

アルミ黄銅, チタン銅合金, キュプロ・ニッケルの 圧延板のたわみの塑性

村 川 梨・松 岡 輝 雄

Bending Plasticity of Strips of Aluminum-brass, Copper-titanium Alloy and Cupro-nickel

By

Kiyoshi MURAKAWA and Teruo MATSUOKA

Abstract: Bending plasticity (K_b) of strips of aluminum-brass, copper-titanium alloy and cupro-nickel that were cold-rolled and then given low-temperature anneal was measured. The cupro-nickel sample that was tested in the present work contained approximately 20% Ni; the sample that contained more than 2% Al in addition to 20% Ni showed age-hardening when properly heated-treated.

概 要

アルミ黄銅, チタン銅合金およびキュプロ・ニッケルの圧延板に低温焼鈍をほどこすことでのたわみの塑性 (K_b) におよぼす影響をしらべた。ここでしらべたキュプロニッケルは 20% Ni を含有していて, もしその他に 2% 以上の Al を含有する場合には適当な熱処理をほどこせば時効硬化を示すことがわかった。

§ 1. ま え が き

薄板のばね性をしらべる二点支持たわみ式の Siemens の試験機 [1] を用いて種々の合金ばねについて測定した結果を二つの報告 [2][3] で発表した。更に他の種類の重要なばね板について行なった同種の実験の結果をここで報告する。

試験片は [2] で述べたように, 幅 10 mm で適当な長さの短冊形のものであり, 厚さは 0.5 mm 前後であった。たわみの長さは $l^2=8000t$ のようにとった。また, 荷重をかける時間はいつも 1 min であった。このような試験片を多数用意し, 種々の温度で 1 hr ずつ焼鈍して, 焼鈍温度の関数として K_b をプロットした。

上述の試験機では K_b を測る前に弾性係数 E (単位は kg/mm^2 であらわす) を測るようになっている。また K_b を測定した後に硬さ (VHN) を測定した。

§ 2. アルミ黄銅板

1942~45 年の間に日本航空技術協会の空盒材料研究会で Ni をわずか添加したアルミ黄銅の薄板を詳しく検討した。その $\Delta\theta_{30}$ を測定した結果はおよそ 15 年以前 [4] に発表し, ばね性が優秀であることはよくわかったが, Siemens の試験機を入手したのを機会に K_b も測定しておくことがいろいろと参考になるので, この測定を行なった。結果は Fig. 1 に示す通りである。圧延度が 30% のものと 45% のものと二種類の試料をテストした。以前

