

鋼の機械的性質と其焼鈍温度との關係に就て

(大正十五年十一月下旬日本鐵鋼協會第二回講演大會講演前刷)

小林子之輔

鋼を焼鈍する目的は熱鍊により内部に保持せらるゝ内部歪 (internal stress) を去り粒子を均齊にし加工容易ならしむるにあり。然して其焼鈍温度は普通 A_c_3 よりも稍高き點を採るを標準とすれ共先年我社に技師長として滿3ヶ年間在つて吾々を指導して呉れた元獨逸 Krefeld 製鋼會社技師 Dr. Wilczek 氏の我社の各鋼材に對して與へたる焼鈍温度は一般に他工場の夫れに比して稍低き傾向があつた。今二三の例を示せば次の如くである。

鍛鍊温度	焼鈍温度	鋼材成分						
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
Ca 1,000°C	Ca 770°C	0.40-0.50	0.3-0.5	0.5min	.05 max	.05 max		
Ca 900°C	Ca 670°C	0.25-0.45	0.3max	0.5min	.035max	.035max	3.25-2.50	
Ca 900°C	Ca 600°C	0.25-0.45	0.3max	0.5min	.035max	.035max	5.0-4.0	
Ca 900°C	Ca 670°C	0.25-0.45	0.3max	0.5min	.035max	.036max	3.25-2.50	0.3-1.0

上記焼鈍温度は A_{c_1} 附近で焼鈍する方法であるが一般に他の工場にて行はるゝ焼鈍温度と此の A_{c_1} 附近にて焼鈍する方法とが各鋼の機械的性質に如何なる差異を與へるかを弊社研究室に於て實驗した。

實驗に使用した材料は次の如し。

No	charge No.	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ni%	Cr%
I	996	0.44	0.32	0.63	0.029	0.007	—	—
II	1,450	0.37	0.40	0.67	0.022	0.007	3.28	—
III	1,347	0.10	0.14	0.30	0.020	0.034	5.97	—
IV	1,303	0.37	0.35	0.63	tr	tr	3.14	0.90
V	1,455	0.12	0.38	0.42	0.015	0.015	2.83	0.81

加熱温度、之れを保持する時間、及冷却速度の三つは焼鈍に大影響を及ぼす可きを以て實驗の方針として保持時間は各3時間とし焼鈍温度を 600°C 及 900°C の間に於て種々に變化して之れに對する機械的性質を求め焼鈍に適當なる可き温度の判定をなした。實驗に於て素材の鍛鍊度合の異なるものは明かに機械的性質に差異を生ずるを以て之れに用ゐたる素材は總て徑 6 1/2" の圓形鋼塊より採取した。又鍛鍊温度の高低は鋼の組織を異にし次の焼鈍温度に影響を及ぼすを以て Dr. Wilczek 氏の示せる鍛鍊温度を標準とし素材を鍛鍊した。

抗張力試験素材 内徑 25 mm 八角材、長さ 220 mm、シャルピー式試験素材 . . .
 13 mm 角材、長さ 60 mm、

此の試験に用ゐた試験機は 50 噸リレー抗張力試験機、及 25 kg/m シヤルビー式衝撃試験機である。

各試験片の寸法は海軍飛行機材料規格によつた。即ち抗張力試験片は 100×13.8 mm、シヤルビー式衝撃試験片は 10×10×55 mm に切込を 1.5 mm 徑で 2 mm 深さに仕上げを行つた。以下順次各材料の試験成績を列擧せん。但し抗張力、弾性限、延伸率及ブリネル硬度は試験片 2 個の平均値にて、衝撃値は 3 個の平均値を示す。

I. charge No. 996 0.44%炭素鋼焼鈍状態の機械的性質

焼鈍温度 °C	弾性限 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	延伸率 500×13.8m/m %	ブリネル 硬度數	衝撃値 kg.m/cm ²
600	38.1	70.2	15.8	196	5.3
700	37.0	64.6	20.6	179	5.1
770	36.7	64.5	22.2	179	6.1
850	37.8	67.7	21.3	187	5.0
900	37.6	66.0	19.9	187	5.5

上の結果を見るに弾性限、抗張力、及ブリネル硬度は焼鈍温度 700° 及 770° に於て小であつて、此温度以上に於ても亦以下に於ても却つて増大するを知る。反之延伸率及衝撃値は 770° に於て最大なるを示す。依つて此結果より見れば 770° を以て鋼に適當なる焼鈍温度とする。

