus of elasticity (GPa) at 20°C	210		
ความจุความร้อนจำเพาะที่ 20°C Specific heat at 20°C (J/g·°C)	0.46		
ความหนาแน่น Density (g/cm^3)	7.85		
สภาพทางแม่เหล็ก Magnetizability	ซึมซับ		

❍ การใช้งาน (Applications)

2379 นิยมใช้ทำแม่พิมพ์สำหรับงานเย็นอย่างกว้างขวาง ทั้งแม่พิมพ์แบลังกิ้ง (Blanking) แม่พิมพ์ปั๊ม (Pressing) แม่พิมพ์ดัด (Bending) แม่พิมพ์ดึงขึ้นรูป (Drawing) แม่พิมพ์สำหรับงานอัดขึ้นรูปเย็น (Cold extrusion) แม่พิมพ์สำหรับงานทริมมิ่ง (Trimming) งานปั๊มเหรียญ (Coining) เป็นต้น และยังสามารถใช้ทำลูกกลิ้ง และแม่พิมพ์สำหรับงานรีดเกลียว ใบมีดตัดเนื้อโลหะและพลาสติก และแม่พิมพ์พลาสติกที่ต้องการความต้านทานต่อการสึกหรอสูง ตัวอย่างของการนำไป ใช้งานเป็นดังในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 งานตัดเฉือน (Manufacture of Hot Shear Blades)

ชนิดใบตัด	ความหนาวัสดุ (มม.)	ความแข็ง (HRC)
ใบตัดหน้าตัดยาว และกลม	หนาไม่เกิน 2 หนาไม่เกิน 4	58-62 58-60
ใบตัดกระดาษ	ไม่จำกัดความหนา	58-62
ใบตัดพลาสติก	ไม่จำกัดความหนา	58-62

หมายเหตุ ค่าความแข็งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับสภาพการนำไปใช้งาน

ตารางที่ 2 แม่พิมพ์แบล็งกิ้ง ไดส์และพันช์และส่วนประกอบ (Blanking dies and punches & Accessory tooling)

ชนิดวัสดุ	ความหนาวัสดุ (มม.)	ความแข็ง (HRC)
แผ่นเหล็กกล้า แผ่นอะลูมิเนียม แผ่นทองแดง	หนาไม่เกิน 6	56-60
โลหะสำหรับทำหม้อแปลง และไดนาโม	หนาไม่เกิน 6	58-62
แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม ออสเตนนิติก	หนาไม่เกิน 4 หนาไม่เกิน 6	60-62 58-62
แผ่นโลหะ (สำหรับพันช์และดายส์ แม่พิมพ์พรีซิชั่น)	หนาไม่เกิน 4 หนาไม่เกิน 6	60-62 58-62
พลาสติก ไม้ ยาง หนัง ผ้า และกระดาษ	ไม่จำกัด	58-62
hold down fixture	-	58-62

หมายเหตุ ค่าความแข็งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับสภาพการนำไปใช้

❑ กระบวนการอบชุบความร้อน (Heat Treatments)

ตารางที่ 3 กระบวนการอบชุบทางความร้อน

การอบอ่อน	อุณหภูมิ (°C)	การเย็นตัว	ความแข็ง
	830–860	ในเตา	≤ 250 HB
การอบคลายความเค้น	อุณหภูมิ (°C)	การเย็นตัว	
	675-705	ในอากาศ	
การเผาอุ่นชิ้นงาน	ขั้นที่	อุณหภูมิ (°C)	เวลา/ความหนา
	1	400	30 วินาที/มม.
	2	650	30 วินาที/มม.
	3	850	1 นาที/มม.
การชุบแข็ง (วิธีปกติ)	อุณหภูมิ (°C)	สารชุบ	ความแข็ง
	1000–1050	น้ำมัน, อากาศ /อ่างเกลือ ที่ 500-550°C	63 HRC

การอบคืนตัว

Temp (°C)	100	200	300	400
HRC	63	61	58	58
Temp (°C)	500	525	550	600
HRC	58	60	56	50

μ ขั้นตอนการชุบแข็ง (Hardening Processes)

μ การอบคลายความเค้น (Stress-Relief Annealing)

การเสียรูปของชิ้นงานภายหลังการชุบแข็ง อาจมีสาเหตุมาจากการมีความเค้นตกค้าง ที่เกิดขึ้นจากการตัดกลึงแปรรูปซึ่งความเค้นนี้สามารถกำจัดให้ลดลงหรือหมดไปได้ โดยการอบคลายความเค้นที่อุณหภูมิ 600-650°C ภายหลังจากการกลึงหยาบ โดยใช้เวลาคงไว้อย่างน้อย 2 ชม. และเพิ่มขึ้นอีก 1 ชม. ต่อความหนาชิ้นงาน 50 มม. จากนั้น ปล่อยให้เย็นตัวลงภายในเตา แล้วจึงนำไปตกแต่งผิวขั้นสุดท้าย

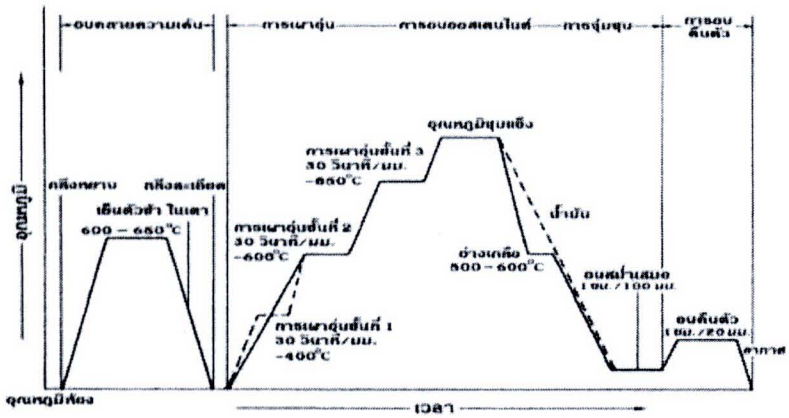
μ การป้องกันผิวสูญเสียคาร์บอน (Protection Against Decarburization)

การชุบแข็งเหล็กกล้าเครื่องมือนั้น จำเป็นต้องป้องกันการสูญเสียปริมาณคาร์บอนที่ผิวในระหว่างการชุบแข็ง ซึ่งมักเป็นผลให้ความแข็งที่ผิวหน้าของชิ้นงานลดต่ำลงกว่าปกติที่ควรจะได้รับ ดังนั้นวิธีการป้องกันผิวสูญเสียคาร์บอนจะสามารถเลือกใช้วิธีการชุบแข็งได้ดังนี้

- ชุบแข็งในเตาสูญญากาศ
- ชุบแข็งในอ่างเกลือ
- ชุบแข็งในเตาควบคุมบรรยากาศ
- ห่อหุ้มเหล็กกล้าเครื่องมือด้วย เศษเหล็กหล่อ ผงถ่านโค้ก หรือผงถ่านไม้

μ การเผาอุ่นชิ้นงาน (Preheating)

รอยแตกร้าวและการบิดงอของเหล็กกล้าเครื่องมือที่เกิดขึ้นในขณะทำการอบชุบความร้อน มีสาเหตุมาจากในระหว่างที่ทำการเพิ่มอุณหภูมิให้กับชิ้นงาน จะเกิดความแตกต่างทางด้านอุณหภูมิระหว่างผิวหน้ากับภายในของชิ้นงาน จึงเป็นสาเหตุให้เกิดความเค้นดึงขึ้นที่ผิวหน้าและนำไปสู่การแตกร้าวหรือบิดงอ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากค่าการนำความร้อนของเหล็กกล้าเครื่องมือโดยทั่วไปมักมีค่าต่ำ และในบางกรณีพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานมีขนาดแตกต่างกันมาก เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้จึงควรเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ชิ้นงานอย่างช้า ๆ หรือ เป็นขั้น ๆ โดยในแต่ละขั้นควรแช่ไว้เป็นระยะเวลา อย่างน้อย 30 วินาทีต่อความหนา 1 มม. เพื่อให้อุณหภูมิของชิ้นงานเท่ากันตลอดทั้งพื้นที่หน้าตัด แล้วจึงเพิ่มอุณหภูมิทำงานในขั้นต่อไปจนเข้าสู่อุณหภูมิชุบแข็ง



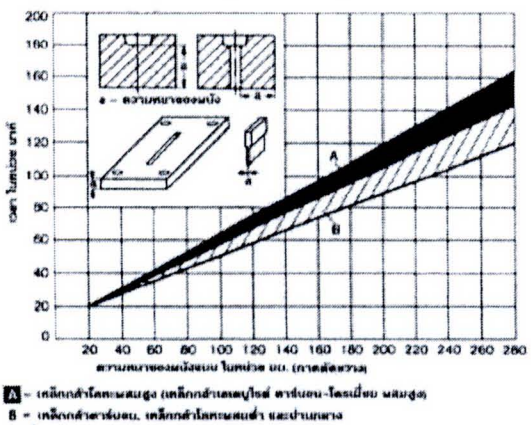
รูปที่ 1 แผนภาพการชุบแข็ง 2379 วิธีปกติ

μ การอบออสเตนไนต์ (Austenitizing)

ภายหลังจากทำการเผาอุ่นชิ้นงานในขั้นสุดท้าย จากนั้นจึงทำการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปจนถึงช่วงอุณหภูมิของชุบแข็ง (Hardening Temperature) และต้องทำการเผาแช่ที่อุณหภูมิชุบแข็งตามระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงาน เพื่อให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าและภายในมีความสม่ำเสมอเท่ากัน และเพื่อให้โครงสร้างจุลภาคได้เปลี่ยนเป็นออสเตนไนต์อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งไม่ควรเกิดการขยายตัวของเกรนออสเตนไนต์มากจนเกินไป

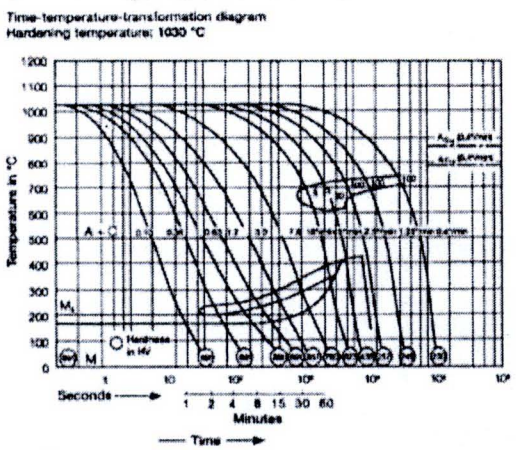
μ การจุ่มชุบ (Quenching)

2379 สามารถชุบได้ทั้งในสารชุบที่เป็นอากาศหรือน้ำมัน หรือสามารถจุ่มชุบในอ่างเกลือ (มาร์เทมเปอร์ริงค์) สำหรับการชุบในอ่างเกลือจะนำชิ้นงานจุ่มชุบที่อุณหภูมิ 500-550°C และคงไว้ที่อุณหภูมินี้จนกว่าชิ้นงานจะมีอุณหภูมิเท่ากันตลอดทั้งพื้นที่หน้าตัด จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ การจุ่มชุบทั้งสองแบบนี้จะต้องทำการอบสม่ำเสมอก่อนทำการอบคืนตัว



