焼入に於ける冷却速度の機械的性質に及ぼす影響に就て

大 谷 文 太 郎*

THE INFLUENCE OF COOLING RATE IN QUENCHING ON THE MECHANICAL PROPERTIES

BUNTARO OTANI

On the 4 samples, Duralumin, Hiromin (14S), Carbon steel and Ni-Cr Steel, having individually special mechanism in hardening, the influence of cooling rate in quenching on the mechanical properties was studied.

These specimens were quenched in water or oil and etc. to obtain several cooling rate and tested these mechanical properties on the natural aged specimen and artificial aged specimen for light alloy and tempered specimen for steel.

(Received June 22, 1955)

本研究は昭和9年広海軍廠航空機部に於て実験したものであるが、今日迄未発表であるので茲に其の実験成績を整理し其の要旨を報告するものである

1. 緒 言

軽合金材料又鋼材と云わず焼入に当りて冷却速度の如何が、その機械的性質に及ぼす影響は極めて重大であることは言を俟たないが、軽合金の焼入は鋼材の場合と其の硬化現象の機構を異にし焼入硬化は極めて緩慢である関係もあつて、焼入に於ける冷却速度が如何なる程度にその機械的諸性質に影響するか特に Hiromin の如く焼戻硬化を実施する場合其の最初の熱処理たる焼入が充分であるかないかが丁度炭素鋼に於て焼戻後の硬度が同一であつても焼入が充分であつたか或は不充分であつたかに依つてその衝撃値に於て大きな開きが出る事実もあるので之れを軽合金 Duralumin 及び Hiromin について実験した。尚同様の焼入の冷却速度を以て炭素鋼と特殊

鋼としてニッケルクローム鋼につき実験して其の影響の程度又範囲を対比した。

2. 実 験

2.1 試 料

本実験に供した軽合金 Duralumin 及び Hiromin 又鋼材としての炭素鋼及びニッケルクローム鋼は第1表に示す海軍航空材料規格に合格せるものである。

之等各試料の試験片は焼入効果を等しくするため Fig.1 の如く直径 17mm 長さ 220 mm の施盤仕上げとなしその表面状況及び面積を同一とした。尚冷却速度を測定する為試料の一端に直径 2.5 mm 深さ 50mm の熱電対を挿入する穴を穿つた。

2.2 試験方法

焼入に於ける冷却速度は種々の因子の組合せにより一定でない。即ち焼入液の種類、その攪拌の有無、焼入液の温度、焼入槽の容積、又焼入すべきものの形状等種々の因子の組合せにより変つて来る。其処で本実験に於ては因子を次の如く限定して大体の冷却速度を焼入温度より100°迄冷却するに10秒から6分程度迄変化し種々の冷却速度で焼入れし或は焼入後焼戻してその試料の機械的諸性質を試験した。

(イ)焼入液の種類を水、白絞油空気

(焼入) 第1表〔軽合金材〕

材 質	組 成					
	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Al
Duralumin	3.3~4.2	0.3~0.7	0.3~0.7	<0.5	<0.6	残部
Hiromin	3.5~4.5	5.4~1.0	0.4~1.0	0.055~1.2	<0.6	残部

〔鋼 材〕

材 質	組 成						
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
炭素鋼 (イ 004 S 45C)	0.4~0.5	<0.35	<0.60	<0.035	<0.035	—	—
ニッケルクローム鋼 (イ 204) (S NC2)	0.25 ~0.32	"	"	"	"	2.5 ~3.5	0.6 ~1.0

* ダイハツ工業株式会社、工学博士

Fig. 1 試験片の寸法

Fig. 2

とし、空気以外は攪拌を行わない。

(ロ)焼入液の温度は空気の場合を除き100°迄種々の温度を採用した。

(ハ)焼入液槽は170×240×300mmのもので、試験片は直径17mm 長さ220mmの施盤仕上げのものである。

次に冷却速度は試料の小穴に白金-白金ロジウム熱電対を確実に挿入し其の儘加熱炉に入れ所定の温度に達せしめ1時間保持し温度の均一変態の完結を充分ならしめたる後自働的且つ機械的に次の如き焼入を行い5秒毎に温度低下を記録し極めて精密正確に其の時間-温度曲線を求め測定したのである。

