

二相構成合金の加工の研究

—加工軟化現象について—

堀 茂 徳

Two phase Alloys and Cold Rolling

—On the worksoftening—

Shigemori HORI

The study on Pb-Sn alloys has shown that the work softening phenomenon appears in the alloys of two phase region, although the work hardening occurs in the constituent phases. Therefore, we may conclude that the decreasing of the hardness or the yield point of the two phase alloys by cold rolling is brought about by the self annealing.

I 緒 言

低熔融点の合金で加工によつて軟化する現象のあることはよく知られているが、その本質についてはまだ十分に解明されているとはいえないようである。著者は Pb-Sn 合金の全組成にわたつて加工軟化を詳細に調べた。その結果二相構成範囲の合金においてのみ加工による軟化現象を認めた。そこで更に典型的な二相合金を熔製し、各相の加工—硬度曲線を求め各構成相が合金中においても加工硬化を示すに拘わらず、該合金は加工軟化を呈することを知つた。これらの結果について簡単にのべたい。

II 試料の作成

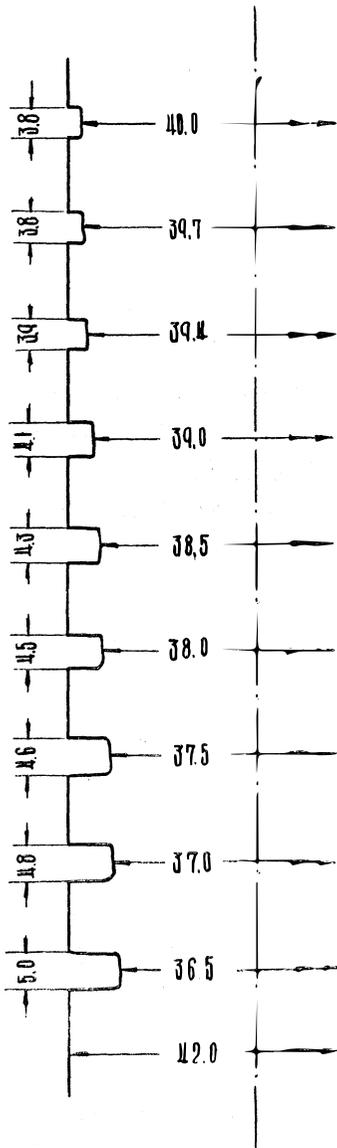
試料は (100, 90, 70, 20 及び 0) % Pb-Sn 合金をニクロム線電気炉にて熔製した。この場合の Pb 及び Sn は共に 99.9 % 純度のものであつた。各試料とも熔融点より夫々約 100° 高い温度に 10 分間保ち炭素棒で十分攪拌を行つた後約 100° に予熱した金型に鑄込んだ。予め加工度を 25, 50 及び 70 % と決め各の加工後の仕上り寸法が 3.8×4.0×60 mm になるように鑄造試料の厚さを定めた一箇の金型に同時に鑄造した。

又 Sb-Sn 合金は 350° から予熱した 10×10×150 mm のイソライト型に鑄造して第二相としての β' 結晶の粗大化を図つた。しかして地質相の硬度の測り易いことを考えて第二相の容量を試料の約 $\frac{1}{8}$ とした。その組成は約 13 % Sb-Sn である。

III 実験方法

従来の研究での加工軟化試験は凡て硬度の測定によつて行われていたが軟質金属の加工軟化試験において通常の硬度試験に依存することの適否については尙議論の余地がある¹⁾。そこで著者は軽少な研磨仕上だけで十分なように金型鑄物した試験片について曲げ試験²⁾を行い応力—撓み曲線を求め、これから降伏点及び降伏点における撓みを決め加工軟化を測定した。圧延以外の影響を試験片に与えないために冷間加工を第 1 図に示す如きカリバーロールにて行い機械仕上の必要をなくした。圧延及び曲げ試験はすべて 10° 前後の室温において行つた。

