



Title	帯鋸の腰入 : 腰入作業による鋸の疲労強度, 残留内力の変化
Author(s)	久野, 陸夫; Kuno, Rokuo; 土肥, 修 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 13, 1-11
Issue Date	1955-12-15
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40579
Type	departmental bulletin paper
File Information	13_1-12.pdf



帯鋸の腰入

— 腰入作業による鋸の疲労強度，残留内力の変化 —

久 野 陸 夫

土 肥 修

金 内 忠 彦

(昭和30年9月30日受理)

Stretching for Band Saw Blade

Changes of Fatigue Strength and Internal Residual Stresses
due to Stretching

Rokuo KUNO

Osamu DOI

Tadahiko KANAUCHI

Abstract

A band saw is pulled by two wheels and bent on them.

So, the resultant of tensile stress and bending stress in the saw blade is repeated about 1000 times per minute, and their total amounts to 35-40 kgs per mm² in the mean value for the direction of width.

In the local part of the saw blade, the total stresses are supposed to be pretty high due to Back, Tension, the cutting force and the influence of the saw teeth.

As the saw blade is given the plastic deformation by means of rolling, so-called Stretching, it is necessary to investigate the effect of amount of strength, cold rolling and pulling force on the fatigue strength and the internal residual stresses.

So, getting specimens from three kinds of the band saw steels, we stretched them under various loads and practised the fatigue test with two kinds of bending fatigue testing machines, electromagnetic and mechanical one, made by us.

Moreover, the internal residual stresses were measured with the method published by two of us in the paper "Measurement of the Internal Residual Stresses in a Metallic Plate".³⁾

Results obtained are as follows

1. Relation between Hardness Numbers and Roller Loads.

The Vickers hardness numbers increase gradually with increase of the roller loads.

2. Relation between Fatigue Strength and Roller Loads.

The electromagnetic testing machine and the mechanical one show the same

results for the same kind of specimen.

Fatigue strengths take maximum points at 500 kgs of the roller loads.

Moreover, the results for specimens with punched hole show that the influence of the roller loads is little.

3. Relation between Internal Residual Stresses and Roller Loads.

Stretching makes the great change for the amount and the distribution of the internal Residual Stresses.

The changes of the internal residual stresses are in the intimate relation to changes of fatigue strength and would be a great reason for the existence of the maximum points of fatigue strength at some roller loads.

4. Relation between Mean Stress and Stress Amplitude.

The mean stress and the stress amplitude have the straight line relation containing the tensile strength.

目 次

1. 緒 言	2
2. 実 験	2
3. 結 果	6
4. 考 察	8

1 緒 言

帯鋸盤¹⁾は、上下2個の鋸車に、片側に歯をつけた帯鋸をかけ、上の鋸車を分銅とレバーで釣上げて帯鋸に緊張力を与え、下の鋸車を駆動して帯鋸を回転させ、木材を送つて切削するものである。その帯鋸には、腹部をその長さの方向に、巾の狭いローラーで圧延する、所謂、腰入という作業を行つて、鋸の腹部をたるませると共に、背側には歯側よりも余計に伸びを与えて、帯鋸を僅かに彎曲させるのである。鋸の腹部のたるみ即ちふくらみをテンションと云い、背の彎曲を背盛り又はバックと称する。

かくして帯鋸は鋸車によつて緊張力を与えられ、更に鋸車上でその曲率に曲げられるため、合成された引張応力は毎分1,000回程度繰返し、その値は巾の方向の平均で最大35～40 kg/mm²に達する。更に局部的には、バック、テンション、切削力、歯形の影響で相当大なる値となるものである。そこで鋸の腰入量や緊張力を定めるには、その疲労強度、残留内力の実態をつかむ必要がある。故に腰入作業なる塑性加工を与えることが疲労強度、及び残留内力に如何なる影響を及ぼすかを調べ、又切欠効果を調べる手始めとして、試片中央に孔を有する場合の疲労強度も測定し、更に平均応力と応力振巾との関係を求めた。

