

บรรณานุกรม

- ชาลิต เชียงกล. (2542). โลหะวิทยา. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ชาญณรงค์ สายแก้ว. (2553). สถิติและการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม. ขอนแก่น: สำนักพิมพ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- มงคล แดงสิงห์. (2549). การลดของเสียในการผลิตเหล็กหล่อแกรไฟต์กลมในอุตสาหกรรมขึ้นส่วนยานยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหะการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- มนัส สติรจินดา. (2543). เหล็กหล่อ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.
- มานพ ดันตระบัณฑิตย์. (2536). วัสดุวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- นุชธนา พูลทอง. (2545). อิทธิพลของธาตุผสมและอัตราการเย็นตัวต่อโครงสร้างและสมบัติทางกลของเหล็กหล่อกึ่งแข็ง. วารสารวิจัยและพัฒนา มธจ., 25(1), 69-85.
- บัญชา ธนบุญสมบัติ และคณะ. (2544). ข้อบกพร่องในงานหล่อโลหะ สาเหตุและวิธีแก้ไข. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- บุญเรือง มานะสุรการ. (2539). เทคโนโลยีเหล็กหล่อ. สงขลา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ปราเมศ ชูติมา. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยรัตน์ ราชวาง. (2546). การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อวิธีการตรวจวัดประสิทธิภาพของกระบวนการอินนอคคูเลชันในงานหล่อเหล็กหล่อเทา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. (2547). การออกแบบการทดลองขั้นสูง (Advance experimental design). เชียงใหม่: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เรวัณห์ เหล่าไพบูลย์. (2542). รายงานการวิจัยเรื่องการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของเหล็กหล่อจากผู้ผลิตในจังหวัดอุบลราชธานี. อุบลราชธานี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- สุกชัย ประเสริฐกุล. (2539). โลหะวิทยากายภาพสำหรับวิศวกร (Physical metallurgy for engineers.). อุบลราชธานี: ไชน์ แอนด์ เอ็นจิเนียริง.
- อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล. (2545). การวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 3. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิขสิทธิ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย. (2551). รายงานการผลิตเหล็กในประเทศไทย. ค้นเมื่อ 13 กันยายน 2551, จาก <http://www.isit.or.th/th/aboutus/faqs.pdf>.
- (2549). รายงานสภาวะอุตสาหกรรมเหล็กหล่อปี 2549. ค้นเมื่อ 19 กันยายน 2551, จาก <http://www.oie.go.th/industrystatus2/230.pdf>.
- Coenell, J.A. (1990). **Experiment with mixtures: designs, models, and the analysis of mixture data**. 2th Edition. New York: John Wiley and Sons.
- Davis, J. (1996). **ASM Speciality Handbook Cast Irons**. Ohio: ASM International.
- Haque, M.M., & Young, J. M. (1995). Production of Sheroidal Graphite Aluminium Cast Iron and the factors affecting it. **Journal of Materials Processing Technology**, (55), 186-192.
- Karsay, S.I. (1975). Ductile Iron Practice. **American Foundrymen's Society**, (3), 1-47.
- Dieter, G.E., & Kuhn, A.H., & Gegel, H.L., & Malas, J.C., & Doraivelu, S.M., & Shende, V.A. (1988). **Metal Handbook**. 9th Edition. Ohio: ASM International.
- Montgomery, D.C. (2001). **Design and analysis of experiment**. 5th Edition. New York, USA: John Wiley and Sons.
- Myers, R. H., & Montgomery, D.C. (2002). **Response surface methodology process and product optimization using designed experiments**. New York: John Wiley and Sons.
- Pande, P.S., Neumen, R.P., & Cavanaugh, R.R. (2002). **The Six Sigma way: team field book**. New York: McGraw-Hill.
- Patterson, V.H., & Lalich, M.J. (1987). Fifty year of progress in cast iron inoculation. **American Foundrymen's Society Transaction**, (44), 33-41.
- Silln, R., and Lisall, R. (1991). **Optimization of Inoculation Practice by Means of Thermal Analysis**. Novacast AB. Sweden: Metallurgy Division.
- Simon, M.J. (2003). **Concrete Mixture Optimization Using Statistical Methods: Final Report**. [Electronic version]. McLean VA.: Federal Highway Administration.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการออกแบบส่วนผสมและผลการทดลองสมบัติเชิงกล

