二三の銅合金の疲労強度に及ぼす加工 および焼鈍の影響について(第3報)*

竹 内 勝 治**

Katsuji Takeuchi: The Effects of Cold-working and Annealing on the Fatigue Strength of Some Copper Alloys (3rd Report).

The relations between the fatigue strength and the average grain size of annealed red brass, cartridge brass, Albrac and Admiralty brass were studied. The results of rotating-beam fatigue test from 100,000 cycles to 20,000,000 cycles are shown in Fig. 3~6. The following results were obtained: (1) The fatigue strength depends upon the average grain size, and the specimen of larger grain size shows lower fatigue strength. (2) The experimental equation on the relations between the fatigue strength and the grain size for each cycle is as follows:

$$\sigma_w = K/\alpha^n$$

σ_w : Fatigue strength, kg/mm²; α : Average grain size, mm; K and n : Constants (which depend upon the material and the repeated test cycles).

(Received February 16, 1957)

I. 緒 言

銅合金材料において結晶粒度と疲れ強さの関係は A. R. Anderson⁽¹⁾⁽²⁾, H. L. Burgoff⁽³⁾⁽⁴⁾ その他⁽⁵⁾ の研究結果によると, α 相の場合は結晶粒度が大きい程疲れ強さは低くなり, $\alpha + \beta$ 相の場合はその分布が疲れ強さに影響を与え, さらに加工材の場合は加工前の結晶粒度の大きさが加工材の疲れ強さに影響を及ぼすということなどが認められている. なお七・三真鍮について G. M. Sinclair⁽⁶⁾ 等は Fragmentation 説の見地より検討を行い, R. W. Karry 等⁽⁷⁾ は結晶粒度と切欠疲労の関係を検討してい

る. 以上の文献によると結晶粒度と疲れ強さの関係およびその傾向が判り, 同一成分の場合に結晶粒度の耐疲労性に及ぼす影響が著しいものと考えられる.

著者は前報⁽⁸⁾⁽⁹⁾ までに二三の銅合金材料について加工と焼鈍を組合せると材料によつて疲れ強さ及び疲労曲線の傾きが変わることを報告した. 本報は再結晶後の結晶粒度と疲れ強さの関係を明らかにするために, 前報の試験結果より得た資料と追加試験の資料を併せて検討し, 再結晶後の結晶粒度と疲れ強さの関係について以下の実験式を得た.

II. 供 試 材

供試材は丹銅, 七・三真鍮, Albrac および Admiralty の4種をえらび, 各々の代表的成分は Table 1 に示した. 各試料中 Albrac は billet を4個, Admiralty は3個を用いているので各 billet 間の平均値を示したが, billet 相互間に著しい成分の相違は認められなかった.

供試材は 8"φ billet より熱間押出後抽伸および焼鈍を繰返して最終寸法 16~20 mmφ に抽伸した棒材であり, 最後抽伸加工度は 28~42% である. これらの抽伸材を再結晶終了温度附近より 800° までの各温度で焼鈍して, 種々の結晶粒度の試料を得た.

III. 試験方法および実験結果

1. 試験方法

結晶粒度の測定は抽伸方向に直角断面について行い, 中心より半径 5mm 以内の粒度を比較法により 20~200 倍の倍率で測定した, なお粒度測定は各素材の4個所について行つた.

(8) 竹内, 本誌, 20 (1956), 666.

(9) 竹内, 本誌, 21 (1957), .

Table 1 Chemical composition of specimens (%)

Alloy	Cu	Sn	Al	Si	As	Sb	Fe	Pb	Zn
Gilding metal	90.01	—	—	—	—	—	0.03	Tr	Bal.
Albrac	78.04	—	2.09	0.24	0.05	0.01	0.01	"	"
Cartridge brass	69.87	—	—	—	—	—	"	"	"
Admiralty	"	1.01	—	—	—	—	"	"	"

Albrac and Admiralty are shown the mean value of billets

** 住友金属工業株式会社伸銅所

* 1956 年 10 月 本会広島大会にて発表, '銅合金の結晶粒度と耐疲労性の関係について' を改題.

(1) A. R. Anderson, C. S. Smith, Proc. ASTM, 41 (1941), 849.

(2) A. R. Anderson, E. F. Swan, F. W. Palmer, Proc. ASTM, 46 (1946), 678.

(3) H. L. Burgoff, A. I. Blank, Proc. ASTM, 47 (1947), 695.

(4) H. L. Burgoff, A. I. Blank, Proc. ASTM, 48 (1948), 709.

(5) 五十嵐, 深井, 住友金属研究報告, 4 (1942), 843.

(6) G. M. Sinclair, W. J. Craig. Trans. ASM, 44 (1952), 929.

(7) R. W. Karry, T. J. Dolan, ASTM, Preprint, 72 (1953).

