

繰返打撃変形に対するサブゼロ処理の効果について (II)

近 藤 正 男

Deformation of the Steel : Hardened and Sub-zero
Treated, under the Repeated Blow (Report II)

Masao KONDO

The deformation of bearing steel JIS SUJ3 specimens under the repeated blow is studied, by the same method in my previous report [Bulletin of Faculty of Eng. Toyama University, Vol. 20 (1969)]

The test temperature is 100°C and 150°C and the number of blows is 6×10^4 , 12×10^4 and 18×10^4 .

The deformation of the specimen, sub-zero treated or marquenched, is 30~40% smaller than that of the normal heat treated specimen, and also smaller than that of the steel JIS SUJ2 specimen (refer to my previous report). The author presumes that these results are caused by the martensite transformation of the retained austenite under stress of the blow and the tempering of that martensite of the specimens heated under the test.

1. 緒 言

ころがり軸受が使用されるときには、繰返し荷重が加り、又摩擦によって温度が上昇するので、軸受が変形を起すが、その変形量が大きいときには、軸受の機能に相当の影響が生ずるので、変形量の少いことが望ましい。サブゼロ処理を施せば、経年変形を少なくすることが出来るが、同時にこのような加工変形に対して⁽¹⁾も抵抗の大きいことが期待される。本報告では、前回の鋼種 SUJ2 (軸受鋼第2種) に引つづき、鋼種 SUJ3 について、更に温度が上昇した場合について、変形を比較検討した。

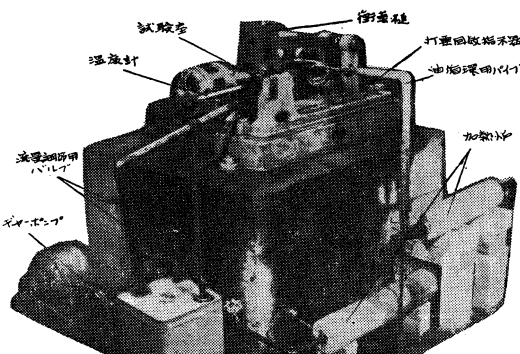
2. 試料及び試験方法

本試験に用いた軸受鋼は軸受鋼第3種 (SUJ3) で下記成分の熱間圧延焼鈍丸棒 (直径50mm, 長さ2m) から圧延方向に、厚さ5mm, 幅20mm, 長さ100mmに加工したもので、荒加工のときは+0.5mmのとり代をつけ、熱処理した後、砥石で研削し、000番エメリー紙で正寸に平面に仕上げた。

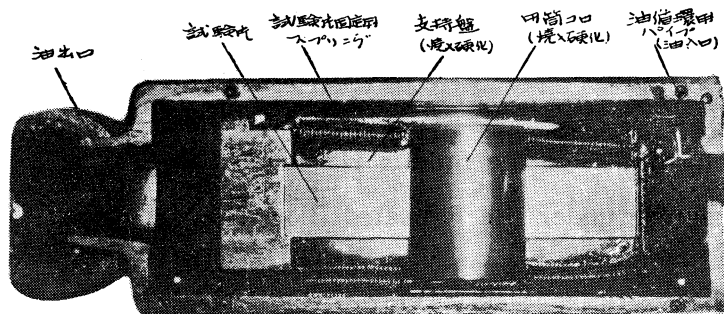
C 1.05%, Si 0.37%, Mn 1.04%, P 0.027%, S 0.006%, Cr 1.06%, V 0.055%,

熱処理は、Q (焼入), T (焼戻), S (サブゼロ処理), M (マルクエンチ) を次のように組合せて5種類とし、同一熱処理のもの2個を作った。

- (1) 記号Q-T: 830°C , 20分保持油焼入 (油温 30°C), 焼戻 160°C , 60分保持。
- (2) 記号Q-T-S-T: 同上処理後 -80°C に60分サブゼロ処理を施した後、更に 160°C に60分焼戻。
- (3) 記号M-S-T: 830°C , 20分保持後 150°C に保った油槽に60分保持 (マルテンパー処理) 後 -80°C に60分サブゼロ処理を施し、次いで 160°C に60分焼戻。
- (4) 記号M-T-S-T: 830°C に20分保った後 250°C の油槽に移し5分保ち (マルクエンチ),