A = เหล็กกล้าโลหะผสมสูง (เหล็กกล้าเครื่องมือ ตาย่นอน-โครเมี่ยม ผสมสูง)
B = เหล็กกล้าคาร์บอน, เหล็กกล้าโลหะผสมต่ำ และปานกลาง

รูปที่ 2 เวลาการเผาแช่กับความหนาของ 2379



รูปที่ 3 CCT diagram ของ 2379 วิธีปกติ

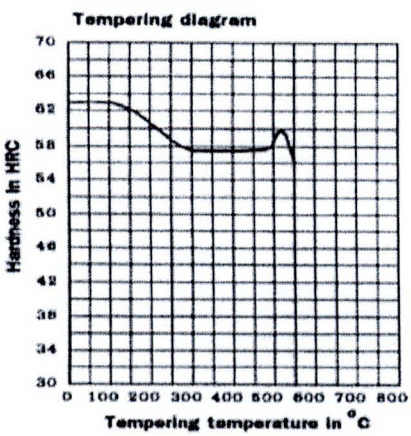
μ การอบสม่ำเสมอ (Equalization)

การอบสม่ำเสมอ เป็นการลดความเสี่ยงจากการเกิดรอแตกร้าว ขณะที่ทำการจุ่มชุบงานจนเย็นตัวลงถึงอุณหภูมิห้อง ซึ่งจะสามารถทำได้โดยขณะที่จุ่มชิ้นงานลงในสารชุบเมื่ออุณหภูมิของชิ้นงานลดลงมาจนมีอุณหภูมิเหลือประมาณ 80°C (ไม่ควรต่ำกว่านี้) ให้รีบนำชิ้นงานเข้าเตาอบที่มีอุณหภูมิ 100-150°C แล้วคงไว้จนกว่าชิ้นงานจะมีอุณหภูมิเท่ากันตลอดทั้งพื้นที่หน้าตัด หลังจากนั้นให้รีบทำการอบคืนตัวต่อไปโดยทันที

μ การอบคืนตัว (Tempering)

การอบคืนตัวมีวัตถุประสงค์ เพื่อช่วยลดระดับความเค้นสะสมในชิ้นงานที่เกิดขึ้นจากการชุบแข็ง และยังช่วยปรับความแข็งและความเหนียวแกร่งให้เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานต่อไป

เหล็กกล้าเครื่องมือที่ผ่านการชุบแข็งแล้ว ต้องรีบนำไปทำการอบคืนตัวทันที โดยต้องผ่านกระบวนการอบสม่ำเสมอก่อน การอบคืนตัวจะเริ่มทำโดยการเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิตามที่ได้กำหนดไว้จากค่าความแข็งที่ต้องการใช้งาน ซึ่งดูได้จากแผนภูมิการอบคืนตัว จากนั้นคงไว้ที่อุณหภูมินั้นประมาณ 1 ชม. ต่อความหนา 20 มม. และใช้เวลาคงไว้อย่างน้อยที่สุด 2 ชม. จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวในอากาศแล้วทำการตรวจสอบค่าความแข็งที่ได้ และบางกรณีอาจต้องทำการอบคืนตัวมากกว่า 1 ครั้งเพื่อให้มีปริมาณออสเตนไนต์ตกค้างหลงเหลืออยู่น้อยที่สุด



รูปที่ 4 แผนภูมิการอบคืนตัว 2379 วิธีปกติ

μ การชุบที่อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศา (Subzero Cooling)

โดยปกติภายหลังการอบชุบทางความร้อนเหล็กเครื่องมือมักมีปริมาณของออสเตนไนต์หลงเหลือจำนวนหนึ่งเสมอ ซึ่งสามารถเปลี่ยนโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ได้ในภายหลังและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่เกิดขึ้นนี้ จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางขนาดอีกเล็กน้อย ซึ่งโดยทั่วไปมักยอมรับการเปลี่ยนแปลงนี้ได้ แต่ในงานบางลักษณะก็อาจประสบปัญหาจากการเปลี่ยนแปลงทางขนาดในภายหลัง เช่น ในงานอุปกรณ์เครื่องมือวัดละเอียด หรืองานที่ต้องการความแม่นยำสูง วิธีการในการป้องกันปัญหาที่ดีที่สุดคือต้องกำจัดปริมาณของออสเตนไนต์หลงเหลือให้หมดไปหรือให้คงเหลืออยู่น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งอาจสามารถทำได้โดยการแช่แข็งเหล็กเครื่องมือที่อุณหภูมิประมาณ 80°C ภายหลังจากการจุ่มชุบ หลังจากนั้นต้องทำการอบคลายความเค้นที่อุณหภูมิในช่วงประมาณ 120-150°C วิธีการนี้ควรทำซ้ำกันหลาย ๆ ครั้งเพื่อให้เกิดผลดีที่สุด

❍ การชุบแข็งวิธีพิเศษ (Special Hardening Process)

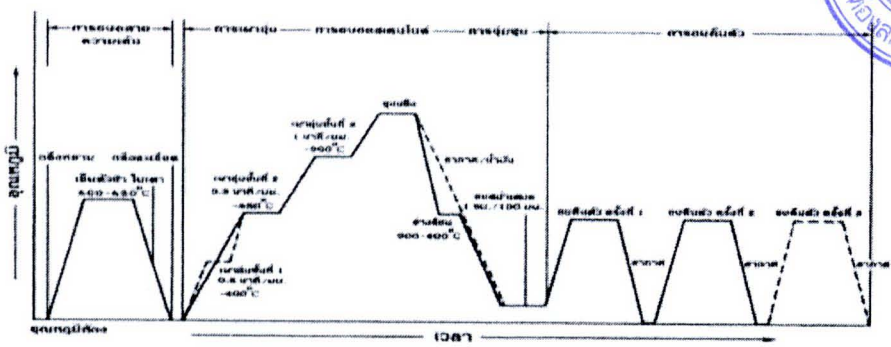
2379 จะสามารถทำการอบชุบด้วยวิธีพิเศษเพื่อเพิ่มความแข็งให้สูงขึ้นในช่วงอุณหภูมิอบคืนตัว โดยการอบออสเตนไนต์ในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าวิธีปกติ คือเพิ่มขึ้นเป็น 1050-1080°C ซึ่งจะทำให้มีการสลายตัวของคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นกว่าวิธีปกติ ดังนั้นเมื่อทำการอบคืนตัวในช่วงอุณหภูมิประมาณ 530°C (ควรกระทำอย่างน้อย 2 ครั้ง) จะให้ค่าความแข็งที่สูงมากกว่า 60 HRC ได้ (ประมาณ 62 HRC) ซึ่งจะทำให้เครื่องมือมีประสิทธิภาพสูงสุด

ตารางที่ 4 การชุบแข็ง 2379 ด้วยวิธีพิเศษ

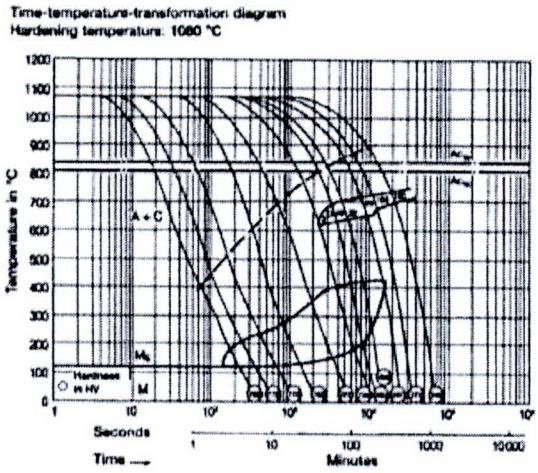
	อุณหภูมิ (°C)	สารชุบ	ความแข็ง
การชุบแข็ง (วิธีพิเศษ)	1050–1080	น้ำมัน, อากาศ / อ่างเกลือ 500-550°C	61 HRC

การอบคืนตัว

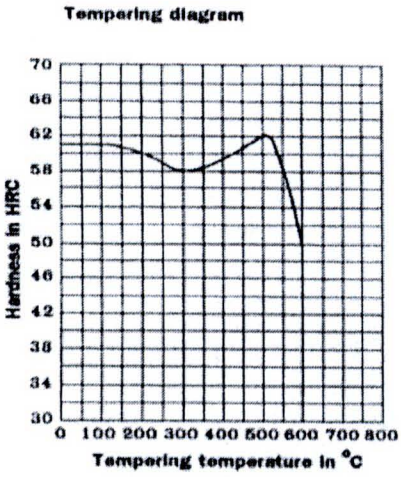
Temp (°C)	100	200	300	400
HRC	61	60	58	59
Temp (°C)	500	525	550	600
HRC	62	62	57	50



รูปที่ 5 แสดงภาพการชุบแข็ง 2379 วิธีพิเศษ



รูปที่ 6 CCT diagram ของ 2379 วิธีพิเศษ



รูปที่ 7 แผนภูมิการอบคืนตัว 2379 วิธีพิเศษ

❑ การขึ้นรูปและการแปรรูป (Processing)

❍ การออกแบบ (Design)

การออกแบบมีความสำคัญมากต่ออายุการใช้งานของเหล็กเครื่องมือ ชิ้นงานส่วนใหญ่มักเกิดความเสียหายได้ภายในระยะเวลาอันสั้นถ้ามีการออกแบบผิดพลาด โดยทั่วไปมีปัจจัยบางประการที่มีส่วนสนับสนุนให้เกิดรอยแตกร้าวหรือความเสียหายแก่ชิ้นงาน ได้แก่

- การออกแบบที่มีผนังบางมากเกินไป
- การเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดอย่างฉับพลัน
- การมีรอยบากที่มีมุมแหลมคม รวมทั้งการมีริ้วรอยที่เกิดจากการขัด การกลึง และการตอกรหัสรวมทั้งหมายเลขต่าง ๆ บนผิวชิ้นงาน

ในการออกแบบ ควรทำให้ชิ้นงานมีรูปร่างที่สมมาตรที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงสูง มีผิวที่แข็งสะอาด เรียบและมันเงา ปราศจากรอยขีดข่วน รวมทั้งการกำหนดค่ามุมรัศมีในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดให้มากที่สุด จะมีส่วนช่วยให้ชิ้นงานมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น นอกจากนี้ในการออกแบบแม่พิมพ์ยังต้องคำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากกระบวนการอบชุบทางความร้อนอีกด้วย ซึ่งถ้าหากไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดความแตกต่างทางอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเป็นปริมาณมากได้ในบริเวณที่มีพื้นที่หน้าตัดแตกต่างกัน ควรพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่จะทำการ แบ่งแม่พิมพ์ออกเป็นส่วนย่อยหลาย ๆ ส่วน