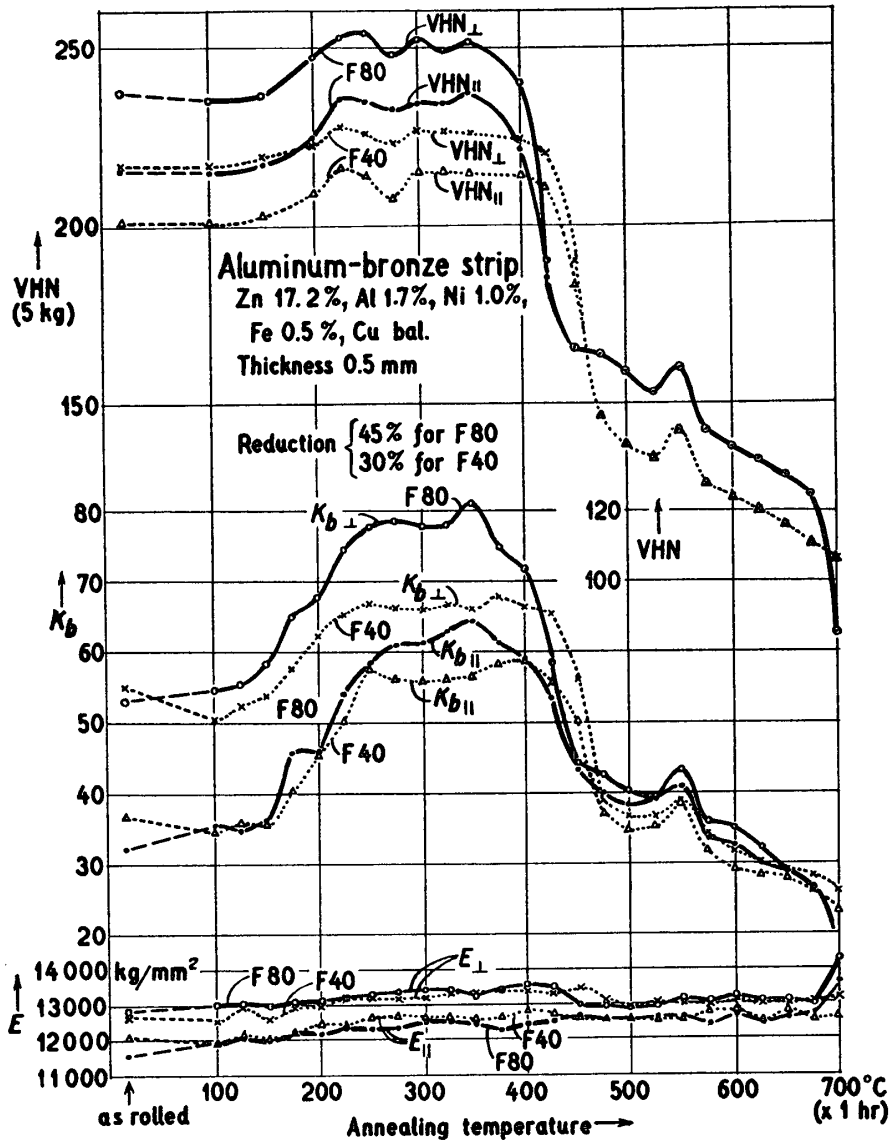


Fig. 1. Plot of VHN, K_b and E versus the annealing temperature in aluminum-brass strip.

の記号に従ってこれらを F 40, F 80 と書く。Al を含有する理由は耐蝕性をよくするためであり、Ni を含有する理由は結晶粒をこまかくするためである (Fig. 3 a 参照)。

350°C の附近の温度で 1 hr 焼鈍することによって K_b が最大になることは洋白とよく似ている。550°C で焼鈍することにより K_b および VHN に小さな極大 (最大ではない) を示すことが Fig. 1 から明らかである。この試料の顕微鏡組織は Fig. 3 b に示すように、きわめて小さな多数の点があらわれているが、これがエッチ・ピットなのかそれとも何か析出したためなのかはまだ判断を下すことができない。900°C で 1 hr 加熱してから水中に急冷した板に 20% の圧延をほどこしてから、Fig. 1 の曲線を書いたのと同じ要領で測定を行なったが、何等の析出硬化の現象は見られなかった。実は何か NiAl なる化合物に関する析出現象が起るのではないかと考えていたのであるが、そのような現象は全く見られなかった。