図—1 松村式繰返打撃試験装置に試験片の加熱装置を取付けた写真



図一 本研究に使用した装置の試験片支持部の写真

60°Cに60分間焼戻し、次いで-80°Cに60分間サブゼロ処理を施し、160°Cに60分間焼戻し。

- (5) 記号M-T-T: 830°Cに20分保った後、上記のマルクエンチを施し、160°Cに60分間焼戻し後再び同様の焼戻し追加。

前報の松村式打撃試験機に図一1、図二に示すように、試験片を油槽中にセットし、加熱された油が油槽からギャポンで試験片に流れるようにした。

繰返打撃条件及び加熱条件は次の通りである。

衝撃荷重 50kgm
 衝撃速度 68回/分
 衝撃回数 6×10^4 , 12×10^4 , 18×10^4 回
 加熱油 #40タービン油
 加熱温度 100°C, 150°C

測定方法は次の通りである。

(1) 変形量

試験片を定盤上に置きミリメスを試験片と平行に定盤上で移動させて、試験片の中心線に沿って移動させた。変形量は5mm間隔で測定した。この測定は、試験片処理後24時間以内に行った。

表一 SUJ 3 の繰返打撃試験結果

試験片 番号	熱処理 方式	試験前 カタサ (Rc)	試験温 度 (°C)	打撃回数 6×10^4			打撃回数 12×10^4			打撃回数 18×10^4			試験順位
				変形量 (μ)	カタサ (Rc)	中心部 △	変形量 (μ)	カタサ (Rc)	中心部 △	変形量 (μ)	カタサ (Rc)	中心部 △	
S-1-1	Q-T	62.3	100	7.4	62.3	62.8	10.4	62.3	63.4	13.2	62.3	63.8	1
S-1-2		62.3		6.8	62.3	63.0	10.8	62.3	63.5				11
S-2-1	Q-T- S-T	62.6	100	4.0	62.6	63.0	6.2	62.6	63.2	7.6	62.6	63.4	7
S-2-2		62.7		3.6	62.7	63.2	6.0	62.7	63.5				17
S-3-1	M-S-T	62.4	100	4.2	62.4	62.8	7.0	62.4	63.2	9.0	62.4	63.2	3
S-3-2		62.3		4.0	62.3	62.8	6.0	62.4	63.4				13
S-4-1	M-T- S-T	62.3	100	3.0	62.3	62.7	5.0	62.3	63.0	7.8	62.3	63.2	9
S-4-2		62.5		3.4	62.5	63.0	6.0	62.5	63.0				19
S-5-1	M-T-T	62.0	100	4.6	61.8	62.5	7.6	62.0	62.8	11.0	62.0	63.2	5
S-5-2		62.0		4.8	62.0	62.7	7.8	62.0	63.2				15
S-1-3	Q-T	62.3	150	5.8	61.6	62.5	9.2	61.6	62.5	11.2	61.5	62.4	2
S-1-4		62.3		5.0	61.5	62.2	8.0	61.2	62.2				12
S-2-3	Q-T- S-T	62.5	150	3.0	62.2	62.5	5.2	62.0	62.4	6.7	61.8	62.2	8
S-2-4		62.7		2.6	62.3	62.8	5.6	62.2	62.7				18
S-3-3	M-S-T	62.4	150	3.4	62.0	62.5	6.6	61.7	62.3	7.8	61.3	62.1	4
S-3-4		62.5		2.0	62.0	62.5	4.8	61.6	62.2				14
S-4-3	M-T- S-T	62.4	150	2.4	62.1	62.5	4.5	61.8	62.3	6.8	61.5	62.0	10
S-4-4		62.4		3.0	62.0	62.5	4.0	61.7	62.4				20
S-5-3	M-T-T	62.0	150	4.2	61.5	62.2	9.0	61.5	62.2	8.0	61.2	62.0	6
S-5-4		62.0		3.6	61.4	62.0	7.0	61.4	62.0				16

