61Sの熱処理に関する研究*

河 内 利 平*

ON THE SPLIT AGING OF 61S ALLOY.**

RIHEI KAWACHI**

The strength of 61S-T which tempered immediately after quenching is stronger than that tempered after natural aging. This phenomenon is an example of the "Split Aging" named by H. K. Hardy. Effect of "heat-treating factors" (such as quenching temp., tempering temp., and temp of quenching water etc.) on this phenomenon were studied.

Results obtained are as follows,

- (1) The difference of mechanical properties caused by "Split Aging Effect" are:

Tensile strength	2 ~ 4 kg/mm ²
Proof strength	2 ~ 4 kg/mm ²
Elongation	nearly zero.
Hardness (V. H. N.)	10

- (2) The strength of T6 state decreases with lengthening natural aging period before tempering. This decrease is most remarkable within initial 24Hrs of natural aging and, after 2 ~ 4 days becomes negligibly small.
- (3) The effect of natural aging on the strength of T6 state becomes larger as the quenching temp. increases up to 540°C, and above this temp. the effect is nearly constant.
- (4) Suitable tempering temperature is 170 ~ 180°C, regardless of aging period before tempering.
- (5) Hardness of specimen tempered immediately after quenching changes with tempering period more rapidly than that tempered after natural aging.
- (6) Effect of temp. of quenching medium on the split aging is negligibly small.
- (7) Preliminary tempering of short period at 175°C, or long period at 100°C, immediately after quenching counteracts the natural aging effect.
- (8) Stretching of quenched sheet has no effect on split aging.
- (9) Corrosion resistivity of T6 condition is independent on the natural aging period before tempering.

(Received, Jan. 17, 1955)

1. 緒 言

Al-Mg₂Si 系合金は焼入直後に焼戻しを行う方が時効後に戻すよりも相当強くなる事実には既に古く P. Brenner 及び H. Kostron の両氏に依り報告されている。¹⁾ また 61S に就いては J. A. Nock²⁾ が実験を行い、焼戻し後の抗張性は焼入直後の戻しから略 1 日間常温時効後戻しの所迄低下しその後亦常温時効期間が長くなると多少性能が恢復する事を認めている。最近 Harris 等³⁾ は Al-Mg₂Si 系合金の Brittleness に関する研究に於て、焼入を行つてから戻しをする迄の期間が性能に及ぼす効果も検討しておりこの期間が性能を劣下せしめるのは純度の良い合金に甚だしい事を明かにしている。(本

論文の討論に於て Phillips⁴⁾ はかかる事は一概に云えないとの Data をあげている) わが国に於ても小西氏等⁵⁾ は Al-Mg₂Si-Cu 系の常温時効が焼戻硬化に及ぼす影響に就いて実験を行つている。

斯様に 61S 系合金の性能は焼入より焼戻す迄の放置時間で左右されるがその程度が焼入、あるいは焼戻の温度や焼入水温、あるいは焼入後の歪直し等の処理で如何様に変化するかに就いての検討の必要を感じ実験を行つた。

2. 実験材料

第 1 表に示すものを用いた。以下に於て特にことわりなき限り A 材を使用した。尚抗張試片は平行部巾 18%、

* 1954年度秋期の金属学会並に軽金属協会講演会に発表

** 住友金属工業株式会社伸銅所

** Sumitomo, Metal. Ind. Co. Ltd. Copper. Work.

標点距離50%のものである。

第1表 実験材料

マ 1 ク	形 状	化 学 成 分 (%)								
		Cu	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	Ti	Zn	Al
A	1 % 板	0.27	1.03	0.62	0.29	0.02	0.25	0.01	0.04	残
B	φ 52% 棒	0.30	0.96	0.61	0.24	0.02	0.24	0.01	0.02	"
C	0.9% 板	0.28	1.10	0.57	0.25	0.02	0.30	0.07	0.05	"