ตารางที่ ก. 1 ข้อมูลการออกแบบส่วนผสมสำหรับค่าความต้านทานต่อแรงดึง

อัตรา ส่วนผสม ที่	x1	x2	x3	x4	ความต้านทานต่อแรงดึง		
	(%)	(%)	(%)	(%)	(Kg/mm2)		
					1	2	3
1	78.73	16.95	3.11	1.21	10.84	10.74	9.4
2	74.87	20	3.21	1.93	12.49	10.83	13.58
3	76.86	19.64	2.5	1	16.2	16.42	16.47
4	80	15.11	2.53	2.36	13.45	14.17	13.08
5	77.37	16.25	3.38	3	13.05	13.48	13.35
6	75.34	19.16	2.5	3	14.83	15.62	13.38
7	80	13	4	3	11.46	10	9.41
8	77.59	18.22	3.19	1	15.77	14.85	12.82
9	76.09	18.39	4	1.53	11.5	11.83	11.71
10	75	20	4	1	14.65	14.83	14.48
11	75.24	17.76	4	3	8.42	9.67	9.1
12	79.84	15.64	3.42	1.1	22.86	23	23.77
13	77.68	17.49	2.5	2.34	16.15	15.79	16.11
14	73	20	4	3	16.04	16.9	16.11
15	77	16.89	4	2.11	13.27	16.6	13.08



ตารางที่ ก. 2 ข้อมูลการออกแบบส่วนผสมสำหรับค่าความแข็ง

อัตรา ส่วนผสม ที่	x1	x2	x3	x4	ความแข็ง		
	(%)	(%)	(%)	(%)	(HB)		
					1	2	3
1	78.73	16.95	3.11	1.21	167.86	167.34	174.19
2	74.87	20	3.21	1.93	163.81	156.59	152.92
3	76.86	19.64	2.5	1	231.25	252.84	243.87
4	80	15.11	2.53	2.36	176.37	170.98	172.58
5	77.37	16.25	3.38	3	170.98	143.84	162.33
6	75.34	19.16	2.5	3	201.85	243	218.8
7	80	13	4	3	138.58	147.64	129.92
8	77.59	18.22	3.19	1	190.95	161.84	174.73
9	76.09	18.39	4	1.53	160.87	154.74	148.5
10	75	20	4	1	181.43	190.33	179.16
11	75.24	17.76	4	3	165.82	165.31	165.31
12	79.84	15.64	3.42	1.1	214.38	243	216.57
13	77.68	17.49	2.5	2.34	189.11	171.51	182.01
14	73	20	4	3	203.86	219.55	215.11
15	77	16.89	4	2.11	175.82	179.72	190.95

ภาคผนวก ข

ผลจากการออกแบบส่วนผสมจากโปรแกรม Design-Expert เวอร์ชัน 8.0

1. ผลการออกแบบส่วนผสมแบบ D-optimal

1.1 วิเคราะห์รูปแบบสมการสำหรับค่าความต้านทานต่อแรงดึง

Response	1	Tensile strength	Transform:	None	
*** WARNING: The Cubic Model and higher are Aliased! ***					
*** Mixture Component Coding is L_Pseudo. ***					
Summary (detailed tables shown below)					
	Sequential	Lack of Fit	Adjusted	Predicted	
Source	p-value	p-value	R-Squared	R-Squared	
Linear	0.0574	< 0.0001	0.1045	-0.008	
Quadratic	0.0044	< 0.0001	0.3713	0.25	
Special Cubic	< 0.0001	0.0005	0.9245	0.894	Suggested
Cubic	0.0005		0.9483	0.9206	Aliased

Sequential Model Sum of Squares [Type I]

	Sum of		Mean	F	p-value	
Source	Squares	df	Square	Value	Prob > F	
Mean vs Total	8738.96	1	8738.96			
Linear vs Mean	83.84	3	27.95	2.71	0.0574	
Quadratic vs Linear	169.35	6	28.23	3.9	0.0044	
Sp.Cubic vs Quadratic	226.4	4	56.6	65.14	< 0.0001	Suggested
Cubic vs Sp Cubic	9.06	1	9.06	15.22	0.0005	Aliased
Residual	17.87	30	0.6			
Total	9245.48	45	205.46			

"Sequential Model Sum of Squares [Type I]": Select the highest order polynomial where the additional terms are significant and the model is not aliased.

Lack of Fit Tests

	Sum of		Mean	F	p-value	
Source	Squares	df	Square	Value	Prob > F	
Linear	404.81	11	36.8	61.78	< 0.0001	
Quadratic	235.46	5	47.09	79.06	< 0.0001	
Special Cubic	9.06	1	9.06	15.22	0.0005	Suggested
Cubic	0	0				Aliased
Pure Error	17.87	30	0.6			

"Lack of Fit Tests": Want the selected model to have insignificant lack-of-fit.