△中心部とは打撃中心部のカタサを示す。非打撃部とは打撃の影響を受けない部分のカタサ。いずれの試験片も試験後打撃部に窪みは認められなかった。

(2) 打撃によるくぼみ量

試験片の中心線に沿って、打撃された面の凹凸を小坂式表面粗さ測定機で解針法ではかった、これによって打撃された部分がどの程度凹んだかわかる筈である。倍率縦方向300倍、横方向50倍。

(3) カタサの変化

打撃試験後のカタサの変化を Micro Vickers 硬度計（荷重500g）で、試験片の打撃面に於て、その長手方向に、その中心線ではかり、又打撃部に於て断面をとり、打撃表面から内部へのカタサの変化を求めた、カタサ分布測定は打撃中心部では、1mm間隔、その他では5mm間隔とした。

(4) 顕微鏡組織

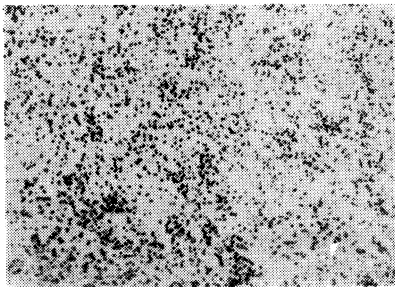
打撃中心部の表面を5%ピクラルでエッチして、ミクロ組織をしらべた。

3. 試験結果

(1) カタサの変化

試験前と試験後のカタサを表1に示した。打撃部から非打撃部へのカタサの分布状態は前報図2に示してある様であって、特に変わった点はないので、その打撃中心部のカタサを表1に併記した。

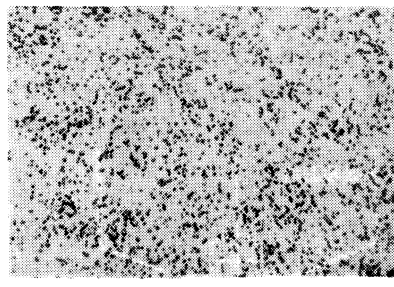
試験の結果は前報に示したと同様に、打撃中心部でピッカースカタサ30~50程度（ロックウェルカタサで0.5~1.0 前後）の硬化を示し、硬化量は変形量（後



(a) 試料番号 S-2-1

熱処理記号 Q-T-S-T

試験温度 100°C



(b) 試料番号 S-2-3

熱処理記号 Q-T-S-T

試験温度 150°C

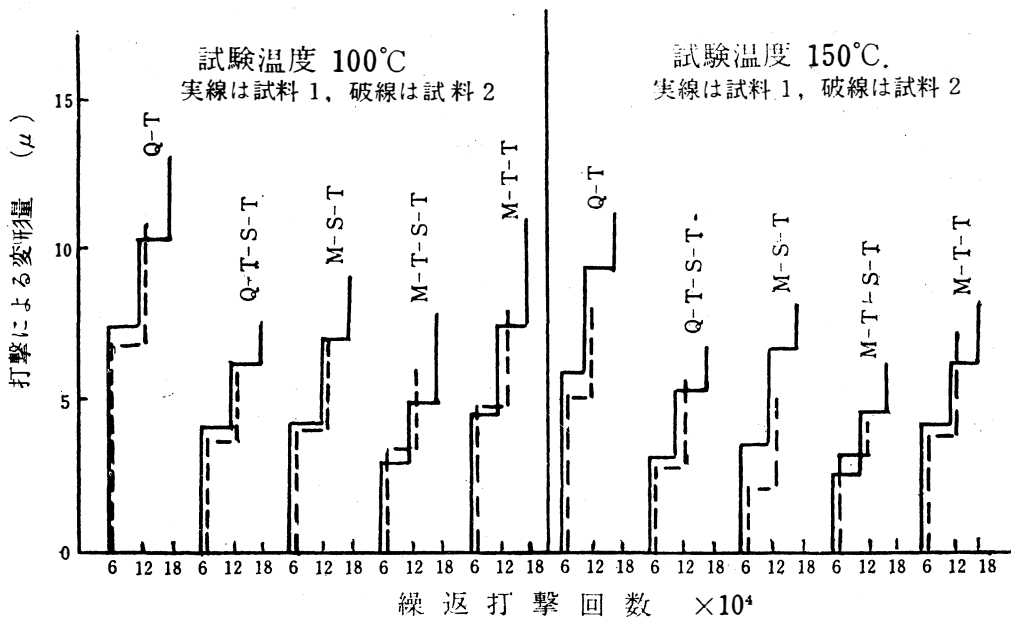
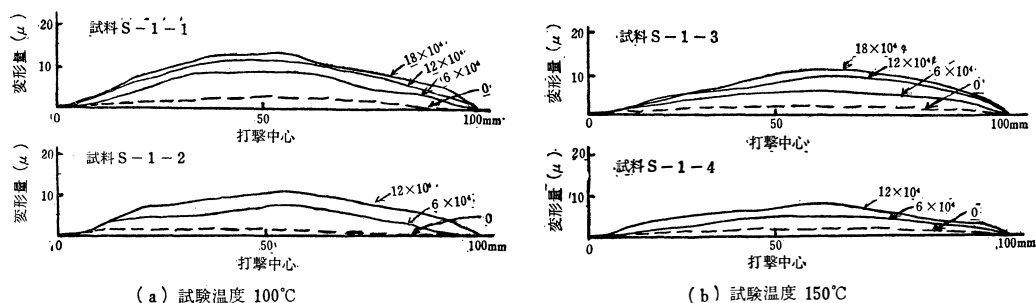
図-3 試験片打撃試験後、打撃中心部の顕微鏡組織、打撃回数 18×10^4 回 倍率 400倍

