539. 431. 016. 2 : 669. 355 : 669. 715. 3

表面ロール加工を施した黄銅およびジュラルミンの疲れ限度*

大橋 義夫** 村山 昭平***

On the Fatigue Strength of Brass and Duralmin
which are Improved by Surface Rolling

by Yosio ŌHASI and Shōhei MURAYAMA

The effects of surface rolling on the fatigue strength were investigated with the grooved specimens made of brass and duralmin.

The bottoms of grooves were rolled with varying pressures by a roller which has a thickness half the width of groove.

In the reversed twisting fatigue tests, fatigue strength (10^7 reversals) was improved 81% in brass, or 43% in duralmin by the most suitable rolling pressure.

With the brass specimen, the effect of surface rolling on the improvement of fatigue strength (10^7 reversals) was far better than with mild steel.

Even in the case of the highest improvement rate of fatigue strength (10^7 reversal) in the brass specimen, hair cracks due to rolling were found on the rolled surface under microscope.

1. 緒 言

軟鋼あるいは半硬鋼等の疲れ限度に対する表面ロール加工の影響については従来多くの研究^{(1),(2),(3)}がなされ、操作の簡単な割にその効果の著しいことが認められて機械部品の応力集中部を補強する手段として用いられている。非鉄金属を対象としたこの種の研究は未だ行われていないようであるが、非鉄金属の中でもたとえば黄銅やジュラルミンは軟鋼とほとんど同程度の機械的強度を有し、しかも耐食性が大いとか重量が小さいと言ったような性質をもっているため、かような要求のあるところには軟鋼の代りに強度部材としても用いられることが考えられるので、これに対し応力集中部を補強する問題も生ずると思われる。

われわれは先に切欠き部の応力集中による疲れ限度の低下を表面ロール加工で補強する場合について、軟鋼および半硬鋼の円周半円みぞ試片の繰返しねじり疲れの場合を例にとりて工作に必要な標準やその際の効果につき調べた⁽⁴⁾ので、これと比較する意味もかねて黄銅およびジュラルミンの切欠き疲れ強さに対する表面ロール加工の影響を調べた。

2. 実験の方法

2.1 試験片 本実験に用いた材料は、四六黄銅(圧延のまま)とジュラルミン(500°C 30 分加熱後水焼入れして長時間放置したもの)であって、成分および機械的性質は第 1 表に示すとおりである。

試験はシェンク型疲れ試験機による繰返しねじり疲

第 1 表 成分および機械的性質

試片材料	成 分	引張強さ kg/mm ²	ロックウェル かたさ	伸 び	絞 り
黄 銅	Cu 62.2%, Zn 36.3%, Sn 1.5%	48.5	68~75	22.06%	47.5%
ジュラルミン	Cu 3.77%, Mg 0.77%, Mn 0.33%, Fe 0.50%, Si 0.39%, Al 残	40.9	57~61	18.05%	39.5%

れによることとし、試験片は第 1 図に示すように、6 mm 幅の半円みぞ付試片およびこれと比較のための平滑試片を用いた。みぞのための応力集中によって疲

れ強さの低下する割合を調べるため、平滑試片の直径はみぞ付試片のみぞ底直径に等しくしてある。

2.2 表面ロール加工 表面ロール加工に使用した工具は第 2 図に示すように加工ローラを 1 個有するものであってこれを旋盤の刃物台に取付けて加工している状況を写真 1 に示す。加工圧はローラを試片に押付けたときのゴムパッドの変形をダイヤルゲージで測

* 昭和 31 年 4 月 2 日 第 33 期通常総会講演会において講演、原稿受付 昭和 31 年 4 月 19 日。

** 正員、鉄道技術研究所

*** 鉄道技術研究所。

定して知ることが出来る。加工法は試片を旋盤に取付け毎分30回転させておき所要の加工圧にローラを試片のみぞ底に押付けたまま6回転させることとする。

平滑試片

溝付試片

第1図 試片形状寸法

第2図 ロール加工工具

写真1. 表面ロール加工の状況

第3図 平滑試片の疲れ試験結果

3. 実験結果およびその検討

試験機はシェンク型繰返しねじり疲れ試験機を用いた。黄銅、ジュラルミン等非鉄金属にては通例 10^8 回繰返しにおける疲れ強さをとるべきであるが、疲れ強さを比較するときは 10^7 回繰返しにおける疲れ強さをとって実用上だいたい近い値をうるものとして、ここでは簡単のため 10^7 回繰返しにおける時間強度の比較をとった。したがって実験の繰返し数は、いちおう 10^7 回を基準としたので以下の図において右向矢印のついた点は、その繰返し数 (10^7 回以上) にて試片がなお耐久していることを示している。

