

温間ローラ加工をした半円環状切欠試験片の 疲労強度について

齋藤 葆・小笠原 淳・宮野 泰治

On Fatigue Strength of Semicircular
Grooved Specimens by Warm Surface Rolling

Shigeru SAITO, Jun OGASAWARA and Taiji MIYANO
(昭和52年10月31日受理)

1. 緒 言

鋼を青熱ぜい性温度範囲内において塑性加工すれば、じん性をいくぶん失うものの、かなりの強度の上昇がみられることはよく知られている¹⁾。

著者らはこのことに着目し、軸の耐疲労性向上の一方法として、鋼の青熱ぜい性温度範囲で軸表面をローラ圧延する、いわゆる、温間ローラ加工法を圧入軸に対して試み、実験を行なった結果、この加工法が疲労強度の向上にきわめて有効な方法であることを確めた^{2)~5)}。

鋼の疲労強度を増加させる表面処理法の手段としては、他に、表面圧延、高周波焼入、浸炭、窒化、浸硫などがあるが、温間ローラ加工法は、組織がフェライト・パーライトの状態のまま強化されること、被加工物を200~400°Cに加熱して表面をローラ圧延するだけの単純な作業なので、大形・小形・段付部や切欠部などの比較的複雑な形状にも簡単に適用出来るなどの点から、従来の表面処理法に比しても、その有用性は大きい期待され、多くの実験により豊富な資料を得て検討する必要がある。

そこで、今回は軸に種々の切欠部や段付部を設け、温間ローラ加工を施した場合の疲労強度について一連の実験を計画した。

本報においては、環状切欠部に対する温間ローラ加工条件の検討と、SF55およびSS41材による回転曲げ疲労試験の結果について報告する。

2. 温間ローラ加工条件の検討

温間ローラ加工の疲労強度におよぼす効果は、加工圧力、加工速度、加工回数、加工温度などにより影響され

る^{2)~4)}。本実験のようなR2mmの半円環状切欠部に対しては、いかなる条件下でローラ加工を行なうべきかを検討するため、まず、S35C材φ16×60mmの予備試験片(ヘール仕上)を用いて、これに後述する図9の加工ローラにより、種々の条件を与えて実験を行なった。

図1は圧延荷重を10, 25, 50, 100および200kgとした場合の加工回数による試験片の寸法減少、すなわち、試験片へのローラのくい込み量を示したものである。これより、圧延荷重が50kg以上であれば、10回の加工回数までは、くい込み量が急激に増加し、それ以後は緩やかな増加の傾向を示すこと、および、圧延荷重25kg以下では、10回の加工回数で、ほぼ飽和し、安定する傾向にあることがわかった。

この結果より、圧延荷重は10, 25および50kgの中から選定することにし、他の加工条件としては、加工速度を6.2m/min(165r.p.m.)および0.9m/min(25r.p.m.)、加工回数は10, 50, 150および200回、温

