2S, 52S, 61S 系アルミニウム合金に対する 特殊金属添加の影響

三島良績* 高橋直明

Effect of less-common metal addition upon aluminium alloys of 2S, 52S and 61S type

(UDC 669.018.2: 669.715)

MISHIMA Yoshitsugu*, TAKAHASHI Naoaki**

Five kinds of less-common metals; Ta, V, Y, Nb and Hf were added to the three kinds of aluminium alloys; 2S, 52S and 61S. The master alloys used were produced by arc melting process, containing 10w/o of each metal.

The workability of the three aluminium alloys was not decreased, when each of 5 less-common metal was added. These were cold-rolled by 90% reduction. High temperature strength could be enhanced by addition of up to 0.5 w/o of V and Hf (Fig. 2). This effect was most remarkable in 2S, and V was the most effective element. This alloy did not show softening even after heated at 300°C for 100 hrs. But, V was slightly less effective than Zr, on which the authors reported several years ago. To increase the strength, any of 5 kinds of metals was found to be effective, and V was, again, most effective.

Corrosion resistance of 52S series alloys did not deteriorated by the addition of such less-common metals. It was rather improved by the addition of Y. Y also reduced stress corrosion sensitivity in Al-Mg alloys (Fig. 3).

(Received Feb. 5, 1962)

1. ま え が き

アルミニウム合金の耐熱性および耐食性を改善するための添加元素としてのジルコニウム、ベリリウムについてはさきに試験して発表した。これによるとベリリウムよりもジルコニウムの方が効果があり、また合金系については2S系が最も効果が大きく、52S系がこれにつき、61S系では若干向上するにすぎなかつた。¹⁾

その後、その他の高融点特殊金属が入手できるようになったので、これらについてもその効果の検討を行なっているが、今回はこれらの元素がアルミニウム合金の諸特性の向上にどの程度役立つかをみるために、2S, 52S, 61S系に対し、タンタル、バナジウム、ニオブおよびハフニウムを添加し、二、三の試験を行なつたのでその結果について報告する。

2. 実験試料の作成

それぞれの元素の添加はすべて母合金を用いて行なつたが、添加元素が高融点金属であるとともに非常に酸化しやすいので、これらの母合金の融製にはアルゴンアーク融解炉を使用した。

融解は各元素に対しまず 20w/o アルミニウムを加えた約 100 g の一次母合金を融製し、次にできた鋳塊を高周波誘導融解炉で酸化を防ぐためにアルゴンを吹きつけながら再融解してうすめ、Al-10w/o 特殊金属の母合金を融製した。

試料の調製にはアルミニウム地金の 99.99w/o 純度のものを使用した。それぞれの母合金をつくるための特殊金属は、さきに著者の研究室で特殊金属の研究用にくった展伸材の残片を使用した。こうして作つた合金試片の組成を Table 1 に示した。合金の融解量は 100 g でアルミニウムが融解した後添加元素をそれぞれ添加した。また鑄造温度は約 750°C で、25×10×120mm の金型に鑄造した。

この鋳塊の表面を軽く機械加工で削り、熱間鍛造および冷間圧延で 2 mm まで加工し、400°C で 1 時間焼なましを行なつた。この一部を加工硬化試験片にとり、他は 50% の冷間加工を行ない、1 mm の厚さの板とし、これをそれぞれの試験に使用した。また平行部分 40 mm、標点間 30 mm、幅 15 mm に加工したものを引張試験片に使用した。

* 東京大学工学部付属総合試験所冶金研究主任、助教授、工博
Assist. Prof. Head of Metallurgy Section, Engineering Research Institute, Faculty of Engineering, University of Tokyo, Dr., Eng.

** 同 冶金研究室助手 Assist., Ditto.

Table 1 Nominal chemical compositions of the specimen alloys.