Model Summary Statistics

	Std.		Adjusted	Predicted		
Source	Dev.	R-Squared	R-Squared	R-Squared	PRESS	
Linear	3.21	0.1655	0.1045	-0.008	510.59	
Quadratic	2.69	0.4999	0.3713	0.25	379.9	
Special_Cubic	0.93	0.9468	0.9245	0.894	53.71	Suggested
Cubic	0.77	0.9647	0.9483	0.9206	40.21	Aliased

"Model Summary Statistics": Focus on the model maximizing the "Adjusted R-Squared" and the "Predicted R-Squared".

1.2

วิเคราะห์รูปแบบสมการสำหรับค่าความแข็ง

Response 2 Hardness Transform: None

*** WARNING: The Cubic Model and higher are Aliased! ***

*** Mixture Component Coding is L_Pseudo. ***

Summary (detailed tables shown below)

	Sequential	Lack of Fit	Adjusted	Predicted	
Source	p-value	p-value	R-Squared	R-Squared	
Linear	0.0022	< 0.0001	0.2456	0.1524	
Quadratic	< 0.0001	< 0.0001	0.6747	0.5842	
Special_Cubic	< 0.0001	0.0005	0.8267	0.7567	Suggested
Cubic	0.0005		0.8816	0.8183	Aliased

Sequential Model Sum of Squares [Type I]

	Sum of		Mean	F	p-value	
Source	Squares	df	Square	Value	Prob > F	
Mean vs Total	1.50E+06	1	1.50E+06			
Linear vs Mean	11870.72	3	3956.91	5.77	0.0022	
Quadratic vs Linear	17755.42	6	2959.24	10.01	< 0.0001	
Sp_Cubic_vs Quadratic	5463.25	4	1365.81	8.68	< 0.0001	Suggested
Cubic vs Sp Cubic	1652.22	1	1652.22	15.36	0.0005	Aliased
Residual	3227.99	30	107.6			
Total	1.54E+06	45	34321.26			

"Sequential Model Sum of Squares [Type I]": Select the highest order polynomial where the additional terms are significant and the model is not aliased.

Lack of Fit Tests

	Sum of		Mean	F	p-value	
Source	Squares	df	Square	Value	Prob > F	
Linear	24870.9	11	2260.99	21.01	< 0.0001	
Quadratic	7115.47	5	1423.09	13.23	< 0.0001	
Special_Cubic	1652.22	1	1652.22	15.36	0.0005	Suggested
Cubic	0	0				Aliased
Pure Error	3227.99	30	107.6			

"Lack of Fit Tests": Want the selected model to have insignificant lack-of-fit.

Model Summary Statistics

	Std.		Adjusted	Predicted		
Source	Dev.	R-Squared	R-Squared	R-Squared	PRESS	
Linear	26.18	0.297	0.2456	0.1524	33878.87	
Quadratic	17.19	0.7412	0.6747	0.5842	16618.89	
Special_Cubic	12.55	0.8779	0.8267	0.7567	9723.11	Suggested
Cubic	10.37	0.9192	0.8816	0.8183	7262.97	Aliased

"Model Summary Statistics": Focus on the model maximizing the "Adjusted R-Squared" and the "Predicted R-Squared".

1.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับค่าความต้านทานต่อแรงดึง

Response

1 Tensile strength

ANOVA for Special Cubic Mixture Model

*** Mixture Component Coding is L_Pseudo. ***

Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]

	Sum of		Mean	F	p-value	
Source	Squares	df	Square	Value	Prob > F	
Model	479.58	13	36.89	42.46	< 0.0001	significant
Linear Mixture	83.84	3	27.95	32.17	< 0.0001	
AB	1.67	1	1.67	1.92	0.1755	
AC	42.68	1	42.68	49.12	< 0.0001	
AD	0.14	1	0.14	0.16	0.6884	
BC	11.03	1	11.03	12.69	0.0012	
BD	100.04	1	100.04	115.14	< 0.0001	
CD	0.13	1	0.13	0.15	0.7001	
ABC	48.36	1	48.36	55.67	< 0.0001	
ABD	29.87	1	29.87	34.39	< 0.0001	
ACD	28.06	1	28.06	32.3	< 0.0001	
BCD	8.39	1	8.39	9.65	0.004	

Residual	26.93	31	0.87			
Lack of Fit	9.06	1	9.06	15.22	0.0005	significant
Pure Error	17.87	30	0.6			
Cor Total	506.52	44				

The Model F-value of 42.46 implies the model is significant. There is only a 0.01% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant.