ภาคผนวก ข

ใบรับรองวัสดุและคุณลักษณะจำเพาะของเครื่องกัดโลหะ

2 0 NOV 2008

Alcan Aluminium Valais SA

CH-3960 Sierre
Suisse

ALCAN Global Aerospace,Transportation and Industry
Europe - ATI Valais, Sierre and Steg plants
Tel : +41(0) 27 457 61 11
www.alcan.com

ALCAN

INSPECTION CERTIFICATE
According To EN 10204-3.1
Disp. Advice / Cert 0080178224
Date 29/10/2008 **Page** 1

Garmco (S) Pte Ltd
No. 2 Tuas Basin Link
Singapore 638756

Your Order	DS52-028/2008 Garmco
Project	
Dated	03/09/2008
Our Confirmation No.	111029-20
Customer No.	603179
Sales Contact	Fabienne Salamin ++41 (27) 457 6432
Certificate Dpt :	41 27 457 68 15/6

Plates in aluminium AA6061-T651, mill finish, interleaved with Alumitex paper

Your article :

Lot	Production No.	Weight	Quantity	Dimensions
L20198	8192042	4570 Kg	48	6.35 X 1524 X 3658

Mechanical and technological properties

Sample	Tempe	Rm/T	Rp0.2/T	A50/T	HB							
min-max	T651	>=290	>=240	>=10								
min-max												

Measured values

1	T651	310	278	16	102							
2	T651	305	269	16	102							

Chemical composition Required composition (% by weight)

Casting No	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti		
Min	.40		.15		.8	.04					
Max	.8	.7	.40	.15	1.2	.35	.05	.25	.15		

Analysis results (% by weight) Other elements: Each <= 0.05% Total <= 0.15%

82673321	0.62	0.41	0.25	0.08	0.95	0.2	0.0045	0.01	0.022		

Aluminium Plate, Alloy 6082 T651, Alloy 6061 T651 and Alloy 7075 T651 as per beneficiary's sales contract no: DS52-028/2008/OCT dated 03 September 2008
CIF Singapore.
Drawn under United Overseas Bank Ltd (Swift address UOVBSGSG).
LC No. 1CMLC504259 dated 23 Oct. 08.

A. Edan
Inspection Department
Valid without signature 03

สัญลักษณ์	ใช้แทน	หมายถึง
T	เป็นการ ปฏิบัติการ ทางความร้อน เพื่อให้โลหะ คงรูป	ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ใช้อักษรตัว T ตามด้วยเลข 1 ถึง 10 เป็นข้อกำหนดการเปลี่ยนสภาพที่แตกต่างกันโดยการเติมตัวเลข ตัวเดียว หรือ หลายตัว
T1	เย็นตัวลงตามปกติ	ชุบแข็งด้วยตัวเอง(Naturally Aged)
T2	การอบอ่อน ใช้สำหรับ งานหล่อ เท่านั้น	เพื่อทำให้เหนียวขึ้น ใช้กับงานที่ได้ จากการหล่อ
T3	การอบละลาย และ การแปรรูปเย็น	ทำอบละลาย ต่อจากการทำแปรรูปเย็น เพื่อเพิ่มความแข็งแรง
T4	การอบละลาย และ การเอจจิ่งได้เอง จนอยู่ใน สภาพคงรูป (เอจจิ่งธรรมชาติ)	ทำหลังการอบละลายแล้วทิ้งไว้จนเกิดการเอจจิ่ง เพิ่มความแข็ง และ เกิดการคงรูป
T5	การเอจจิ่ง โดยกรรมวิธีทางความร้อน	งานที่ผ่านการทำกรรมวิธี ทางความร้อน เพื่อให้เกิดการเอจจิ่ง โดยไม่ต้องทำการอบละลายมาก่อน
T6	การอบละลาย แล้ว อบแช่ (เอจจิ่งเทียม)	งานที่ผ่านการอบละลายจากนั้น ใช้กรรมวิธี ทางความร้อน เพื่อทำการเอจจิ่งเทียม
T7	การอบละลาย และ ให้มีเสถียรภาพ	งานที่ผ่าน การอบละลายควบคุมอุณหภูมิ และเวลา ควบคุมขนาดของเกรน หรือ ควบคุม ความเค้นตกค้าง หรือ ควบคุมทั้งสองอย่าง
T8	การอบละลาย แล้วแปรรูปเย็น และ อบบ่มตัวแข็ง	ใช้กับโลหะที่ผ่าน การอบละลาย เพื่อให้โลหะเหนียวขึ้น จากนั้นจึงทำ การแปรรูปเย็น เพื่อเพิ่มความแข็งแรงวัสดุ ขึ้นอีกโดย การบ่มตัวแข็ง
T9	การอบละลาย แล้ว อบบ่มแข็ง และ แปรรูปเย็น	งานที่ผ่าน การอบละลาย แล้วทำ การบ่มแข็ง จึงทำการแปรรูปเย็นเพิ่มความแข็งแรง
T10	การอบบ่มแข็งแล้ว ทำการแปรรูปเย็น	งานที่ผ่าน กรรมวิธีทาง ความร้อนให้เกิด การอบบ่มแข็ง ไม่ผ่านการอบอ่อนมาก่อนทำ การแปรรูปเย็น เพื่อเพิ่มความแข็งแรง

SRIPETCH STEEL

บริษัท ศรีเพชรสตีล อิมปอร์ต เอ็กซ์ปอร์ต จำกัด

Sripetch Steel Import Export Co.,Ltd.

www.sripetch.com

TEST CERTIFICATE

Customer: คุณสุขแก้ว		Job No	
		Material	CPPU, SKD11
Process:	Vacuum Heat Treatment	Quantity(pcs)	5
Order Hardness		Weight (kgs)	
No.	Description/Dimension		HRC
[redacted]			60.0

Tested By: Date: 23/11/52

1702 Moo 4, Sukhuwit Rd., Theparak, Muang, Samutprakarn 10270

Tel: 02-757-9857-8, 02-757-384-0703, 02-757-9857 Fax: 02-757-9627

SRIPETCH STEEL

บริษัท ศรีเพชรสตีล อิมปอร์ต เอ็กซ์ปอร์ต จำกัด
Sripetch Steel Import Export Co.,Ltd.
www.sripetch.com

TEST CERTIFICATE

Customer		Job No	
		Material	PPL SKD11 [illegible]
Process	Vacuum Heat Treatment	Quantity(pcs)	
Order Hardness		Weight (kgs)	

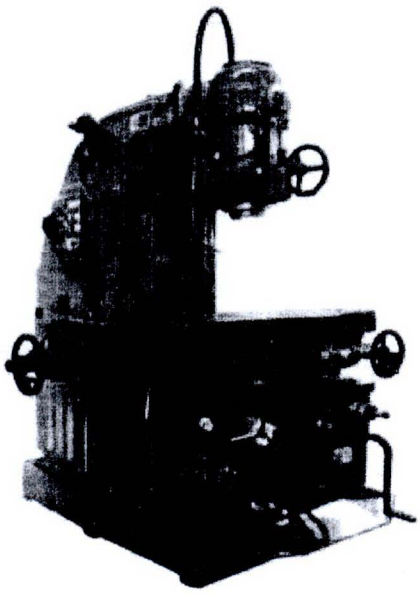
No	Description/Dimension	HRC
		[illegible]

Tested By _____ Date [illegible]

1202 Moo 4, Sukhumvit Rd., Theparak, Muang, Samutprakarn 10270
Tel. 02-757-9857-8, 02-757-384-0785, 02-757-9857, Fax. 02-757-9627

Beijing No.1 Machine Tool Plant

BYJC



XA5032 Knee Type Vertical Milling Machine

Knee type vertical milling model XA5032 is general purposed product. The machine features easy operation and high stability. These machines are widely suited for flat surfaces, grooves and gear machining in various mechanical machining sectors. When being provided accessories such as universal milling head, rotary working table and indexing head etc. can enlarge the application of machine.

Main Specification And Parameters.

Item		Unit	Parameters
Working Table	Working Surface (W×L)	mm	320×1250
	Load	kg	500
	No. Of T-slots		3
	Width Of T-Slots	mm	18
	Distance Between T-Slots	mm	70
Travel	X Longitudinal(Manual/Auto)	mm	700/680
	Y Cross(Manual/Auto)	mm	255/240
	Z Vertical(Manual/Auto)	mm	370/350
Spindle	Max. Swivel Angle	deg	45
	Speed	r/min	30~1500
	No. Of Spindle Speeds	step	18
	Taper		ISO7: 24 No.50
	Axial Motion	mm	85
	Distance From Spindle Nose To Table Surface Min./Max	mm	45/415
	Distance From Center Line To Vertical Guide Way Surface Of Column	mm	350

Beijing No.1 Machine Tool Plant

Feed rates	Cutting Feed Rate	mm/min	X,Y:23.5~1180,Z:8~394
	Rapid Feed Rate	mm/min	X,Y:2300,Z:700
	No. Of Feed	step	18
Motor	Power Of Spindle Motor	kw	7.5
	Power Of Feed Motor	kw	1.5
Others	Overall Dimensions(L× W ×H)	mm	2272×1770×2094
	Net Weight Of Machine (Approximately)	kg	2800

All specifications subject to change without notice.

Digital display unit of famous brand from home and abroad can be equipped on the machine based on customer's requirement.

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างแบบใบรายงานผลการทดสอบงานเชื่อม

(หน่วยงานที่ตรวจสอบ)	รายงานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณ ด้วยวิธีตรวจพินิจ	บฟ.มยผ.1561
	รายงานเลขที่.....	หน้า.....
	วันที่ตรวจสอบ	

ชื่อโครงการ	ทะเบียนตรวจสอบ
สถานที่ก่อสร้าง	ผู้รับจ้าง
เกณฑ์การยอมรับอื่นๆ ที่ใช้ร่วม	
เงื่อนไขการตรวจสอบ ☐ ดา ☐ แว่นขยาย กำลังขยาย..... เท่า ☐ อื่นๆ	
สภาวะการตรวจสอบ ☐ สร้างใหม่ ☐ การซ่อม ☐ ระหว่างใช้งาน	
สภาพผิวที่ตรวจสอบ ☐ รอยเชื่อม ☐ บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ☐ อื่นๆ	
วิธีการเตรียมผิวงาน ☐ ผิวรอยเชื่อม ☐ ขัด/ปัดด้วยแปรง ☐ ขัดด้วยเครื่องขัด ☐ พ่นทราย ☐ อื่นๆ	

รูปภาพหรือภาพสเกต ☐ มี (ตามเอกสารแนบ) ☐ ไม่มี

ตำแหน่ง/รหัสชิ้นงาน	ความไม่ต่อเนื่อง	ขนาด/จำนวน	ยอมรับ	ไม่ยอมรับ

ผลการตัดสิน ☐ สอดคล้องกับมาตรฐาน ☐ ไม่สอดคล้องกับมาตรฐาน ☐ หมายเหตุ (ระบุ).....

