52~60%銅範囲鉛入り黄銅の被削性について*

財満 鎮雄** 多々 静夫***
館石 正規**** 畑野 昌之*****

On the Machinability of Leaded Brass in the Range of 52~60% Copper Content

by

Shigeo ZAIMA,

(Faculty of Engineering, Shizuoka University, Hamamatsu)

Shizuo TADA,

(Faculty of Engineering, Toyama University, Takaoka)

Masanori TATEISHI,

(Hitachi Seiki, Co., Ltd., Chiba)

and Masayuki HATANO

(Kanegahuchi Kagaku, Co., Ltd., Osaka)

A study of the machinability of leaded brass, with copper content ranging 52~60% and additional 1~4% lead ingredient, is reported in this paper, performed with respect to cutting resistance, surface roughness and chip formation among others, with particular reference to the part of copper content and lead content in affecting the machinability of the leaded brass piece which was used in the experiment as free cutting brass.

The results are summarized as follows :

With lead content as small as 1%, cutting resistance is smallest with brass of 58~59%, copper content where phases α and β are co-existing, while cutting resistance is largest with brass of 53~56% copper content where the phase is in transition stage from $\alpha + \beta$ to β . On the whole cutting resistance decreases with increase of lead content, and keeps up nearly constant value regardless of copper content.

Cutting resistance decreases with the rise of side rake angle of tools and keeps up nearly constant value at the side rake angle 20°. With increase of lead content to 3~4% cutting resistance becomes independent of the side rake angle.

The roughness of the cut surface is fairly within the theoretical roughness of the feeding tool mark. Either copper content or lead content seems to have nothing to do with the surface roughness.

(Received Nov. 10, 1964)

1 緒 言

鉛入り黄銅は快削黄銅として広く使用されており、快削黄銅の JIS 規格では銅は58~62%の範囲に定められている。しかし、銅一亜鉛状態図からわかるように、この範囲の両端側では α 組織、 β 組織の量比がかなり異なっており、実際には使用目的に応じて細かく組成を検討する必要があるようである。そのような観点から、さきに66.5~55.0%銅範囲の JIS 規格より広い銅範囲の黄銅に鉛1~4% (規格では鉛は1.0~3.5%としてある)を添加した鉛入り黄銅について被削性を組織学的に検討したが、その際銅60%を境として

それより銅成分の多い鉛入り黄銅と銅成分の少ないもの²⁾とで、切削抵抗などに相違が認められた。実際問題としては銅成分の少ないものが経済的であり、今回さらに銅成分の被削性及びその影響を詳細に検討するため、銅60%以下の鉛入り黄銅の被削性を旋削の際の切削抵抗、切削仕上面の良否、切りくず生成状況および穴あけ時間などについて調べた。切削試料としては銅52~60%範囲の黄銅に鉛1~4%添加した36種類の鉛入り黄銅を溶製したものを用いた。

2 供 試 試 料

不純物の非常に少ない黄銅板 (Sn : 痕跡, Fe : 痕跡もしくは0.01%以下)、電解亜鉛、電解鉛を用い、シリコニット炉で溶解したが、溶解量は3kg、最高加熱温度1000°C、 casting 温度950°C、金型温度250°C一定とした。鉛添加後約20秒鎮静して casting Table I のよ

* 原稿受理 昭和39年11月10日
** 正 会 員 静岡大学工学部 浜松市追分町
*** " 富山大学工学部 高岡市古定塚
**** 日立精機(株) 千葉県我孫子町
***** 鐘淵化学工業(株) 大阪市東区淡路町

Table I. Specimens.

No. of specimen	Nominal copper percentage	Chemical compositions (%)		
		Cu	Pb	Zn
1	60	60.13	1.00	R
2		59.94	1.84	R
3		60.42	2.92	R
4		60.13	4.05	R
5	59	59.25	1.02	R
6		59.26	2.01	R
7		59.13	2.96	R
8		59.16	3.82	R
9	58	58.03	1.03	R
10		58.16	1.94	R
11		57.95	3.04	R
12		57.83	3.95	R
13	57	57.10	1.01	R
14		56.63	2.00	R
15		57.32	2.98	R
16		56.90	3.91	R
17	56	56.24	1.03	R
18		55.85	1.73	R
19		56.32	2.98	R
20		56.47	4.10	R
21	55	55.32	1.02	R
22		55.25	1.98	R
23		55.23	2.90	R
24		55.34	3.83	R
25	54	54.18	0.92	R
26		54.25	1.96	R
27		53.81	3.00	R
28		53.88	3.83	R
29	53	53.52	1.04	R
30		53.83	2.00	R
31		53.34	2.83	R
32		53.68	3.70	R
33	52	52.15	0.96	R
34		51.75	1.96	R
35		52.16	2.95	R
36		52.12	3.82	R