In this case Linear Mixture Components, AC, BC, BD, ABC, ABD, ACD, BCD are significant model terms.

Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.

If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

The "Lack of Fit F-value" of 15.22 implies the Lack of Fit is significant. There is only a 0.05% chance that a "Lack of Fit F-value" this large could occur due to noise.

Significant lack of fit is bad -- we want the model to fit.

Std. Dev.	0.93	R-Squared	0.9468
Mean	13.94	Adj R-Squared	0.9245
C.V. %	6.69	Pred R-Squared	0.894
PRESS	53.71	Adeq Precision	26.922

The "Pred R-Squared" of 0.8940 is in reasonable agreement with the "Adj R-Squared" of 0.9245.

"Adeq Precision" measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 26.922 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

Component	Coefficient	df	Standard Error	95% CI		VIF
	Estimate			Low	High	
A-A	-42.97	1	8.5	-60.31	-25.64	674.32
B-B	58.51	1	5.33	47.64	69.38	339.01
C-C	55.33	1	78.28	-104.33	214.98	3158.32
D-D	378.35	1	56.07	264.01	492.7	2565.26
AB	-20.65	1	14.9	-51.03	9.73	260.76
AC	1002.04	1	142.98	710.44	1293.64	1544.17
AD	-40.94	1	101.14	-247.21	165.33	1369.42
BC	-342.78	1	96.23	-539.03	-146.53	1125.67
BD	-811.3	1	75.61	-965.51	-657.1	965.15
CD	-254.51	1	654.75	-1589.88	1080.86	4135.43
ABC	-904.51	1	121.23	-1151.77	-657.26	107.56

ABD	514.32	1	87.71	335.43	693.2	75.88
ACD	-6849.6	1	1205.18	-9307.58	-4391.63	2239.32
BCD	2195.88	1	706.75	754.45	3637.31	976.98

Final Equation in Terms of L_Pseudo Components:

Tensile strength

=

-42.97

* A

58.51

* B

55.33

* C

378.35

* D

-20.65

* A * B

1002.04

* A * C

-40.94

* A * D

-342.78

* B * C

-811.3

* B * D

-254.51

* C * D

-904.51

* A * B * C

514.32

* A * B * D

-6849.6

* A * C * D

2195.88

* B * C * D

Final Equation in Terms of Real Components:

Tensile strength

=

-1963.06921

* A

-3225.39938

* B

-1.73E+05

* C

-39319.89966

* D

13217.48817

* A * B

2.52E+05

* A * C

86452.60918

* A * D

5.20E+05

* B * C

-4.45E+05

* B * D

4.05E+06

* C * D

-7.81E+05

* A * B * C

4.44E+05

* A * B * D

-5.92E+06

* A * C * D

1.90E+06

* B * C * D

Final Equation in Terms of Actual Components:

Tensile strength

=

-19.63069

-32.25399

-1725.47759

-393.199

1.32175

25.1633

8.64526

52.03273

-44.53403

404.96898

-0.78135

0.44429

-5.91694

1.89688

* A

* B

* C

* D

* A * B

* A * C

* A * D

* B * C

* B * D

* C * D

* A * B * C

* A * B * D

* A * C * D

* B * C * D

The Diagnostics Case Statistics Report has been moved to the Diagnostics Node.
In the Diagnostics Node, Select Case Statistics from the View Menu.

Proceed to Diagnostic Plots (the next icon in progression). Be sure to look at the:

- 1) Normal probability plot of the studentized residuals to check for normality of residuals.
- 2) Studentized residuals versus predicted values to check for constant error.
- 3) Externally Studentized Residuals to look for outliers, i.e., influential values.
- 4) Box-Cox plot for power transformations.

If all the model statistics and diagnostic plots are OK, finish up with the Model Graphs icon.

1.4 วิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับค่าความแข็ง

Response

2 Hardness

ANOVA for Special Cubic Mixture Model

*** Mixture Component Coding is L_Pseudo. ***

Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	
Model	35089.39	13	2699.18	17.15	< 0.0001	significant
Linear Mixture	11870.72	3	3956.91	25.13	< 0.0001	
AB	1017.16	1	1017.16	6.46	0.0162	
AC	1412.57	1	1412.57	8.97	0.0053	
AD	3148.28	1	3148.28	20	< 0.0001	
BC	7830.03	1	7830.03	49.74	< 0.0001	

BD	6835.43	1	6835.43	43.42	< 0.0001	
CD	2052.62	1	2052.62	13.04	0.0011	
ABC	367.96	1	367.96	2.34	0.1364	
ABD	1386.73	1	1386.73	8.81	0.0057	
ACD	112.04	1	112.04	0.71	0.4053	
BCD	2106.72	1	2106.72	13.38	0.0009	
Residual	4880.21	31	157.43			
Lack of Fit	1652.22	1	1652.22	15.36	0.0005	significant
Pure Error	3227.99	30	107.6			
Cor Total	39969.6	44				

The Model F-value of 17.15 implies the model is significant. There is only a 0.01% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant.