2 実 験

i) 試 料

供試帯鋸は丸源製 5' 巾 3 種で、その組成、機械的性質は第 1 表に示した、試片の大きさは、電磁式疲労試験用 140×15、機械式疲労試験用 200×15、残留内力測定用が 120×10 で、夫々剪断機によつて切りとり、端面は工具研磨盤で仕上げた。中央に孔を有する試片は、ポンチで径 2.8 mm の孔を押抜いたものである。

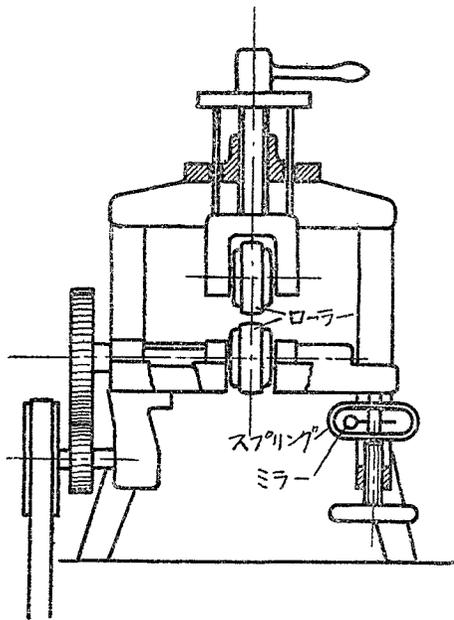
なお実地の応用を考えて試料は、焼鈍その他熱処理を加えず、すべて入手したままの状態で行った。

第 1 表 数 値 表

試料	成分	No.	ローラー 荷重 kg	引張強さ kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²	疲労強度 kg/mm ²	硬 度 数		表面残留主応力 kg/mm ²		備 考	
							Vickers	Shore	縦	横		
〔I〕 21 B.W.G. Ni 鋼	C 0.81% Ni 1.06%	1	0	165.5	158.5	69.2	416	56.6				
		2	300	165.7	159.0	69.4	438	58.8				
		3	400	166.0	159.2	69.8						
		4	500	166.0	159.0	70.4	447	59.7				
		5	600	166.2	159.2	70.0						
		6	700	166.0	159.0	68.7						
		7	800	165.7	159.0	67.4	454	60.4				
〔II〕 19 B.W.G. C 鋼 (A)	C 0.83%	8	0	121.5	114.0	52.3	396	54.6				
		9	300	121.8	114.2	57.0	399	54.9				
		10	400	121.8	114.3	58.2						
		11	500	122.0	114.5	58.5	400	55.0				
		12	600	121.8	114.2	57.5						
		13	800	121.5	114.0	52.0	402	55.2				
		14	0			41.0						$\sigma_m=25$
		15	0			37.0						片 振
		16	0			26.5						$\sigma_m=60$
		17	0			14.0						$\sigma_m=90$
		18	500			39.5						片 振
		19	0	(93.8)	(87.8)	37.0						孔
20	500	(94.0)	(87.9)	37.5						孔		
21	800	(93.8)	(87.9)	39.5						孔		
22	0			27.0						孔, 片振		
〔III〕 19 B.W.G. C 鋼 (B)	C 0.96%	23	0	125.5	118.5	60.0	465	61.5	- 1.1	- 1.3		
		24	300	125.7	118.7	64.3	475	62.5				
		25	400	125.7	118.8	65.7						
		26	500	125.9	120.0	66.2	485	63.5	- 6.7	6.1		
		27	600	125.7	118.9	65.5						
		28	800	125.5	118.6	60.5	502	65.2	-10.0	6.8		