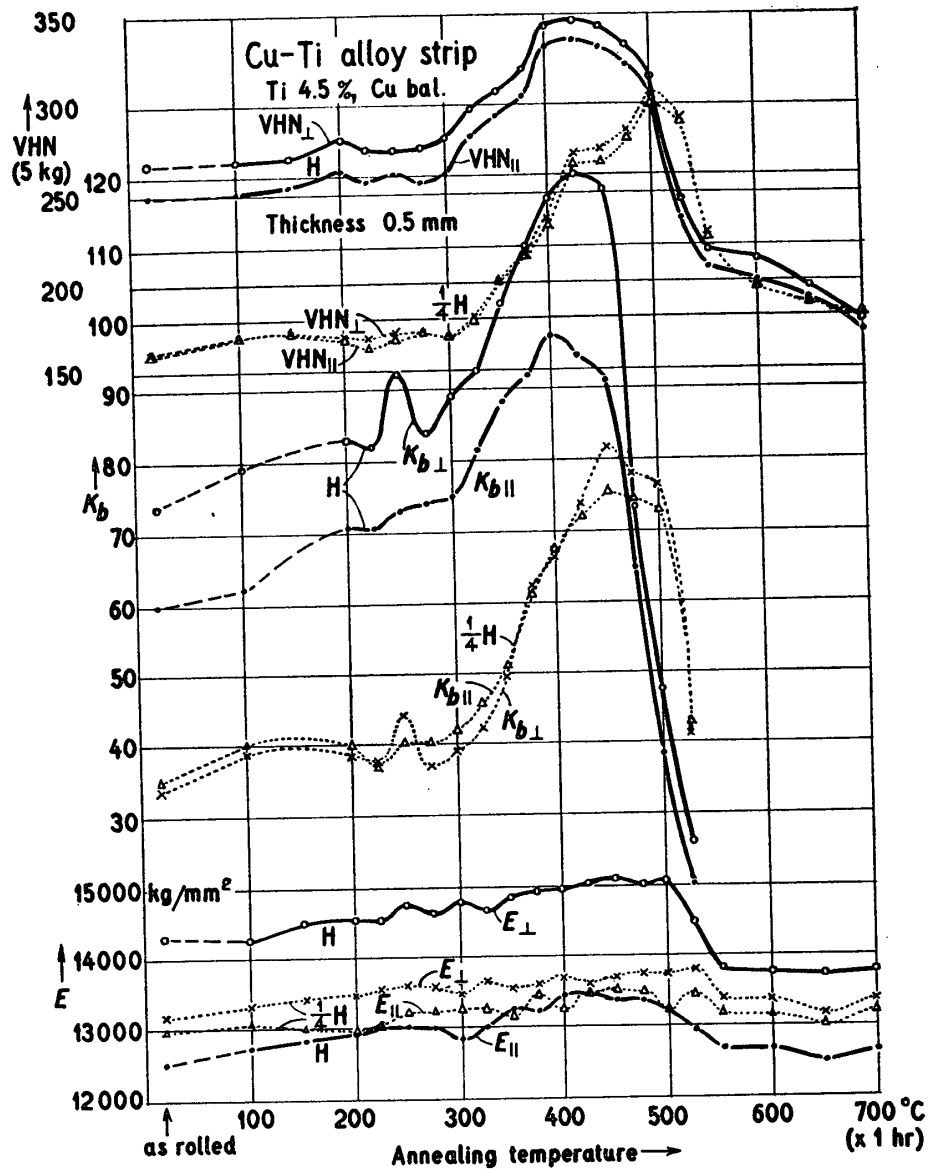


Fig. 2. Plot of VHN, K_b and E versus the annealing temperature in Cu-Ti alloy strip.

この板の再結晶のようすはりん青銅, 洋白と異なるように見える. 425°C よりも高い温度で焼鈍すると硬さはぐんぐん減少するが, 再結晶の核とおぼしい微粒子 (新しくできた) が 2000 倍程度の顕微鏡では認めがたい. しかし結晶粒の境界は次第に明瞭になり, Fig. 3 e に示すように, 675°C の焼鈍で結晶粒がかなり大きくなるのがわかる. 700°C で焼鈍すると, Fig. 3 f の示すように, 結晶粒は粗大になり, その大きさが肉眼でも認められるようになる; 双晶の面の方向は近似的には圧延方向と規則正しい角をなしているように思われる. ばね板を作る目的としては $600^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr}$ が最適の中間焼鈍であると考えられる.

この板のばね性はりん青銅とくらべて劣らないけれど, 曲げ性はかなり劣るようである.

§ 3. チタン銅合金板

Cu-Ti 合金は高温度から焼き入れてから焼き戻すと析出硬化を示すことは以前から知られている[5]. その組織に関する研究もかなり多いが, たとえば Heubner と Wassermann [6] の論文にもっともわかり易く記述されている.

ここで行なった研究の目的は Ti の分量をかえると物理的性質がどう変るかということをしらべるのではなく, むしろ圧延をほどこすと K_0 がどのくらい大きくなるかということにあった.

ここでしらべた板は日本楽器製造 K. K. (ヤマハ) で作った板 (商品名は YCuT) で, 硬さが H と $\frac{1}{4}$ H のものであった. 焼き入れ後の正確な圧延度はわからないが, H は 40~25% の範囲のもの, $\frac{1}{4}$ H は 20~10% の範囲のものと考えられる. 圧延のままの組織は H のり線が明瞭にあらわれている (Fig. 4 g) が, $\frac{1}{4}$ H ではり線が認めがたかった.

測定結果は Fig. 2 に示す通りであり, H と $\frac{1}{4}$ H はそれぞれ 425×1 hr および $500^\circ\text{C} \times 1$ hr の時効で最高の硬さが得られる. その最高の硬さは H と $\frac{1}{4}$ H とで 30 程度の差しかないが, 最高の K_0 には相当の差がある. これが Be-Cu とちがう点であると思われる.

析出の状況は粒界析出*は, Fig. 4 h, i の示すように, 簡単に見ることができる. これをもっと高い温度で加熱すると β , β' 相ははっきりとあらわれるようになり, $700^\circ\text{C} \times 1$ hr の焼鈍ではこの二つの相がパーライトのような観を呈するようになる (Fig. 4 l).

もっと硬い板 EH になると, 最大の硬さが得られる時効の附近では, もはや $l^2=8000t$ では K_0 を測定しきれなくなり, $l^2=4000t$ としなければならなくなる.