Sb-Sn 合金は鑄造後歯工用ハンドロールにて圧延し可及的速やかにヴィッカーズ硬度を測定した。各加工度毎に地質相及び第二相の硬度をマイクロ硬度計にて測定し更にその 50 乃至 80 箇の結晶粒子

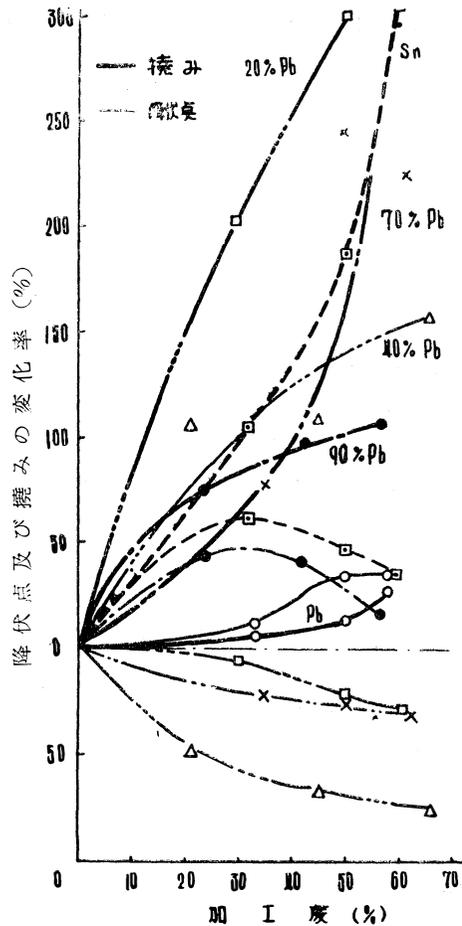


第1図

してこの加工軟化度は共晶組成に近い合金程大きい。撓みの変化は何れの合金についてみても加工度の高くなるのと共に増大するがPbの増加率は比較的小さい。

写真1はPb-Sn共晶組成の合金の金型鑄造組織を示し写真2は同じく金型鑄造後真空中で175°に2日間保ち後2°/hで冷却して完全に共晶組織をこわした組織を示す。これらの試料について同様に加工軟化を調べた。第3図はこの結果で降伏点は何れも加工度と共に減少するが鑄造のままの試料の軟化率は焼鈍試料に比べて大きく、撓みは何れの試料においても加工度と共に増大する。尚降伏点と硬度との関係を調べるためにそれぞれの試料について同時にヴィッカース硬度を測定したが降伏点、硬度共に加工軟化を示し、軟化率は鑄造のままのものが顕著で焼鈍したものが少い。

写真3はSn-Sb合金のイソライト型鑄造組織を示す。第二相粒の形状は写真から角形を呈するものと思われる。これを冷間圧延して各加工度毎に顕微鏡試験、試料の平均加工度及び第二相粒の



第2図 Pb-Sn合金の加工による降伏点及び撓みの変化

する。Pbは加工度の比較的小さい範囲内では硬化度は小さく加工度が30%を超えると加工度と共に急に硬化する。共晶組成の合金では降伏点は加工度の増加と共に次第に減少する。しか

について変形量の平均値を求めた。

即ち顕微鏡の微動装置によつて試料を動かし網の目の中に入つた第二相粒子の大きさを接眼マイクロメーターを用いて1/1000mm迄測定した。

IV 実験結果

第2図は鑄造後150°で2時間焼鈍した試験片の降伏点及び撓みの加工による変化量の焼鈍試片の夫らに対する百分比を示す。降伏点の変化をみるとSn及び固溶体範囲の90%Pb-Sn合金は加工度の小さい間では加工硬化を示し加工度約33%で最大値に達し、それより加工度がますと硬度は次第に低下