	ผู้ปฏิบัติงาน	ผู้ตรวจสอบ	ผู้อนุมัติ
ชื่อ-สกุล (ลายเซ็นต์)			
ชื่อ-สกุล (ตัวบรรจง)			
วันที่			

ใบบันทึกผลการทดสอบแรงดึง

PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR) หมายเลข.....

วัตถุประสงค์การทดลอง : 1 สามารถบันทึกผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานที่ออกแบบไว้ได้

2 สามารถคำนวณหาค่าความต้านแรงดึงและอัตราการยืดตัวของชิ้นทดสอบมาตรฐานเชื่อมได้

ผลการทดสอบแรงดึง							
ชิ้นทดสอบ หมายเลข	**ความกว้าง**	**ความหนา**	**พื้นที่ หน้าตัดหลัง ทดสอบ**	**ความยาว หลังทดสอบ**	**แรงดึง สูงสุด (กก.)**	**ความเค้น สูงสุด (กก/มม.^{2})**	**ลักษณะและ ตำแหน่ง ของการขาด**

รายละเอียดความผิดปกติใด ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ชื่อช่างเชื่อมที่ทดสอบรับรอง ..... ลงลายมือชื่อ .....

ตรวจสอบ..... โดยลงลายมือชื่อ.....

วัน/เดือน/ปี เวลา..... เวลา.....

Annex B (Informative)
Example of a Welding Operator Qualification Test Record Form

This Annex is not part of AWS D17.3/D17.3M:200X, *Specification for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys for Aerospace Applications*, but is included for informational purposes only.

Welding Operator Qualification Test Record for All Aluminum Alloys

Name _____ Identification _____

Welding Procedure Specification No _____

A. TEST WELD

1. Aluminum Alloys _____
2. Dimension
   Plate [ ] t = _____
   Pipe [ ] t = _____ Outer Diameter = _____
3. Friction Stir Welding Method
   Single Spindle [ ] Multiple Spindle [ ] Robotic [ ]
   Simultaneous Two-Sided [ ] Other [ ]

B. TEST RESULTS

1. Visual		Pass [ ]	Fail [ ]
2. Radiographic	N/A [ ]	Pass [ ]	Fail [ ]
3. Metallographic		Pass [ ]	Fail [ ]
4. Mechanical		Pass [ ]	Fail [ ]
5. Ultrasonic	N/A [ ]	Pass [ ]	Fail [ ]
6. Other:	N/A [ ]	Pass [ ]	Fail [ ]

C. VISUAL ACUITY TEST Pass [ ] Fail [ ]

D. QUALIFIED

1. Plate and Pipe, Groove and Fillet Welds [ ]
2. Pre-Production Weld[1] [ ]

[1] In addition, pre-production qualifies plate and pipe, and groove and fillet welds.

The above named individual is qualified in accordance with AWS D17.3 within the above limits for the friction stir welding method (see A3 above) used for this test weld.

Date of Test Weld _____ Signed by _____

Qualifying Authority

Annex C (Informative)
Examples of Welding Procedure Specification Forms

This annex is not part of AWS D17.3/D17.3M:200X, *Specification for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys for Aerospace Applications*, but is included for informational purposes only.

Preliminary Welding Procedure Specification (pWPS) for Friction Stir Welding

Fabricator's pWPS No. _____

Fabricator's WPQR No. _____

Friction stir welding operator's name _____

Base metal type and reference standard(s) _____

Base metal thickness (in [mm]) _____

Outside diameter of pipe (in [mm]) _____

Equipment identification _____

Tool identification (Sketch)*

Clamping arrangement (Sketch)*

Tack welding _____

Joint preparation and cleaning methods _____

Weld Class _____

Joint design

(Sketch)*

Welding Details

Run	Rotation speed (r/min)	Plunge depth (in [mm]) and/or axial force (lbs [kN])	Tilt angle (°)	Side tilt angle (°)	Dwell time (s)	Welding speed (in [mm] / min), others

Preheating temperature (°F [°C]) _____ Preheat maintenance temperature (°F [°C]) _____

Working temperature (°F [°C]) _____

Post-weld processing _____

Post-weld heat treatment _____

Other information* _____

Fabricator _____

Name, date and signature _____

* If required

Welding Procedure Specification for Friction Stir Welding	
Qualified Supporting WPQR(s)	WPS No
Governing Code: AWS D17.3	Date
Friction Stir Welding Method	Engineer
Background	**Sketch of Joint Design**
Part	
Weld Class	
Aluminum Alloys	
Alloy 1 Temper Thickness Range	
Alloy 2 Temper Thickness Range	
Grain Direction	
Preweld Cleaning Root face Plate or Tube Surface	
Root Face or Surface Coating	
Set-up	**Welding Variables**
Machine Model	Probe Standoff from Root Surface
Serial number	Axial Force (lbs [kN])
Weld Tool Drawing Number	Spindle Speed (r/min)
Weld Joint Type	Direction of Tool Rotation
Root opening (in [mm])	Tilt Angle (degrees) Side Tilt Angle (degrees)
Tool offset (in [mm])	Plunge Speed (in [mm] / min)
Weld Fixture Drawing Number	Dwell Time (s)
Anvil material	Clamp Pressure (psi [kPa])[a]
Note [a] 1,000 psi = 6.894757 MPa [a] 10 psi = 68.94757 kPa	

Welding Engineer _____ **Date** _____

Manager _____ **Date** _____

Annex D (Informative)
Examples of Welding Procedure Qualification Record Forms

This annex is not part of AWS D17.3/D17.3M:200X, *Specification for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys for Aerospace Applications*, but is included for informational purposes only.

Welding Procedure Qualification Record for Friction Stir Welding page 1 of 2

WPQR Number	Date
Governing Code: AWS D17.3	Engineer
Friction Stir Welding Method	
Fabricator	
Background	**Sketch of Joint Design**
Part	
Weld Class:	
Aluminum Alloys	
Alloy 1 Temper Thickness Range	Alloy 2 Temper Thickness Range
Grain Direction	Preweld Cleaning Root face Plate or Tube Surface:
Root Face or Surface Coating	
Set-up	**Welding Variables**
Machine Model and Serial number	Probe Standoff from Root Surface (in [mm])
Weld Tool Drawing Number	Axial Force (lbs [kN])
Weld Joint Type	Spindle Speed (r/min)
Root Opening (in [mm]):	Direction of Tool Rotation
Tool Offset (in [mm]):	Travel Speed (in [mm]/min)
Weld Fixture Drawing Number:	Tilt Angle (degrees) Side Tilt Angle (degrees)
Anvil Material:	Plunge Speed (in [mm]/min)
	Dwell Time (s)
	Clamp Pressure (psi [kPa])

Welding Engineer _____ **Date** _____

Manager _____ **Date** _____

Test Results

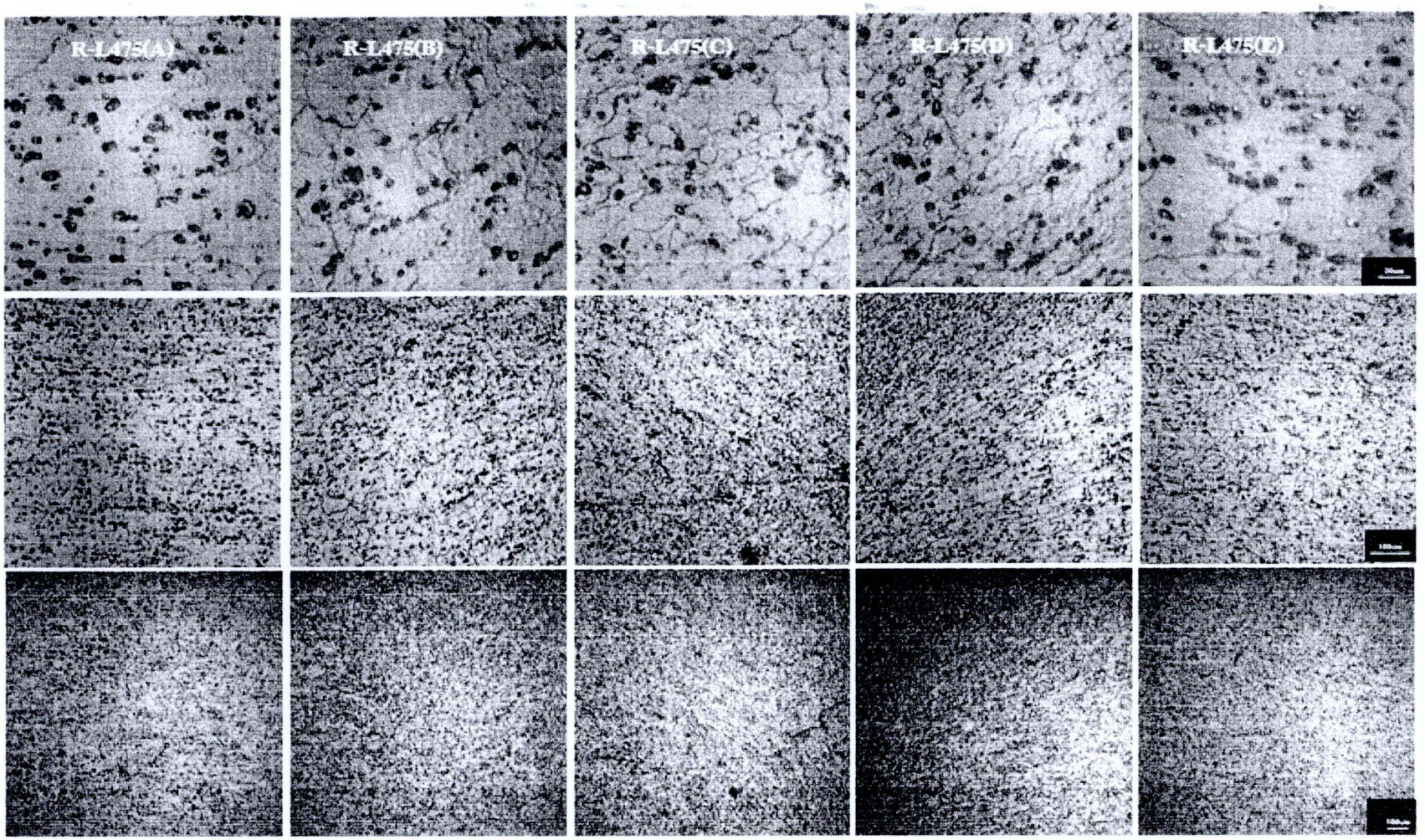
Specimen Identification Number	Yield Load (lbs [kN])	0.2 % Offset Tensile Yield Strength (ksi [MPa])	Ultimate Tensile Load (lbs [kN])	Ultimate Tensile Strength (ksi [MPa])	Elongation in 2 inch or 1 inch (%)

