高力 I 合金 HD の思い出

小久保 定次郎*

REMINISCENCE OF HIGH STRENGTH AI ALLOY HD

SADAJIRO KOKUBO*

大学を出て軽合金の研究を始めてから30年余になる。その間の前半は金属材料研究所にあつて主としてアルミ合金の時効硬化現象の解明につとめ、後半は材料会社にあつて展伸用軽合金材料の生産に関する諸問題と取組んで来た。

6月16日附で退社して自宅に引籠つていると、その間のいろいろな出来事が思い出される。それらの思い出の中から戦時中に生れた展伸用高力アルミ合金のNDとHDとを取り上げて、当時の記憶をたどつてみることにする。

NDは、戦時中にアルミ新地金が不足して、航空機の解体屑やその他の返り材を使用する率が多くなり、従つてFe, Si, Znなどの不純物の混入量が増してきて、品位の良いSDを生産することが困難になつた。そこでこれらの不純物の許容範囲をある程度まで広げて、しかも

SDに匹敵する機械的性能を有する材料を求めて、軍官民協力して研究を進め、得られたのがこのNDである。その組成範囲はCu 4.0~4.8%、Mg 0.6~1.2%、Mn 0.6~1.0%、Fe 0.8%以下、Si 0.3~1.0%、Zn 1.0%以下となつており、焼入常時時効したものは、引張強さ44kg/mm²以上、耐力32kg/mm²以上、伸び10%以上の性能を有する。主成分のCu含量はSDとほぼ等しいがMg量がやや低くなつておる。SDではSiは不要元素であるが、NDではSiは必要成分になつておる点異なる。Znは強さには悪影響を及ぼさないが、1%以上含まれると熱間圧延の際耳割れを生じやすくなる。終戦後しばらくの間は戦時中の残材や機体解体屑などからNDまたはND類似の合金が生産され、器物その他の材料として一般に使用されてきたが、アルミニウム合金の工業標準が制定実施されるようになってから、NDは市場から消え去つてしまつた。

HDのほうは、戦時中にCu地金が著しく不足になつたので、Cuを含まない高力軽合金を軍官民協力して探求して得られたもので、故本多光太郎博士が当時の共同研究の主査であられたのでHD (Honda's Duralumin) と命名したのである。この合金は戦前からわが国で実用の域に入つていたESD (旧航空規格高力アルミ合金第3種) と同系の合金である。MgZn₂を9%前後含むAl-MgZn₂擬二元合金はSandarslegierungとして古くから知られており、焼入時効によつて著しく硬化することでも知られていたのであるが、加工が困難なと応力腐食割れを起す欠点があるので実用にならなかつたのである。ESDはこの合金に約2%のCuを加えて強度を増し、更にMnとCrを添加して応力腐食割れを防いだ

写真 1. 押出速度が大きすぎたためにできた割れ (HDにCuを添加するとこのような割れが著しくなる)

第1表 機械的性質の比較

合金	性質 耐力(0.2%) kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	硬さ ツカース	弾性係数 kg/mm ²
H D	48.1	57.7	9.4	163	7,700
S D	31.5	48.1	13.8	128	7,300
E S D	57.7	65.3	10.0	197	7,500

第2表 試験に用いた合金の組成

合金	成分	Cu %	Zn %	Mg %	Mn %	Cr %	Fe %	Si %
H D		—	5.76	2.16	0.87	0.23	0.28	0.28
S D		4.29	—	1.53	0.54	—	0.36	0.47
E S D		2.07	7.63	1.39	0.46	0.15	0.30	0.51

最も強力な軽合金である。H D合金のほうはAl-Mg-Zn合金にCuを添加しないで、MnとCrを添加して応力腐食割れを防いだ合金であつて、旧航格高力アルミ合金第7種では下のような組成範囲を規定してある。Mg 1.5~2.5%、Zn 5.0~5.8%、Mn 0.3~0.8%、Cr 0.1~0.4%、Cu 0.8%以下、Fe 0.6%以下、Si 0.5%以下、Al残り。