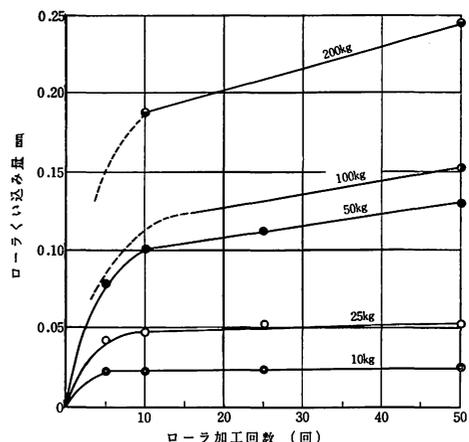


図1 ローラ加工回数とくい込み量

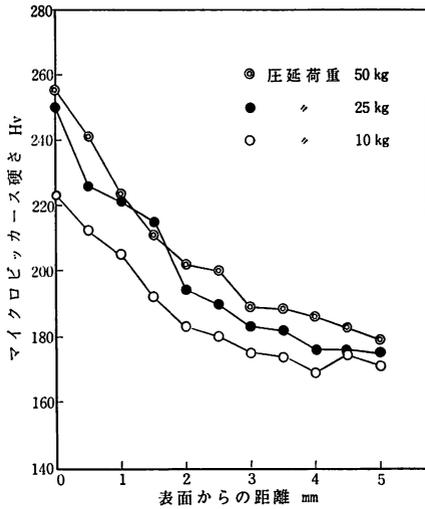


図2 圧延荷重と断面硬さ
(温間300°C, 加工速度0.9m/min)
(加工回数10回)

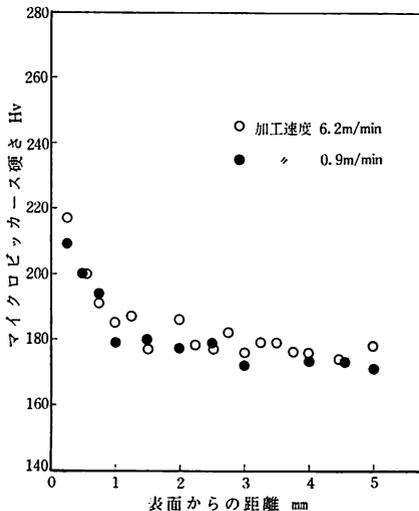


図3 加工速度と断面硬さ
(常温, 圧延荷重25kg, 加工回数50回)

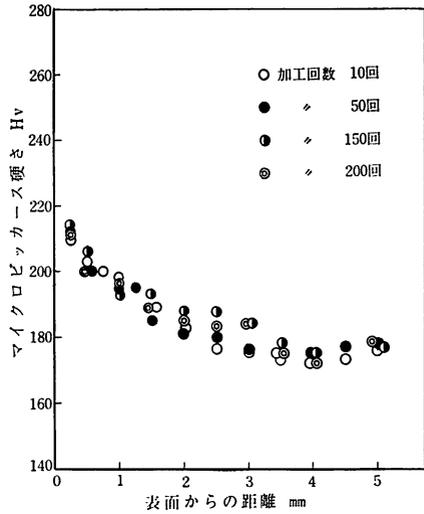


図4 加工回数と断面硬さ
(常温, 圧延荷重10kg, 加工速度6.2m/min)

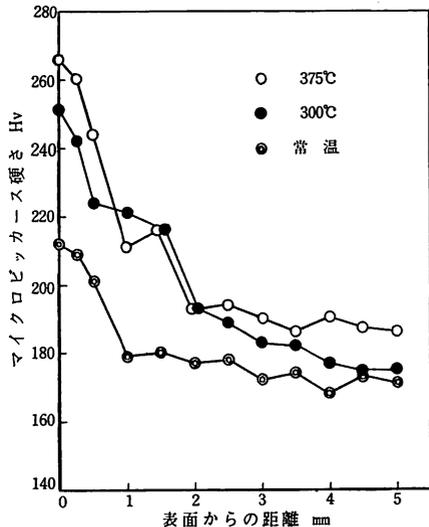


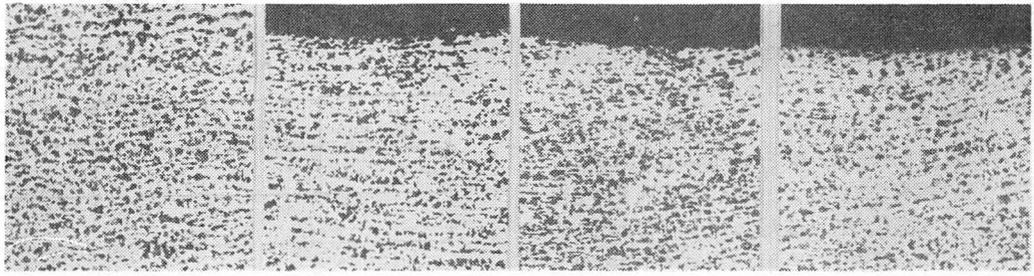
図5 加工温度と断面硬さ
(圧延荷重25kg, 加工速度0.9m/min)
(加工回数10回)