まず平滑試片およびみぞ付試片の疲れ試験を行ってみぞのために疲れ強さ (10^7 回) の低下する割合を求め、次にみぞ部に表面ロール加工を施した試片の疲れ試験を行って最適の加工圧およびこれによってみぞ部の応力集中のため低下した疲れ強さ (10^7 回) がどれだけ回復するかを調べた。

3.1 疲れ試験の成績

3.1.1 平滑試片およびみぞ付試片 黄銅およびジュラルミンの平滑試片につき、繰返しねじり疲れ試験を行った結果、第3図に示すような成績を得た。したがって、この場合疲れ強さ (10^7 回) を黄銅 11.5 kg/mm^2 、ジュラルミン 9.9 kg/mm^2 と定める。

同じくみぞ付試片に対しては第4図のような結果を得た。したがって、みぞ付試片の疲れ強さ (10^7 回) を黄銅 6.8 kg/mm^2 、ジュラルミン 7.7 kg/mm^2 と定める。

それゆえ みぞ付試片 の疲れ強さ (10^7 回) は平滑試片に対し、黄銅にては 59.2% 、ジュラルミンにては 77.8% に低下する。

3.1.2 表面ロール加工試片の疲れ試験成績

みぞ付試片のみぞ底部にみぞ幅の半分、すなわち厚み 3 mm の加工ローラ (周辺丸み半径 1.5 mm) を用いて種々の加工圧で表面ロール加工を施したものにつき繰返しねじり疲れ試験を行った。この結果は黄銅については第5図、ジュラルミンについては第6図のようである。これによれば表面ロール加工を施すとき加工圧を変えると、これに応じて試片の疲れ強さ (10^7 回) が異なって来ることがわかる。すなわち、黄銅では第

第4図 みぞ付試片の疲れ試験結果

5 図に示すごとく, 加工圧 260 kg のときには疲れ強さ (10^7 回) は 9.6 kg/mm^2 , 480 kg のときに 11.3 kg/mm^2 , 775 kg のときに 12.3 kg/mm^2 , 1125 kg に対し 7.6 kg/mm^2 となり, ジュラルミンでは第 6 図に示すように加工圧 190 kg のとき疲れ強さ (10^7 回) は 9.85 kg/mm^2 , 385 kg に対し 9.78 kg/mm^2 , 650 kg に対し 11.0 kg/mm^2 , 800 kg に対し 6.76 kg/mm^2 となる。

以上の結果より表面ロール加工の効果を調べると第 2 表および第 3 表に示すようになる。更にこれを図示するときは第 7 図をうる。

第 7 図をみれば明らかなように黄銅では表面ロール加工による疲れ強さ (10^7 回) の上昇は相当大きく, 加工圧を 775 kg にとった場合は, みぞ付未加工試片のそれに対し 81% 上昇しており, 平滑試片の疲れ強さ (10^7 回) に対しても 7% 上昇している。したがって,

この場合は みぞ のための応力集中による疲れ強さ (10^7 回) の低下を補強するにとどまらず, さらに材料を 7% も強めたことになっている。

ジュラルミンに対する表面ロール加工の効果は実験の結果黄銅ほど著しくなかったが, 加工圧を 650 kg としたとき みぞ付未加工試片 の疲れ強さ (10^7 回) に対し 43% 上昇している。しかしジュラルミンの場合は みぞ のための応力集中による疲れ強さ (10^7 回) の低下は黄銅ほど大きくないので, この程度の疲れ強さ (10^7 回) 上昇率でも応力集中による疲れ強さの低下を補強していることがわかる。

すなわち黄銅やジュラルミンのような非鉄金属においても, 応力集中による疲れ強さ (10^7 回) の低下を表面ロール加工で補強しうることが認められた。

3.2 加工部付近のかたさ分布 軟鋼について行った同様の実験⁽⁴⁾から, 加工をうけた部分の かた

第 5 図 表面ロール加工を施したみぞ付試片の疲れ試験結果 (黄銅)

第 6 図 表面ロール加工を施したみぞ付試片の疲れ試験結果 (ジュラルミン)

第 2 表 表面ロール加工による疲れ限度上昇率 (黄銅)

加工圧 kg	疲れ限度 kg/mm ²	疲れ限度 上昇率	平滑試片疲れ 限度との比較
0	6.8	1.00	0.59
260	9.6	1.41	0.83
480	11.3	1.66	0.98
775	12.3	1.81	1.07
1125	7.6	1.12	0.66

第 3 表 表面ロール加工による疲れ限度上昇率 (ジュラルミン)