図-4 繰返打撃による変形（材質SUJ3）



図—5 試験片の長手方向の変形 実線は試験後、破線は試験前 横軸は試料の長手方向の長さ

記)の大きい熱処理(Q—T)試験片で比較的大きく、その他の試験片の間では大差がない。一般に変形量の大きい方がカタサの上昇も大きい傾向にある。試験温度 150°C にしたときは、打撃部のカタサが上昇するというよりも、長時間焼戻したために全体としてカタサが下っていて、(R_c0.7~1.0 ほど下り)硬度差を生じていると見られる。

試験片の裏面では、特に打撃によると思われるカタサの変化は見られなかった。試験片の打撃中心部で、表面に垂直な断面のカタサ分布は、前報図3に見られるように表面からある深さ迄がカタサが高くなっていることがはっきり見られるが、熱処理別あるいは試験温度による著しいカタサの差は認められず、かなりちらばりが大きく、表面から1~2.5mmの部分にカタサの変化部分があった。

(2) 顕微鏡組織

試験片の打撃中心部の表と裏、その他の部分との顕微鏡組織は特に明確な差がなかった。代表的な試験片としてQ—Tの熱処理をした後の、100°C試験のものと150°C試験のものとを図—3に示した。

(3) 繰返打撃による変形量

試験結果を図—4に示した。変形の状態は前報に示したと同様であって、変形方向は打撃面に凸になっている。打撃回数によって、変形量ははっきりと増加している。その代表的な変形量分布を100°C試験と150°C試験をした二三の試験片について図—5に示したが他の試験片もそれらと同様である。

変形量は図4に示すように、試験温度100°C、打撃回数 6×10^4 とした場合、Q—Tで $6.8 \sim 7.4 \mu/100mm$ 、Q—T—S—Tで $3.6 \sim 4.0 \mu/100mm$ 、M—S—Tで $4.0 \sim 4.2 \mu/100mm$ 、M—T—S—Tで $3.0 \sim 3.4 \mu/100mm$ 、M—T—Tで $4.6 \sim 4.8 \mu/100mm$ を示し、焼入焼戻だけのものが、変形量は最も大きく、サブゼロ処理とかマルクエンチ処理をしたものは変形量を30~40%減少させることが出来る。

