薄板銅合金ばねの引張強さに及ぼす 表面キズ，引張速度の影響*

Effect of Vickers Impression and Strain Rate on Mechanical Properties
in Copper Alloys for thin leaf springs

西畑三樹男**・崎田 栄一**・清水 雄司***

Mikio NISHIHATA・Eiichi SAKITA・Yhuzi SHIMIZU

1. ま え が き

金属材料の強度に及ぼす要因としては，金属組織，残留応力，不均一層などの微視的なものと，加工上から生ずる内部，表面の比較的に大きいキズなどと試験条件から生ずる温度および歪速度などがあげられる。

とくに，疲労強さなどは前者の微視的なものに敏感であるが，静的強度には影響が少ないとされている。

ここでは，静的強度と巨視的欠陥の関係を明らかにする目的で，キズのモデルとしてビッカース圧こんを設け，その大きさ，方向，位置などが薄板銅合金ばねの引張強さ，伸び，破断形状にどのような影響を示すかについて検討し，併せて，歪速度の影響についても検討したものである。

2. 実験試料

試料は表1に示す3種類の銅合金系薄板ばねで，加工度は90～92%，最終板厚は0.12 mmである。試料の板取方向は圧延方向に対し90°方向とし，形状はJIS 13号B試験片とした。また，実験には各試料ともに冷間圧延材（加工材）とそれを焼鈍したもの（焼鈍材）を用いた。焼鈍条件は洋白およびベリリウム銅は600°C×1 hr.，りん青銅は400°C×1 hr.で，いずれも真

空中で実施した。

3. ビッカース圧こんの設定および測定法

表面キズを幾何学的に設け，しかも，その加工の影響がないようにするにはエッチングの方法が考えられるが，本実験ではビッカース硬さ試験機のダイヤモンド圧子による圧こんをキズのモデルとした。

圧こんの設定は図1に示すように，引張方向に対し，0°および90°方向とした。また，端面の影響を避けるために，圧こんを90°方向に設ける場合には試験片平行

図1 ビッカース圧こんの位置，方向

表1 試料の化学成分（％）

試料	成分								加工度 (%)	試験片 加工法
	Cu	Sn	P	Ni	Zn	Mn	Fe	Pb		
洋白	55.22			18.82	残	0.29	0.03	0.001	90	ミーリング プレス
りん青銅	Cu+Sn+P 99.96	7.72	0.20		0.01		0.008		90 92	ミーリング プレス
ベリリウム銅	Be	Ni+Co	Ni+Co+Fe		Cu+Be+Ni+Co+Fe				90	プレス
	1.85	0.27	0.33		99.90					

* ばね技術研究会昭和55年度秋季講演会で発表

** 日本電信電話公社 武蔵野電気通信研究所

*** 日本ベルパーツ株式会社

表2 銅合金薄板の荷重と圧こんの大きさの関係

試料	板厚 t (mm)	圧こんの大きさ	加工材			焼鈍材	
			荷重 (kg)			荷重 (kg)	
			20	30	50	10	30
洋白	0.12	対角線 d (μm)	430	620	860	430	900
		深さ* h (μm)	61	88	122	61	128
		h/t	0.51	0.73	1.01	0.51	1.08
りん青銅	0.12	対角線 d (μm)	420		840	450	930
		深さ* h (μm)	60		120	64	133
		h/t	0.5		1	0.54	1.11
Be-Cu	0.12	対角線 d (μm)	400		820	400	900
		深さ* h (μm)	57		117	57	128
		h/t	0.48		0.98	0.48	1.08

* 深さ h は計算より求める。

部端部から2 mm 内側とした。圧こんの数は1, 3, 5, 7および9個とし、圧こん設定の幅は $0^\circ, 90^\circ$ 方向ともに8 mmとした。

圧こんの大きさはビッカース硬さ試験機の荷重を変えることにより設定し、加工材および焼鈍材ともに圧こん深さが板厚の約1/2および板厚と同等となるように調整した。表2に各試料の荷重と圧こんの大きさの関係を示す。