3. 実験とその結果

3.1 常温放置時間と焼戻後の性能

(a) 520°C 1 hr W.Q 170°C 10hr 戻しの処理をする場合焼入から焼戻す迄の常温放置時間の影響をみた結果は第1図の如く焼戻後の抗張力、耐力は共に1日の常温時効で約2 kg/mm²の低下をみるがその後の性能の変化は少く4日以降の変化は殆んどなくなる。Nock²⁾の発表しているような一旦谷を作つて更に性能が恢復する様子はみられなかつた。同図には常温時効の儘の性能も記入したが、これより61Sの常温時効硬化は最初の2日位が急激であり、その後もゆるやかではあるが硬化がつづく、今回のわれわれの data は6ヶ月迄のものであるが、この傾向は Nock が更に長期に亘つて調べている実験結果と一致する。

第1図 常温時効期間の効果
実線 焼入直後焼戻材
点線 焼入常温時効後焼戻材

(b) 52%φ 棒の硬度 (測定箇所は断面の外周から径の3/8の所) に就いて同様の事を検討した。即ち焼入直後及びこれを種々時間常温時効後、更にこれを焼戻した後の硬度を調べ第2図を得た。板の抗張性に就いての傾向と類似の成績であるのが判る。

第2図 常温時効時間と硬度 φ52%棒

3.2 焼入温度の効果

480~580°C の各温度に 1 hr 保持水冷を行い、その直後と約10日、常温時効後に 175°C 10hr の戻しをしたものの性能は第3図の如く焼入温度の上昇と共に性能は向上するが同時に焼入直後戻し材と時効後戻し材の性能の差も大となる。これらは共に540°C 辺り迄の変化が大でありそれ以上の温度での性能変化は殆んどない。伸率はこの温度範囲では殆んどなく約10%の値を示す。

3.3 焼戻温度の効果

520°C 1 hr W.Q 材を 100~230°C の各温度で 10hr の戻し処理をした場合の性能は第4図の如く焼入時効後に戻したものは130°Cを超えてから急激に戻し硬化が激しくなるが、焼入直後に戻したものでは 100°C から戻しの効果が現われている。10hr 加熱の場合の最良の戻し温度は焼入直後戻しの場合も時効後に戻した場合でも略175°C 辺にある。

3.4 焼入水温の影響

530°C より 0~100°C の各種の水温にある水中並に150°Cの油浴中に焼入れし、ここに5分間放置後取出してすぐ戻した場合と7日間室温時効後焼戻したものの性能は第5図の如く今回の実験が

第3図 焼入温度の効果

実線 焼入直後に焼戻し
点線 焼入10日常温時効後焼戻し

第4図 焼戻温度の効果

実線 焼入直後に焼戻し
点線 焼入10日常温時効後焼戻し

第5図 焼入水温の効果

実線 焼入直後に焼戻し
点線 焼入7日常温時効後焼戻し

第6図 175°C で各時間焼戻直後の硬度

薄物を少量取扱つたためか焼入水温の効果は殆んどみられなかつた。

3.5 戻し時間に就いての検討

焼入処理に 520°C 及び 560°C 1 hr W. Q. を選び 175°C の焼戻しをするときの戻し時間と硬度の関係を焼戻し直後(戻し温度より水冷しその直後)とこれを7日間常温放置後の両状態に就いて調べた。

(a) 175°C 戻し直後の硬度は第6図の如く焼入直後に戻したものでみると 520°C 焼入の場合には戻しの時間が5分を超えてから、 560°C 焼入材では1分を超えてから急激に戻しの効果が現われているが、焼入常温時効後戻し材では 520°C 焼入材も 560°C 焼入材も共に20分間以上の戻しで初めて戻し硬化がみられ、しかも戻し硬化後の硬度は焼入直後戻し材より低い。尚 560°C 焼入材は 520°C 焼入材より常温時効硬化量が大き、戻し後の硬さも常に大であるが、 560°C 焼入時効後戻し材の硬さは 520°C 焼入直後戻し材のそれと略同じである。この点は前掲第3図にも認められた所である。

(b) 上記の 175°C の戻し後更に数日間常温放置したものの硬度は第7図の如くである。 520°C 焼入材と 560°C

C焼入材の戻しに依る硬度変化曲線は殆んど平行であり焼入直後戻し材では5分以上の戻して硬化がみられるが焼入時効後戻したものでは戻し時間20分以上で硬化が始まっている。