間での加工温度は300°Cおよび375°Cとして、これらの要因から適正加工条件を推定することにした。

圧入軸における実験結果によれば、疲労強度は加工処理後の表面層の加工硬化の大きさにはほぼ比例していた²⁾³⁾ので、本実験の場合も、上述の各加工条件の組合せのもとで、試験片の断面硬さを測定し、加工硬化の傾向を検討することにした。その結果を図2～5に示す。また、ローラ加工において圧延条件が過大になれば、表面層の塑性変形が大きくなり、加工きずなどの表面欠陥が生じ、かえって材料を弱化させる恐れもあるので、各

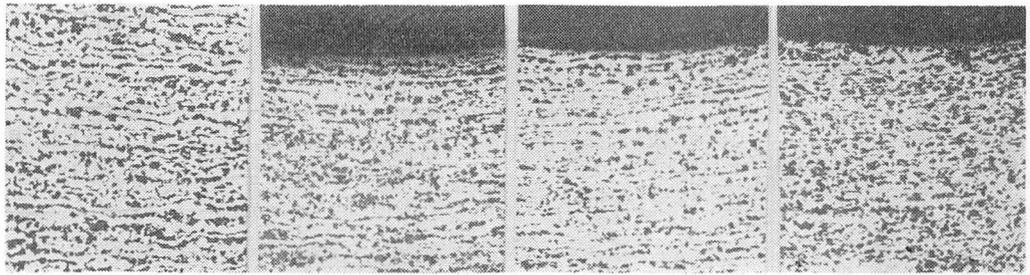
加工条件での表面層の断面組織についても検討した。その一部は図6に示した。

まず、図2は試験片を300°Cに加熱保持し、加工速度0.9m/min、加工回数10回として、各圧延荷重でローラ加工したときの断面硬さを示したものである。荷重の大小によって硬さの傾向に多少の違いは認められたが、25kgと50kgの場合は、ある程度近似していることがわかった。さらに、このときの断面組織についてみると、図6(a)に示すとおり、圧延荷重が大となればパーライトが次第に密となって行き、50kgの荷重では表面層組織の分



母材 圧延荷重 10kg 25kg 50kg

(a) 加工温度 300°C, 加工速度 0.9m/min, 加工回数 10回の場合。



母材 圧延荷重 10kg 25kg 50kg

(b) 加工温度, 常温, 加工速度 0.9m/min, 加工回数 10回の場合。

図6 圧延荷重による表面層の組織変化 (×100)

散が考えられるようであった。(このような傾向は、たとえば図6(b)のように、加工速度、温度、回数などの条件に関係なく共通していた)。以上の結果と前述の図1のローラくい込み量の結果を考慮して、圧延荷重は25kg前後が適当であると考えた。

図3は加工速度の違いによる硬さへの影響を調べた結果であるが、速度の大小によっては特に差はあらわれなかった。

また、図4は加工回数の影響について示したもので、10～200回の範囲では、断面硬さの傾向にほとんど差は認められなかった。ただし、これは10kg、0.9m/minのものであるが、図1より10kgおよび25kgでは、ローラくい込み量が小さくて加工回数10回後には飽和することと、図3のように加工速度の大小による加工硬化への影響の差がないことから、25kg、0.9m/minの場合でも、硬さの傾向は同様になるものと推定してよいであろう。