加工圧 kg	疲れ限度 kg/mm ²	疲れ限度 上昇率	平滑試片疲れ 限度との比較
0	7.7	1.00	0.78
190	9.85	1.28	0.996
385	9.78	1.27	0.988
650	11.0	1.43	1.11
800	6.76	0.88	0.68

第 7 図 加工圧と疲れ強さ (10^7 回) 上昇率との関係

さの上昇の状態, すなわち かたさ上昇 の程度や かたさの上昇した領域を測定して, みぞ に対する加工ローラの厚みの割合や加工圧が適当であるか否かを判定することが出来るので, この場合においても試片の加工部付近の かたさ分布 を調べた。

軸をふくむ断面で試片を縦断して, 閃石製の微小かたさ計を用いて加工部付近の かたさ分布 を調べた結果は次の図のようである。ここに微小かたさ計の測定荷重は 100 g とした。第 8 図および第 9 図は黄銅およびジュラルミンの加工部付近の かたさ分布曲線 を示し, 図の等硬度線は H_v にて 10 ごとに記入してある。*

第 8 図 表面ロール加工によるかたさ上昇 (黄銅) (4 倍大)

が少く, かたさの上昇する領域も小さいことである。ローラとの接触面の中央 A および両端 B, C にて表面に垂直に内部に向う かたさ の こう配 を調べてみると黄銅の場合は第 10 図, ジュラルミンの場合は第 11 図のようになっている。

なお第 8 図および第 9 図に示す等硬度線が非対称形になっているのはたまたま かたさ測定 に用いた試片の表面ロール加工が正しく みぞ底 に行われなかった結果である。

3・3 加工部のかたさ上昇と疲れ強さ (10^7 回)

疲れ強さ (10^7 回) は前述のように加工圧の低い範囲では加工圧が増すとともに増すが, この範囲ではかたさ分布状態にも同じような傾向がみられる。

加工圧が増してある値になるときは疲れ強さ (10^7 回) の上昇率は最大値に達し, 加工圧をそれ以上増大させるときは疲れ強さ (10^7 回) はかえって低下して, ついには未加工のときの疲れ強さ (10^7 回) よりも下がるようになる。

このような疲れ強さ (10^7 回) の傾向に対して加工による かたさ上昇 がいかに対応しているかを調べてみよう。

*またローラの接触した部分は CAB で示されている。

図からわかるようにローラに接触した表面部が最もかたさ内部にうつるに従って かたさ は次第に低下している。加工圧の小さいときはローラとの接触部のかたさ上昇も比較的小さく, ローラと接触していない部分のかたさ上昇 はほとんどみられない。

また加工圧が高くなると接触部のかたさはかなり上昇するが, 非接触部のかたさ上昇はあまり大きくない。このことは鋼の場合と趣が異なっているようである。この外, 鋼の場合と比較してわかることは, 加工圧が鋼の場合より高いのに加工部のかたさ上昇の程度

第 9 図 表面ロール加工によるかたさ上昇 (ジュラルミン) (3.8 倍大)

加工圧の低い所では最高かたさの値およびかたさ上昇範囲は加工圧とともに増すが, 加工圧が高くなると来ると加工圧が増してもかたさの上昇は飽和に近づいてあまり変らなくなる。そしてこのあたりが疲れ強さ (10^7 回) 上昇率最大の加工圧にあたる。加工圧を更に上昇させると, いくらか かたさ の上昇は認められるが疲れ強さ (10^7 回) 上昇率はかえって低下して来る。

黄銅にて加工圧 775 kg のとき疲れ強さ (10^7 回) 上昇率は最高を示し, 加工圧がそれ以上に増して 1125 kg になるときは疲れ強さ (10^7 回) 上昇率が急に落ちているのは前に述べたようであるが, これに対応して第 8 図をみるとかたさ分布状態には余り大きな差はないようである。すなわち加工圧 775 kg のときは未加工部かたさ $H_v=177$ に対し, 最高かたさ $H_v=250$ となり 1.4 倍に上るのに対し, 加工圧 1125 kg のときは未加工部かたさ $H_v=146$ に対し最高かたさ $H_v=230$ となり 1.6 倍に上昇している。表面に近い層のかたさこう配も第 10 図からわかるようにいくらか後者の方が大きい著しい違いは認められない。

しかるに加工面を調べてみると, 写真 2 および写真 3 のように著しい違いが認められる。写真 2 は加工圧

第 10 図 加工部表面より内部に向うかたさ分布 (黄銅)

第 11 図 加工部表面より内部に向う
かたさ分布 (ジュラルミン)

775 kg のときの加工面であって、加工のためごく細かい割れ目が生じているのがみえる。写真 3 は加工圧 1125 kg のときの加工面を写真 2 と同じ倍率で示したものであるが、割れ目の幅は前者の 10 倍近くに達し、