この系ではMgとZnの量は合金の機械的性能に決定的な意味を持つが、一方また応力腐食割れにも関係するので、MgとZnの量をいろいろに変えた合金板について機械的性質(板の方向性をも含めて)、応力腐食割れの比較試験を行つて上記の組成範囲を決定したのである。この合金ではMgZn₂(重量比でMg 1:Zn 5.4)の割合よりもMgのほうが余分に加えられておる。不純物のFeは強さには殆んど影響しないが、加工性を害し応力腐食割れを助長する。またSiは伸びを増すが強さを著しく低下する。それで、使用地金は99.3%以上を要求される。Cuを加えると強さは増すがこの合金の特長である押出性能を著しく悪化させる。

H Dの焼入温度は350~450°Cの広い範囲ではほぼ同じ効果を得られるが、400°C附近の温度が適当とされておる。常温でも時効硬化するが、110~130°Cで約24時間人工時効させると最高の機械的性能になる。焼入液の温度は120°C(油焼入)までは、常温時効及び人工時効後の強度に殆んど影響しない。第1表はH D、S D及びE S Dの機械的性質を比較試験した結果の一例である。この試験に用いた試料の組成は第2表に示してある。S Dは焼入常温時効したもの、H DとE S Dは焼入人工時効したもので、いずれも3本の試片の平均値である。H Dの強さはE S Dには及ばないが、S Dよりもはるかに勝つておる。弾性係数は三者の中でH Dのが最も大きいことが注目される。有溝衝撃値はE S Dとほぼ等しい。Cuを含まないので耐食性はS DやE S Dよりも良い。

(a)

(b)

10m/min で押出のまま 34m/min で押出のまま

写真2 押出材のX線透過写真

(a)

(b)

$\sigma_B = 46 \text{ kg/mm}^2$,
 $\sigma_{0.2} = 30 \text{ kg/mm}^2$,
 $\delta = 12.5\%$

$\sigma_B = 42 \text{ kg/mm}^2$,
 $\sigma_{0.2} = 27 \text{ kg/mm}^2$,
 $\delta = 12.5\%$

写真3 写真2の押出材を420°Cから水焼入室温時効したもの

軽合金の押出速度には限界があつて、限界以上に押出速度を上げると割れを生ずる。(写真1)一般に押出温度を上げるとこの限界速度が低下する。押出温度を下げると限界速度は上がるが、押出機的能力によつて制限される。この限界速度は合金の種類によつて異なり、S Dでは約3m/min、E S Dでは約1.5m/minであるのに、H Dでは30m/minにも達する。但し押出速度を大きくするほど押出材尾部の巻込みが多くなるから注意しなければならない。H DにCuを添加すると機械的性質は向上するが、押出限界速度が著しく低下する。例えば、Cuを0.5%添加すると限界速度が半分以下になる。それでこの合金には不純物としてのCuの量を0.8%以下におさえてある。

上記のようにH Dはその機械的性質がすぐれておる上に押出速度が著しく大きいので、戦時中限られた設備で出来るだけ大量に押出材を生産するのに詭向の材料である。それで航空機の主桁以外の型材は、H Dの見出されるまでは、S Dが用いられていたのであるが、それがすべてH Dに変えられることになつたのである。

H Dの押出速度を変える(押出温度は一定にして)と押出材の組織が変つてくる。H Dの押出速度を変えたときのX線透過写真の一例を写真2に示してある。(a)は10m/minの速さで押出したもの、(b)は34m/minの速さで押出したものである。(b)の方は押出しのままで明

真3の(a)と(b)に示してある。焼入組織もまた押出速度によつて異なることがわかる。この試験に用いた合金の組成は次のようである。Zn 5.62%、Mg 2.09%、Mn 0.69%、Cr 0.19%、Cu 0.02%、Fe 0.22%、Si 0.20%、Al残り。この合金を1,500 T押出機を用い、押出温度420°Cで押出したものである。このように高温高速で押出されるから、押出と同時に急冷することによつて十分に焼入ができ、押出後に加熱焼入する工数を省くことができる。

HDは上記のような特長があるばかりでなく、また熱間加工性及び型入性が良く、熱処理によつて結晶粒の粗大化を起さないで型鍛造部品としても好適な材料である。戦時中この合金で飛行機のプロペラも試作されたが、これはその確性試験の終らない前に終戦となつて、実用はされなかつたようである。

HDは上記のように甚だ優秀な材料であるのに、終戦後今日まで全く顧みられないでおるのは甚だ奇異に感ぜられる。展伸用高力合金として再検討すべきではあるまいか。

(P 10より)

らかに再結晶しておる。これらの押出材を420°Cに30分間熱して水焼入して7日間室温時効したものの組織が写