II. charge No. 1,450 3%ニッケル鋼焼鈍状態の機械的性質

焼鈍温度 °C	弾性限 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	延伸率 100×13.8m/m %	ブリネル 硬度數	衝撃値 kg.m/cm ²
500	56.4	80.3	14.2	228	4.3
600	53.5	77.1	17.3	217	4.7
670	50.2	75.4	19.4	217	5.9
750	46.8	73.9	18.9	207	4.9
850	48.8	74.5	19.6	207	5.0
900	50.4	74.2	19.4	207	5.2

弾性限は 750° に於て最小である。抗張力は 670° 以上の各温度に於ては大差なきも 750° に於て最小である。延伸率は 670° 以上に於ては殆んど差違なし。又ブリネル硬度數は 670° 以上に於ては全く一定であつて、衝撃値は 670° に於て最大である。

次に上表の如く各温度に焼鈍した試験片を一様に 850° に油焼入れをなしたる後 670° に焼戻した時の試験成績は次の如くである。

調質状態の試験成績表

焼鈍温度 °C	油焼入温度 °C	反淬温度 °C	弾性限 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	延伸率 100×13.8m/m %	ブリネル 硬度數	衝撃値 kg.m/cm ²
500	850	670	63.4	81.1	18.7	241	8.1
600	850	670	62.9	80.0	18.6	235	10.5
670	850	670	53.6	73.7	20.5	207	14.0

750	850	670	66.8	79.5	20.0	217	8.9
850	850	670	62.8	80.7	19.6	228	14.3
900	850	670	53.8	79.5	19.6	228	14.9

上の成績に就て見るに抗張力は 670° に於て最小である。500° より焼鈍温度の昇るに従つて弾性限は降り 670° に於て一時小となり 750° に於て再び増大し之より 900° に至る迄減少す。此の傾向に就ては他日他の機會に於て明かにす可し。延伸率は焼鈍温度により格段の差違は認めざるも 670° にて最大であつて、ブリネル硬度數は此温度にて最小である。衝撃値は 670° 以上に於ては大差なけれど 750° に於て極めて小である。次に焼鈍及調質の状態に於ける機械的性質を比較するに一般に後者の性質は調質により著しく改善せられ特に衝撃値に於て其現象著しいのである。

III. charge No. 1,347 6%ニツケル表健鋼焼鈍状態の機械的性質

焼鈍温度 °C	弾性限 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	延伸率 100×13.8m/m %	ブリネル 硬度數	衝撃値 kg.m/cm ²
500	49.8	54.1	25.3	163	17.3
600	43.6	52.2	25.2	156	19.2
700	39.4	56.7	24.6	163	16.4
800	41.6	52.0	22.3	156	17.6
900	41.6	51.7	29.7	156	18.2

上の結果を見るに抗張力及ブリネル硬度は 600° 以上に於ては 700° を除く各温度に於て大差ない。700° に於ては他の温度の場合に較べ稍高い。弾性限は温度の上ると共に下り 700° に於て最小となる。800° に至り再び増大す。延伸率は温度の上ると共に却つて減少する傾向あるも 900° に至りて急に増大す。衝撃値は各温度に於て大差なけれ共 600° に於て最大値を示して居る。

IV. charge No. 1,303 3%ニツケル、クロム鋼 焼鈍状態の機械的性質

焼鈍温度 °C	弾性限 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	延伸率 100×13.8m/m %	ブリネル 硬度數	衝撃値 kg.m/cm ²
600	93.3	102.0	12.9	321	1.6
670	72.1	88.9	15.4	262	4.4
700	64.1	87.6	16.3	255	4.2
800	52.5	87.1	16.1	241	3.6
850	55.9	88.1	13.0	255	2.4
900	58.9	92.7	14.9	269	2.4

上の結果を見るに抗張力、弾性限、及ブリネル硬度は温度の上ると共に減少し 800° に於て最小となる。而して之れを以上の温度に於ては再び増大す。延伸率は 700° に於て最大となる。衝撃値は 670° に於て最大である。

次に上表の如く各温度に焼鈍せる試料を 850° にて油焼入をなし 670° にて焼戻（水冷）せる時の試験結果は次の如くである。

調質状態の機械的性質

焼鈍温度 °C	油焼入温度 °C	反淬温度 (水中) °C	弾性限 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	延伸率 100×13.8m/m %	ブリネル 硬度數	衝撃値 kg.m/cm ²
600	850	670	77.0	96.5	13.8	269	12.4
670	850	670	70.7	88.4	16.7	255	16.7
700	850	670	65.0	87.9	16.5	248	14.3
800	850	670	73.8	88.3	16.2	248	13.4
850	850	670	71.8	83.7	16.0	255	14.0
900	850	670	74.0	93.8	15.0	269	13.4

調質せる材料に於ては焼鈍温度 700° に於て弾性限、抗張力及ブリネル硬度等最小である。延伸率は 670° 及 700° に於ては殆んど大差なく、衝撃値は 670° に於て最大である。