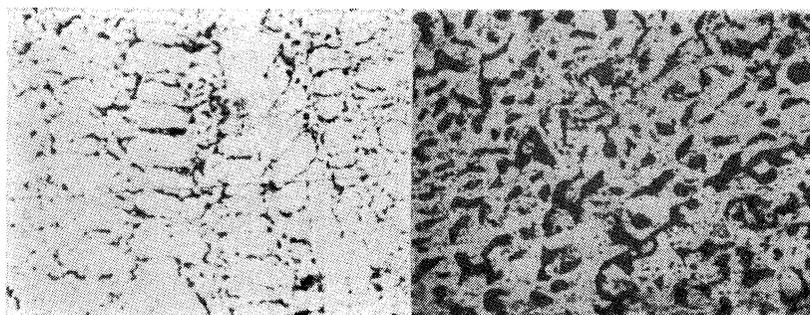


写真 1 ×400
Pb-Sn 共晶合金の鑄造組織

写真 2 ×400
Pb-Sn 共晶合金の完全焼鈍組織

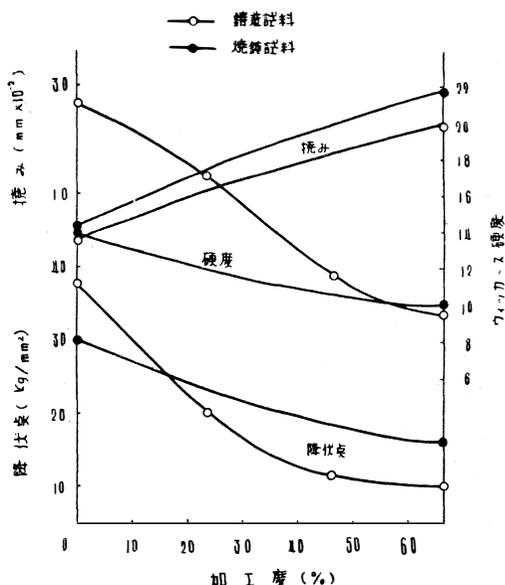


写真 3 ×60
Sn-13% Sb 合金の鑄造組織

写真 4 ×60
加工度 33%

写真 5 ×60
加工度 52%

変形度，地質相，第二相及び試料の平均硬度を測定した結果は写真4～5及び第4図に示す如くである。即ち試料は明かに加工軟化を示しているが地質相においては加工度33%迄は加工度と共に僅かに硬化する。 β' 相においても加工度30%前後から急激に硬化を示すが加工度が52%を越えると却つて硬度は低下している。加工度58%の試料の β' 相の硬度測定の際にインデントーションの近傍にマイクロクラックの認められた事もあつたから β' 相の硬度の低下はこの影響も可成あるものと思われる。角印は第二相粒の変形度を試料の平均の加工度に対してプロットしたもので，第二相粒子の試料の加工度が約10%においても殆んど変形しなくて試料の加工度が30%前後から急激に変形することを示している。従つて試料の加工度10%では第二相粒は殆んど加工硬化を示していない。又試料の平均加工度30%での第二相粒の見掛上の変形度の著しい増大は写真4にみられる様に β' 晶が細かく壊れを生じていることによつて可成減殺されると



第3図 鑄造及び焼鈍試料の加工度と降伏点伸び及び硬度との関係

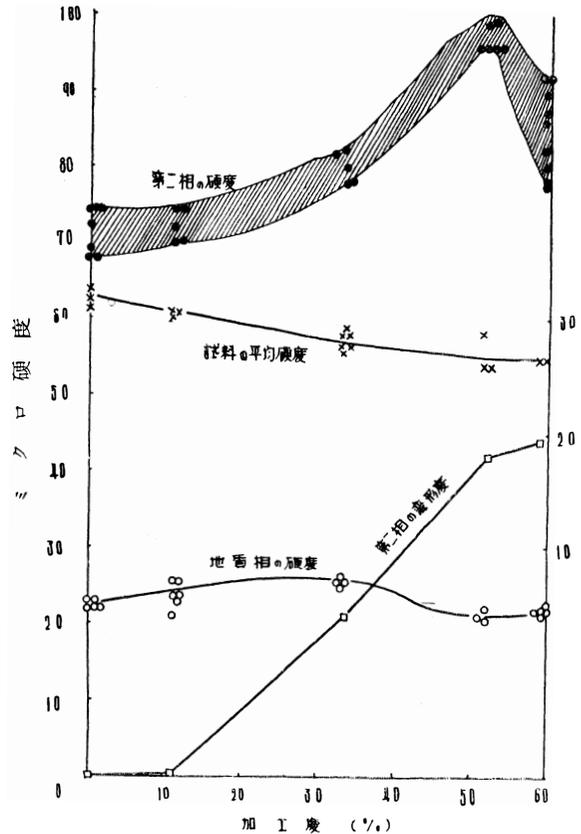
思われるが、加工硬化度の急激な上昇をも結果している。試料の加工度52%での第二相粒の壊れは更に甚だしい。しかして壊れた β' 晶間には間隙が認められる。