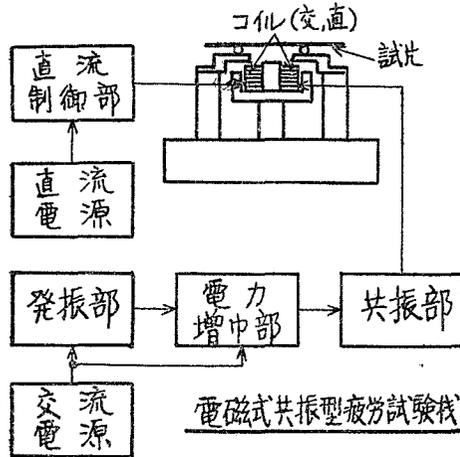
ii) 腰 入 作 業

腰入機 (Stretcher) は秋木製で、第 1 図の如く、上下に対向する 2 本のローラー (径 70 mm. Counter radius 130 mm) の間に鋸を置き、ハンドルをまわして、ローラーを下げ、任意な荷



Stretcher

第 1 図



第 2 図

重を与えて圧延する構造で、ローラー荷重は予め検定したバネの撓みで測定するように改造し、300～800 kg の間に変えた。ロール条件は、ピッチ 2 mm, ローラー周速度 55 cm/min で、長手方向に 1 回づつかけた。

iii) 曲げ疲労試験

試験機は電磁式と機械式の 2 種試作して使用した。

電磁式³⁾は共振型で、第 2 図に示すように振動の節にあたる 2 点(端から 0.224l の処)で支えるように支持柱の距離を調節し、中央下部に電磁石をおき、コイルには直流と、発振機からの交流を送る。このとき、電磁石と試片との間隔を調整する。発振周波数(150～400～)を試片の自由振動数に合わせれば、僅かな入力でも、大なる振巾の振動を得る。振巾は直、交流を調節して適当に定め、読取顕微鏡で読む。容量は直流 100 V, 150～250 mA, 交流 100 V, 150～200 mA, 総出力 40 W である。

材料のヤング係数 E , 厚さ h , 長さ l , 振巾 δ とすれば、最大応力 σ は次式で求まる。

$$\sigma = 14.61 Eh \delta / l^2$$

繰返回数は共振周波数と時間とから算出する。

前述の如く、僅かな入力でも試片に大きな振巾の振動を与え得ると共に、荷重の繰返速度を大にすることが出来る等の利点があるが、一方平均応力を種々変えた場合の疲労試験をするには

適さない。

機械式は第 3 図の如く、クランク機構にて撓みを強制する型式で、両側の支えは動かず、中央の部分が往復運動をなす。ベッドと回転部分のセンターとの相対位置を変える、即ちベッドを動かすことにより任意の平均応力を与え、偏心の長さにより応力振巾を変え得る。毎分約 900 回の繰返回数、ストローク最大 100 mm である。中央 2 支点間に一様曲げモーメントがかかる構造で、モーメントの腕 l_1 50 mm 中央 2 支点間の距離も等長 50 mm としたから、両振の場合、最

大応力 σ は次式で計算される。

$$\sigma = 3 E h \delta_1 / 5 l_1^2$$

δ_1 はストロークの 1/2

試片が切断するとリレーが働き、機械は停止し、その際の回転数は積算回転計で読む。

以上の結果から Wöhler のカーブを描き、疲労強度を決めた。

iv) 残留内力測定

残留内力の測定は筆者が前に発表した方法³⁾によつた。即ち、試片の片面に防蝕絶縁塗料を塗り、片面一定の長さ（ゲージ長さ）露出して電解液中に固定し、これを陽極として一定の直流を流し、表面から一様且つ一定の速度で電解除去しつつ、スケールと試片頭部につけた鏡とで試片の曲率の変化を読み、計算によつて 2 方向の主応力を求める。