Test Results

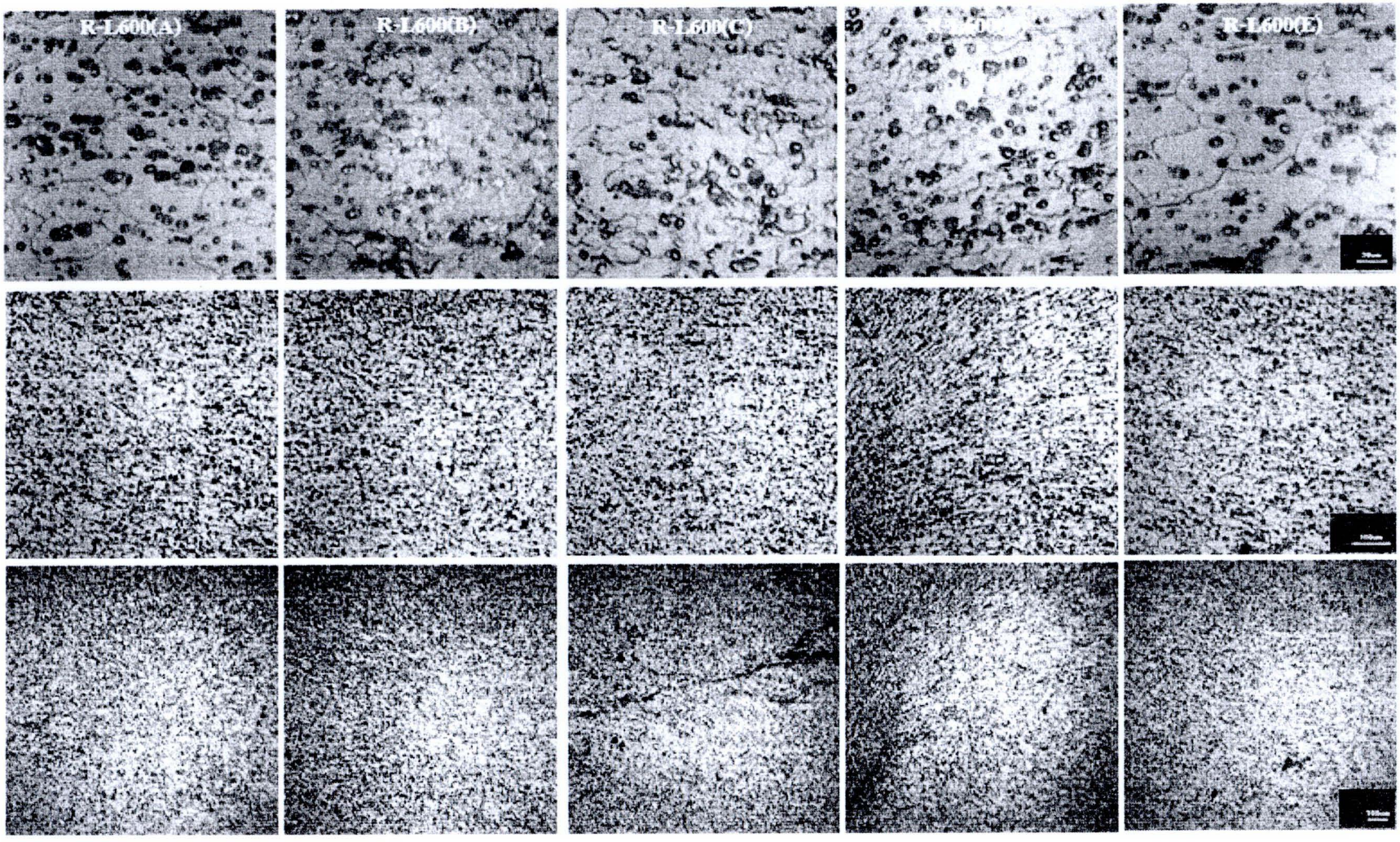
1.	Visual:		Pass [ ]	Fail [ ]
2.	Radiographic:	N/A [ ]	Pass [ ]	Fail [ ]
3.	Dye Penetrant:	N/A [ ]	Pass [ ]	Fail [ ]
4.	Metallographic:		Pass [ ]	Fail [ ]
4.	Mechanical:		Pass [ ]	Fail [ ]
5.	Ultrasonic:	N/A [ ]	Pass [ ]	Fail [ ]
6.	Other:	N/A [ ]	Pass [ ]	Fail [ ]

ภาคผนวก ง

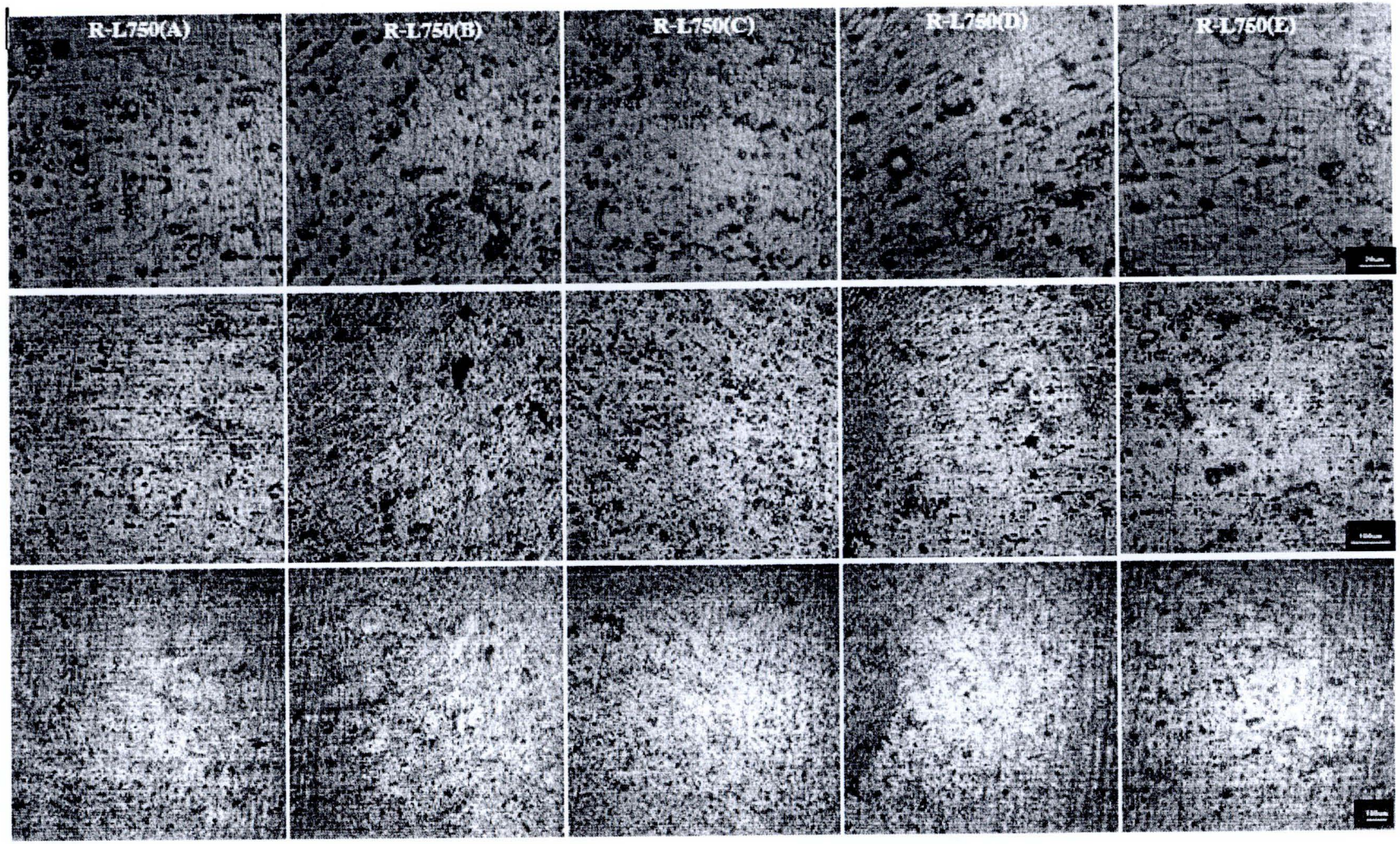
ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคในรอยเชื่อม



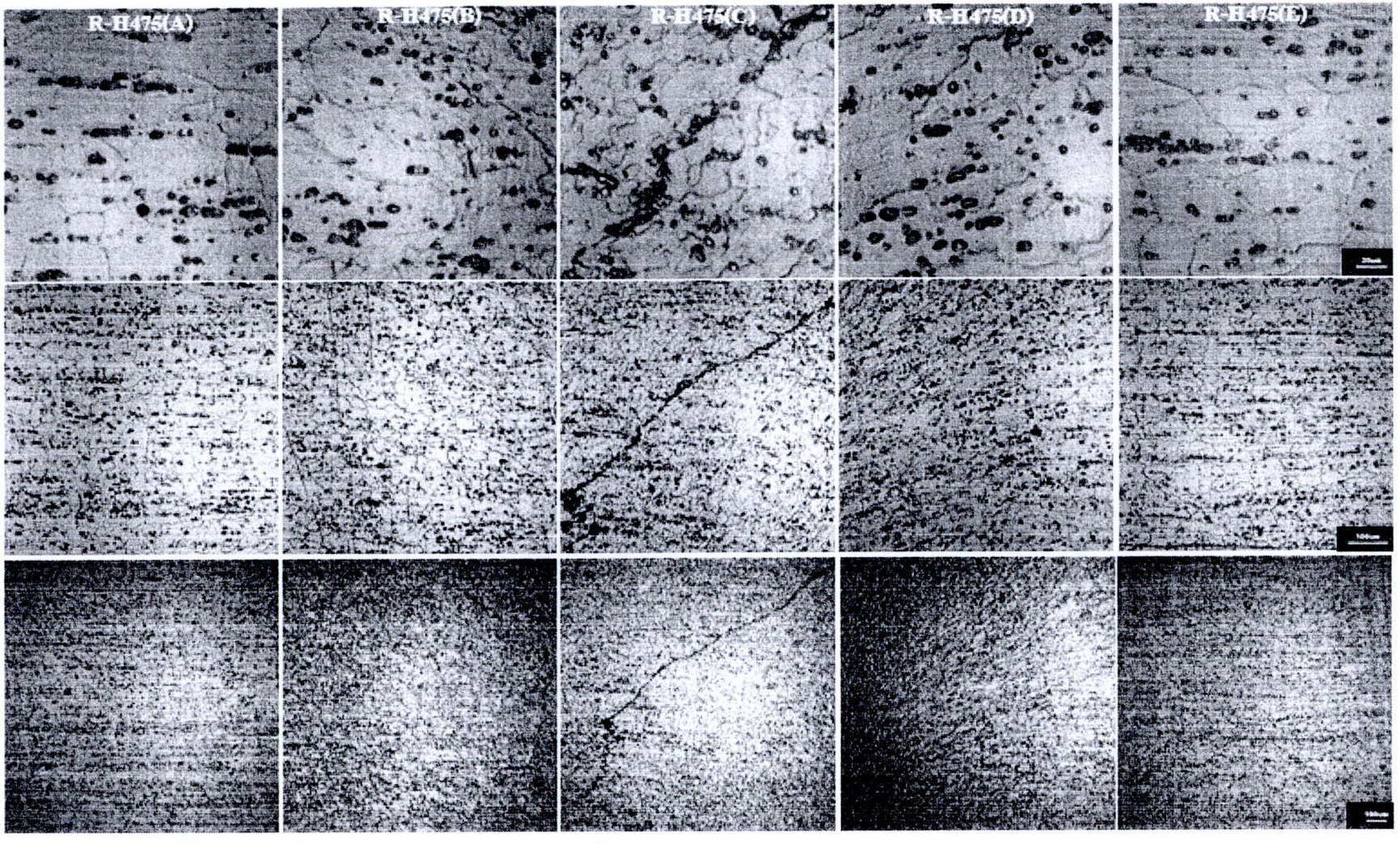
รูป ภ-1 โครงสร้างจุลภาคR-L475กำลังขยาย400 100และ50เท่า