次に焼鈍状態及調質状態に於ける試料の機械的性質を見るに抗張力、延伸率、及ブリネル硬度は大差なし。但し 600° に於ては特に抗張力及ブリネル硬度に大なる相違あるを認む。弾性限は焼鈍温度 700° 以下に於て調質せる材料の値は焼鈍せるものゝ値よりも小なるも 700° 以上に於ては大となる。調質及焼鈍の二状態に於ける大なる差違は衝撃値に於て明かに示さる。即ち前者の値は後者の値に較べて遙かに大となれるを知る。

V. charge. No. 1,455 ニッケル、クローム表健鋼

焼鈍状態の機械的性質

焼鈍温度 °C	弾性限 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	延伸率 100×13.8m/m %	ブリネル 硬度數	衝撃値 kg.m/cm ²
500	44.6	61.4	18.3	170	14.1
600	44.0	59.3	21.6	163	20.1
670	43.8	56.7	26.7	156	23.4
750	40.6	58.5	25.7	156	18.7
850	41.7	56.3	26.9	156	19.6

上の結果を見るに抗張力、弾性限、及硬度は温度の上昇と共に漸減の傾向あるも 750° に於て抗張力は稍大なる値を、弾性限は小なる値を示す。延伸率は温度と共に増大す。但し 750° に於て稍小となる。衝撃値は 670° に於て最大を示して居る。

次に上表の如く各温度に焼鈍せる試験片を一様に 850° に油焼入をなしたる後 670° に焼戻せる時の試験成績は次の如くである。

調質状態の機械的性質

焼鈍温度 °C	油焼入温度 °C	反淬温度 °C	弾性限 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	延伸率 100×13.8m/m %	ブリネル 硬度數	衝撃値 kg.m/cm ²
500	850	670	52.2	67.0	20.0	187	24.3
600	850	670	51.5	63.7	20.2	179	23.8
670	850	670	52.9	65.1	21.7	170	26.6
750	850	670	50.4	65.1	23.0	170	26.7
850	850	670	50.5	64.8	20.0	179	23.9

上の結果を見るに抗張力は一般傾向として温度の 500° より昇ると共に減少するも 600° に於て最小となる。弾性限及硬度は温度の上昇と共に漸減の傾向あり。又延伸率は温度と共に増大す。但し 750° に於て最大値を示す。

衝撃値は 670° 及 750° に於て特に大なる値を有して居る。

結 論

上述の結果を總括して考ふるに、何れの鋼も焼鈍温度が 500° より上昇するに従ひ弾性限、抗張力、及ブリネル硬度は漸減して或温度に於て最小値に達するも更に温度の昇ると共に増大する傾向がある。又延伸率及衝撃値は温度の 500° より昇るに従つて増大し或温度に於て最大値に達し之れ以上の温度に於ては却つて減少するを見る。而して弾性限、抗張力、及ブリネル硬度の最小値となる温度と延伸率及衝撃値の最大値となる温度とは一致するを知る。

斯如鋼を焼鈍せる時其機械的各性質に最大及最小の値即最大靱性 (Maximum Toughness) を與へる温度が此の鋼に對して最も適當なる焼鈍温度であつて、Dr. Wilczek 氏の指示せる焼鈍温度は全く之れと一致せるを知る可し。F. Körber 氏も昨年 Kaisir-Wilh. Inst. Eisen Forsch., Bd. VI. s. 83 に於て鋼の最も軟質なる可き状態を得んがためには加熱温度を Ac_1 變態より少し以下の點に取る事がよいと色々の焼鈍試験の結果より結論して居る。從來本邦各工場に於ける焼鈍温度の一般に高きは恐らく鍛鍊温度が Dr. Wilczek 氏の指示せる温度より高き温度にて鍛鍊せる結果従つて高き焼鈍温度を採用せる事と推察せらる。

終に臨み本研究は大同電氣製鋼所研究室に於て行はれた。同所は之れを本會に發表することを許可せられたるを、茲に謹んで御禮を申述べる。又直接本實驗にだづさはり努力せられた故内田酉八郎君に深く感謝の意を表す。

大 鐵 坑 陷 沒 す

【イシプミング (ミシガン州) 11月 4日發聯合】 4日イシプミングから8哩程はなれた大鐵坑の一部が突然陷沒し同坑内にあつて勞役に従事してゐた坑夫等40余名が下敷となつたといふ大慘事が發生した、物凄いな音響は數哩先まで聞えた。なほ陷沒した個所には忽ち粘土質の泥水が一面にあふれたから坑夫等は逃れ出る方法が絶對になく全部慘死したものと信じられてゐる。(大毎)