〔軽合金の場合〕

〔鋼材の場合〕

試料番号	冷却方法	冷却方法
No. 1	28° Cの静止せる大気中に放冷	30° C 同
No. 2	28° Cの送風に依る冷却	30° C 同
No. 3	30° Cの水中冷却	30° C 同
No. 4	80° Cの水中冷却	80° C 同
No. 5	90° Cの水中冷却	90° C 同
No. 6	100° Cの水中冷却	100° C 同
No. 7	39° Cの白絞油中冷却	40° C 同
No. 8	60° Cの白絞油中冷却	70° C 同
No. 9	80° Cの白絞油中冷却	80° C 同
No. 10	100° Cの白絞油中冷却	90° C 同

焼入の冷却速度を色々に変えた各試料の機械的試験用試験片は Fig2 の如く Tensometer 試験片2個シャルビ

Fig. 3 Duralumin

一衝撃試験片2個及び硬度、顕微鏡試験用試片1個を採取した。

2. 3 試験結果

2.3.1. Duralumin

試料 Duralumin に就ては焼入温度を510°として前記10種の冷却方法を採用した。その時の冷却曲線は Fig. 3 で焼入温度510°より100°迄に冷却するに要した時間は第2表である。

焼入後7日間放置して自然時効せしめたものの硬度、衝撃及び引張試験の成績は第3表である。

この結果を見ると静空冷却を除き送風、水、油何れの冷却方法を採用も焼入硬化に大差がない。之れを要するに Duralumin の自然時効の硬化に於ては焼入に5分以内の冷却速度にてはその冷却速度の差異は余り影響してない。

第 2 表

冷却方法	510°より100°迄に冷却するに要した時間
No. 1 静 空	18分45秒
No. 2 送 風	4分50秒
No. 3 30° 水	10秒
No. 4 80° 水	23秒
No. 5 90° 水	35秒
No. 6 100° 水	1分40秒
No. 7 30° 油	1分35秒
No. 8 60° 油	2分30秒
No. 9 80° 油	3分30秒
No. 10 100° 油	4分55秒

第 3 表

冷却方法	硬(ブリネル)	衝撃 シャルビ 値	引張試験			
			引張強さ kg/mm ²	耐力 kg/mm ²	伸び %	絞り %
No. 1 静 空	86	4.43	37.8	20	25	37
No. 2 送 風	103	4.92	41.5	22	25	30
No. 3 30° 水	105	4.58	41.8	24	27	35
No. 4 80° 水	96	4.56	41.5	24	31	40
No. 5 90° 水	93	4.58	41.3	22	23	23
No. 6 100° 水	91	4.18	41.3	22	28	35
No. 7 30° 油	104	4.61	42.8	24	29	40
No. 8 60° 油	97	4.34	41.5	23	28	30
No. 9 80° 油	101	4.76	41.0	23	31	41
No. 10 100° 油	93	4.54	41.5	24	30	39

2.3.2. Hiromin

試料 Hiromin に就ても焼入温度は510°として Duralumin と同様の冷却方法を採用した。その冷却曲線は Fig. 4 で焼入温度より100°に冷却するに要した時間は第4表である。

本材は焼入後170°にて16時間焼戻時効せしめたものにつき、硬度、衝撃及び引張試験を行つた。その成績は第

5表である。

この結果を見ると Duralumin と異なり焼戻硬化に於ては静空は勿論送風又高温水冷却速度の不充分的ものは高耐力を出すことが出来ない。従つて本材の特徴である焼戻に依り高い耐力を発揮せしむるには焼入に於て冷却速度の大なることが肝要である。