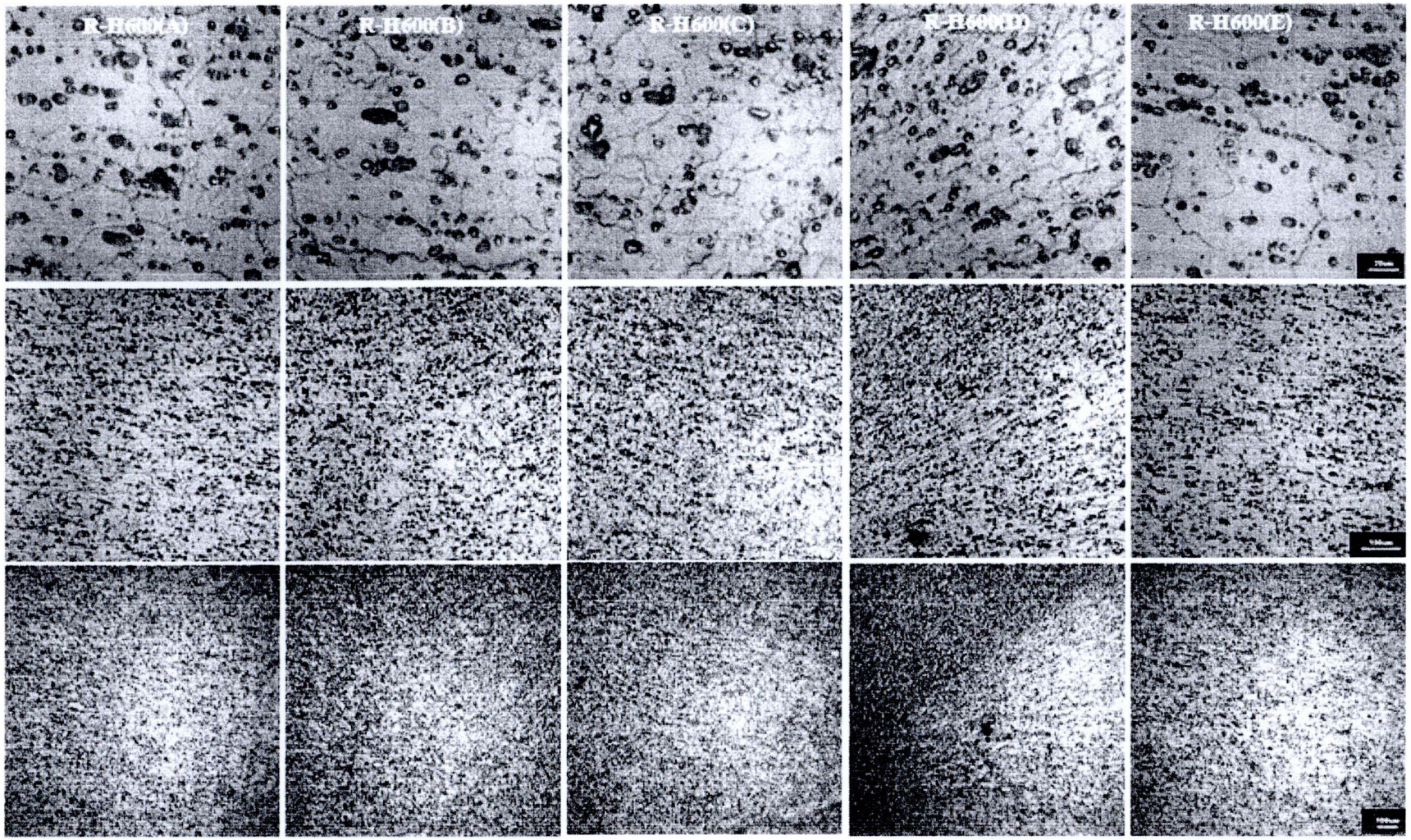
รูป ภ-2 โครงสร้างจุลภาคR-L600กำลังขยาย400 100และ50เท่า



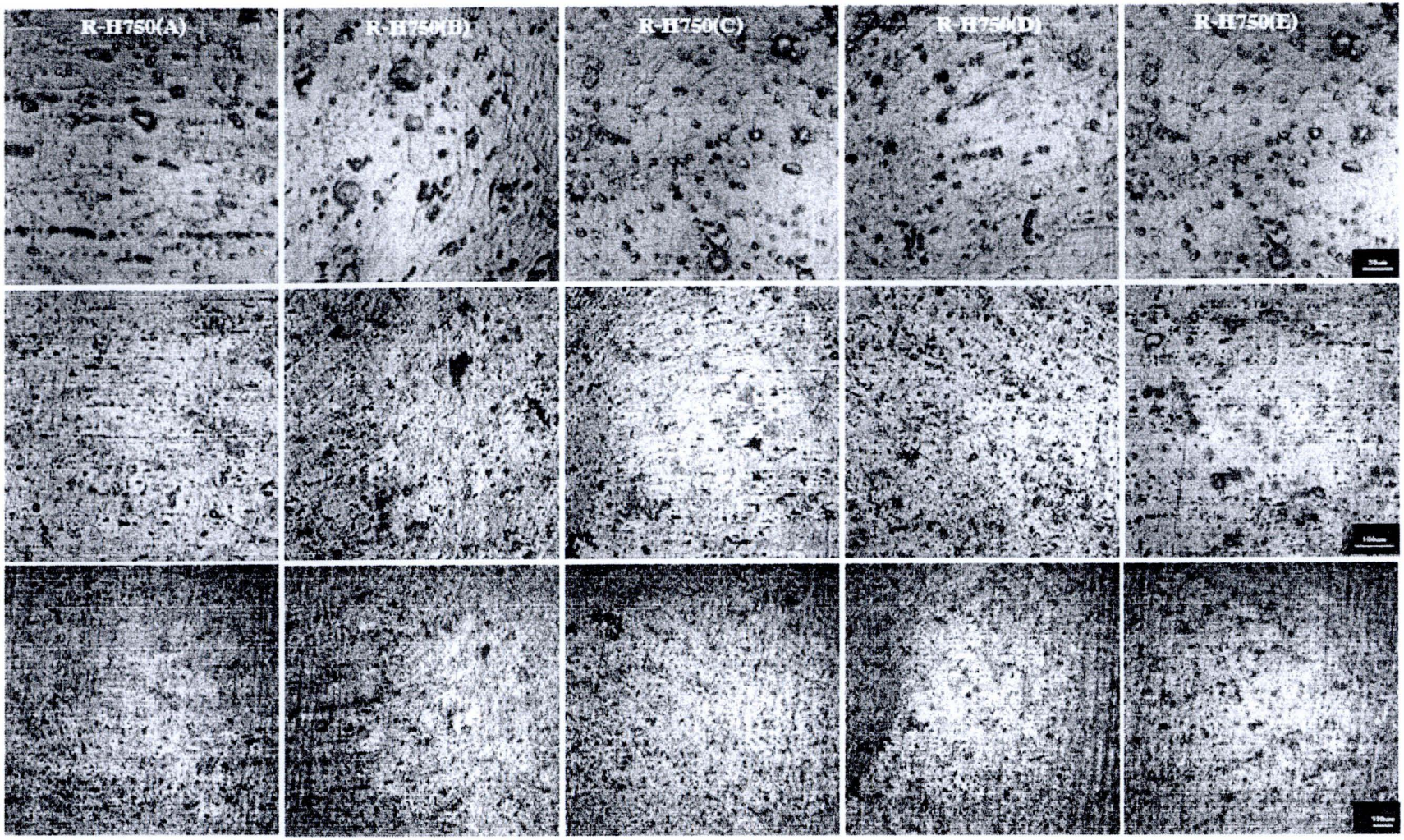
รูป ภ-3 โครงสร้างจุลภาคR-L750กำลังขยาย400 100และ50เท่า



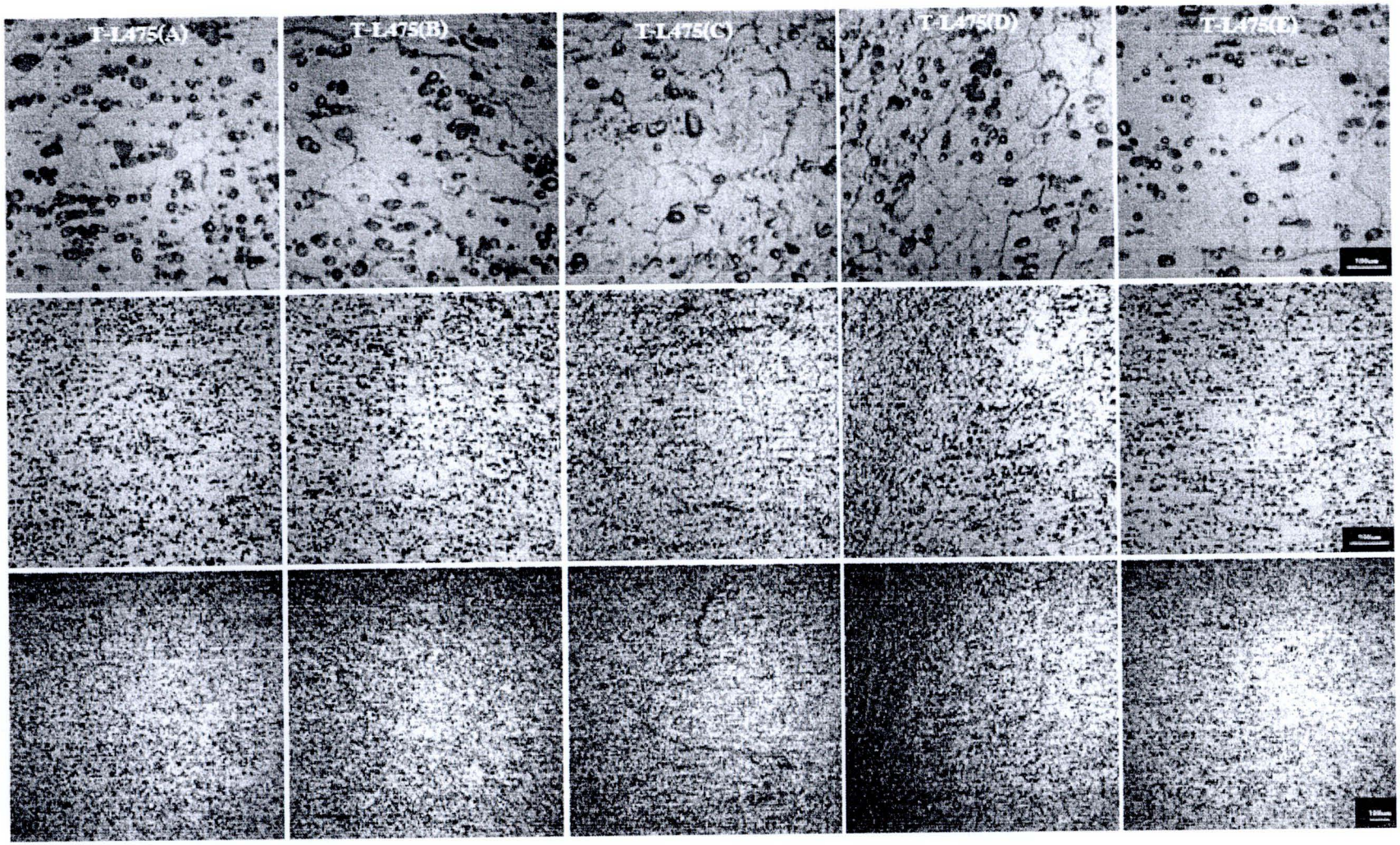
รูป ภ-4 โครงสร้างจุลภาคR-H475กำลังขยาย400 100 และ50