第7図 175°Cで各時間焼戻し後10日間常温時効後の硬度

3.6 予備戻し処理の効果

前述の Nock の報文中²⁾には焼入直後に短時間の戻しをしておけば(所謂予備戻し処理—Preliminary artificial aging treatment.) 常温長期間放置後に戻しをしても最初から焼入直後に戻しをしたもの同様の性能が得られる事をのべておるがその詳細を知るために実験を行った。

試材は第1表のC材を用いた。焼入は520°C, 560°C

1 hr W. Q. とし焼入直後に行う予備戻し処理は 100°C と 175°C で 10hr 迄の種々の時間とした。この予備戻し後数日室温放置の儘と、それを 175°C 10hr の正規の焼戻処理をしたものの両状態での抗張性を確めた。得られた結果は第2表の如くである。即ち予備戻しをせずに正規の戻し処理をしたものの性能は焼入直後に戻したものが時効後に戻したものより強く、この差は520°C焼入材に於ては約 2 kg/mm², 560°C 焼入材に於ては約 3~4 kg/mm² である。焼入直後に戻したものと同様の性能が常温時効後の戻しで得られる様にするための予備戻し処理は予備戻し温度 100°C なら 10hr で略充分に近いが、175°C の予備戻しでは 520°C 焼入材に於ては 1~3hr, 560°C 焼入材では 5~20分で充分である事が判る。

3.7 焼戻前の歪直しの影響

通常 61S-T6 材は焼入後歪直し加工をしてから焼戻しをするのが普通である。依つてこの歪直しの効果を調べた実験は次の如く行つた。抗張試片に成形ずみのものを焼入直後に延伸加工し直ちに焼戻し
焼入直後に延伸加工し常温時効後焼戻し
焼入直後に延伸加工し常温時効のまま
焼入常温時効後に延伸加工し直ちに焼戻し

の各状態とした後抗張試験を行つた。延伸加工度は 0, 0.5, 1.5, 4% である。第8図はこの結果であるがこれより次の諸点が認められよう。

(イ) この程度の延伸加工は極めて僅か乍ら製品の抗張力を低下させるらしい。

(ロ) 焼入直後に戻すものは延伸加工の如何にかかわらず時効後に戻すよりも強く、焼入直後の戻しが時効後戻しのものより強いと云う事は今回程度の歪直しでは左右さ

第2表 予備戻し処理の効果

予備戻し温度 試片 No.			焼入温度			520°C 1 hr W. Q 系						560°C 1 hr W. Q 系					
			戻しの状態			予備戻し後効			左のものを更に 175°C 10hr A.C.			予備戻し後効			左のものを更に 175°C 10hr A.C.		
			戻しの時間			7 日 時 効						7 日 時 効					
						$\sigma_{0.2}$ kg/mm ²	σ_B kg/mm ²	δ %	$\sigma_{0.2}$ kg/mm ²	σ_B kg/mm ²	δ %	$\sigma_{0.2}$ kg/mm ²	σ_B kg/mm ²	δ %	$\sigma_{0.2}$ kg/mm ²	σ_B kg/mm ²	δ %
100°C	1	0	分			14.8	28.0	23	30.7	35.0	10.5	16.1	30.2	21.5	33.2	36.4	10
	2	5	"			14.1	27.3	23	30.6	35.2	10.5	14.8	28.7	23	33.3	38.3	12
	3	20	"			14.0	27.0	23	31.2	35.7	12	13.7	28.0	22.5	35.0	39.0	12
	4	1 時 間				13.6	26.3	20.5	31.7	36.0	13	13.1	27.7	21	34.8	39.6	12.5
	5	3	"			12.6	25.5	22	31.8	36.7	13.5	15.2	28.9	22.5	35.0	39.6	13
	6	10	"			17.1	29.4	21.5	32.0	36.8	14	21.2	33.3	21.5	35.2	39.6	13.5
175°C	7	5	分			14.8	27.7	22.5	32.0	35.7	12	18.0	29.2	18.5	35.3	39.6	12
	8	20	"			22.1	30.6	16	32.5	35.8	12	28.2	35.6	16	34.6	40.0	12
	9	1 時 間				30.9	35.8	12.5	33.0	36.7	10.5	31.8	38.8	14.5	35.8	39.7	11
	10	3	"			32.3	36.5	11.5	33.6	37.0	10.5	33.3	39.0	13	36.5	40.4	11
	11	10	"			32.5	36.8	11.5	33.6	36.8	11	35.5	40.0	12	35.4	40.1	11