直流電源は 100 V、電流密度 1.0 ~ 1.3 A/cm²、電解液は試料が高炭素鋼のため、HNO₃ 約 20% 水溶液を用いた。塗料はラッカーである。試片は縦方向（添字 1）と横方向（添字 2）にとり、夫々の方向についての測定と計算の結果から次式で求めるのである。

$$\sigma_1(z) = \{m/(m^2-1)\} \{mu_1(z) + u_2(z)\}$$

$$\sigma_2(z) = \{m/(m^2-1)\} \{mu_2(z) + u_1(z)\}$$

ここに

$$u_1(z) = \frac{E}{12 \cdot L \cdot l} \left\{ (a-z)^2 \cdot \frac{dt_1}{dz} - 4(a-z)t_1 + 2 \int_0^z t_1 d\zeta \right\}$$

$$u_2(z) = \frac{E}{12 \cdot L \cdot l} \left\{ (a-z)^2 \cdot \frac{dt_2}{dz} - 4(a-z)t_2 + 2 \int_0^z t_2 d\zeta \right\}$$

但し a = 板厚, z = 溶解除去した厚さ,

$\sigma_{1,2}(z)$ = z なる深さの層に残る主応力,

m = ポアソン数, E = ヤング係数,

l = 試片のゲージ長さ,

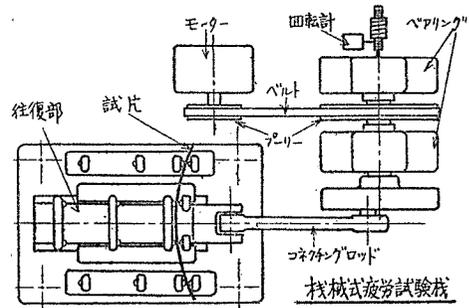
L = スケールと試片頭部の鏡との距離,

$t_{1,2}$ = z に相当するスケールの読み

$$(z = 0 \text{ で } t_{1,2} = 0)$$

望遠鏡によつて、最初からのスケールの読みの変化を読みとり、 $t-z$ の関係曲線を描いて、 t , $\frac{dt}{dz}$, $\int_0^z t d\zeta$, を求めた。

この方法で 900°C, 30 分間焼鈍した試料について測定すると、スケールの読みは殆んど変化



第 3 図

しない。

v) 引張試験

Amsler の万能試験機により、引張強さ、降伏点を測定した。

又 Amsler の万能試験機、Martens の伸計によりヤング係数を求めた。

vi) 硬度試験

硬度は Vickers 微小硬度計 (明石) により、荷重 500 g で測定し、Shore 硬度数に換算併記した。

3 結 果

実験結果の数例を第 1 表及び図に示したが、主な結果を次に挙げる。

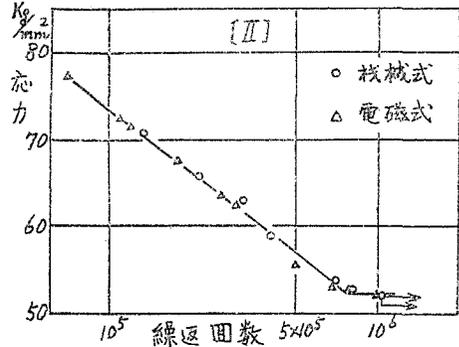
i) 硬度とローラー荷重

第 4 図は横軸にローラー荷重、縦軸に Vickers 硬度数をとつたものであるが、ローラー荷重の増加と共に硬度が増して行く。これは加工硬化によるものと考えられる。