引張試験はオートグラフ IS-5000 を用い、引張速度は10 mm/min を基準とし、併せて1,500 mm/min についても検討した。引張特性としては引張強さ、伸び、絞りおよび荷重-伸び線図の直線部分からはずれる点を比例限として求めた。また、標点外切断の防止の一方法として、短冊試料に圧こんを設け、引張試験を試みた。

4. 引張強さ、比例限、伸び、絞りに及ぼすビッカース圧こんの影響

4.1. 加工材

まず、ビッカース圧こんの数と強度の関係を知らるために加工材について検討した。

図2に薄板洋白の引張強さ、比例限に及ぼす圧こんの大きさおよび数の影響を示す。引張強さ、比例限ともに圧こんの大きさ430 μm 程度、すなわち、圧こん深さが板厚の約1/2では引張軸に対し 0° および 90° 方向に圧こんを9個設けても低下はみられず、圧こんのない試料と同様である。これに対し、引張軸に対し 90° 方向に圧こんを設けた場合には圧こんの大きさが620 μm , 860 μm と大きくなるにつれて両特性値に低下がみられるようになる。例えば、圧こん620 μm (圧こん深さと板厚の比 $h/t=0.73$) では7個、圧こん860 μm

図2 薄板洋白(加工材)の引張強さ、比例限に及ぼす圧こんの大きさおよび数の影響

($h/t \approx 1.01$) の場合 5 個で引張強さ、比例限は低下する。また、もっとも低下の大きい圧こん 860 μm での低下量は、圧こん 9 個で引張強さが圧こんなしの場合の 107 kgf/mm^2 に対し 73 kgf/mm^2 と約 34 kgf/mm^2 低下する。

図 3 は薄板洋白の伸び、絞り及び圧こんの大きさおよび数の影響を示したものである。伸び、絞りとも 1% 前後の小さい値であるため、加工材の場合、圧こんを 9 個設けても変化がなく、圧こんのない試料と同等といえる。

図 4 に薄板りん青銅、図 5 に薄板ベリリウム銅の引張強さ、比例限に及ぼす圧こんの大きさおよび数の影響を示す。両試料ともに洋白試料同様、板厚の 1/2 程度の圧こん深さを設けた場合、引張強さ、比例限に低下はみられない。これに対し、圧こん深さを板厚と同等とした場合には引張軸に対し 90° 方向に圧こんを設けたものは 5 個から低下し、圧こん 9 個の場合の引張強さの低下量は圧こんなしの試料に比べ、りん青銅では 115 kgf/mm^2 から 58 kgf/mm^2 と約 60 kgf/mm^2 、ベリリウム銅では 125 kgf/mm^2 から 80 kgf/mm^2 と約 45 kgf/mm^2 となる。また、比例限も引張強さと同様の傾向を示す。

図 3 薄板洋白（加工材）の伸び、絞りに及ぼす圧こんの大きさおよび数の影響

一方、伸び、絞りは 1% 前後の小さい値であるため、洋白試料同様、加工材の場合は圧こんを 9 個設けても変化がなく、圧こんのない試料と同等といえる。

4.2 焼鈍材

ここでは、前述した加工材を焼鈍した試料の引張強さ、伸びに及ぼすビッカース圧こんの影響について検討した。

図 6 に薄板洋白の引張強さ、比例限、図 7 に同試料の伸び、絞りに及ぼす圧こんの大きさおよび数の影響を示す。引張強さ、比例限は加工材同様、圧こん 430 μm ($h/t \approx 0.51$) 程度では圧こんを 9 個設けても低下しない。これに対し、圧こん深さを板厚と同等とした場合には引張強さに低下がみられ、9 個で圧こんなしの 40 kgf/mm^2 から 33 kgf/mm^2 と約 7 kgf/mm^2 低下する。また、ここで特徴的なことは、引張強さに低下のみられる圧こん方向は加工材とは逆に引張軸方向である。

つぎに、伸び、絞りをみると、引張強さの傾向に対応して圧こん 430 μm 程度では変化がないのに対し、900 μm と圧こんを大きくすると伸びの場合、中央に 1

図 4 薄板りん青銅（加工材）の引張強さ、比例限に及ぼす圧こんの大きさおよび数の影響

図5 薄板ベリリウム銅(加工材)の引張強さ比例限に及ぼす圧こんの大きさおよび数の影響

個設けただけで38%から15%低下して23%となる。その後、圧こん方向90°試料は変化がないが、0°方向試料は圧こんの増加とともに低下し、圧こん9個での伸びは15%程度となる。また、絞りには大きな変化はないが、引張軸方向に圧こんを設けた場合には圧こんの増加につれてほぼ直線的に低下する傾向がみられる。