つぎに、温間加工温度についてであるが、300°Cと375°Cで検討することにした理由は、これまでの圧入軸

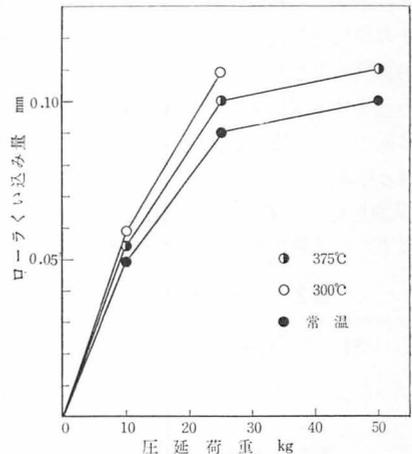


図7 圧延荷重とローラくい込み量

の実験結果では、この温度付近で最高の疲労強度上昇を示していたので、本実験の半円環状切欠の場合にも、まず、この温度で試みることにしたものである。図5によれば、温間でローラ加工を施したものは、常温でロー

ラ加工したものより、加工硬化の程度は明らかに大きく、また、温間の場合では375°Cのほうが300°Cのものより若干大きい傾向を示すようであった。いっぽう、各温度でローラ加工した場合（0.9 m/min, 10回）の試験片へのローラくい込み量は図より明らかなように375°Cのほうが300°Cの場合より小さかった。したがって、375°Cでの加工温度は300°Cより試験片の表面層の塑性変形量が小さくて硬化の程度が大きいという事になる。

以上の結果より、本実験の場合のローラ加工条件を表1のように決定し疲労試験を行なうことにした。

表1 ローラ加工条件

ローラ寸法	直径50mm, 転動面半径2mm
圧延荷重	25kg
加工速度	0.9m/min (25r.p.m.)
加工回数	10回
加工温度	常温 (常温ローラ加工) 375°C (温間ローラ加工)

3. 疲労試験

3.1 試験片および実験方法

実験に用いた材料はSF55（炭素鋼鍛鋼品5種）およびSS41（一般構造用圧延鋼材）で、850°C, 30分保持後600°Cまで空冷、以後炉中冷却の焼ならし処理を行なった。供試材の化学成分を表2に、熱処理後の機械的性質を表3に示す。これら材料は図8に示す形状に機械加工し、その環状切欠部に、以下に示すような加工処理をして疲労試験に供した。

- (i) ヘール仕上（以下この試験片を非加工材と呼ぶ）
- (ii) 常温でローラ圧延加工（以下この試験片を常温加工材と呼ぶ）
- (iii) 試験片を375°Cに加熱保持してローラ圧延加工（以下この試験片を温間加工材と呼ぶ）

表2 SF55の化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.32	0.26	0.77	0.02	0.009	0.11

表3 機械的性質

材料	降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	絞り %
SF55	45.0	66.9	17.7	45.9
SS41	34.0	46.0	35.0	68.3

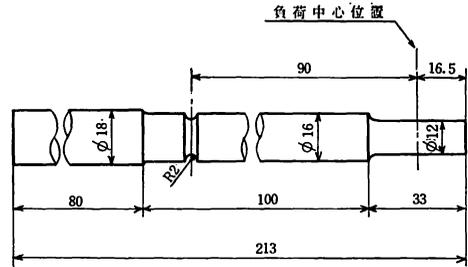


図8 疲労試験片形状

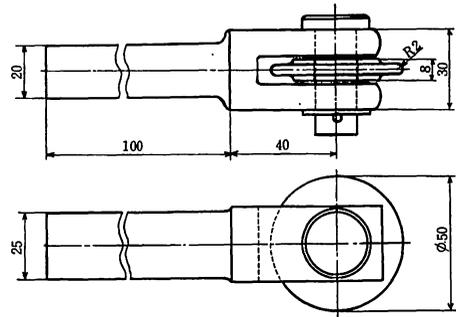


図9 圧延ローラ形状

圧延ローラはSKS2（合金工具鋼）を直径50mm, 転動面半径R2に製作したもので、その形状を図9に示す。これを旋盤の刃物台に取付け、圧延荷重をスプリングの変位によって検定し、試験片をローラ加工した。

ローラ加工の条件は表1に示すとおりである。温間ローラ加工の場合は、試験片を電気炉で予熱（炉温300°C）後、旋盤に取付け、回転しながらLPガスバーナにより加熱し、表面接触温度計（0～500°C）により375°Cを保ちながらローラ圧延した。