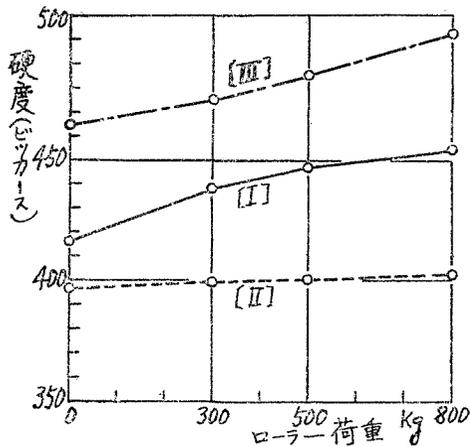
ii) 疲労強度とローラー荷重

19 B. W. G. 炭素鋼を試料とし、横軸に繰返し回数、縦軸に応力をとつて Wöhler のカーブを描いたものが第 5 図、第 6 図である。

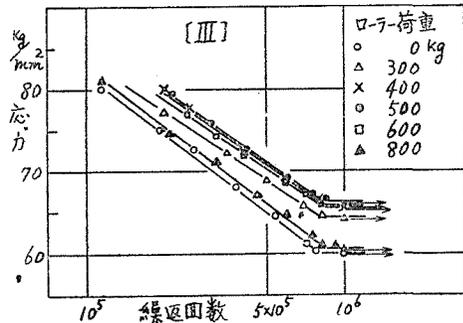
第 5 図は同一試料を電磁式、機械式の両試験機について試験した結果であるが、同一の結果を与えている。第 6 図はローラー荷重を種々変えた場合の例である。本試験では、繰



第 5 図



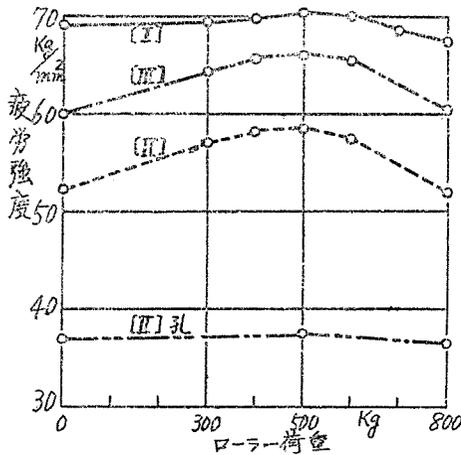
第 4 図



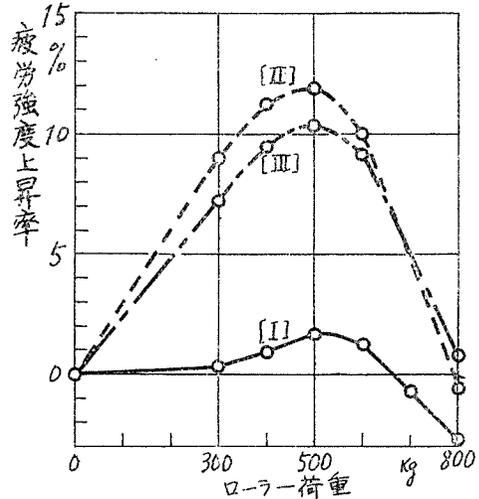
第 6 図

返回数 10^6 程度で Wöhler のカーブが水平となる。

第7図は横軸にローラー荷重、縦軸に疲労強度をとつて、各試料に於ける、ローラー荷重の疲労強度に及ぼす影響を示したものであり、第8図は縦軸を疲労強度上昇率にしたものである。3



第7図



第8図

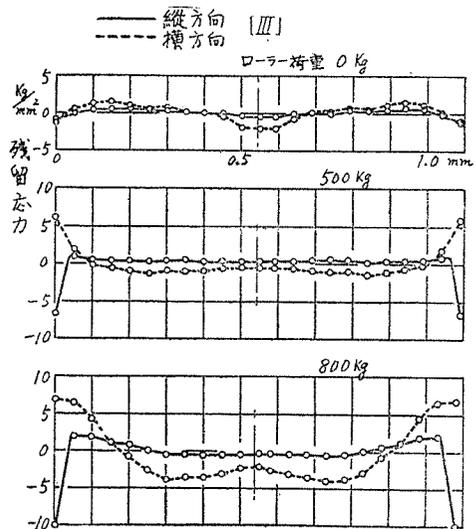
種とも疲労強度は、ローラー荷重 500 kg まで上昇し、それよりローラー荷重を増すと疲労強度はかえつて減小し、800 kg に至つては、21 B. W. G. Ni 鋼, 19 B. W. G. C 鋼 (C = 0.83%) にては、ローラーをかけない状態よりも疲労強度が下つている。又上昇率は 19 B. W. G. C 鋼の方が 21 B. W. G. に比し6倍以上に達している。