In this case Linear Mixture Components, AB, AC, AD, BC, BD, CD, ABD, BCD are significant model terms.

Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.

If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

The "Lack of Fit F-value" of 15.36 implies the Lack of Fit is significant. There is only a 0.05% chance that a "Lack of Fit F-value" this large could occur due to noise.

Significant lack of fit is bad -- we want the model to fit.

Std. Dev.	12.55	R-Squared	0.8779
Mean	182.85	Adj R-Squared	0.8267
C.V. %	6.86	Pred R-Squared	0.7567
PRESS	9723.11	Adeq Precision	14.826

The "Pred R-Squared" of 0.7567 is in reasonable agreement with the "Adj R-Squared" of 0.8267.

"Adeq Precision" measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 14.826 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

Component	Coefficient		Standard Error	95% CI		VIF
	Estimate	df		Low	High	
A-A	278.9	1	114.41	45.56	512.23	674.32
B-B	410.35	1	71.76	264	556.7	339.01
C-C	6924.53	1	1053.75	4775.4	9073.67	3158.32
D-D	4748.94	1	754.7	3209.72	6288.16	2565.26
AB	-509.67	1	200.51	-918.61	-100.73	260.76

AC	-5765.01	1	1924.57	-9690.2	-1839.82	1544.17
AD	-6088.13	1	1361.4	-8864.72	-3311.54	1369.42
BC	-9134.95	1	1295.28	-11776.7	-6493.21	1125.67
BD	-6706.35	1	1017.75	-8782.06	-4630.63	965.15
CD	-31824.6	1	8813.47	-49799.8	-13849.4	4135.43
ABC	-2494.92	1	1631.89	-5823.19	833.35	107.56
ABD	3504.09	1	1180.64	1096.16	5912.03	75.88
ACD	13685.89	1	16222.66	-19400.4	46772.22	2239.32
BCD	34801.93	1	9513.46	15399.1	54204.77	976.98

Final Equation in Terms of L_Pseudo Components:

Hardness	=
278.9	* A
410.35	* B
6924.53	* C
4748.94	* D
-509.67	* A * B
-5765.01	* A * C
-6088.13	* A * D
-9134.95	* B * C
-6706.35	* B * D
-31824.58	* C * D
-2494.92	* A * B * C
3504.09	* A * B * D
13685.89	* A * C * D
34801.93	* B * C * D

Final Equation in Terms of Real Components:

Hardness	=
-461.68979	* A
27123.80016	* B
4.77E+05	* C
1.17E+06	* D
-22618.412	* A * B
-3.61E+05	* A * C
-1.24E+06	* A * D
4.44E+05	* B * C
-3.57E+06	* B * D
-1.54E+07	* C * D
-2.16E+06	* A * B * C

3.03E+06

* A * B * D

1.18E+07

* A * C * D

3.01E+07

* B * C * D

Final Equation in Terms of Actual Components:

Hardness	=
-4.6169	* A
271.238	* B
4774.9515	* C
11726.98459	* D
-2.26184	* A * B
-36.09508	* A * C
-124.12765	* A * D
44.41	* B * C
-356.95518	* B * D
-1542.51457	* C * D
-2.1552	* A * B * C
3.02697	* A * B * D
11.82239	* A * C * D
30.06322	* B * C * D

The Diagnostics Case Statistics Report has been moved to the Diagnostics Node.
In the Diagnostics Node, Select Case Statistics from the View Menu.

Proceed to Diagnostic Plots (the next icon in progression). Be sure to look at the:

- 1) Normal probability plot of the studentized residuals to check for normality of residuals.
- 2) Studentized residuals versus predicted values to check for constant error.
- 3) Externally Studentized Residuals to look for outliers, i.e., influential values.
- 4) Box-Cox plot for power transformations.

If all the model statistics and diagnostic plots are OK, finish up with the Model Graphs icon.