写真 2. 加工圧 775 kg のときの加工部表面
(黄銅) (×208) 写真 3. 加工圧 1125 kg のときの加工部表面
(黄銅) (×208)

割れ目の長さや数も前者に比し増している。これらの割れ目は加工方向に直角に現われ、加工圧 480 kg の時には非常に細かい割れ目が現われはじめるが、加工圧 260 kg の時には、割れ目は全く認められない。

加工面に生じた割れ目はいうまでもなく材料の疲れ強さに有害な影響を与えるはずである。この場合は加

工により生じた硬化層が、これと共存するわけであるが、硬化が進むにつれて疲れ強さ (10^7 回) が上昇する範囲が存在する点から考えると、割れ目がごく微細なところでは繰返し応力をうけても割れ目は硬化層のため全く発達しないことがわかる。

加工圧がある程度以上になると硬化は飽和してくるが加工による割れ目は非常に大きくなって来て、これが繰返し応力によって破壊まで進むことになる。すなわち最適加工圧以上では過度の加工のため加工面に生じた割れ目が有害な影響を及ぼして疲れ限度が低下すると言える。この事実からまた割れ目がごく小さい場合には表面ロール加工によってその有害な影響を打消すことも出来ると言えるように思われる。

ジュラルミンの場合には第9図から容易にわかるように、それぞれの加工圧の場合のかたさ分布状態を比較すると、いずれの場合にもローラとの接触面以外の部分のかたさ上昇はほとんど認められないし、加工圧が増してもかたさの上昇する層の深さはほとんど一定している (深さ 1.5 mm 程度)。また加工圧が 190 kg と 385 kg のときを比べると、表面のかたさはやや上っているが 385 kg と 650 kg のときを比べるとかたさ分布にほとんど変化がない。疲れ強さ (10^7 回) 上昇率をみてもジュラルミンの場合はあまり大きくないが、かたさ上昇の面からもこれに対応しているようである。

なお加工圧を 800 kg にあげると疲れ限度は急減して未加工の場合よりも低くなる。このときの加工面をみると肉眼でさえはなはだあれていることが認められるが、顕微鏡でみると写真4のように大きい割れ目の外にところどころにはく離を生じた跡がみられ、過

写真 4. 加工圧 800 kg のときの加工部表面 (ジュラルミン) ($\times 208$)

度の加工が明らかに認められる。

4. 結 論

軟鋼や半硬鋼の場合において疲れ限度の上昇に効果のある表面ロール加工法は、黄銅およびジュラルミンの場合にも有効であることが認められる。

前述のように本実験にては疲れ強さ (10^7 回) は黄銅の場合加工圧 775 kg のとき 81% 上昇し、ジュラルミンの場合加工圧 650 kg のとき 43% 上昇している。

これを軟鋼 (S 10 C) について同じ状況のもとに加工圧 400 kg のとき 53% 上昇している⁽⁴⁾のに比べると、黄銅およびジュラルミンの場合は最適加工圧がいずれも軟鋼より高く、しかも黄銅では疲れ強さ (10^7 回) 上昇率が軟鋼より著しく大きいことがわかる。

加工部のかたさ上昇をみると軟鋼および半硬鋼ではローラの接触しない領域までかたさの上昇が認められたが、黄銅やジュラルミンの場合にはローラと接触しない部分のかたさの上昇はほとんど認められないので、加工ローラの厚みはの場合更に大きくした方が有効であると考えられる。

さらに黄銅の場合表面ロール加工によって疲れ強さ (10^7 回) が最も上昇した加工圧 775 kg の場合、加工面に微細な割れ目が多数生じていることがわかったが、このことは表面ロール加工によって材料内部に出来た硬化層によって割れ目の伝ばが阻止されるばかりでなく疲れ強さ (10^7 回) を著しく上昇させているということが出来る。

これは表面ロール加工の効果を限定するものであるが、すでに疲れのためごく細かい割れ目を生じた部分に表面ロール加工を行って割れ目の伝ばを阻止する可能性を示唆するものであろうし、疲れ現象において割れ目が成長する状態や条件をしらべる上にも興味深いものと思われる。

文 献

- (1) O.J. Horger, *Surface stressing of metals*, p.p. 85~142.
- (2) 河本・西岡, 機械学会論文集, 18 巻 68 号, 104~112 ページ.
- (3) 大久保・植松, 機械学会論文集, 19 巻 83 号, 78~82 ページ.
- (4) 大橋・村山, 鉄道業務研究資料, 12 巻 18 号, 437~438 ページ.