なお、図8に示す試験片の環状切欠部の形状係数 α は約1.65⁶⁾で、荷重25kgで圧延した場合のヘルツ圧力は、接触物体が共に鋼である2つの円柱面の接触と考えれば、ヘルツ式より約 $P_0 = 69\text{kg/mm}^2$ となる。

使用した疲労試験機は、自作した片持式回転曲げ疲労試験機で、容量60kg-m, 繰返し数2100r.p.m, 最大負荷50kgである⁴⁾。

3.2 実験結果および考察

図10および図11に回転曲げ疲労試験によるS-N曲線を示した。応力はすべて切欠部最小断面の外周に生ずる公称応力値である。

SF55およびSS41の場合とも疲労強度は非加工材に対して常温加工材、温間加工材の順で上昇して行く。表4および図12に各試験片の疲労限度と疲労限度上昇比を示した。この結果から明らかなように、非加工材に対し

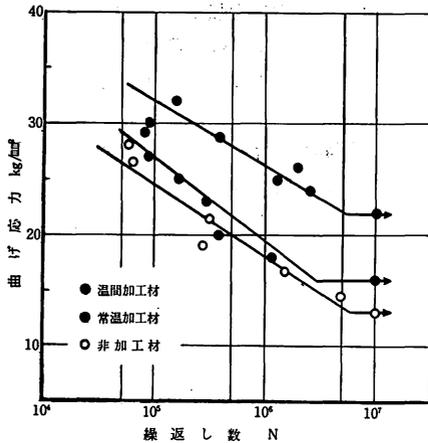


図10 SF55材の疲労試験結果

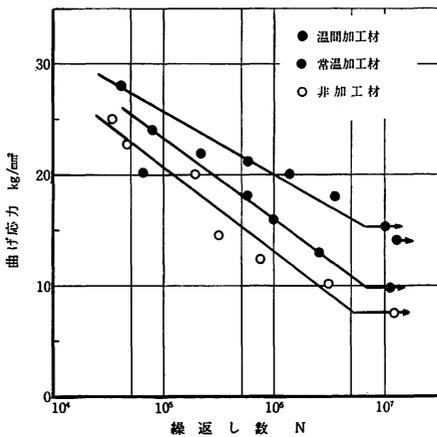


図11 SS41材の疲労試験結果

して、常温でローラ圧延する常温ローラ加工法(従来の表面圧延法)はSF55の場合1.23倍、SS41の場合1.29倍の疲労強度の上昇を示したが、試験片を375℃に加熱保持してローラ圧延する温間ローラ加工法を施したものは、それぞれの材料で約1.7倍および2倍の疲労強度上昇を示した。温間ローラ加工法は常温ローラ加工法に対して、それぞれの材料で、1.38倍および1.58倍疲労強度が向上したことになる。これは圧入軸に対するφ12棒の、非加工材に対する1.3倍、および、常温ローラ加工に対する1.2倍の上昇²⁾に比べてかなり大きな差であり、温間ローラ加工法は、形状係数の大きい切欠材などに対して特に有効のように思われた。

圧入軸において、温間ローラ加工を行なうことにより疲労強度が上昇したことは、主として表面層の加工硬化と圧縮残留応力によることはすでに報告している²⁾が、本実験の場合の疲労強度上昇もこれが大きな理由であろうと思われる。これらに関しては、現在検討中である

表4 疲労限度および疲労限度上昇比

試 験 片	疲労限度 kg/mm ²	疲労強度上昇比	
		非加工材 に対して	常温加工材 に対して
S F 55	非加工材	13.0	—
	常温加工材	16.0	1.23
	温間加工材	22.0	1.69
S S 41	非加工材	7.5	—
	常温加工材	9.7	1.29
	温間加工材	15.3	2.04