1.5 สรุปผลอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่มีความต้านทานต่อแรงดึงและความแข็งดีที่สุด

Constraints

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
A:A	is in range	73	80	1	1	3
B:B	is in range	13	20	1	1	3
C:C	is in range	2.5	4	1	1	3
D:D	is in range	1	3	1	1	3

Tensile strength	is target = 23	20	30	1	1	3
Hardness	is target = 250	220	250	1	1	3

Solutions

Number	A	B	C	D	Tensile strength	Hardness	Desirability	
1	80	15.622	3.378	1	23.2586	235.717	0.71	Selected
2	76.753	17.747	2.5	3	23	223.263	0.33	
3	79.484	14.517	4	1.999	27.9368	228.676	0.292	
4	80	13.811	4	2.189	28.1198	228.592	0.277	
5	76.433	20	2.567	1	20.182	243.542	0.218	
6	78.045	16.455	2.5	3	28.2976	221.013	0.091	
7	78.699	16.58	3.721	1	29.436	222.497	0.082	

1.6 สรุปผลอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่ให้การแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด
สำหรับความต้านทานต่อแรงดึงและความแข็ง

Constraints

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
A:A	is in range	73	80	1	1	3
B:B	is in range	13	20	1	1	3
C:C	is in range	2.5	4	1	1	3
D:D	is in range	1	3	1	1	3
Tensile strength	maximize	8	20	1	1	3
POE(Tensile strength)	minimize	1.01275	2.05188	1	1	3
Hardness	maximize	100	250	1	1	3
POE(Hardness)	minimize	12.7208	15.176	1	1	3

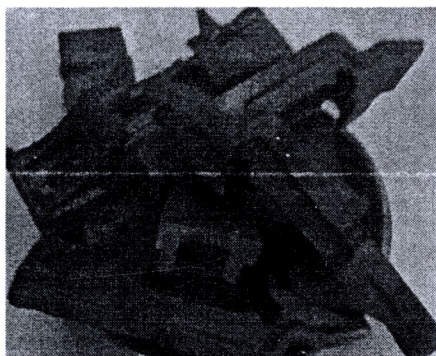
Solutions

Number	A	B	C	D	Tensile strength	POE (Tensile)	Hardness	POE (Hardness)	Desirability	
1	76.78	17.96	2.5	2.76	19.99	1.24	204.84	13.34	0.79	Selected
2	75.49	20	2.5	2.00	16.85	1.05	200.45	13.26	0.77	
3	80	14.09	3.04	2.87	20	1.20	161.49	12.70	0.76	
4	75.62	20	3.38	1	18.68	1.16	173.00	12.96	0.76	
5	78.53	15.63	2.95	2.9	19.99	1.28	173.57	13.07	0.74	
6	73	20	4	3	16.21	1.32	211.10	13.17	0.73	
7	74.52	18.79	3.69	3	10.27	0.97	178.32	12.89	0.55	
8	77.2	17.2	3.4	2.2	10.80	0.95	142.77	12.55	0.50	

ภาคผนวก ค
ส่วนผสมและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

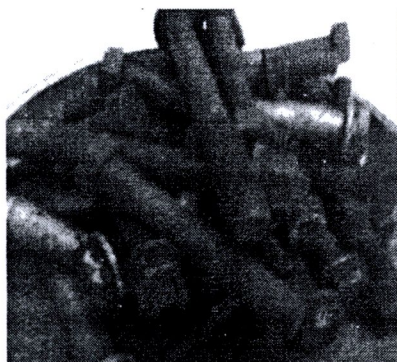
1. ส่วนผสมที่ใช้ในการวิจัย

1.1 เศษเหล็กหล่อ



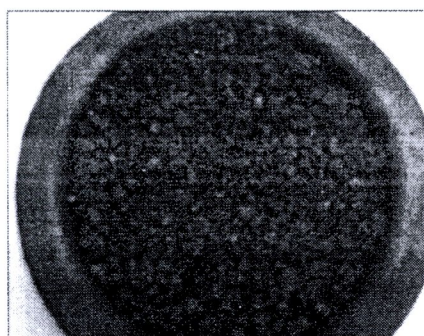
ภาพที่ ค. 1 เศษเหล็กหล่อ

1.2 เศษเหล็กเหนียว



ภาพที่ ค. 2 เศษเหล็กเหนียว

1.3 ผงคาร์บอน



ภาพที่ ค. 3 ผงคาร์บอน

1.4 เฟอร์โรซิลิกอน



ภาพที่ ค. 4 เฟอร์โรซิลิกอน

2. ขั้นตอนการเตรียมการหล่อ

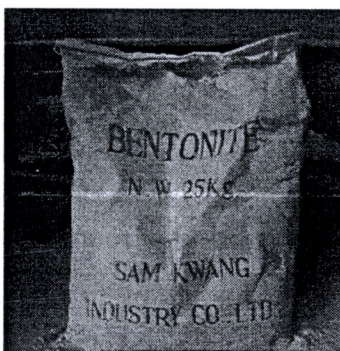
ขั้นตอนการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์สำหรับทำแบบหล่อทราย ซึ่งวัสดุและอุปกรณ์ มีดังนี้

