รายการอ้างอิง

1. Loper, C.R. ; and Heine, R.W. Finite element modeling of eutectic ductile iron solidification in thermal analysis cups and T-plate shrinkage test castings. Transaction AFS 68 (1960) :321-339.
2. ASTM STANDARDS , Vol.01.02 (1989) : pp.124-125.
3. Minkoff, I. The physical metallurgy of cast iron. John Willey & son, 1983.
4. Karsay, S.I. Ductile iron production practice. AFS, 1985.
5. Henderson, H.E. Grey Ductile and Malleable iron casting-current capabilities. ASTM STP 60 (1969) : 455-462.
6. Mckillip, B. An Introduction to furan resins for foundry industry. 9^{th} –10^{th} March, 1993.
7. บริษัท คาโอ(ประเทศไทย) จำกัด. เทคโนโลยีการหล่อโลหะกับแบบฟูราน. 2535.
8. Campbell, J. Solidification shrinkage. Casting pp.175-208 London:Butterworth Heinemann , 1995.
9. John, R. Casting design , AFS ,1987.
10. Taki, I. Casting Technology , AFS ,1998.
11. หริส สูตะบุตร และเคนยิ จิยิจิวา. หล่อโลหะ. ญี่ปุ่น : สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ. 2517.
12. Foseco. Control and Prevention of casting defects.
13. ASTM Handbook. Casting 15 (1966):pp.102-115.
14. Sciama, G. Solidification of simple profiles with molten hot-spot-L, T and cruciform junction. AFS Cast Metals Research 306(1974) : 145-149.
15. Wallace, J.F. ; Samal, P.K. ; and Voss, J. Factors influencing a shrinkage cavity formation in ductile iron. AFS Transaction 84(1984) : 765-784.
16. Li, J.R., and others. Preliminary study of shrinkage behavior of ductile iron In green sand mold. AFS Transactions (1994) : 421-426.
17. Hummer, R.A. Study of the shrinkage and dilatation during solidification of nodular cast iron its relation to the morphology of crystallization. Materials Research Society Symposia Proceedings 34 (1985) : 213-222.
18. Beeley, P.R. Foundry technology , AFS , 1979.
19. Bradley, F.J., and others. Considerations in the application of mumerical simulation to shrinkage prediction in ductile iron castings. AFS transaction (1992) : 155-172.

ภาคผนวก

ตารางที่ ก 1 การคำนวณส่วนผสมทางเคมีของวัสดุหลอมในการทดลอง

การทดลองหลอมครั้งที่ ❶ เหล็กหล่อเทา

น้ำหนักวัสดุหลอม 60 กิโลกรัม ⇨เหล็กหล่อกราไฟท์กลม

เตาหลอมไฟฟ้าความถี่สูง

วัสดุหลอม				ธาตุผสม					
	วัสดุ	%	กิโลกรัม	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Mg
A	1.เหล็กพิก FCD	20	12	4.3 0.86	0.137 0.027	0.010 0.002	0.024 0.0048	0.006 0.0012	
	2.เหล็กหล่อใช้ซ้ำ	30	18	3.11 0.933	1.90 0.57	0.650 0.195	0.022 0.0066	0.022 0.0066	
	3.เศษเหล็กเหนียว	50	30	0.18 0.094	0.3 0.15	0.3 0.15	0.025 0.0125	0.016 0.008	
	4.รวม	100	60	1.887	0.857	0.347	0.023	0.016	
B	5. Recarburizer (ผงคาร์บอน)	1.69	1.02	66 1.113					
	6. Fe-Si	0.85	0.51		63 0.54				
	7. Fe-Mn								
	8. รวม	2.54	1.53	1.113	0.54				
C	9. อินนอคคูแลนต์ Fe-Si	0.3	0.18		75 0.225				
	10. สารก่อกราไฟท์กลม (Fe-Si-Mg)	1.5	0.9		46 0.69				5 0.075
	11. Chip-St.	2	1.2						
ผลรวม(A+B+C)			63.81	3.00	2.312	0.347	0.023	0.016	0.075
ส่วนผสมที่ต้องการ				2.8	2.3	0.3	0.2	0.2	0.045
ผลวิเคราะห์				2.75	2.37	0.425	0.019	0.016	0.044