V 考 察

降伏点の変化から調べた結果からも加工軟化現象を検討しうる様に思われる。その結果は硬度測定におけるものと大体一致する。Pb-Sn合金の組成と加工軟化度との関係は第1図の如く成分金属及びその固溶体範囲の合金では低加工度において硬化し、共晶範囲の合金においてのみ加工軟化することは興味がある。即ち加工軟化は一相範囲の合金ではみられなくて二相合金においてのみ認められた。又第二相粒の形状が粒状を示すものよりも不規則な鑄造試料において軟化率は大きく、しかも加工度が66%を超えると硬度の絶対値も第二相が不規則な形状を示す試料の方が低くなる。これらは加工軟化現象を **Self-annealing** から解釈するに有利な様に思われる。このことは弾性の異なる異物質を含んだ合金は加工によつてその第二相粒子の周りに生ずる応力集中の範囲はその粒子半径の数倍³⁾であるから即ち五弓氏⁴⁾その他⁵⁾の結果と同様に材料中に第二相粒が存在すると同一加工度において生ずる **Stress level** がより高くなるものと考えられ、且つ同じ容量の第二相を含有する試料において第二相の形状の不規則なものほどその粒子の近傍に誘起される応力範囲が大きく従つて試料全体として更にこの傾向を助長するものと思われる。そしてかゝる活性化された試料は常温における回復の速さを甚だしく促進するものと解釈される。しかして第4図に示した如く構成各相即ち地質相及び第二相は該合金中においても加工硬化がみられることは第二相粒の周りに生ずる応力集中度は粒子の境界において大きく粒子の境界から離れると急激に減少する³⁾から ミクロ硬度測定的位置は第二相の存在による応力集中の影響を差程うけていないためと考えられる。

VI 結 言

Pd-Sn 合金及び Sn-13% Sb 合金について曲げ試験又は硬度測定によつて加工軟化現象を調べた。その結果二相合金において加工軟化は認められたが成分金属及びその固溶体範囲の合金では低加工度において加工硬化し、この現象は合金中においても認められた。しかして低熔融点合金における加工軟化現象は第二相の存在のために生ずる応力集中により一定加工度の下では単相合金に比べ



第4図 地質相、第二相及びそれらの二相合金の加工による硬度変化

一層活性化され平均して **Self-annealing** の効果をうける結果と考えた。尙加工軟化した合金の熱処理によつて諸性質の変化する機構については後報において述べたい。

本実験中終始御懇篤なる御指導を賜つた阪大美馬教授に心からお礼を申し上げます。又結果に対して種々御検討頂いた室町教授に深く感謝致します。

文 献

- (1) F. Hargreaves, J. Inst. Metals, 38 (1927). 315, 39 (1928). 301.
- (2) 美馬, 堀, 光井, 井本, 日本金属学会誌, B 15 (1951), 585.
- (3) J. N. Goodiner, Trans. Amer. Soc. Mech. Eng., 55 (1933), 39.
- (4) 五弓, 日本金属学会誌, 7 (1943), 24.
- (5) L. M. Clarebrough, Austalian J. Sci, Reseach, 3 (1950). 72, Stanley, F. Reiter, J. Metals 4 (1952) 971.