§ 4. キュプロ・ニッケル板

キュプロ・ニッケル (白銅ともいうことがある) は対蝕性が良好であることでよく知られている. 精密バネとして洋白でさえも対蝕性の点で不満足な場合には, キュプロ・ニッケルが洋白のかわりに用いられるようになりつつある. この傾向は特に米国でいちぢるしい[7].

以前の報告 [3] で真空で熔解したキュプロ・ニッケルの K_0 について測定結果を示した. このたびはもう少し Mn の添加量を多くした板について測定して Fig. 5 に示す結果を得た. 傾向は以前の場合とあまりちがっていない.

空气中で熔解したものは, Table 1 に示すような 4 種類の実験に供した. このうち

Table 1. Chemical composition (wt. percent) of the cupro-nickel test materials.**

No.	Ni	Mn	Fe	Cu	reduction (%)	thickness (mm)
50	20.23	0.80	0.64	78.32	50	0.50
80	20.63	0.75	0.67	78.52	80	0.25
90					90	0.25
98					98	0.25

** The ingot was prepared by the Tokyo Tokushukinzoku & Co.

* Wassermann の論文 [6] に書いてあるように, 粒界析出するものは安定相 β である. 粒内析出するものは不安定相 β' であるが, $400^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ の時効で析出する β' は光学顕微鏡では大きさを認めることはできない; 圧延のままのものと比較してエッチし易くなったということによってのみ β' の析出を探知できるのである. しかし 700°C の附近で加熱するとき析出する β' はきわめて小さな板状をなして, 光学顕微鏡によって容易に存在を認めることができる.



Fig. 3. Photomicrographs of aluminum-brass strip (F 80). In each case the plane of rolling is examined.

- a. As rolled. $\times 750$. b. $550^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr.}$ $\times 750$. c. $600^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr.}$ $\times 750$.
d. $650^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr.}$ $\times 750$. e. $675^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr.}$ $\times 750$. f. $700^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr.}$ $\times 90$.