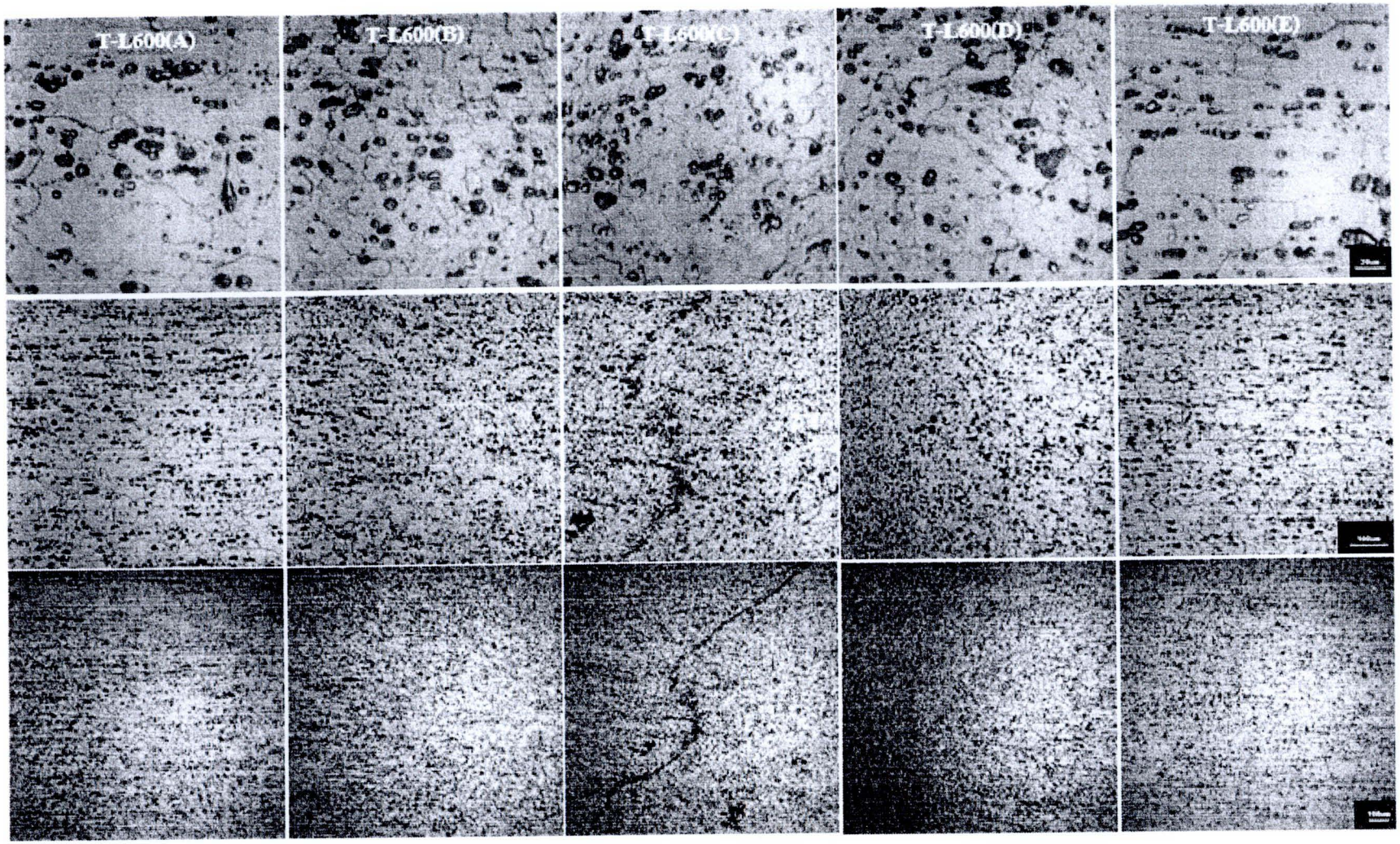
รูป ภ-5 โครงสร้างจุลภาคR-H600กำลังขยาย400 100และ501เท่า



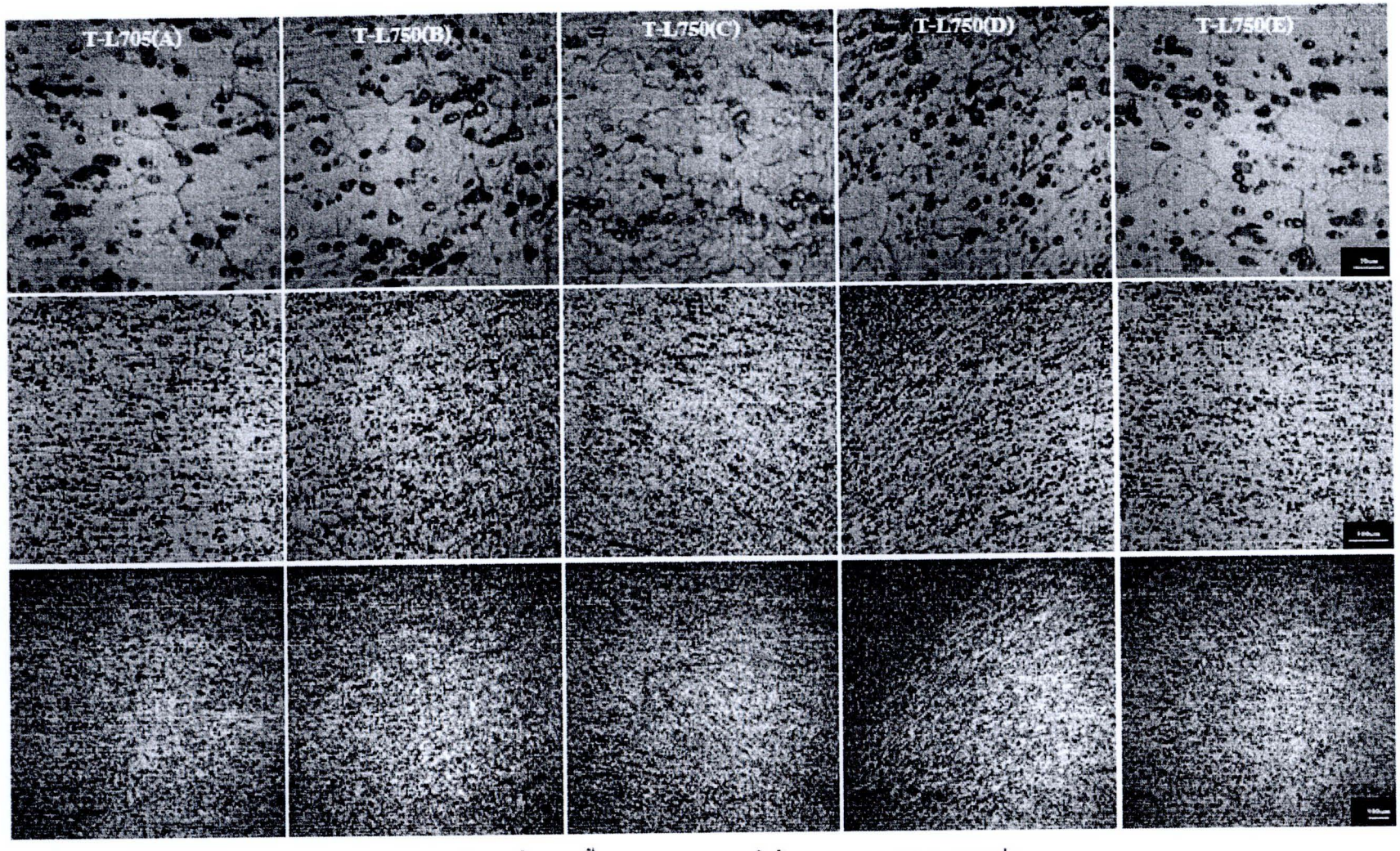
รูป ภ-6 โครงสร้างจุลภาคR-H750กำลังขยาย400 100และ 50เท่า