一般的に、打撃回数の増すに従って変形は増すが、その増加率は減少して、変形量が飽和する傾向にある。

試験温度による影響は100°Cの試験に比べて150°Cの試験の場合の方が変形量は全体に若干少い傾向である。

打撃による表面の窪みはいづれも認められなかった。

4. 考 察

上記試験の結果について考察すると、この場合の変形量は、熱処理による急激な温度変化と変態によって生じた応力が、打撃によって変化することが主原因であろう。その他に試験片の製作のときの研磨加工による残留応力や打撃によって起る脆いマルテンサイトを生ずる微細なクラックの発生の影響が考えられる。それであるから、本試験の場合には、研磨には充分注意して、研磨によって起る応力の影響を出来るだけ少くしたし又試験後、エッチングして検鏡した結果、微細クラックも検出されなかったので、試験片の変形量については、上記主原因のみを考察すればよいと考えられる。

試験の結果からは(1)サブゼロ処理を施せば、油焼入したもの、マルクエンチしたもの共に変形量が減少している。(2)マルクエンチしたものの方が、油焼入したものよりも、同じサブゼロ処理—焼戻を加えても、変形量が少いこと。(3)マルテンパー—サブゼロ処理の組合せが、マルクエンチ—焼戻の組合せよりも変形量の少いことなどが見られる。

このことから、(1)サブゼロ処理を施すことによって、焼入直後ならば残留オーステナイト量を減少し、焼戻後ならば残留オーステナイトを安定化させるから、このことが打撃によって起るオーステナイトのマルテンサイト化に影響を與えていると考えられる。

(2)マルクエンチ又はマルテンパー処理では残留応力は減少するが、冷却速度が遅いので残留オーステナ

イトはむしろ多いことが知られている。この残留オーステナイトは安定化する傾向が強いので、このことが打撃による変形に影響していると考えられる。

(3) 試験片を150°Cで長時間保つことによって、全体としてカタサが低下していることは、マルテンサイトの $\alpha \rightarrow \beta$ 変態が更に進んだことを示しており、これが150°C打撃試験で若干変形量を減少させたと考えられる。

(4) 前報⁽¹⁾で示したS U J 2の結果と本報で示したS U J 3との結果を比較すると、S U J 3の方が全般にS U J 2よりも変形量が20~30%低い値を示しているが、これはS U J 2が総体的にS U J 3よりもカタサが約ロックウェル C 1低いことで、それだけベイナイト変態を伴っていたと考え、カタサが同一に熱処理されたときには、同程度の変形量を示すものと考えられる。

5. 総 括

以上、厚さ5mm、幅20mm、長さ100mmの平板試験片を定盤の上にのせて、その試験片の中央長手方向に直角に、直径30mm、長さ40mmの円筒を置いて、松村式繰返打撃試験機で繰返打撃を与えた。その結果

(1) 繰返打撃変形量は、サブゼロ処理或はマルクエンチを施したものでは、他の処理のものに比べ30~40%少い。

(2) 試験温度150°Cの方が、100°Cのものより、変形量は少い。

(3) 変形は打撃面が凸になり、打撃回数が多い程変形量が大きいが、その増加率は打撃回数と共に少くなり、飽和する傾向にある。

(4) カタサは打撃中心部でロックウェル C 0.5~1.0 前後高くなり、硬化度は一般に変形量に応じて大きくなる傾向にある。

(5) 打撃による試験片表面の窪みは認められない。

(6) 顕微鏡組織には打撃の影響は認められない。

(7) 前報⁽¹⁾に示したS U J 2の試験結果と比較すると、本報の変形量は20~30%少いが、これは熱処理カタサが異なるからで、同じカタサに熱処理された場合には、変形量に殆んど差がないと考えられる。

本研究は、昭和36年(1961年)10月15日、日本金属学会第49回大会(秋田)で発表したものの一部を増補したものである。この研究に多大の協力をされた、不二越技術研究所の中本譲君の労に謝意を表する。

文 献

- (1) 近藤:富大工紀要, 20 (1969), 126
 - (2) E.B.Mikus, T.J.Hghel, J.M.Gerty, A.C. Knudsen: Trans. ASM 52 (1960)
 - (3) 服部, 浅見:鉄と鋼, 42(1956), 556, 969, 1053.
 - (4) 安田, 村治:鉄と鋼, 40 (1954), 1066.
 - (5) 上野, 三橋:鉄と鋼, 39(1953), 722.
- 日本金属学会第49回大会 (秋田)で講演
【昭和36年(1961年)10月15日】