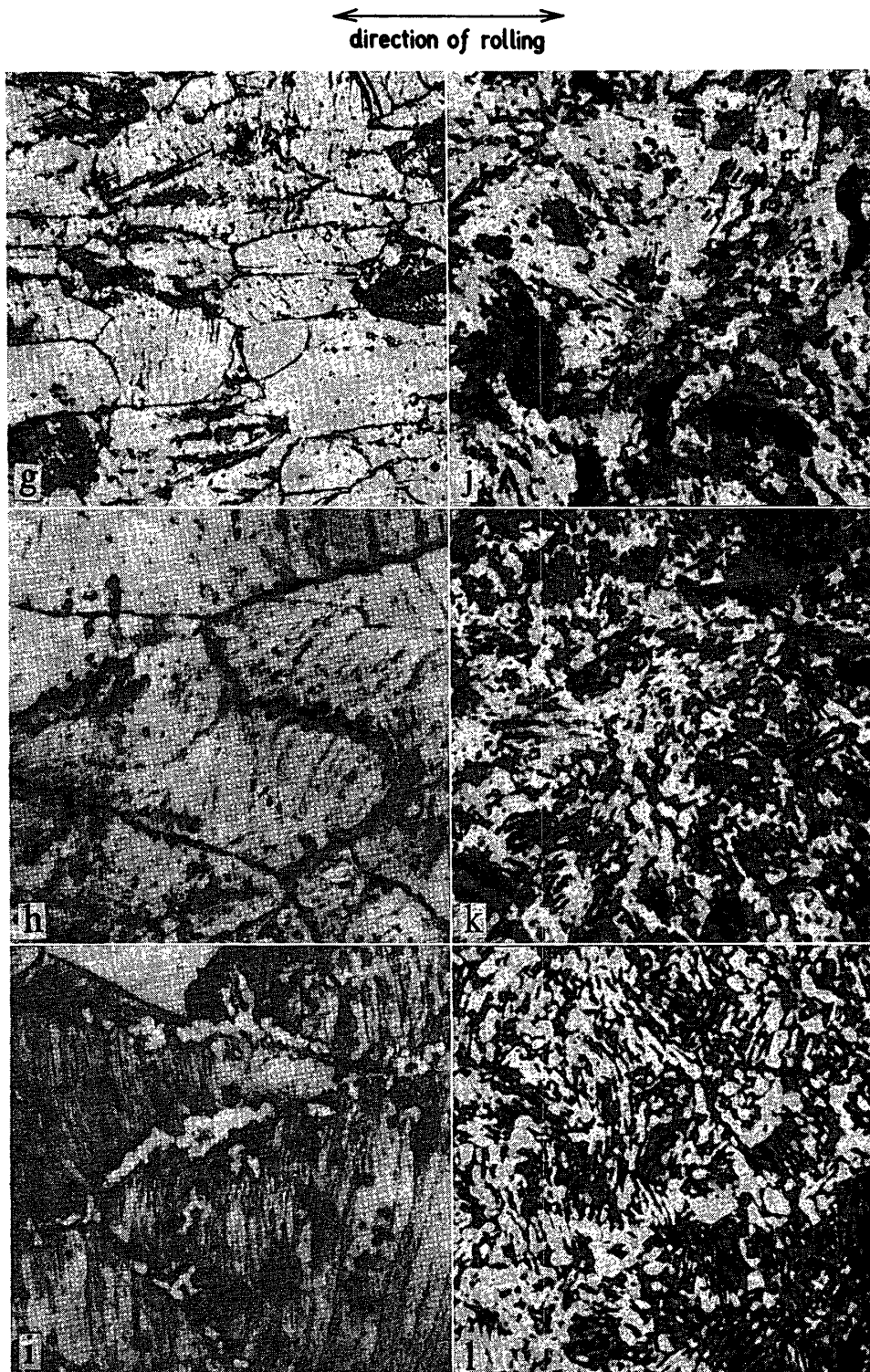


Fig. 4. Photomicrographs of Cu-Ti alloy strip (H). In each case the plane of rolling is examined.

g. As rolled. $\times 180$.

h. $450^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr.}$ $\times 750$.

i. $500^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr.}$ $\times 750$.

j. $525^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr.}$ $\times 1800$.

k. $600^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr.}$ $\times 1800$.

l. $700^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr.}$ $\times 1800$.

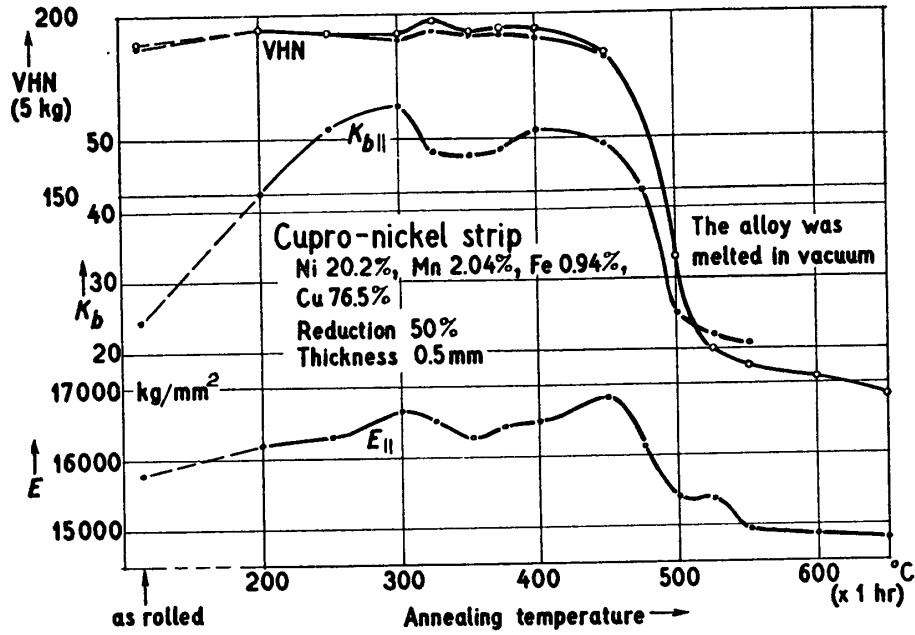


Fig. 5. Plot of VHN, K_b and E versus the annealing temperature in cupro-nickel strip which was originally melted in vacuum.