引張試験片は ASTM E 8-54T の standard round tension test specimen の寸法に成形を行い、アムスラー式油圧型引張試験機を用いて機械的性質を測定した。耐力の測定はマルテンスミラー式伸計を用い offset 法により測定した。

疲労試験は小野式回転曲げ疲労試験機で行い、繰返数は毎分 1700 回である。疲労試験片は従来と同様に平行部の径 10mmφ の標準試験片であり、平行部は理研 400 番エメリー研磨紙で最終研磨後バフ仕上げを施した。疲労試験は主として繰返数 $10^5 \sim 2 \times 10^7$ 回の範囲に亘って行い、繰返数 10^5 , 10^6 , 10^7 および 2×10^7 回における各疲れ強さの値を結晶粒度との関係を求めるのに用いた。

2. 機械的性質と結晶粒度の関係

供試材の機械的性質と結晶粒度の関係を Fig. 1 に示し

Fig. 1 Relations between average grain size and mechanical properties of specimens.

た。従来より焼鈍温度または焼鈍時間と結晶粒度の関係⁽¹⁰⁾についてはかなり多く検討されているが、機械的性質と結晶粒度の関係については少いようであり、本実験の範囲内においてこれらの関係を検討すると次の如くである。

耐力および引張強さは結晶粒度と関係があり、伸率に関しては明らかではない。対数目盛に図示した場合結晶粒度と耐力および引張強さに関しては直線的関係が成立するので次の実験式が得られた。

耐力 (0.2% offset, kg/mm^2) について

$$\sigma_{0.2} = K_Y / \alpha^{n_1} \dots \dots \dots (1)$$

引張強さ (kg/mm^2) について

$$\sigma_B = K_B / \alpha^{n_2} \dots \dots \dots (2)$$

ただし α : 平均結晶粒度 mm

上式の K_Y, K_B, n_1 および n_2 の値を Table 2 に示し、Fig. 2 の耐力および引張強さについての実験値は上式よりの計算値である。計算値と実験値は略々一致していることが認められるが、耐力は測定方法によるためか実験値の散らばりが引張強さの場合よりも大きい。

(10) 例えば P. A. Beck, J. Towers, W. D. Manly, AIME, 175 (1948), 162.

Fig. 2 S-N curves of Cartridge brass.

Table 2 Values of K_Y , K_B , n_1 and n_2 for static strength.

Alloy	For yield strength		For tensile strength	
	K_Y	n_1	K_B	n_2
Gilding metal	3.75	0.248	23.81	0.040
Albrac	4.27	0.378	29.33	0.101
Cartridge brass	3.75	0.385	26.27	0.096
Admiralty	4.84	0.297	26.90	0.083

3. 疲れ強さと結晶粒度の関係

各材質ごとの疲労曲線は省略して、七・三真鍮の各疲労曲線を代表例として Fig. 2 に示した。各点はいずれも疲労曲線上に揃って示されて散らばりが少ないので、点の散らばりのために生じる各疲れ強さの測定値の誤差は極めて小さい。

各材質ごとに結晶粒度と疲れ強さの関係を Fig. 3~6 に

Note. Each symbol indicates the value obtained from the S-N curves, and the lines indicate the computed value from the equation (3) Fig. 4~6 ditto.

Fig. 3 Relations between average grain size and the fatigue strength of Gilding metal for each cycle.

Fig. 4 Relations between average grain size and fatigue strength of Albrac alloy for each cycle.

Fig. 5 Relations between average grain size and fatigue strength of Cartridge brass for each cycle.

Fig. 6 Relations between average grain size and fatigue strength of Admiralty alloy for each cycle.

示した。対数目盛に図示すると両者間に直線的関係が成立することが認められる。従つて次の実験式が得られた。

各繰返数における疲労強度 (kg/mm^2) について

$$\sigma_w = K/\alpha^n \dots \dots \dots (3)$$

ただし α : 平均結晶粒度 mm

上式の K および n の値を Table 3 に示し, Fig. 3~6 における実線は上式よりの計算値である。

(3) 式における K および n の値は繰返数によつて変化する。 K の変化を Fig. 7 に示したが、これは平均結晶粒度 1 mm の場合における疲労曲線に相当する。前述の

Fig. 7 Variation of K with repeated cycles.

Fig. 8 Variation of n with repeated cycles.

K_Y 及び K_B の値も同様に平均結晶粒度 1mm の場合の耐力および引張強さの値を意味している。 K_B は繰返数 1 回における K に相当するが、Fig. 7 の K の値の延長上の値より低い。この点については繰返数の少い場合の疲労曲線の傾きの変化より推察できる。 n は (4) 式で示される値であり、繰返数に伴う n の変化は Fig. 8 に示した。

$$n = \log K - \log \sigma_w / \log \alpha \dots \dots \dots (4)$$

IV. 総 括

二三の実用銅合金棒材の再結晶後の結晶粒度と疲れ強さ

の関係について検討した結果、(3) 式で示す如き実験式を得た。他の材質についても適用できるか検討中であるが、結晶粒度より疲れ強さを推定する際には有効ではないかと考える。

Table 3 Values of K and n for each cycle.

Cycles Alloy	K				n			
	10^5	10^6	10^7	2×10^7	10^5	10^6	10^7	2×10^7
Gilding metal	11.56	8.10	5.87	5.46	0.095	0.157	0.222	0.233
Albrac	15.38	11.13	8.62	7.83	0.169	0.199	0.215	0.233
Cartridge brass	15.15	11.30	8.54	8.03	0.137	0.169	0.207	0.214
Admiralty	16.10	12.29	9.29	8.45	0.084	0.117	0.155	0.175