れない。

(i) 戻しを時効後にするのであれば歪直しは焼入直後にしても時効後にしても性能は変わらない。

(ii) 常温時効材の性能は焼入直後の延伸加工量と共に抗張力はごく僅か低下し、耐力は著しく高まる。

第8図 焼戻し前の延伸加工の効果

- 焼入直後に加工し直ちに焼戻し
- 焼入直後に加工し常温時効後焼戻し
- 焼入常温時効後に加工し焼戻し
- 焼入直後に加工して常温放置

3.8 耐食性に関する検討

520°C焼入後直ちに170°C 10hrの戻しをしたものと7日間常温時効後に同じ戻し処理をしたものに就いて耐食性を比較した。即ち熱処理した抗張試験片を6% NaCl+0.3% H_2O_2 水溶液中に種々期間浸した後の性能を調べた。液は各期間毎に更新した。試験結果は第9図の如く焼入直後に戻したものの時効後に戻したものの耐食性は同等であると云えよう。(腐食後の外觀状況に於ても両者間に差違はみられなかつた)

4. 結 び

主に61S板に就いて“焼戻しを焼入直後に行つた方が常温時効後に行うより強くなる”(H. K. Hardy⁶⁾は本現象を氏が Split Aging Effect となづけて理論的な見解を発表しているものの一例であるとしている) 事の程度が熱処理の諸因子で如何に変化するかを調べた結果を得た。

(i) 61Sの強度は焼入直後に戻した方が時効後に戻すより大でありこの差は抗張力、耐力に於て2~4 kg/mm^2 硬度で V. H. N. 10 程度である。

(ii) Split aging effect に依る強度低下は10~24hr位迄の常温時効の所が急激でその後ゆるやかとなり、略2~4日間で安定となりその後の性能変化は殆んどない。

(i) Split aging effect は焼入温度の上昇と共に大となるが540°C辺で一定となる。

(ii) 適当な焼戻温度は焼入直後に戻す場合でも時効後に戻す場合でも170~180°Cの所にある。焼戻硬化のみられる温度範囲は焼入直後に戻した時の方が広い。

(iii) 焼入直後に戻した方が時効後に戻すよりも戻しに依る性能変化が速い。

(iv) 焼入水温の効果は0~150°Cの間では殆んどみられなかつた。

(v) 焼入直後に予備的な戻し処理をしておくと、その後常温放置してから正規の戻しをしても焼入直後に通常の戻しをしたのと同等の高性能のものが得られる。

(vi) 焼入後の歪直しは Split aging effect に対し影響を及ぼさない。

(vii) 焼入直後に戻したものの時効後に戻したものの耐食性は同等である。

附 記

成分並に結晶組織と Split aging の関連に就いて少しく実験した結果を次に附記する。

(a) Cr のない61S, 英国の AW10 (Al-Mg0.8-Si1.0-Mn0.7) 及び AW10 より Mn を除いたものの板材に就いて焼入直後の戻しと時効後の戻しの抗張性の差をみた所61Sと同様であつた。

第9図 耐 食 性 比 較

実線 焼入直後焼戻材 点線 焼入常温時効後焼戻材

(b) 押出の強力性をもつ61S棒に就いて実験せる所押出の強力性に依り焼入直後戻し材と時効後戻し材との性能差が左右される様子はなかつた。

文 献

- P. Brenner and H. Kostron Z. Metallkunde 31 (1939) 89
- J. A. Nock, Jr. Iron Age 17 (1947) 48
- I. R. Harris, and P. C. Varley J. Inst. Met. 82 (1953~4) 379
- V. A. Phillips J. Inst. Met. 82 (1954) 626
- 小西、櫻淵 日本金属学会誌 8 (1944) 197
- H. K. Hardy J. Inst. Met 75 (1948~9) 707