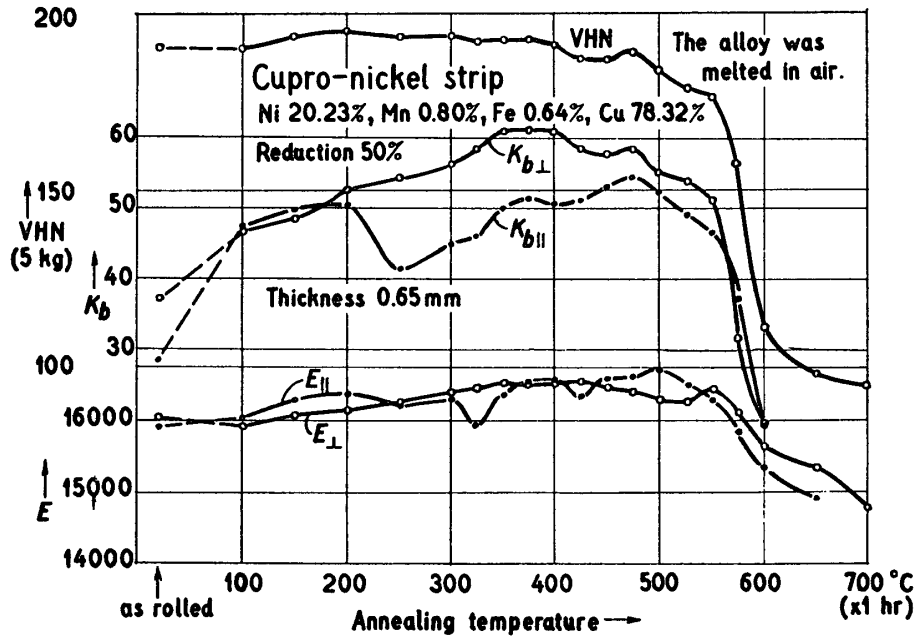


Fig. 6. Plot of VHN, K_b and E versus the annealing temperature in cupro-nickel strip which was originally melted in air.

圧延度が 50% のものは他のものと同じに日時に溶解したものである。これは、Fig. 6 に示すように、真空中で溶解したものとくらべてかなり傾向が異なり、再結晶温度が高い温度の方へずれて、最適中間焼鈍は 600°C × 1 hr となる。

キュプロ・ニッケルが細線として実用に供されるときには、90% 以上の線引き加工(線引

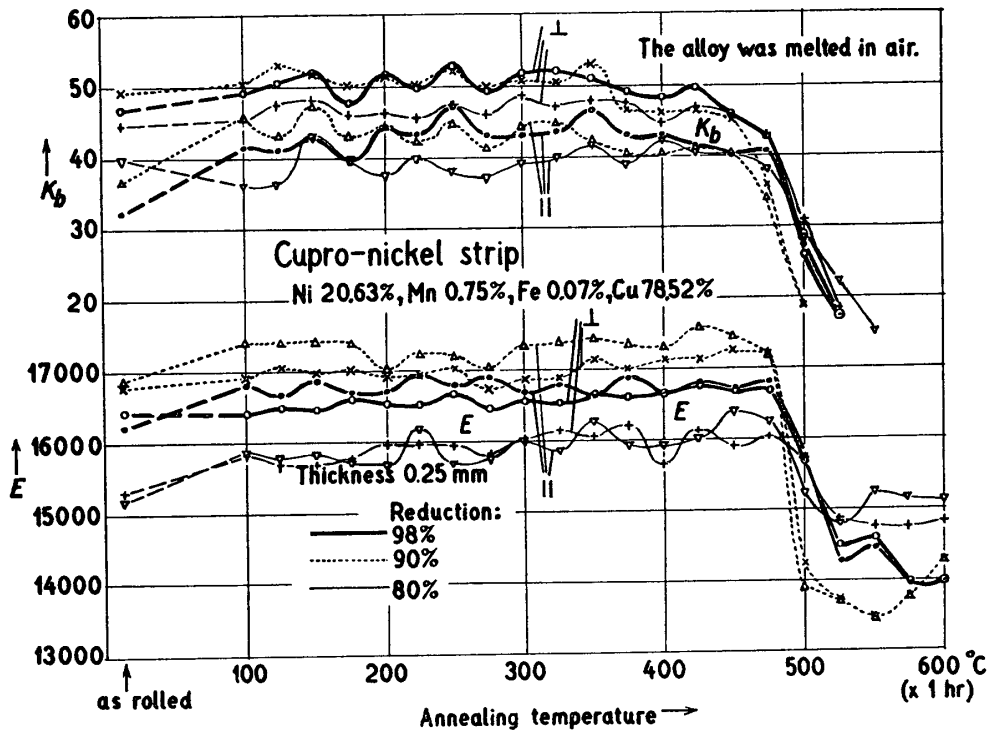


Fig. 7. Plot of K_b and E versus the annealing temperature in cupro-nickel strip which was originally melted in air.