図8に薄板りん青銅、図9に薄板ベリリウム銅の引張強さ、比例限に及ぼす圧こんの大きさおよび数の影響を示す。両試料ともに洋白試料同様、圧こん深さが板厚の1/2程度では引張強さ、比例限に変化はないが、圧こん深さが板厚と同等になると、引張軸方向に圧こんを設けた場合、引張強さに低下がみられ、その低下量は圧こん9個でりん青銅は41 kgf/mm²から35 kgf/mm²と約6 kgf/mm²、ベリリウム銅では58 kgf/mm²から51 kgf/mm²と約7 kgf/mm²となる。また、比例限の低下は認められない。

一方、りん青銅およびベリリウム銅試料の伸び、絞りも洋白試料と同様の傾向を示すが、りん青銅の場合、圧こん450 µm ($h/t=0.54$)でも10%前後の低下がみられる。

図6 薄板洋白(焼鈍材)の引張強さ、比例限に及ぼす圧こんの大きさおよび数の影響

図7 薄板洋白(焼鈍材)の伸び、絞りに及ぼす圧こんの大きさおよび数の影響

5. 破断形状

図10, 11に破断形状の代表例として、洋白試料(加工材)の圧こん大きさ別の破断形状を示す。加工材の場合、伸び、絞りがほとんどないため、圧こんを設けない試料は圧こんの数0個で示すようにすべて45°破断となる。つぎに、圧こんの数、方向および大きさの

図8 薄板りん青銅（焼鈍材）の引張強さ、比例限に及ぼす圧こんの大きさおよび数の影響

図9 薄板ベリリウム銅（焼鈍材）の引張強さ、比例限に及ぼす圧こんの大きさおよび数の影響

図10 荷重 20 kg (圧こん 430 μm) における薄板洋白の破断形状

図11 荷重 50 kg (圧こん 860 μm) における薄板洋白（加工材）の破断形状

影響をみると、引張軸方向に圧こんを設けた場合は、圧こんの数および大きさによらず、すべて45°破断となる。これに対し、圧こんを引張軸方向に対して直角に設けると、前述の引張強さに低下のみられなかった圧こん430 μm の場合には圧こんが9個でも破断の起点とならずに45°破断を示すものがあるが、圧こんが大きくなるにつれて直角破断の様相を呈する。すなわち、引張強さに影響を及ぼす圧こん860 μm を設けると圧こんの数3個までは45°破断を示すものもあるが、圧こんの数5個以上となるとすべて直角破断となり、圧こんが破断の起点となる。

以上の傾向はりん青銅およびベリリウム銅試料も同様である。

また、焼鈍材においても洋白、りん青銅およびベリリウム銅試料とも同様の傾向を示し、延性破断のために圧こん方向0°および90°試料ともに圧こんのない試料同様すべて直角破断を示す。つぎに、圧こんと破断位置の関係をみると、加工材同様圧こんが破断の起点となるのは板厚と同等の圧こん深さを設けた場合である。

6. ビッカース圧こんを設けた試料の引張強さに及ぼす引張速度の影響

筆者らは、さきに、薄板の引張強さ、伸びに及ぼす引張速度の影響¹⁾を明らかにした。ここでは、銅合金薄板ばねにビッカース圧こんを設けた場合、引張速度が引張強さにどのような影響を及ぼすかをみるため、引張速度1, 10 および 500 mm/min で試験を行った。

図12に各試料の引張強さに及ぼす引張速度の影響を示す。洋白およびりん青銅試料は速度100 mm/minまでは変化しないが、それ以上の速度になると急激に

図12 銅合金系薄板(加工材)の引張強さに及ぼす引張速度の影響

低下する。ベリリウム銅試料は速度1~100 mm/minにおいてわずかに増加する傾向がみられ、100 mm/min以上になると低下する。また、板取方向についてみると、90°方向に比べ0°方向が低下量は大きい。