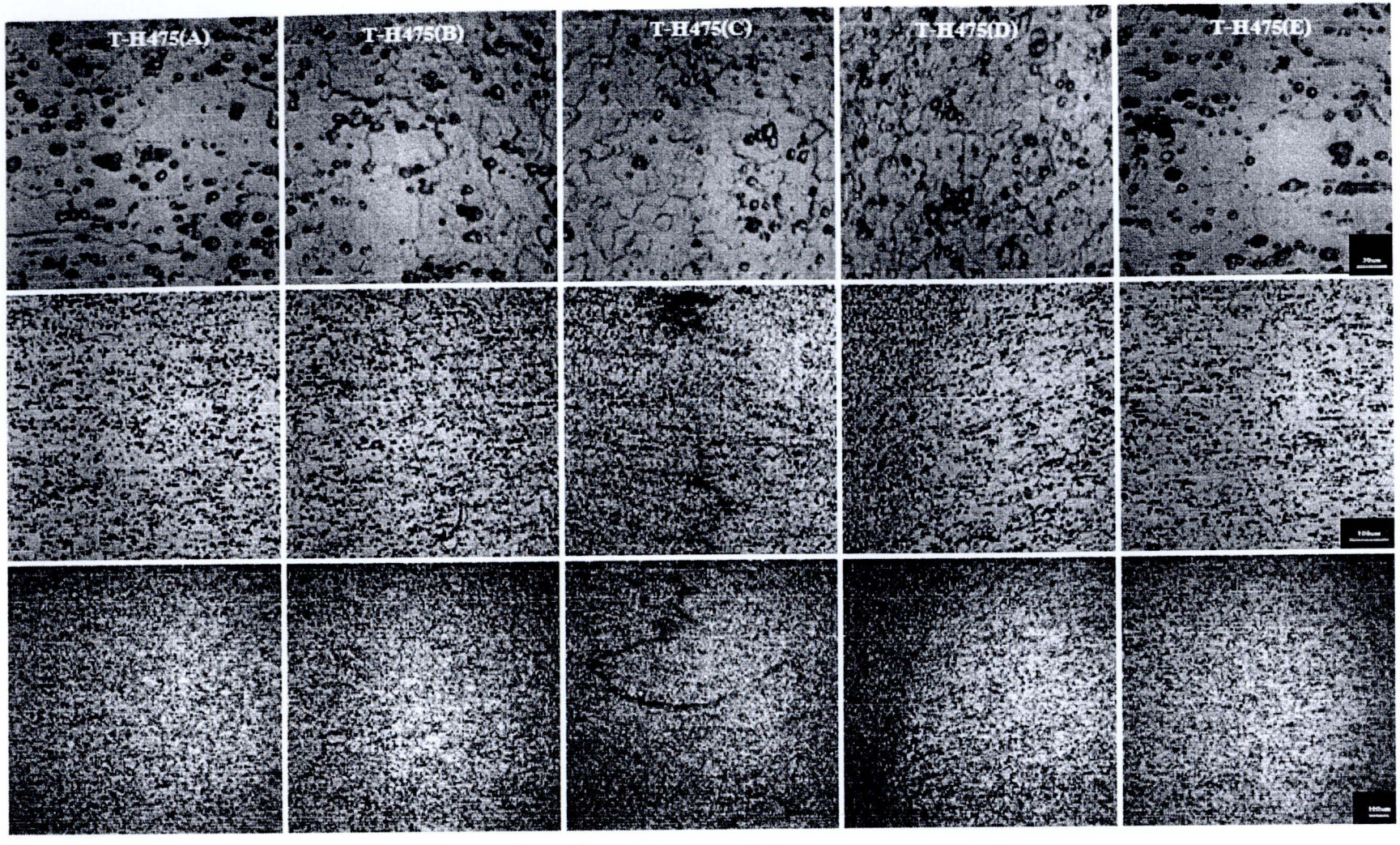
รูป ภ-7 โครงสร้างจุลภาคT-L475กำลังขยาย400 100และ501เท่า



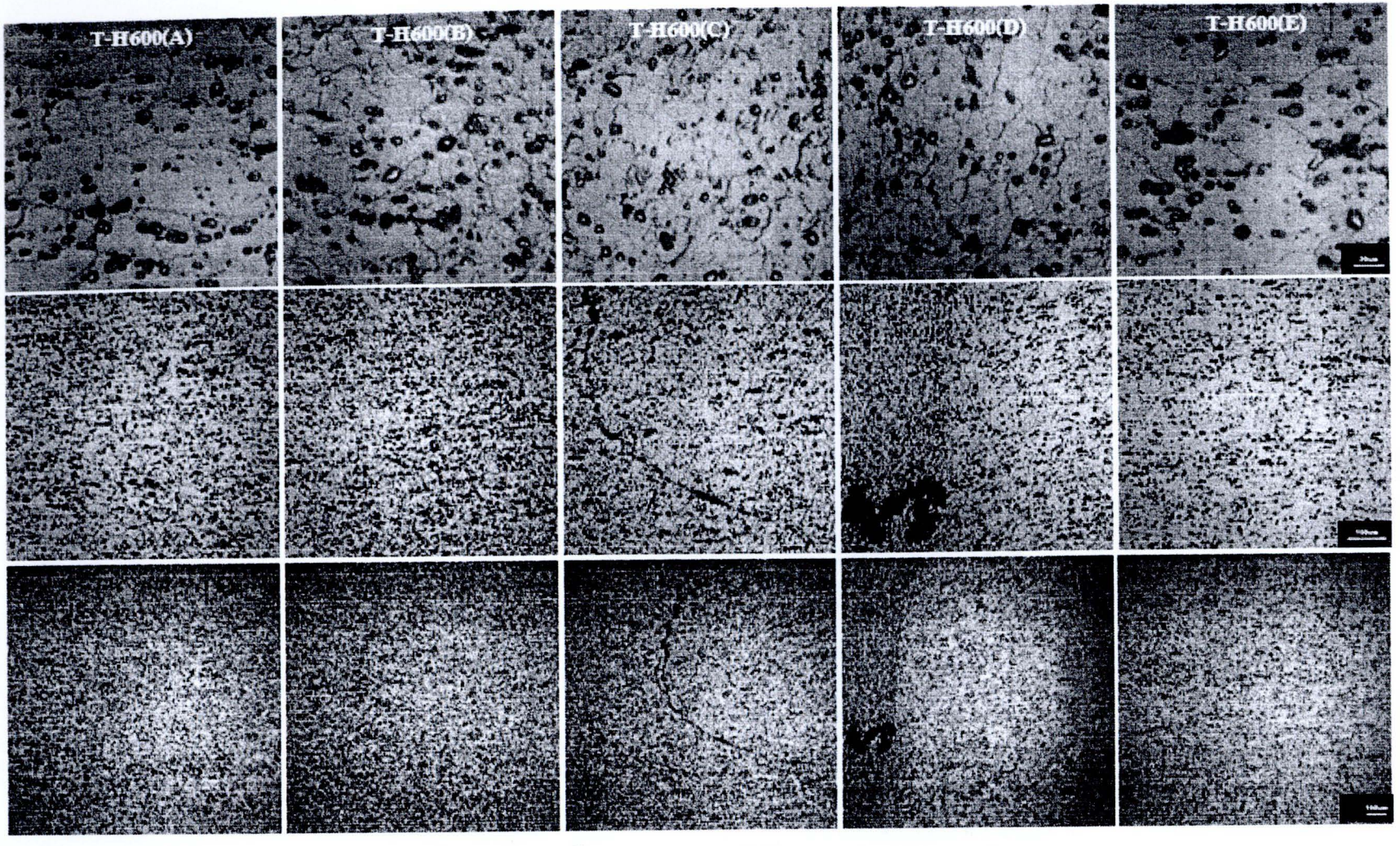
รูป ภ-5 โครงสร้างจุลภาคT-L600กำลังขยาย400 100และ501เท่า



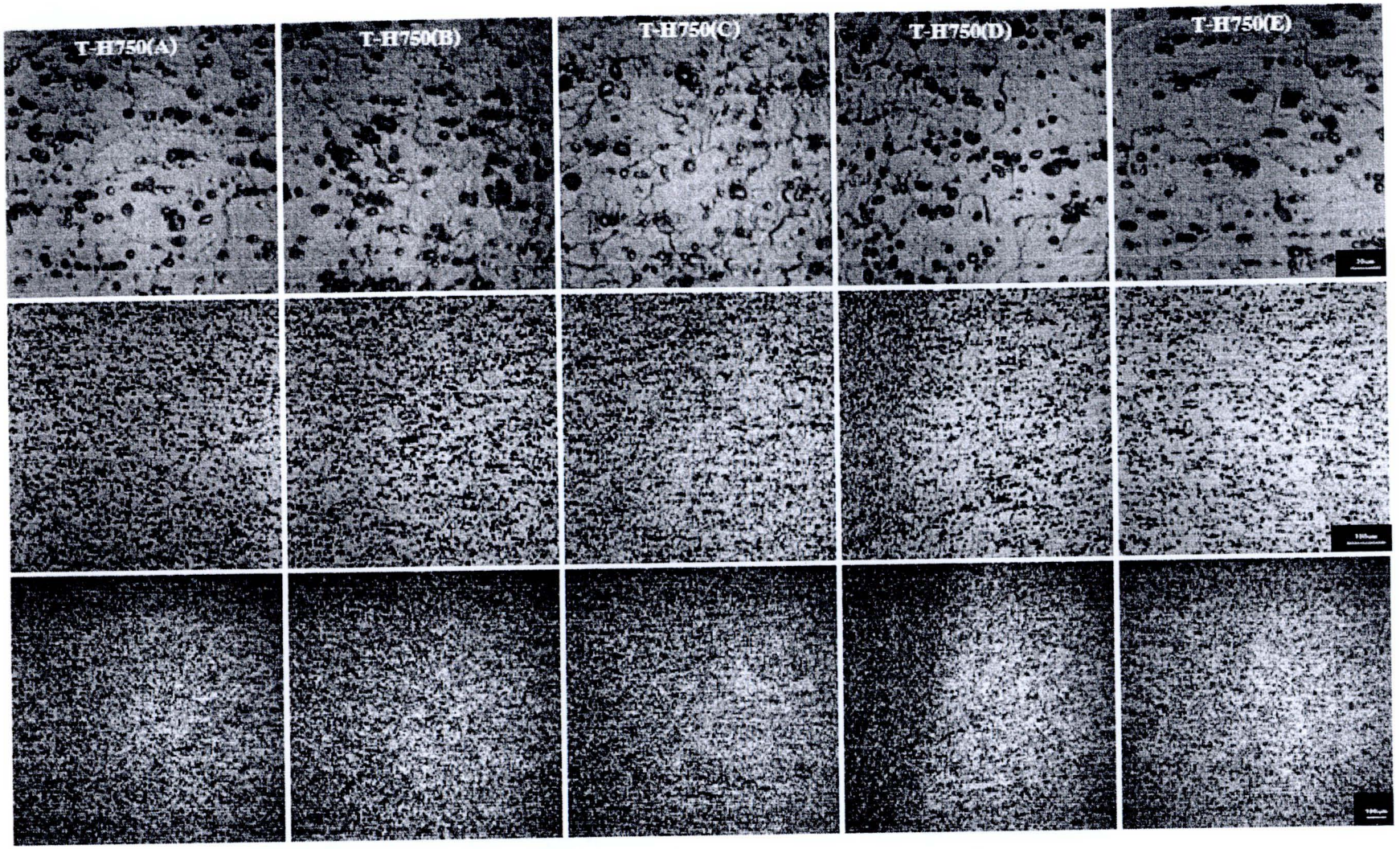
รูปภ-9 โครงสร้างจุลภาคT-L750กำลังขยาย400 100และ501เท่า



รูป ภ-10 โครงสร้างจุลภาคT-H475กำลังขยาย400 100และ50เท่า



รูป ภ-11 โครงสร้างจุลภาคT-H600กำลังขยาย400 100และ50เท่า



รูป ภ-12 โครงสร้างจุลภาคT-H750กำลังขยาย400 100และ501เท่า

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายสุขแก้ว คำเมืองสา
วัน-เดือน-ปีเกิด	7 กรกฎาคม 2510
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนาเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2533 สำเร็จการศึกษาปริญญาครุศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ปีการศึกษา 2543
ทุนการศึกษา	การศึกษาระดับปริญญาตรี กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน(สนพ.) 2541-2543 การศึกษาระดับปริญญาโท กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน(สนพ.) 2551-2552
ประสบการณ์	TANIN CONDENSER CO.,LTD 2534-2536 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2536-2541 ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2541-ปัจจุบัน
ผลงานวิจัย	Construction Of Bar - Type Physical Pendulum Apparatus 2006