ตารางที่ ก 2 การคำนวณส่วนผสมทางเคมีของวัสดุหลอมในการทดลอง

การทดลองหลอมครั้งที่ ❷ เหล็กหล่อเทา

น้ำหนักวัสดุหลอม 60 กิโลกรัม ➪เหล็กหล่อกราไฟท์กลม

เตาหลอมไฟฟ้าความถี่สูง

วัสดุหลอม				ธาตุผสม					
	วัสดุ	%	กิโลกรัม	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Mg
A	1.เหล็กพิก FCD	20	12	4.3 0.86	0.137 0.027	0.010 0.002	0.024 0.0048	0.006 0.0012	
	2.เหล็กหล่อใช้ซ้ำ	30	18	3.11 0.933	1.90 0.57	0.650 0.195	0.022 0.0066	0.022 0.0066	
	3.เศษเหล็กเหนียว	50	30	0.18 0.094	0.3 0.15	0.3 0.15	0.025 0.0125	0.016 0.008	
	4.รวม	100	60	1.887	0.857	0.347	0.023	0.016	
B	5. Recarburizer (ผงคาร์บอน)	2.14	1.28	66 1.413					
	6. Fe-Si	0.85	0.51		63 0.54				
	7. Fe-Mn								
	8. รวม	2.99	1.79	1.413	0.54				
C	9. อินน็อคคูแลนต์ Fe-Si	0.3	0.18		75 0.225				
	10. สารกอกราไฟท์กลม (Fe-Si-Mg)	1.5	0.9		46 0.69				5 0.075
	11. Chip-St.	2	1.2						
ผลรวม(A+B+C)			64.1	3.3	2.312	0.347	0.023	0.016	0.075
ส่วนผสมที่ต้องการ				3.1	2.3	0.3	0.2	0.2	0.045
ผลวิเคราะห์				3.10	2.14	0.182	0.014	0.015	0.045

ตารางที่ ก 3 การคำนวณส่วนผสมทางเคมีของวัสดุหลอมในการทดลอง

การทดลองหลอมครั้งที่ ❸ เหล็กหลอเทา

น้ำหนักวัสดุหลอม 60 กิโลกรัม ⇨เหล็กหล่อกราไฟท์กลม

เตาหลอมไฟฟ้าความถี่สูง

วัสดุหลอม				ธาตุผสม					
วัสดุ		%	กิโลกรัม	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Mg
A	1.เหล็กพิก FCD	20	12	4.3 0.86	0.137 0.027	0.010 0.002	0.024 0.0048	0.006 0.0012	
	2.เหล็กหล่อใช้ซ้ำ	30	18	3.11 0.933	1.90 0.57	0.650 0.195	0.022 0.0066	0.022 0.0066	
	3.เศษเหล็กเหนียว	50	30	0.18 0.094	0.3 0.15	0.3 0.15	0.025 0.0125	0.016 0.008	
	4.รวม	100	60	1.887	0.857	0.347	0.023	0.016	
B	5. Recarburizer (ผงคาร์บอน)	2.60	1.6	66 1.713					
	6. Fe-Si	0.85	0.51		63 0.54				
	7. Fe-Mn								
	8. รวม	3.45	2.11	1.713	0.54				
C	9. อินน็อคคูแลนต์ Fe-Si	0.3	0.18		75 0.225				
	10. สารก่อกราไฟท์กลม (Fe-Si-Mg)	1.5	0.9		46 0.69				5 0.075
	11. Chip-St.	2	1.2						
ผลรวม(A+B+C)			64.5	3.6	2.312	0.347	0.023	0.016	0.075
ส่วนผสมที่ต้องการ				2.8	2.3	0.3	0.2	0.2	0.045
ผลวิเคราะห์				3.34	2.31	0.37	0.017	0.0170	0.052

ตารางที่ ก 4. การคำนวณส่วนผสมทางเคมีของวัสดุหลอมในการทดลอง

การทดลองหลอมครั้งที่ ❹ ➪เหล็กหล่อเทา

น้ำหนักวัสดุหลอม 60 กิโลกรัม เหล็กหล่อกราไฟท์กลม

เตาหลอมไฟฟ้าความถี่สูง

วัสดุหลอม				ธาตุผสม					
	วัสดุ	%	กิโลกรัม	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Mg
A	1.เหล็กพิก FC	20	12	4.23 0.846	1.58 0.316	0.06 0.012	0.039 0.0078	0.033 0.0066	
	2.เหล็กหล่อใช้ซ้ำ	30	18	3.11 0.933	1.90 0.57	0.650 0.195	0.022 0.0066	0.022 0.0066	
	3.เศษเหล็กเหนียว	50	30	0.18 0.094	0.3 0.15	0.3 0.15	0.025 0.0125	0.016 0.008	
	4.รวม	100	60	1.873	1.036	0.36	0.0269	0.02	
B	5. Recarburizer (ผงคาร์บอน)	1.4	0.84	66 0.927					
	6. Fe-Si	1.85	1.11		63 1.16				
	7. Fe-Mn	0.30	0.18			80 0.243			
	8. รวม	3.55	2.13	0.927	1.16	0.243			
C	9. อินนอคคูแลนต์ Fe-Si	0.3	0.18		75 0.225				
	10. สารก่อกราไฟท์กลม (Fe-Si-Mg)								
	11. Chip-St.								
	ผลรวม(A+B+C)		62	2.8	2.2	0.6	0.0269	0.02	
	ส่วนผสมที่ต้องการ			2.8	2.2	0.6	0.02	0.02	
	ผลวิเคราะห์			2.91	2.15	0.515	0.021	0.020	