図13は引張強さに及ぼす板取方向の差異について引張速度1 mm/minと500 mm/minとの値と比較したものである。各試料ともに0°方向の変化率が約25~30%であるのに対し、90°方向は約1/2の10~15%である。

図14は各試料について圧こんを3個、5個設けた時の引張強さに及ぼす引張速度の影響をみるため、引張速度1, 10 および 500 mm/minの結果を示したものである。各試料ともに同様の傾向を示しており、材質による差異はほとんどない。すなわち、圧こんを設けない試料で速度500 mm/minになると引張強さは約10 kgf/mm²低下する。また、400~430 μm ($h/t \approx 0.5$)の圧こんを0°および90°方向に3個、5個と設けた場合をみると、各試料とも圧こん設定方向による差異はない。つぎに、圧こん設定による低下量をみると、洋白、りん青銅試料は引張速度500 mm/minにおける低下がわずかに増加するが、ベリリウム銅には低下がみられない。

以上のように、板厚の1/2程度の圧こん深さを数個設けても引張速度10 mm/minまでは引張強さに影響

図13 銅合金系薄板(加工材)の引張強さに及ぼす引張速度、板取方向の影響

図14 銅合金系薄板（加工材）の引張強さに及ぼす圧こん（400～430 μm , $h/t \approx 0.5$ ）の数および引張速度の影響

を及ぼさないことがわかる。

7. 短冊試料の引張強さ、伸びに及ぼすビッカース圧こんの影響

ここでは、標点外切断防止の一方法として、板幅 10 mm の短冊試験片にビッカース圧こんを設け引張試験を行うとともに、その破断位置を調べた。

図 15, 16 に洋白およびりん青銅の短冊試料の引張強さ、比例限、伸び、絞りに及ぼす圧こんの数の影響およびその破断位置を示す。両試料ともに $h/t \approx 0.5$ 程度の圧こんを 0° および 90° 方向に 5 個設けても引張特性に影響を及ぼさないことがわかる。

また、その時の破断位置をみると、洋白試料は圧こんの数 3 および 5 個の 90° 方向試料以外はすべてチャック内破断を示している。

以上のように、短冊試料を引張試験する場合、引張軸方向に対して 90° 方向に板厚の $1/2$ 程度の圧こんを数個設ければ、引張特性に影響を及ぼすことなく試験片平行部の中央で破断させることができる。

8. 実験結果に対する考察

ここでは、以上述べた実験結果を JIS 規格と併せて整理した。また、本実験結果の今後の検討課題および応用についても述べてある。

表 3 に本実験結果の総括を示す。表に示すように、JIS Z 2244 に定められたビッカース硬さ試験法では、測定試料の厚さは圧こん深さの 10 倍以上が必要であ

図15 薄板洋白（短冊，加工材）の引張強さ，比例限，伸び，絞りに及ぼす圧こんの数の影響および破断位置

図16 薄板りん青銅（短冊，加工材）の引張強さ，比例限，伸び，絞りに及ぼす圧こんの数の影響および破断位置

るとされている。この点を考慮した場合、試料の板厚 0.12 mm (120 μm) における圧こん深さは 12 μm 以下

表 3 実験結果の総括

JIS 規格	ビッカース 硬さ試験法 (JIS Z 2244)	試料の厚さ: $1.5d$ 以上 ($10h \leq$) 圧こん間距離: $4d$ 以上 試料の縁から圧こんまでの距離: $2.5d$ 以上 d : 圧こんの対角線長 h : 圧こん深さ							
		材 質	加工条件	板厚 t (mm)	圧こんの 大きさ d (μm)	圧こんの 深さ h (μm)	圧こんの 数 n	h/t	$n \times d$
実験結果	引張強さが低下 しはじめる圧こ んの大きさと数	洋 白	加工材	0.12	860	122	5	1.01	4300
			焼鈍材		900	128	7	1.08	6300
		りん青銅	加工材		840	120	5	1	4200
			焼鈍型		930	133	7	1.11	6510
		Be-Cu	加工材		820	117	5	0.98	4100
			焼鈍型		900	128	7	1.08	6300
要 因	圧こんが強度に 及ぼすその他の 要因	(1) 試料の寸法形状 (2) 試料の粘靱性 (伸びの大小) (3) 圧延異方性 (4) 圧こんの設定位置 (5) 引張速度の大小							
応 用	引張試験の改良	(1) 試験片加工の省力化 (短冊試験片の利用) (2) 特性評価 (引張強さ, 伸び, 硬さの同時測定) (3) 標点外切断の防止 (脆性材料への適用)							