2.1 ทรายระยองจากโรงงานกรณีศึกษา



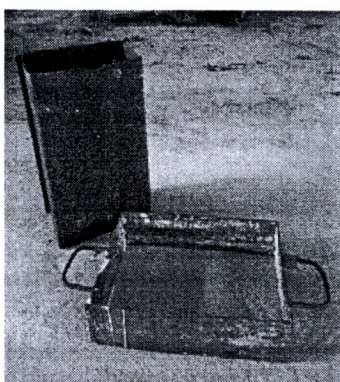
ภาพที่ ค. 5 ทรายระยองจากโรงงานกรณีศึกษา

2.2 เบนโทไนต์



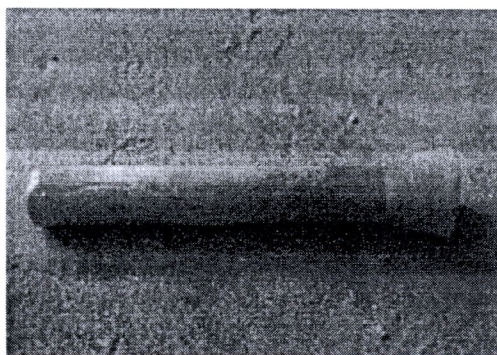
ภาพที่ ค. 6 เบนโทไนต์

2.3 หีบหล่อแบบ

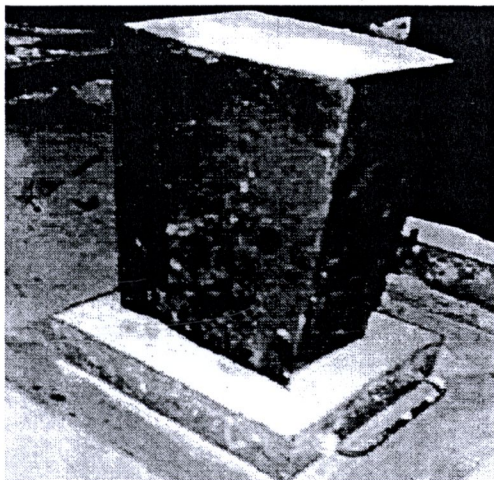


ภาพที่ ค. 7 หีบหล่อแบบ

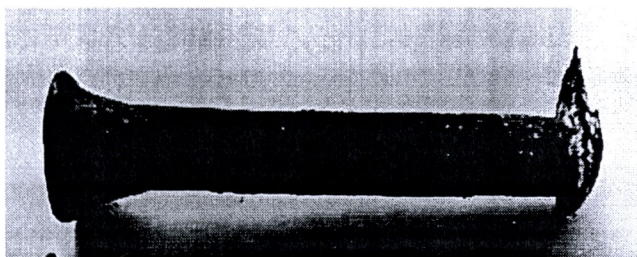
2.4 กระสวนไม้



ภาพที่ ค. 8 กระสวนไม้



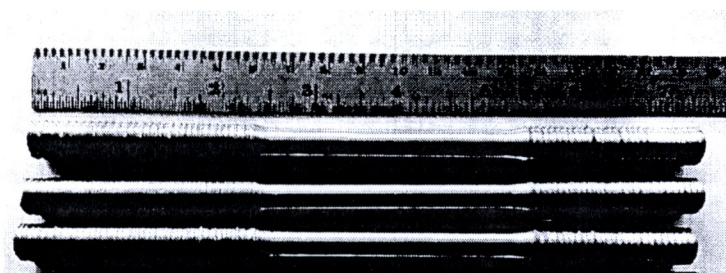
ภาพที่ ค. 9 แบบหล่อทราย



ภาพที่ ค.10 ชิ้นงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อทราย

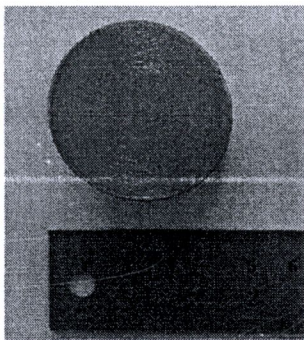
3. ชิ้นงานทดสอบ

3.1 ชิ้นงานทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง



ภาพที่ ค. 11 ชิ้นงานทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง

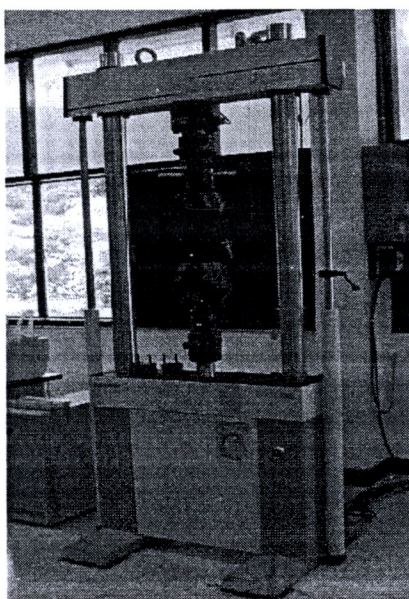
3.2 ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงและชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้าง



ภาพที่ ค. 12 ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงและชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้าง

4. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

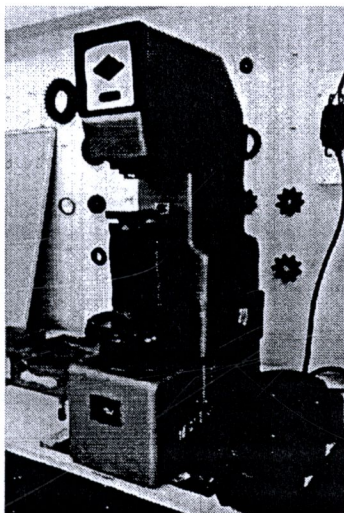