ตารางที่ ก 5 การคำนวณส่วนผสมทางเคมีของวัสดุหลอมในการทดลอง

การทดลองหลอมครั้งที่ ❺ ⇨เหล็กหลอเทา

น้ำหนักวัสดุหลอม 60 กิโลกรัม เหล็กหลอกราไฟท์กลม

เตาหลอมไฟฟ้าความถี่สูง

วัสดุหลอม				ธาตุผสม					
	วัสดุ	%	กิโลกรัม	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Mg
A	1.เหล็กพิก FC	20	12	4.23 0.846	1.58 0.316	0.06 0.012	0.039 0.0078	0.033 0.0066	
	2.เหล็กหลอใช้ซ้ำ	30	18	3.11 0.933	1.90 0.57	0.650 0.195	0.022 0.0066	0.022 0.0066	
	3.เศษเหล็กเหนียว	50	30	0.18 0.09	0.3 0.15	0.3 0.15	0.025 0.0125	0.016 0.008	
	4. รวม	100	60	1.869	1.036	0.357	0.0269	0.02	
B	5. Recarburizer (ผงคาร์บอน)	1.86	1.12	66 1.231					
	6. Fe-Si	1.49	0.89		63 0.939				
	7. Fe-Mn	0.304	0.18			80 0.243			
	8. รวม	3.654	2.19	1.231	0.939	0.243			
C	9. อินนอคคูแลนต์ Fe-Si	0.3	0.18		75 0.225				
	10. สารกอกราไฟท์กลม (Fe-Si-Mg)								
	11.Chip-St.								
ผลรวม(A+B+C)			62.37	3.1	2.2	0.6	0.0269	0.02	
ส่วนผสมที่ต้องการ				3.1	2.2	0.6	0.0269	0.02	
ผลวิเคราะห์				3.11	2.00	0.590	0.024	0.025	

ตารางที่ ก 6 การคำนวณส่วนผสมทางเคมีของวัสดุหลอมในการทดลอง

การทดลองหลอมครั้งที่ ❻ ⇨เหล็กหลอเทา

น้ำหนักวัสดุหลอม 60 กิโลกรัม เหล็กหลอกราไฟท์กลม

เตาหลอมไฟฟ้าความถี่สูง

วัสดุหลอม				ธาตุผสม					
	วัสดุ	%	กิโลกรัม	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Mg
A	1.เหล็กพิก FC	20	12	4.23 0.846	1.58 0.316	0.06 0.012	0.039 0.0078	0.033 0.0066	
	2.เหล็กหล่อใช้ซ้ำ	30	18	3.11 0.933	1.90 0.57	0.650 0.195	0.022 0.0066	0.022 0.0066	
	3.เศษเหล็กเหนียว	50	30	0.18 0.094	0.3 0.15	0.3 0.15	0.025 0.0125	0.016 0.008	
	4.รวม	100	60	1.869	1.036	0.36	0.0269	0.02	
B	5. Recarburizer (ผงคาร์บอน)	2.319	1.39	66 1.531					
	6. Fe-Si	1.49	0.89		63 0.939				
	7. Fe-Mn	0.304	0.18			80 0.243			
	8. รวม	4.113	2.5	1.53	0.939	0.243			
C	9. อินนอคคูแลนต์ Fe-Si	0.3	0.18		75 0.225				
	10. สารกอกราไฟท์กลม (Fe-Si-Mg)								
	11. Chip-St.								
	ผลรวม(A+B+C)		62.64	3.4	2.2	0.6	0.0269	0.02	
	ส่วนผสมที่ต้องการ			3.4	2.2	0.6	0.02	0.02	
	ผลวิเคราะห์			3.40	2.05	0.614	0.023	0.023	

ประวัติผู้เขียน

นายนพดล อุ่มน้อย เกิดวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2509 ที่โรงพยาบาลราชวิถี อำเภอพญาไท จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาประโยควิชาชีพชั้นสูง สาขาต้นแบบหล่อ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2531 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษม บัณฑิต ในปีการศึกษา 2536 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2538 ปัจจุบันรับราชการที่สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวง อุตสาหกรรม