Alloy system	Specimen number	Alloying elements (w/o)									
		Si	Fe	Mg	Cu	Cr	Ta	V	Y	Nb	Hf
2S	1	0.33	0.66	—	—	—	0	—	—	—	—
	2	"	"	—	—	—	0.25	—	—	—	—
	3	"	"	—	—	—	0.5	—	—	—	—
	4	"	"	—	—	—	1.0	—	—	—	—
	5	"	"	—	—	—	—	0.25	—	—	—
	6	"	"	—	—	—	—	0.5	—	—	—
	7	"	"	—	—	—	—	1.0	—	—	—
	8	"	"	—	—	—	—	—	0.25	—	—
	9	"	"	—	—	—	—	—	0.5	—	—
	10	"	"	—	—	—	—	—	1.0	—	—
	11	"	"	—	—	—	—	—	—	0.25	—
	12	"	"	—	—	—	—	—	—	0.5	—
	13	"	"	—	—	—	—	—	—	1.0	—
	14	"	"	—	—	—	—	—	—	—	0.2
	15	"	"	—	—	—	—	—	—	—	0.4
	16	"	"	—	—	—	—	—	—	—	0.6
	17	"	"	—	—	—	—	—	—	—	0.8
	18	"	"	—	—	—	—	—	—	—	1.0
52S	21	0.4	0.7	2.5	—	0.25	—	—	—	—	—
	22	"	"	"	—	"	0.5	—	—	—	—
	23	"	"	"	—	"	—	0.5	—	—	—
	24	"	"	"	—	"	—	—	0.5	—	—
	25	"	"	"	—	"	—	—	—	0.5	—
	26	"	"	"	—	"	—	—	—	—	0.4
	27	"	"	"	—	"	—	—	—	—	0.8
61S	31	0.6	0.4	1.0	0.25	0.25	—	—	—	—	—
	32	"	"	"	"	"	0.5	—	—	—	—
	33	"	"	"	"	"	—	0.5	—	—	—
	34	"	"	"	"	"	—	—	0.5	—	—
	35	"	"	"	"	"	—	—	—	0.5	—
	36	"	"	"	"	"	—	—	—	—	0.4
	27	"	"	"	"	"	—	—	—	—	0.8

3. 試験結果

3.1 硬さ試験

3.1.1 加工硬化曲線の決定

添加金属および添加量の加工性に対する影響をみるために、400°Cで1hr焼なましを行なった厚さ2mmの板を用い、加工度10%ごとの硬さをビツカース硬さ試験機ではかり、加工度80%までの加工硬化状況を測定した。

まず2S系に対する特殊金属添加の影響をみると、わずかではあるが添加量による硬さの差がみとめられる。しかし加工硬化の傾向は特殊金属を加えない場合と大差がない。これを添加元素別にのべると、

タンタル：加工前の硬さは添加量が増す順に高い値を示しているが、加工度が40%にまでなると特殊金属を1w/o添加したものでも添加しないものにくらべて、わずかに硬い程度になつてしまい、添加量による差は失われてくる。

バナジウム：加工前は添加量を増すごとに硬さが増しており、この硬さの順位は80%加工までは変わらない。そしてバナジウムを添加しない場合にくらべていずれも

高い硬さを示しているが、加工性には特別の影響はなかった。

イットリウム：加工前の硬さは0.5w/o添加した場合が最も硬くなり、1w/o添加すると0.25w/o添加した場合よりもむしろ低い値を示している。この硬さの傾向は80%加工まで変わらなかった。

ニオブ：加工前は添加量が増すにつれて硬さはむしろ減少しているが、60%まで加工をすると硬さの値の順序は逆になつて、添加量が増すにつれて硬くなり、80%加工までの傾向は変わらない。

以上の結果を別の角度からみて各合金系に対し特殊金属を0.5w/o添加した場合の影響を2Sで比較してみると、各特殊金属のうちバナジウムが最も2Sを硬くし、次いでイットリウム、ニオブ、タンタルの順である。しかしどの特殊金属の場合でも加工による硬化の傾向はみなっており、加工硬化曲線はほぼ平行して加工前の硬さの差が最後まできいている。52S、61S系の場合でも2Sと同様の傾向を示した。