試片中央に孔を有する場合は、ローラー荷重の影響が少いことを示している。

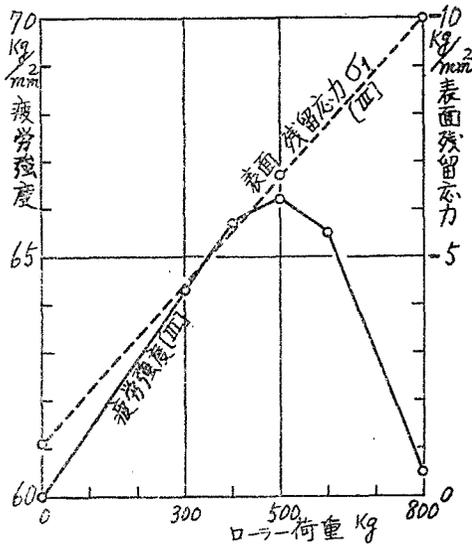
iii) 残留内力とローラー荷重

腰入により表層部残留応力及び内部の応力分布はかなり変化する。第9図はその様子を、縦方向と横方向についてプロットしたものである。横軸には表面よりの深さ、縦軸には残留内力をとり、ローラー荷重の 500 kg, 800 kg, 及びローラーをかけない時の分布状態を示した。

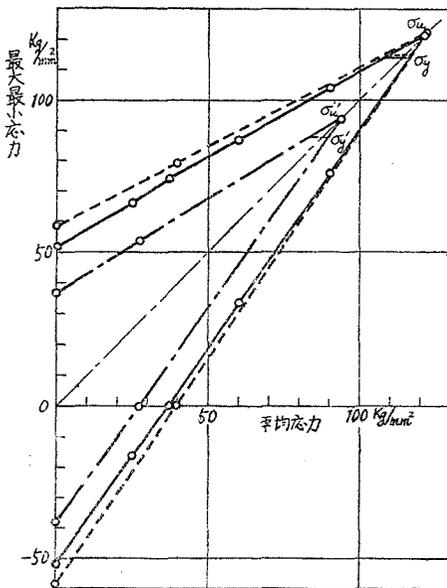
残留内力は、ローラーをかけない試料に於ては、縦横共表面に圧縮応力を生じ、内層で引張応力に変わり、更に中央部で圧縮応力に変



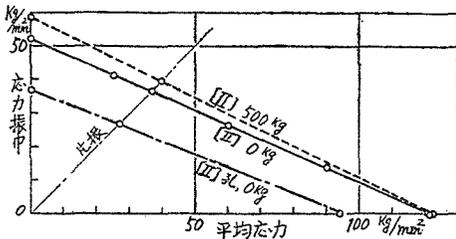
第9図



第 10 図



第 11 図 (a)



第 11 図 (b)

つている。焼入、焼戻しの影響である。

ローラー荷重 500 kg, 800 kg では縦方向は表面層で圧縮応力、内層で引張応力に変わり、横方向はそれと逆の傾向を示している。表面附近に於ける縦方向の圧縮応力の勾配は急で、僅かの深さの処で引張応力に変つている。

第 10 図は横軸にローラー荷重、縦軸に疲労強度と表面残留応力(縦方向)をプロットしたものである。3点ではあるが、表面残留応力はローラー荷重に対し、略々直線的な関係を示している。

iv) 平均応力と応力振巾

機械式試験機にて平均応力と応力振巾を変えて試験した結果、両者の間に一般的な関係が認められる。

第 11 図 (a) は横軸に平均応力、縦軸に最大、最小応力をとつており、第 11 図 (b) は横軸は同じく平均応力、縦軸に応力振巾をとつたものである。 σ_u, σ_y は引張強さ、降伏点を表わし、 σ'_u, σ'_y は有効断面に対する引張強さ、降伏点を表わす。この図から略々直線関係が成立し、引張強さもその関係にあてはまることを知る。更にローラー荷重 500 kg の試片に就いても、又有孔試片に就いても、この関係が略々成立している。