でなければならない。また、この値を圧こんの大きさ (対角線長 d) でみると約 $80 \mu\text{m}$ となる。すなわち、板厚 0.12 mm の薄板の硬さを測るには、ビッカース硬さ試験機で圧こんの大きさが $80 \mu\text{m}$ 以下となる荷重を選ばなければならない。

つぎに、本実験で引張強さが低下しはじめる圧こんの大きさおよび数をみると、洋白、りん青銅およびベリリウム銅試料ともに圧こんの大きさが $820 \sim 930 \mu\text{m}$ 、すなわち、圧こん深さが板厚と同等になると加工材、焼鈍材に低下がみられる。また、その時の圧こんの数は材質によらず加工材は 5 個、焼鈍材は 7 個となっている。この圧こんの数と圧こんの大きさを単純に乗じて強度低下の目安としたのが表中の $n \times d$ である。これによると、引張強さが低下しはじめる値は加工材で約 $4,100 \sim 4,300 \mu\text{m}$ 、焼鈍材では約 $6,300 \sim 6,500 \mu\text{m}$ となり、試験片平行部の幅 12.5 mm ($12,500 \mu\text{m}$) に対する圧こんの割合は加工材で約 34%、焼鈍材で約 50% となる。

以上、JIS 規格と本実験結果の関係から、JIS 規格の圧こんの大きさの 10 倍程度の圧こんを設けると引張強さに低下がみられることが明らかになった。

以上の実験結果から今後の検討課題を挙げると次のような項目が考えられる。すなわち、圧こんが強度に及ぼす要因は表 3 に示す 5 項目が挙げられる。

一方、本実験結果の応用として以下に示す項目が考えられる。

(1) 試験片加工の省力化 (短冊試験片利用)

これは短冊試験片に適当な大きさおよび数の圧こんを設ければ、チャック内破断することなしに正常な引張特性が得られることから、試験片をダンベル状に加工しなくてもよい。

(2) 特性評価 (引張強さ, 伸び, 硬さの同時測定)

前述のごとく、JIS Z 2244 と本実験結果から、JIS に準拠した硬さ測定における圧こんの大きさは引張強さに影響を及ぼさない。このため、硬さ測定後、その試料をそのまま引張試験片として利用できる。

(3) 標点外切断の防止 (脆性材料への適用)

試験片平行部に適当な数および大きさの圧こんを設けることにより、伸びのない脆性材料を試験片平行部中央で破断させることができる。

9. む す び

板厚 0.12 mm の銅合金系薄板の表面キズと強度の関係を明らかにする目的で、キズのモデルとしてビッカース圧こんを設け、その大きさ、方向、位置などが薄板の引張強さ、伸びにどのような影響を示すかについて検討した。その主な結果を要約すると、

(1) 板厚の $1/2$ 程度の圧こん深さを引張軸方向に対し

0° および 90° 方向に 9 個設けても引張強さに低下はみられない。これに対し、板厚と同等の圧こん深さを設けると引張強さに低下がみられ、その数は加工材で 5 個、焼鈍材で 7 個から低下しはじめる。

(2) 伸びに及ぼすビッカース圧こんの影響は加工材にはみられないが、焼鈍材では板厚と同等の圧こん深さを中央に 1 個設けると低下する。

(3) 引張強さを低下させる圧こん方向は、加工材は引張軸に対し 90° 方向、焼鈍材では引張軸方向である。

(4) 板厚の 1/2 程度の圧こん深さを 5 個設けても引張速度 10 mm/min では引張強さに低下はみられないが、500 mm/min の速度になると洋白およびりん青銅試料はわずかに低下の度合が増加する。

参 考 資 料

- 1) 西畑, 三上, 崎田: "薄板の引張強さ, 伸びに及ぼす引張速度の影響" 日本材料学会第 29 期学術講演会前刷 p. 200~202.