うな成分の鋳塊 (32mm ϕ ×800mm 丸棒) を得て切削試料とした。その組織の一部を3%鉛入り黄銅について示せば Fig. 1 のように、Cu-Zn 系状態図 (Cu 側) とよく対応した組織を示している。すなわち、銅

成分の多い側では銅59~58%付近までは (α + β) 相が明りょうであり、銅55~54%以下では β 単相がはっきりしており、その中間は組織の遷移区間にあることがわかる。写真は左側(140倍)×4/5, 右側(460倍)×4/5, 過酸化水素とアンモニアで腐食したが、 β 単相では組織の検出が容易ではなかった。

これら試料の2~3の機械的性質を調べれば、各黄銅において鉛含有量とビッカースかたさの関係は (α + β) 組織では鉛添加量の増加とともにかたさは低下の傾向をとるが、 β 相の明りょうな組織になるとかたさは多少上昇傾向を示す。また、切削抵抗と密接な関係にあるとみられるせん断強度 τ は鉛添加量の増加とともに低下し、特に鉛3~4%における低下がはなはだしく、これを銅含有量によってまとめれば Fig. 2 のようになる。銅55%付近の (α + β) 相と β 相の境界でせん断強度 τ の傾向が大きく変化し、55%より銅の多い領域では銅57~58%のところに τ の最小があり、銅55%より少ない領域では銅量の減少とともに τ も漸減する。鉛量は1~3%では τ の減少も著しくはないが、鉛4%になると τ の低下は著しく、このことは前述のかたさの変化傾向にもある程度いえることであった。

3 実験要綱

3.1 使用機械および工具

普通の実用高速旋盤 (主軸回転数 33~1 510rpm) を使用し、工具は粗旋削には高速度鋼 (SKH 4) 製片刃バイト (12mm口) を用い、その諸元は Table II に示すとおりで横すくい角を $-5\sim 30^\circ$ の範囲で5種類に変え、仕上旋削では高速度鋼 (SKH 4) 製方形バイト (12mm口) を用い、その諸元はすくい角 15° 、前逃げ角 6° である。

3.2 切削条件

粗旋削: 送り $f=0.065\text{mm/rev}$, 切込み $t=2.0\text{mm}$,
切削速度 $V=50\text{m/min}$, 切削剤なし。

仕上旋削: 送り $f=0.065\text{mm/rev}$, 切込み $t=0.1\text{mm}$,
切削速度 $V=45\text{m/min}$, 切削剤なし。

3.3 切削抵抗の測定

工具動力計として軟鋼製円板状バイト保持具を用い、円板の中心に固定したバイトにかかる荷重をひずみゲージにより検出して切削抵抗を求めた。片刃バイトを主としたので切削抵抗は主分力と送り分力の2分力で検討した。

4 切削抵抗

4.1 粗旋削の場合

バイトの横すくい角 θ と主分力 T および送り分力 F の関係は Fig. 3 のようになる。各試料とも横すくい角が増加すると主分力は減少するが、鉛添加量が少ない場合ほど主分力は大きくかつ減少の割合も大

60% Cu
3% Pb

59% Cu
3% Pb

58% Cu
3% Pb

57% Cu
3% Pb

56% Cu
3% Pb

Fig. 1. Microscopic structure in the case of Pb 3% content.

Table II. Tool dimension.

Top rake angle	0°	Side cutting edge angle	0°
Side rake angle	-5°, 0°, 10°, 20°, 30°	End cutting edge angle	7°
Front clearance angle	7°	Nose radius	0 mm
Side clearance angle	7°	Setting angle	90°

きいようで、鉛3～4%では減少の度合いもごく少ない。送り分力は横すくい角が $-5\sim 0^\circ$ の範囲では主分力の約50%程度に認められるが、 $10\sim 20^\circ$ では送り分力はほとんど無視できる程度になる。すなわち、切削抵抗に及ぼす鉛添加量の影響は多少の例外はみられるが、鉛添加量が増加するにつれて横すくい角にかかわらず主分力は減少し、鉛3%までの減少が大きくその後の変化は少なくなる場合が多い。その傾向は送り分力にもみられ、横すくい角が $-5\sim 10^\circ$ では絶対値こそ主分力の50%以下であるが、鉛添加の増加につれて特に鉛1～3%での低下がはなはだしく3～4%での変化は少なかった。

Fig. 2. Relation between shearing strength and copper content.

Fig. 3. Relation between the cutting resistance and the rake angle.