4 考 察

i) 疲労強度とローラー荷重

ローラー荷重 500 kg までは疲労強度が上昇するが、更にローラー荷重が増すと、疲労強度が減少する。表面圧延による疲労強度の向上⁴⁾は、加工硬化、及び残留圧縮応力にもとづくものであると考えられるが、或る限度

を越した圧延は、かえつて疲労強度を下げる原因を調べるために、各層に於ける縦方向の残留応力と、疲労強度のその層に対応する応力 (Apparent working stress) との和 (Actual working stress) を求め、表面に近い部分を第 12 図に示した。

⁵⁾疲労破壊は大体表面層で起るが、冷間加工をした場合等には表面のすぐ下の処から疲労破壊が起るとも考えられるから、表面附近に就いて調べた。又疲労破壊は引張応力によることが多いとの説⁶⁾が有力であり、Actual working stress も引張応力に就いて考えてみる。

即ちローラーをかけない時は表面に於いて 58.9 kg/mm^2 の引張応力が生じており、表面にて疲労破壊を起すものと考えられる。

ローラー荷重 500 kg の場合には表面に 59.5 kg/mm^2 、表面より 0.05 mm の深さの処には 61 kg/mm^2 の引張応力が生じており、表面は内層よりも少い応力で疲労破壊を起すという説からもこのいづれから疲労破壊を起したかは明らかでない。

ローラー荷重 800 kg では表面では 50.5 kg/mm^2 、表面より 0.025 mm の深さの処で 59 kg/mm^2 であり、この場合には 0.025 mm の深さの処あたりから疲労破壊が起きたのではないかと考えられる。

一方繰返応力⁷⁾を加える結果、残留応力が変化し、減ることが発表されており、本実験も更に繰返応力を加えた後の残留内力測定をすれば、残留応力の影響に就いて、一層明かになると思うが、本実験の結果からは、繰返応力によつて残留応力が余り変化しないで疲労破壊を起したのではないかと考えられる。即ち疲労強度がローラー荷重によつて極大値に達し、それより下降する原因は、材質の弱化和共に残留内力の変化によることが大である。

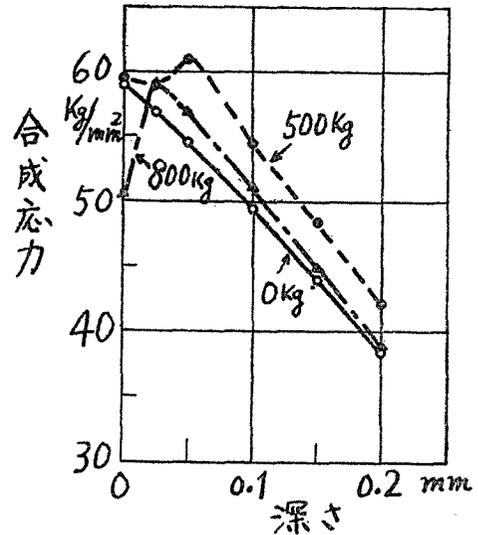
表面に残留圧縮応力を生じさせ、引張応力を加えた際に、内層に於いて actual working stress が大きな引張応力となり、残留応力のために、かえつて弱くなる場合がある。

かくの如く、actual working stress について吟味することが重要な問題となり、本実験に於ても、残留応力が疲労強度に及ぼすローラー荷重の影響の有力な原因と思われる。

ii) 切欠試験

ローラーをかけない試料の中央に孔をあけて行つた実験で、切欠係数 1.41 を得た。

一方、STRESS CONCENTRATION DESIGN FACTORS (R. E. PETERSON)³⁾ の



第 12 図

グラフによれば、同一試料に就いては、形状係数 1.65、切欠感受係数 0.95、故に切欠係数 1.58 である。

この値は実験値より大きい値となつてはいるが、Rockwell C 45 以上の硬度に対しては、残留応力の存在のために切欠感受係数が減少することがあると述べられている。