4.1 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง



ภาพที่ ค. 13 เครื่องทดสอบแรงดึงอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

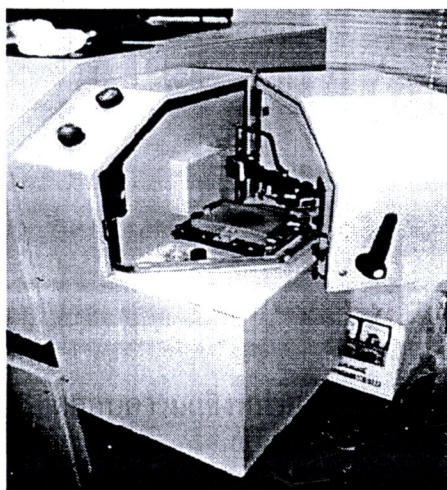
SHIMADZU รุ่น EHF-EG10-20L

4.2 เครื่องทดสอบความแข็ง



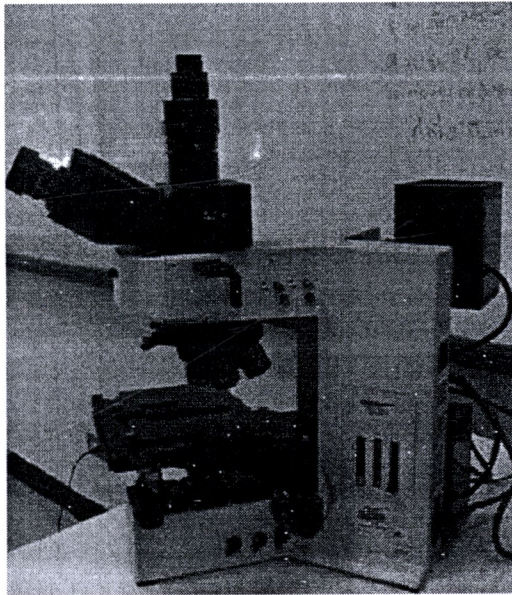
ภาพที่ ค. 14 เครื่องมือทดสอบความแข็งหน่วยวัดแบบบริเนล รุ่น CMC 06250101

4.3 เครื่องตรวจสอบองค์ประกอบธาตุทางเคมี



ภาพที่ ค. 15 เครื่อง OE Spectrometer ที่ใช้ตรวจสอบองค์ประกอบธาตุทางเคมี รุ่น Thermo ARL3460

4.4 กล้องจุลทรรศน์ใช้ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค



ภาพที่ ค. 16 กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค OLYMPUS รุ่น BX60



ประวัติผู้เขียน

นายสาโรช หาญโสภณ เกิดเมื่อวันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนเมืองพลพิทยาคม จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาสถิติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2550 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีการศึกษา 2551 โดยมีผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว เป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