Fig. 4 Hiromin

第 4 表

冷却方法	510°より100°迄に冷却するに要した時間
No. 1 静空	20分35秒
No. 2 送風	5分15秒
No. 3 30° 水	10秒
No. 4 80° 水	30秒
No. 5 90° 水	35秒
No. 6 100° 水	1分25秒
No. 7 30° 油	1分35秒
No. 8 60° 油	2分5秒
No. 9 80° 油	2分45秒
No. 10 100° 油	4分55秒

第 5 表

冷却方法	硬 度 (ブリネル)	衝 撃 値 (シャルピー) kg-m/cm ²	引 張 試 験			
			引張強さ kg/mm ²	耐力 kg/mm ²	伸び %	絞り %
No. 1 静 空	83	4.22	32.5		21	18
No. 2 送 風	110	2.93	40.5		30	19
No. 3 30° 水	130	2.08	46.5		41	17
No. 4 80° 水	128	2.22	47.0		41	18
No. 5 90° 水	120	2.38	43.5		38	18
No. 6 100° 水	119	1.99	44.0		36	17
No. 7 30° 油	122	2.09	47.0		40	15
No. 8 60° 油	119	3.00	45.8		40	18
No. 9 80° 油	116	3.08	47.0		40	18
No. 10 100° 油	112	2.41	47.8		40	16

Fig. 5 S 45 C

第 6 表

冷却方法	835°より100°迄に冷却するに要した時間
No. 1 静 空	30分30秒
No. 2 送 風	8分45秒
No. 3 30° 水	25秒
No. 4 80° 水	1分10秒
No. 5 90° 水	50秒
No. 6 100° 水	55秒
No. 7 40° 油	3分0秒
No. 8 70° 油	5分15秒
No. 9 80° 油	5分20秒
No. 10 90° 油	6分25秒

焼入温度は835°として1時間保持して前記10種の冷却方法を採用した。この場合の冷却曲線は Fig. 5で焼入温度より100°迄に冷却するに要した時間は第6表である。斯く焼入の冷却速度を変えて焼入せる各様の硬度の試料を焼戻により略同一の硬度のものとするため先づ580°にて1時間焼戻し其の硬度を測定し再び600°にて1時間焼戻して之等の機械的諸性質を試験した。その成績は第7表である。

この結果を見ると冷却曲線に於ても明らかなる如く、30°水中急冷を除き他は何れも Ar₁ の変態点を現わし、

第 7 表

冷却方法	性質	硬 度 (ブリネル)			衝撃値 (シャルピー) kg-m/cm ² 600°焼戻後	引 張 試 験			
		焼入後	第1回焼戻 580°×1h	第2回焼戻 600°×1h		引張強さ kg/mm ²	降 伏 点 kg/mm ²	伸 び %	絞 り %
No. 1 静 空		190	182	182	3.67	72.0	41.3	28	48
No. 2 送 風		191	188	188	4.11	72.3	41.5	30	50
No. 3 30° 水		525	239	238	9.70	85.0	71.5	30	60
No. 4 80° 水		267	195	197	4.54	78.5	46.0	28	54
No. 5 90° 水		245	223	199	4.49	82.0	54.5	28	57
No. 6 100° 水		223	214	224	4.36	81.5	51.0	26	56
No. 7 40° 油		259	235	235	4.95	84.5	56.5	26	57
No. 8 70° 油		244	224	206	4.90	80.5	59.3	29	56
No. 9 80° 油		250	226	223	5.06	79.3	49.5	27	57
No. 10 90° 油		245	200	202	5.27	79.5	48.5	30	56

第 8 表

冷却方法	830°より100°迄に冷却するに要した時間
No. 1 静 空	30分45秒
No. 2 送 風	9分25秒
No. 3 30° 水	22秒
No. 4 80° 水	40秒
No. 5 90° 水	50秒
No. 6 100° 水	1分30秒
No. 7 40° 油	4分35秒
No. 8 70° 油	6分10秒
No. 9 80° 油	7分15秒
No. 10 90° 油	9分15秒