3.1.2 添加量の焼なまし硬さに対する影響

各特殊金属が添加量によつてどの程度焼なまし硬さに

影響をおよぼすかをみるために各元素を 2 S に 0.25, 0.5, 1.0w/o と添加量を変えて加え, 100~500°C に各 1 hr 焼なましを行ない, 水冷してからビツカース硬さを測定した。その結果を元素別にみると,

タンタル: 0.25w/o 添加した場合でも効果は現われるが, 0.5w/o 添加した場合が最も効果がある。しかし 1 w/o にすると効果は減少して逆に 0.25w/o の場合と同程度になつてしまい, 300°C 辺では添加しない場合と同様に急に硬さの減少を示すようになる。このためタンタルは余り多く入れても効果はさして認められないが, 0.5 w/o では一応効果が認められた。

バナジウム: 焼なまし処理前の 50% 冷間加工したときの硬さでは, バナジウムの添加量に応じて硬くなり効果は明らかである。これに対してバナジウムを添加しない場合は 200°C から軟化しはじめ 300°C では大きく硬さが減少する。これに対し 0.25w/o V を添加した場合は 200°C でももとの硬さを保持しており, 300°C から軟化がはじまるが添加しない場合ほど大きい硬さの減少は示さない。添加量を 0.5w/o に増すと 300°C まではもとの硬さを保持するのに役立つが, 400°C で大きく硬さの減少を示し, 以後は硬さは変化しない。1w/o V では 300°C までは 0.5w/o V を添加した場合と同様な硬さを保持するが, 添加量に応じたほどの効果はなく, 逆に 400°C からは 0.5w/o の場合よりもわずかではあるが低い硬さの値を示している。

これら焼なましの結果を Fig. 1 (a) に示した。

イットリウム: 200°C までは硬さを維持できる。300°

Fig. 1-a Hardness changes of cold rolled aluminum alloys when annealed at various temperatures up to 500°C. (Annealed for an hour, respectively)

Fig. 1-b Hardness changes of cold rolled aluminum alloys when annealed at various temperatures up to 500°C. (Annealed for an hour, respectively)

Cになると, 添加しない場合に比べると添加量に応じて高い硬さを示してはいるが, 軟化の傾向は全く同じで, 400°C 以後でもこの傾向は変わらない。

ニオブ: わずかに硬さを増すが添加量による硬さのちがいはあまり認められず, 軟化の傾向も添加しない場合と同様で特に改善されない。

ハフニウム: 0.2 w/o ごとに 1 w/o まで添加量をふやして比較すると, ハフニウムは 0.2w/o からわずかに硬さを増す。しかし 300°C では添加しない場合と同様に急に軟化してしまう。添加量が 0.4w/o に増すと 300°C で軟化は大幅改善され, 0.6w/o 以上添加すると 200°C では加工後の硬さを維持しており, 300°C になつていくらか軟化を示す程度である。400°C では大幅軟化するがそれでも添加量に応じて高い硬さを維持している。

3.1.3 各合金系の焼なまし硬さに対する特殊金属の影響

特殊金属の添加量の大小がアルミニウム合金の焼なまし硬さに対し, どのような効果をおよぼすかを見るために, まず 2 S に対しその添加量を変えて試験してみたところ, 最も効果のある添加量は 0.5w/o 前後であることがわかつたので, 添加量として 0.5w/o を選んで試験した。しかし 52 S, 61 S では添加量のちがいによる効果の差をたしかめていないので, 一応 2 S に対しての経験を参照して添加量をきめて試験してみた。なおハフニウムだけは 0.4w/o 加えることにした。

(1) 2 S の場合

今回の実験ではどの特殊金属も 0.5w/o 添加した場合

Fig. 1-c Hardness changes of cold rolled aluminum alloys when annealed at various temperatures up to 500°C. (Annealed for an hour, respectively)