銅成分、すなわち黄銅の組織と主分力 T および送り分力 F の関係を求めれば各横すくい角 θ について Fig. 4 のようになる。これからみれば、それぞれの横すくい角においていずれも黄銅組織が $(\alpha+\beta)\rightarrow\beta$ と変化する銅57%付近において主分力の急変する傾向がみられる。すなわち、 $(\alpha+\beta)$ 2相共存範囲の58～59%銅付近で主分力は低く、 β 相のみになる銅57%付近以下で主分力は急上昇しほぼ一定の値をとる。このことは鉛添加量の少ない1～2%で特に顕著であり、鉛3～4%ではその傾向はさほど激しくはなく、また横すくい角が大きくなるほどその変化はゆるやかである。送り分力についても横すくい角 $-5\sim 0^\circ$ の範囲で同様な変動が多少認められるが、横すくい角が $10\sim 30^\circ$ あるいは鉛添加が3～4%ではその影響は無視してさ

しつかえないことは前述のとおりである。

以上から考えて、58～59%銅の黄銅成分で3%鉛含有程度のものが切削抵抗が少なく、また β 領域のものでは54～55%銅で切削抵抗は多少少なくなることがわかり、英・独の快削黄銅規格が比較的銅成分の少ない側にある理由もわかるような気がする。また、鉛3～4%添加では横すくい角の小さい $-5\sim 0^\circ$ のバイトでも横すくい角の大きい $20\sim 30^\circ$ のバイトでも切削抵抗の値はあまり違わないことは、切削抵抗がバイト寿命と密接な関係にあることを考えれば注目してよいと思われる。

4・2 仕上旋削の場合

仕上旋削の場合の各黄銅における主分力 T の関係は Fig. 5 のようになる。多少の変動はあるが、だい

Fig. 4. Relation between the cutting resistance and the copper content.

Fig. 5. Tangential force with the change of copper content.

たいの傾向として鉛添加量の増加とともに主分力はわずかながら低下の傾向を示すが、切込みも少なく絶対値も小さいのではっきりと断言することもできない。

銅成分と切削抵抗の関係は粗旋削の場合ほど顕著ではないが、銅58~59%の $(\alpha+\beta)$ 領域のものがやや主分力が小さく、また $(\alpha+\beta) \rightarrow \beta$ の変化を終了した54~55%付近でもやや小さい。このことはFig. 4の粗旋削の場合でも、その前後の範囲のものより多少主分力が低めに出ていることと同傾向にある。

5 表面あらさ

5.1 あらさの測定

粗旋削の場合の理論的あらさは送りをかけられた工具刃先の形が残ることによって構成される。工具刃先に丸みのない片刃バイトの場合、送りマークによる切削仕上面あらさ H_{max} は前切刃角を γ 、送りを f と

すれば

$$H_{max} = f \cdot \tan \gamma \quad (1)$$

で表される。本実験では $f=0.065\text{mm/rev}$ 、 $\gamma=7^\circ$ であるから、この場合の理論的あらさは $H_{max}=8.0\mu$ である。

あらさの測定には大越式あらさ試験機（触針式）を使用した。粗旋削では垂直方向拡大率500倍、仕上旋削では3000倍を採用し、表示方式は最大あらさ H_0 によった。さらに仕上旋削ではNF粗度計による測定も併用した。

5.2 粗旋削の場合

前述の大越式試験機によれば先端半径 10μ のサファイア触針を使用したので $H_{max}=8.0\mu$ の表面を測定すれば約 6.7μ となるわけであり、実測値はだいたいにおいてFig. 6のようにこの値を下回っていて仕上面は良好であり、かつ鉛添加量の差はほとんど認められなかった。しかし、銅成分による表面あらさの相違は顕著ではないが横すくい角が $-5\sim 0^\circ$ の場合切削抵抗の大きいところで表面あらさも大きい値を示している。

5.3 仕上旋削の場合

仕上旋削面を大越式あらさ試験機で触針法により求めた結果と同一仕上面をNF粗度計で光線反射法により求めた結果を、それぞれFig. 8の上段および下段に示す。両者の測定原理が異なるので両者を比較することは多少無理があるが、触針法によるあらさ H とNF粗度との間には $(NF)=80H$ の関係があること

Fig. 6. Surface roughness with the change of copper content.

Fig. 7. Surface roughness with the change of copper content in the case of fine cutting.

が実験的に確かめられているので⁵⁾、NF 粗度を最大あらさ H_0 に換算して比較すれば、前者の場合が後者に比べて全体的にみて約 0.5μ 低い値を示している。これは前述のように触針の先端半径が 10μ もあるため NF 粗度計より低い値がでていいると思われ、この程度のあ

らさを 10μ 半径の触針で測定することは多少無理な気もする。触針法による結果では測定値に変動が多く傾向を把握するに至らなかったが、NF 粗度計による結果では鉛 3% の場合の仕上面が全体として良好であるのが目だっている。銅含有量と表面あらさの関係は明りょうではないが特に NF 粗度計の場合、銅量が増加すれば仕上面が改善されているようにみれる。