焼入不充分をよく示し其の硬度又顕微鏡組織の上からも Photo. 1, 2, 3, 4 の如く之を確認せられる。之等を略同一の硬度となるよう焼戻しその各試料の機械的性質は充分焼入したものが其の他に比し衝撃値は遙かに高く又降伏点に於ても格段の差を示し、即ち 30° 水中焼入が断然優秀な性質を示して居る。炭素鋼は其の焼入速度の極めて大なることが必要である。

2.3.4 ニッケルクローム鋼 イ 204 (JIS SNC 2)

本試験に供したニッケルクローム鋼は炭素0.31%、ニッケル 2.67%、クローム 0.73%の規格適合のもので焼入温度は830°として1時間保持して炭素鋼同様10種の冷却方法を採用した。この場合の冷却曲線は Fig. 6で焼入温度

2.3.3. (ハ)炭素鋼 イ004 (JIS S 45 C)

本炭素鋼試料は炭素含有量0.43%の規格適合のもので

第 9 表

冷却方法	性質	硬 度 (ブリネル)			衝撃値 (シャルピー) kg-m/cm ² 620°焼戻後	引 張 試 験			
		焼入後	第1回焼戻 600°×1h	第2回焼戻 620°×1h		引張強さ kg/mm ²	降 伏 点 kg/mm ²	伸 び %	絞 り %
No. 1 静 空		289	233	225	13.74	81.5	64.8	29	65
No. 2 送 風		308	240	233	13.74	80.8	65.8	23	65
No. 3 30° 水		520	263	255	14.29	96.8	86.0	24	65
No. 4 80° 水		540	284	264	14.77	97.5	86.8	27	65
No. 5 90° 水		519	256	258	13.74	95.3	83.8	24	65
No. 6 100° 水		499	278	254	14.15	97.5	86.5	26	65
No. 7 40° 油		470	265	259	14.09	97.0	85.0	25	66
No. 8 70° 油		460	272	260	14.98	97.0	84.8	25	67
No. 9 80° 油		481	275	259	14.71	97.3	85.0	26	66
No. 10 90° 油		470	273	259	13.74	96.0	84.3	26	67

Fig. 6 SNC 2

より100°迄に冷却するに要した時間は第8表である。斯く冷却を変えて焼入れせる各様の硬度の試料を略同一硬度とするため先ず 600° にて1時間焼戻し其の硬度を測定し、再び620°にて1時間焼戻した。斯くして之等の機械的性質を試験したその結果は第9表である。

本結果に依ると静置、送風冷却のものを除き焼入状況は略同一であり、又是等は620°の焼戻に依り前炭素鋼の場合と其の趣を異にして極めて接近せる略同一硬度となり、その機械的諸性質も又略同一である。顕微鏡組織は Photo. 5, 6, 7, 8 及びである。

3. 結 言

以上の諸試験結果を綜合すれば次の如くである。

(1) Duralumin の如き自然時効硬化材にありては急冷を除き、送風、水或は油焼入何れの冷却方法に採るも焼入硬化に大差がない。

即ち薄板のプロファイル加工後の焼入れは普通水中焼入

法を採用するが、斯る急冷に依る時は焼入変形が多い、それで変形を少なくする見地より場合に依りては強風焼入法も採用出来ることとなる。

(2) Hiromin の如き特に耐力を高める必要のある焼戻硬化材にありては焼入の冷却速度が焼戻硬化に影響するので焼入に於て冷却速度を早め充分なる焼入をして置く必要がある。

(3) 鋼材に於てはニッケルクローム鋼の如き特殊鋼は焼入冷却速度の差異が其焼戻後に於ける機械的性質に大きな影響を示さないが、炭素鋼にありては焼入冷却速度が顕著に影響して冷水焼入のものが衝撃値及び降伏点何れも断然優秀な成績を示す。

従つて鍛造部品の調質検査は一般に焼戻後の硬度検査に依つて居るが本材に対しては焼戻前の硬度に特に関心を示すことが肝要であることを附言して置きたい。

終りに臨み本実験は砂見淳一君がこれに当りたることを附記し同君の労に謝意を表する次第である。