Fig. 1-d Hardness changes of cold rolled aluminum alloys when annealed at various temperatures up to 500°C. (Annealed for an hour, respectively)

に最も効果が認められ、これが適当と思われる。また焼なましによる300°Cでの軟化をできるだけ少なくするのにはバナジウムの効果が最も大きく、次いでハフニウム、タンタルでありイットリウム、ニオブは添加しない場合と大差ない軟化の傾向を示している。バナジウムは添加量が0.25w/oでも他のどの特殊金属を加えた場合よりも効果のあることがわかった。

(2) 52 S の場合

この場合も2 S 同様に300°Cでの軟化を極力おさえる元素としてバナジウムが最も良く、ついでハフニウム、タンタルである。その他の特殊金属の効果はあまり認められなかった。

(3) 61 S の場合

焼なましによる軟化は添加しない場合の軟化と全く同様の傾向を示し、特殊金属の効果はあまり認められない。しかしバナジウム、ハフニウム、イットリウムは、わずかではあるが300°Cでは高い硬さを示している。以上の結果をFig. 1(b)~(d)に示した。

3.2 各合金系に対し特殊金属を添加した場合の機械的性質

特殊金属を加えた2 S, 52 S, 61 S系について、冷間加工50%の板材および50%冷間加工後300°Cで1 hr 焼なましを行ない、水冷した場合の板材について引張強さと伸びを測定し、各元素の効果を比較してみた。

3.2.1 50%冷間圧延板材の機械的性質

(1) 2 S の場合

特殊金属の添加量が増すとともに引張強さが増すのはバナジウムを添加した場合のみで、他の特殊金属の場合では0.25 w/o 添加して少し強さを増すだけで、あとは添加量を増してもそれ以上の効果はなかった。

(2) 52 S の場合

0.5 w/o 添加した場合についての引張強さを比較してみると、バナジウム、イットリウム、ニオブを添加した場合には強さを増すことができるが、タンタルは逆に強さが減少してしまつた。いずれにしても今回の実験では52 S に対しては特殊金属の効果はあまり認められなかった。

(3) 61 S の場合

この場合も0.5w/o 添加した場合についてだけ比較を行なつたが、イットリウムを添加した場合だけがわずかではあるが引張強さを増した。その他の特殊金属はあまり効果が認められなかった。

3.2.2 50%冷間加工後300°C 1 hr なましを行なつた場合

(1) 2 S の場合

0.25w/o の添加でもバナジウムは最も効果を示すが、これ以上では0.5w/o でわずかに強さを増し1w/o 添加しても強さはそれ以上変わらない。次いで効果のあるのはタンタルで、ニオブの効果は認められなかった。イットリウムは0.5 w/o までは大した効果はないが、1 w/o

Table 2 Mechanical testing data of the alloys before and after annealing for an hour at 300°C.

Alloy system	Specimen number	As cold-rolled (50% reduction)		After kept for 1 hr at 300°C	
		T.S. (kg/mm ²)	Elongation (%)	T.S. (kg/mm ²)	Elongation (%)
2 S	1	14.4	5.5	9.5	44.0
	2	15.2	5.8	11.3	30.0
	3	15.2	6.8	12.6	20.0
	4	15.2	5.0	12.5	29.0
	5	15.8	3.7	14.3	16.5
	6	16.7	3.0	15.1	8.3
	7	17.8	4.7	15.0	16.0
	8	14.6	6.3	9.6	44.0
	9	15.4	4.3	10.2	43.0
	10	16.0	6.3	12.8	21.0
	11	15.5	6.1	10.3	41.5
	12	15.6	6.7	10.3	45.6
	13	15.6	6.5	10.2	46.3
52 S	21	27.5	1.3	22.1	19.0
	22	26.2	1.6	24.8	13.3
	23	28.0	2.1	23.6	12.6
	24	27.8	0.6	22.2	17.5
	25	28.0	1.8	23.2	16.6
61 S	31	20.6	1.8	18.0	12.0
	32	21.2	1.8	18.4	11.6
	33	21.2	0.6	18.6	10.0
	34	22.4	0.6	19.4	10.0
	35	21.0	2.3	18.2	13.3