き以前の断面積で線引き後の断面積との差を割った数を % であらわしたもの) をほどこしてある場合が多い。ここでも 80%, 90%, 98% の3種類の圧延度をほどこした板についてしらべた。その測定結果は Fig. 7 に示す通りである。90% のものは 98% のものよりもやや低い温度で再結晶をはじめることが Fig. 7 から明らかであるが、これがキュプロ・ニッケルの一般的性質なのか、それとも、90% の加工をほどこす以前の内部ひずみが 98% のものよりも強く残っていたためによるものなのかはこの研究だけではわからない。

顕微鏡組織 (Fig. 8) を見ても、80% のものは 90%, 98% のものとくらべて、加工度が小さいことがよくわかるが、90% のものと 98% のものとくらべると、どちらが内部ひずみを強く受けたかは明らかでない。しかし後者の方が繊維組織が強化されたような印象を受ける。

低温焼鈍温度は K_b だけで判断すると、250°~400°C のいずれの温度でも良いと考えられるが、曲げ加工性も良くするという意味では 400°C を最適と考える。

Cu-Ni 合金に Al を添加するときの複雑な組織は Alexander 等によってよく研究されている[8]。その合金のうちには適当な熱処理を与えれば、時効効果を果すはずのものがある。ここでは Al 2.0% を Ni 20% のキュプロ・ニッケルに添加した合金を 800°C で 20 分間焼鈍してから水中に焼き入れたものをしらべた。これを適当な温度で時効すると明らかに時効効果を示すようになる (Fig. 9)。Fig. 9 は組成がかなり同一の多くの試料 (熔解時を異にする) のうちの一例を示したものに過ぎないのであって、VHN のプロットはチャージによってかなりのちがいがあから、Fig. 9 がこの種の組成の Al 入りキュプロ・ニッケルの一