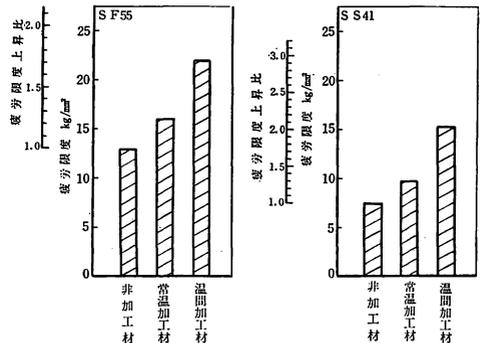


図12 疲労限度および疲労限度上昇比

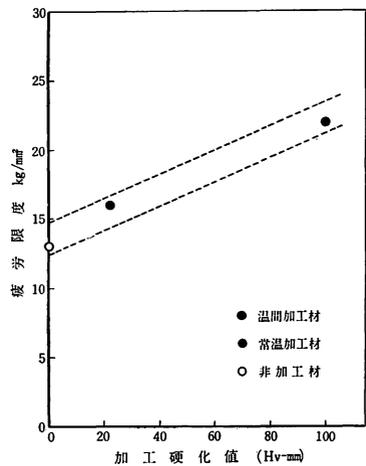


図13 加工硬化値と疲労限度 (SF55材)

が、その一部を報告すれば図13のようである。図13はSF55について、各加工処理材の加工硬化の大きさを加工硬化値(断面硬さ分布曲線から加工硬化面積を求め、これを単位Hv-mmとして表わしたもの。1Hv-mmとは深さ1mm、硬さ1Hvの硬化面積を有することを示す)で疲労限度との関係を調べたものであるが、図示のとおり、圧延荷重、加工速度、加工回数などの条件が同じであっても、それを常温で行なったものと375℃の温

間で行なったものとは、試験片の表面層の加工硬化値に相当の差が生じており、また、加工硬化値と疲労強度はほぼ比例していた。これらは圧入軸の場合と同様な傾向であった。

4. 結 言

切欠を持つ軸の耐疲労性向上の一方法として、R2の半円環状切欠試験片に温間ローラ加工を施し、回転曲げ疲労試験を行なつてつぎの結果を得た。

(1) 数種のローラ加工条件で予備実験を行ない、試験片の断面硬さと表面層の断面組織を調べて加工硬化などを検討し温間ローラ加工条件を表1のように定めた。

(2) 疲労強度は、SF55の場合非加工材に対し、常温ローラ加工（従来の表面圧延法）は1.23倍の向上であったが、温間ローラ加工法は約1.7倍であった。

また、SS41の場合は常温ローラ加工法の約1.3倍に対して温間ローラ加工法は2倍の上昇を示した。

(3) 常温ローラ加工法の疲労強度を基準にすれば、温間ローラ加工法は、それぞれの材料に対し、約1.4倍および1.58倍の上昇である。

(4) すでに報告している $\phi 12$ の圧入軸の場合の1.3倍²⁾

に比べると、上記の疲労強度上昇比はかなり大きな値であり、温間ローラ加工法は、環状切欠部などの形状係数の大きいものに対しては、特に効果的な方法と思われる。

終りに、本実験を行なうにあたり、試験片の準備その他について、国鉄土崎工場・星野芳男、鉄道技研・高橋良治の両氏に負うところが大きい。ここに記して感謝申し上げる。

参 考 文 献

- 1) たとえば五弓, 日本機械学会誌, 71—597, 1364 (1968)
- 2) 齋藤, 小笠原, ほか2名, 塑性と加工, 12, 846 (1971)
- 3) 齋藤, 小笠原, ほか2名, 塑性と加工, 13, 825 (1972)
- 4) 齋藤, 小笠原, ほか2名, 塑性と加工, 14, 392 (1973)
- 5) 小笠原, 材料試験技術, 18, 43 (1973)
- 6) 日本材料学会編, "疲れ試験便覧" P.35 (1968) 養賢堂