らべるため、Al-3, 4, 5 w/o Mg の合金にイットリウムを 0.5 w/o を加えたものと、加えないものおよび、市販の 56 S の合金について上記と同じ応力腐食試験を行なった。その結果は Al-Mg 二元合金では 3~5 w/o Mg とイットリウムの効果が明らかに認められ、イットリウムの入ったものは応力腐食をうけにくくなる。Photo.1 には 6 日間腐食した後の応力腐食試片の表面状況を示す。表面状況だけからみると 56 S に対しては二元合金のときほどイットリウムの効果がないように見えるが、板厚を比べると、イットリウムを加えたものはただの 56 S に比べてかなり板厚の減少が少ない。

4. む す び

今回は特殊金属のうちタンタル、バナジウム、イットリウム、ニオブおよびハフニウムを選び、2 S, 52 S, 61 S 系に対しこれらを添加した場合にどの程度耐熱性、その他の特性向上に役立つかを検討した。このため各元素の加工硬化特性、焼なまし軟化状況、機械的性質、応力腐食性などに対する影響を検討した。その結果、

1) 加工性はどの特殊金属を添加した場合でも害されず、硬さはいくらか硬くなるが冷間圧延度 90% までは耳割れを生ずることなく加工ができる。

2) 合金系別に耐熱性に対する効果を比較すると 2 S に添加した場合が最も特殊元素の効果が大きく、添加量はどれも 0.5 w/o 辺に適量があり、それ以上増しても効果は増大しない。

3) どの合金系に対しても耐熱性向上に最も効果のあるのはバナジウムであり、ハフニウムがこれに次いでいる。

4) バナジウムを添加した場合は 300°C, 1hr の焼なましでは全く軟化は認められなかった。

5) 機械的性質の改善にはどの特殊金属を添加した場合でも効果があるが、特にバナジウムの効果が最も大きい。

6) 3% NaCl + H₂O₂ 水溶液中の 52 S の耐食性に対しては各特殊金属とも害に認められなかった。

7) Al-Mg 系合金の応力腐食に対してはイットリウムを添加すると改善効果が認められた。

第 3 回 構造の軽量化に関するシンポジウム講演募集

構造力学、構造法の研究は最近著しい進歩をとげ、軽金属、強化プラスチック、高張力鋼などの開発と相まって、構造の変革をもたらすと共に、構造の軽量化に多大の寄与をしています。この分野に関する学協会共催の下に、相互の研究交換を活発にすることは意義あることと思われますので、下記によりシンポジウムを開催致します。

つきましては、軽金属構造に関する講演募集を下記によつて行いますので、積極的に応募されますよう御案内申し上げます。

記

日 時：昭和 36 年 11 月 16 日（金）、17 日（土）
 会 場：プリジストンホール（東京都中央区）の予定
 共 催：軽金属協会、強化プラスチック協会、自動車技術会、造船協会、日本機械学会、日本航空学会、高分子学会

講演申込方法：

1. 当会に直接申し込む。
2. 講演内容は既に研究発表講演会で発表されたものでもよいが、最近の研究に属するものが望ましい。
3. 講演時間は 20~30 分とする。
4. 申込用紙は適宜とし、次の事項を必ず記載のこと
 - a. 講演題目および所要時間
 - b. 梗概約 100 字
 - c. 講演ならびに連名者の各氏名・勤務先・連絡先・学会員資格・年齢（登壇者に○印をつけること）、スライドなどの有無
5. 講演申込み切：昭和 37 年 8 月 31 日（金）16 時必着
6. 前刷原稿は 400 字詰原稿用紙 20 枚（図を含む）以内とし、講演申込者に原稿用紙を送付する。
7. 前刷原稿提出期限：昭和 37 年 9 月 30 日（日）16 時必着