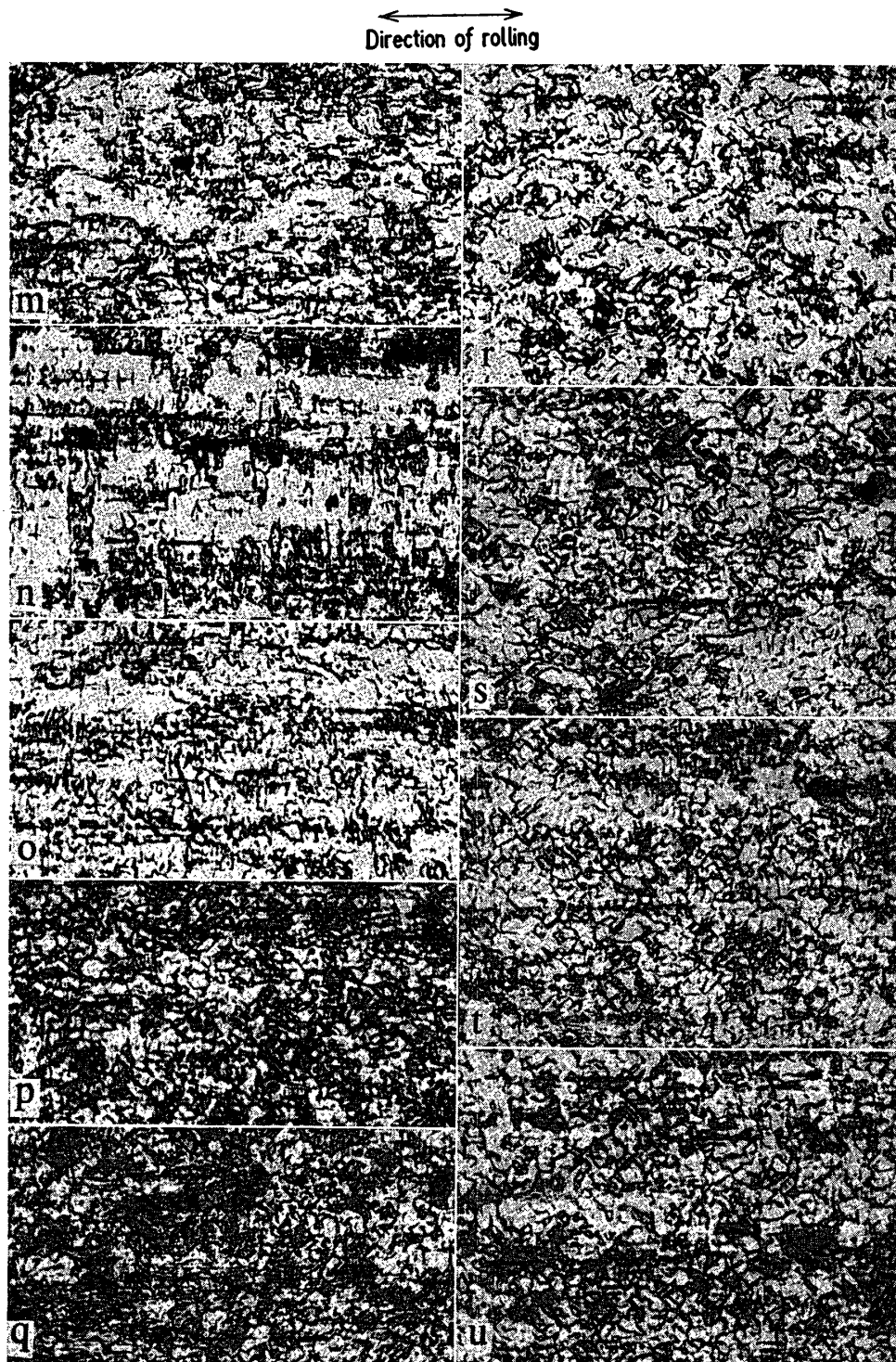


Fig. 8. Photomicrographs of cupre-nickel strips. In each case the plane of rolling was examined. $\times 180$.

m. No. 80. As rolled.	n. No. 90. As rolled.	o. No. 98. As rolled.
p. No. 90. $550^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr.}$	q. No. 98. $550^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr.}$	r. No. 98. $575^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr.}$
s. No. 80. $600^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr.}$	t. No. 90. $600^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr.}$	u. No. 98. $600^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr.}$

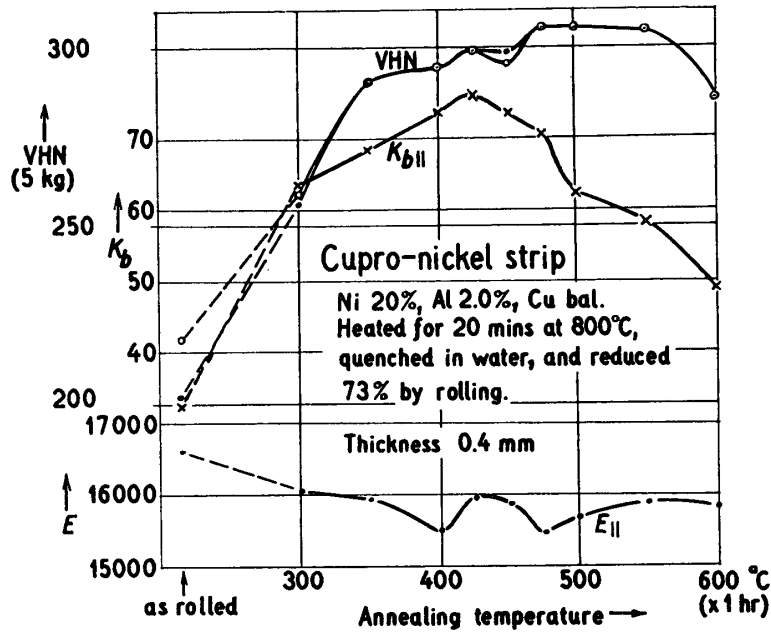


Fig. 9. Plot of VHN, K_b and E versus the annealing temperature in cupro-nickel strip containing 2% Al.

般的性質をあらわしているとは言えないと思われる。

参考文献

- [1] Siemens u. Halske A.G., Wernerwerk f. Messtechnik, Karlsruhe: Beschreibung und Bedienungs-Anleitung über ein Siemens-Federblech-Prüfgerät nach DIN 50, 151.
- [2] 村川: 東京大学航研集報 3 (1963) 676.
- [3] 村川: 東京大学航研集報 4 (1964) 32.
- [4] 村川: 東京大学理工研報告 3 (1949) 82.
- [5] たとえば H. Hehner, H. McCurdy and R. Edelman: Trans. Am. Found. Soc. 64 (1956) 313. T. Doi: Acta Metall. 7 (1959) 291.
- [6] U. Heubner u. G. Wassermann: ZS. f. Metallkde. 53 (1962) 152.
- [7] たとえば, 西畑, 熊倉: 日本電信電話公社, 電気通信研究所, 成果報告, 第 2381 号 (1965).
- [8] W.O. Alexander: Journ. Inst. Metals 63 (1938) 163; 65 (1939) 217. E. F. Nippes: Metal Ind. (1941) June 6, p. 486.