6 切りくず発生状況

切りくず発生状況によっても切削が正常に行なわれているかどうか判断できる。たとえば Fig. 1 に示した鉛 3% 入り黄銅については Fig. 8 に示した切りくずが得られた。横すくい角と銅含有量によって切りくず形状が粉状よりせん断型の切りくずに変化することが認められ、切削抵抗の大きい銅 56% では横すくい角になかわらず粉状の切りくずの発生する機会が多く、切削抵抗の低い銅 58~60% 範囲の特に横すくい角が 10° より大きくなるとせん断型切りくずの発生が多くなっている。また、たとえば銅 58% および銅 56% の場合の黄銅について鉛添加量の影響を切りくずに求めても、前者の場合横すくい角の小さいほどまた鉛添加量の増加するほどせん断型切りくずから粉状切りくずに移行の傾向にあり、後者では同様な変化が前者よりさらに遅れて現われることが認められた。

7 穴 あ け

これらの試料を高速度鋼 (SKH 9) 製 $5\text{mm}\phi$ ドリル (先端角 118° , 逃げ角 12° , ねじれ角 30°) を用い、630 rpm で $28.3\text{kg}\cdot\text{cm}$ の一定押付力による穴あけを行ない、穴あけ時間 (sec/cm) を求めた。(工具動力計のオシロペーパーの送り速度から穴あけ時間を求めた。) 一定押付力による穴あけでは材質にかかわらずスラストはほぼ一定の値を示すから、材料の穴あけに対する特性が穴あけ時間に反映してくると思われる。

この場合各試料について穴あけ時間 S を求めると Fig. 9 のようになる。多少の変動はあるが鉛添加量の増加に応じて穴あけ時間は減少し、特に銅 55% 以下で顕著である。銅成分量による穴あけ時間の変化は Fig. 4 の切削抵抗特に主分力の傾向と類似して、 $(\alpha + \beta)$ 組織から β 単相に変化する銅 55% 付近で穴あけ時間は最大値をとり、その両側では穴あけ時間はしだいに減少している。切削抵抗の少なかった 60~58% 銅範囲のものがこの場合も穴あけ時間は非常に少ないことがわかる。

8 総 括

52~60% 銅範囲鉛入り黄銅 (鉛 1~4% 添加) の被削性について切削抵抗、切削仕上面、切りくず生成および穴あけ時間などの点から検討した結果、

(1) 鉛を添加することにより切削抵抗は著しく改善され、特に鉛 3~4% 添加での切削抵抗の減少は顕

Fig. 8. Chip formation with change of copper content in the case of 3% Pb content.

著である。また、鉛添加によるせん断強度の低下は鉛1~3%では著しくないが、鉛4%になると大きく低下し鉛1%の場合に比べると15~20%程度の低下を示す。

(2) 鉛が1%と少ないものでは $(\alpha+\beta)$ 2相共存範囲である銅58~59%付近で切削抵抗は最も少なく、 $(\alpha+\beta)$ 相と β 相の境である銅53~56%付近で切削抵抗が大きい。しかし、これらの関係は鉛添加量を増加

していくと銅量にかかわらず切削抵抗は差が少なくなる。

(3) バイトの横すくい角が増加するにつれ切削抵抗は減少する傾向にあり、横すくい角 20° ではほぼ一定の値となる。しかし、鉛添加量が増加するにつれ、切削抵抗は横すくい角にあまり影響を受けなくなる。

(4) 表面あらさはほとんどすべての場合理論的あらさ範囲内にあり良好で、鉛添加、銅量の影響は認められ

Fig. 9. Drilling time with change of copper content.

ないと言ってさしつかえない。

(5) 切りくず状況も鉛添加、銅成分によりかなりの変化が認められ、美しいせん断型切りくずが得られる場合切削抵抗は小さかった。

(6) 穴あけ時間による検討結果も前記(2)の結果と矛

盾しなかった。

(昭和39年5月15日 日本材料学会第13期総会講演会にて講演)

参 考 文 献

- 1) 室町繁雄, 多々静夫, 伸銅技術研究会誌, **1**, 58, (1962).
- 2) 室町繁雄, 財満鎮雄, 多々静夫, 日本金属学会54回春期大会講演概要, 48(1964).
- 3) 英BS規格ではCu: 56.0~60.0%, Pb: 2.0~3.5%, Zn: 残とし, 独 DIN 規格ではCu: 58.0~60.0%, Pb: 1.0~2.0%, Zn: 残としている。ただし, 米 ASTM規格ではCu: 60.0~63.0%, Pb: 2.5~3.7%, Zn: 残としている。
- 4) Zaima, S., Proc. 7th Jap. Cong. Test. Mat., 319 (1964).
- 5) 福島栄之助 “NF粗度計”, 19 (1951) 理学電機
- 6) 財満鎮雄, 加茂 進, 桜田孝幸, 鋳物, **36**, 193 (1964).