有孔試料を片振りさせた場合について調べて見る。

平滑材の平均応力を σ_m 、応力振巾を σ_r とする。両振りに対する切欠係数 K_f なる切欠を有する場合には、最大、最小応力は $\sigma_m \pm \sigma_r / K_f$ である。本実験に於ける場合には、孔のない試料の片振りの応力振巾は 37.0 kg/mm^2 、即ち $\sigma_m = \sigma_r = 37.0 \text{ kg/mm}^2$ であり、両振りに対する $K_f = 1.41$ なる故、上式により計算すると、片振りの応力振巾は 28.3 kg/mm^2 となる。一方、実験による値は 27.0 kg/mm^2 で若干値を異にしている。

ローラーをかけた有孔試料の場合は、ローラーの影響が僅かしか現われていない。

無孔の同一材料に於ては、ローラー荷重 500 kg の場合、11.9% もローラーをかけない場合に比べて疲労強度が上昇し、800 kg の時には 0.6% 減少している。一方、有孔試料では、ローラー荷重 500 kg で 1.35%、疲労強度が上昇し、800 kg で 1.35% 減少しており、800 kg の時は、無孔の場合よりも大きい減少率を示してはいるが、有孔試料のローラーの影響は非常に少いようである。これは圧延の効果よりも、切欠の効果の方が大きいと思われる。

有孔試料のローラー荷重、0 kg, 500 kg, 800 kg の切欠係数は、1.41, 1.56, 1.42 である。

iii) 平均応力と応力振巾

平均応力と応力振巾との関係は、前述の如く直線的な関係を有している。

Goodman⁹⁾ は、 R を応力の範囲、 σ_u を引張強さ、 σ_m 平均応力、 $\sigma_m = 0$ なる時、 $R = R_r$ と置き、 R を次式で表わしている。

$$R = R_r(1 - \sigma_m/\sigma_u)$$

本実験もこれに一致し、有孔試料に於ても、引張強さとして、有効断面に対する引張強さを用いる時は、略々同様な関係が成立する。

結局、両振りの応力振巾と引張強さにより、直線関係にて、片振りの場合を始め任意の平均応力の応力振巾、最大、最小応力を知り得るわけである。

付 記

この試験に使用した電磁式共振型曲げ疲労試験機の電気部分は、本学応用電気研究所電気部門、松本秋男教授及び同研究室小野幸次郎技官に設計組立をしていただき、機械部分は、ローラー荷重測定装置と共に工学部工作実験室小川駿君に工作していただいた。機械式疲労試験機の製作調整は、工作実験室上野鉄次郎助手、平田吉夫君の手になる。

供試帯鋸はすべて、北海道製材工具 K. K. 及び丸源製鋸所から寄贈せられたものである。

又研究費は、文部省科学研究費補助金を以てこれにあてた。

併せて深く感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 久野陸夫, 土肥 修 : 帯鋸の腰入 (鋸の走行安定について), 工学部研究報告 10 号
- 2) 沢井善三郎, 鴨井 章 : 新しい共振型曲げ疲労試験機, 金属 1953 年 4 月
- 3) 久野陸夫, 土肥 修 : 金属板の残留内力測定, 工学部研究報告 9 号
- 4) 河本 実, 西岡邦夫 : 表面圧延による疲れ限度向上に関する研究, 日本機械学会論文集 27 年 68 号
- 5) H. F. Moors : Effect of Surface Stressing Metals on Endurance under Repeated Loadings.
- 6) J. O. Almen : Fatigue of Metals as Influenced by Design and Internal Stresses.
- 7) O. J. Heger : Internal Stresses and Fatigue.
- 8) R. E. Peterson : Stress Concentration Design Factors.
- 9) 山田良之助 : 材料試験法