

ナイト化試料では低下する。なお、この場合の深冷処理による圧壊値低下の原因は、やわらかい残留オーステナイトのクッションが深冷処理でのぞかれることよりも、むしろ深冷処理中にあらたに生ずる tetragonality の大きいマルテンサイトが内部応力またはマイクロクラックを助長することにあると考えるべきであろう。

V. マルテンパー処理

本鋼種ではオーステナイト化温度 830~850°C の場合その Ms 点は 200°C 付近にある。したがって、100~250°C の油中に焼入れし、種々の時間保持後空冷する、いわゆるマルテンパー処理をほどこした結果について実験した。

マルテンパー直後の試料についておこなった焼戻熱膨脹試験、検鏡、比抵抗、硬度および磁気強度の測定、などの結果より、マルテンパー処理中におこった組織変化の概況をあらかじめ把握した。それによると、200°C 以下のマルテンパーでは恒温保持中にオーステナイトの安定化が漸次進行し、次後の空冷中一部マルテン化するもの、常温で多量のオーステナイトを残留する。250°C マルテンパーでは下ペーナイトへの恒温変態がおこり、これは約 40 分ではほとんど完了する。

マルテンパー処理の試料ではマルテンサイトの生成が油中焼入れ後の空冷中に徐々に進行し、マイクロクラックの発生を抑制するので、その 150°C 焼戻後の圧壊値は油冷焼戻試料に比して全般的に高い。しかし、焼入および焼戻硬度の低下がいちじるしくて、規格をみたすためにはマルテンパー処理温度は 150~100°C 以下でなければならない。なお、マルテンパー処理後の 150°C 焼戻に際しては硬度はほとんどかわらないが、焼戻なしでは圧壊値はきわめて低い。これは油中焼入れ後の空冷中に生成するマルテンサイトによるものと思われる。

VI. 結 言

軸受鋼第 2 種輪材について、焼入前の球状炭化物の粒度の異なる 2 種の材料について実験をおこない、硬度および圧壊値の両性質の向上には細粒炭化物組織がのぞましいことがわかった。さらに深冷処理およびマルテンパー処理の効果を検討したが、これら特殊処理は実用的には大して有効とは思えないが、いろいろ興味ある結果をえた。

(84) 軸受鋼 SUJ 3 ころ材に発生する白雲状砂疵について

On the Smaller Sand Marks of Cloudy Appearance in Roller Bearing Steel SUJ 3.

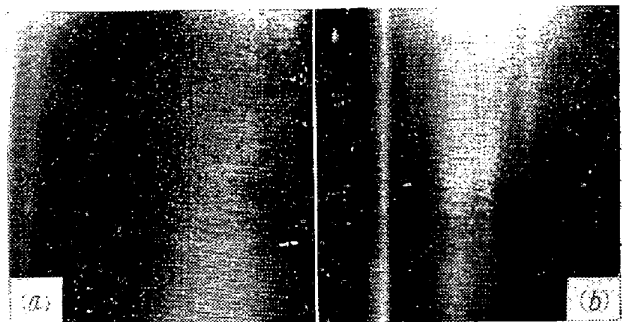
Yoshimichi Matsumoto, et alius.

日本特殊鋼

出口喜勇爾・○松本 嘉猷

I. 発生状況

軸受鋼 SUJ 3 ころ材を 3 段削して疵検査をする際に認められるところの、白雲状砂疵と称せられる微小疵ならびに fiber の発生状況は、Photo. 1(a) に示すごとくであつて、あたかも白雲がたなびいたとき外観を呈する。いま不良品と判定された No. 1~4 の $\phi 55$ mm 圧延材 4 チャージおよび任意に抽出した在庫良品 No. 5~9 の 5 チャージにつき 3 段削（後述切削条件を考慮しないで）して微小疵ならびに fiber の検査を行なつた結果は Table 1 のとおりであつて、前記 Phot. 1(a) は No. 1-T2



(a)=No. 1, T2, 2/3D (b)=No. 5, T2, 2/3D

Photo 1. Appearance of smaller sand marks & fiber.

の 2 段目、同 (b) は比較のために No. 5 のそれを示す。また不良の一原因が fiber にもよると思われるがこれはかかる鋼片の縦断面を圧延方向と直角方向にセーパー仕上して見ると fiber structure が仕上面の光沢の相違となつて現われ、これが円周面を旋削する際にも発生することが推察されるからである。しかしこのように縦断面を切削した際に現われる fiber には良、不良のチャージ間でいちじるしい差異は認められなかつた。

つぎにこれらの旋削面および鋼片の縦横断面をマクロ腐蝕した結果によれば、マクロ組織に認められる条溝は加工面に発生する fiber と一致していることがうかがわれ、横断面に発生する pit は非金属介在物によるものと、炭化物周辺が acid attack されたものとの両者が考えられるが pit の数は後述する介在物の多少とよく一致していた。

Table 1. Examination of microcracks and fibers.

No.	Position	1st step D-5		3rd step ($\frac{2}{3}D$)	3rd step ($\frac{1}{3}D$)	Evaluation	Dia.
		1 time	3 time				
1	T 1 T 2	Nil Nearly nil	Little (small flaws) "	Many (small flaws)	The same as in the left	No good	$\phi 55$
2	T 1 T 2	Many (small flaws) "	Many (small flaws) "	"	"	"	"
3	T 1 T 2	Many (long flaws) "	Many (long flaws) "	Many (big & small flaws)	"	"	"
4	T 1 T 2	Little (small flaws) "	Many (small flaws) "	Many (stripes other than flaws)	"	"	"
5		A few fibers occurred				Good	$\phi 45$
6		Excellent				"	"
7		"				"	$\phi 50$
8		"				"	"
9		A little (small flaws)				"	$\phi 85$

Table 2. Sand marks and A & B type inclusions of test billets.

No.	Sand marks T 2			Number of A & B type inclusions						Size of billet ϕ mm	Inspection result
	D-5mm	2/3 D	1/3D	T 1	T 2	Inspection area cm ²	Number per unit area cm ²				
	Total number—Total length—Max. length			Total number—Total length— Max. length—>0.1 mm			A + B type	A type only	>0.1 mm		
1	9-6.1-2.0	17-17.2-2.7	0	240-6.02-0.40-3	173-4.93-0.3-8	0.248	967	943	12	55	No- good
2	14-7.2-2.7	6-3.0-1.6	0	203-5.63-0.10-3	164-5.82-0.28-9	"	818	790	12	"	"
3	Very much	Very much	Very much	115-4.99-0.30-13	155-9.32-0.40-27	"	463	447	56	"	"
4	8-3.5-1.2	9-9.6-2.5	0	92-3.34-0.34-5	128-4.19-0.20-11	"	371	343	20	"	"
5	5-4.6-2.6			155-5.35-0.12-6		0.206	752	680	28	45	Good
6	1-0.5-0.5			190-5.04-0.10-2		"	922	888	10	"	"
7	6-1.8-0.5			166-4.61-0.13-5		0.230	721	644	22	50	"
8	6-2.7-1.0			77-1.36-0.06-0		"	335	326	—	"	"
9	2-0.9-0.6			251-7.44-0.30-9		0.391	641	634	23	85	"

Nate. T: Top of ingot, D: Diameter of billet

II. 砂疵および非金属介在物との関連性

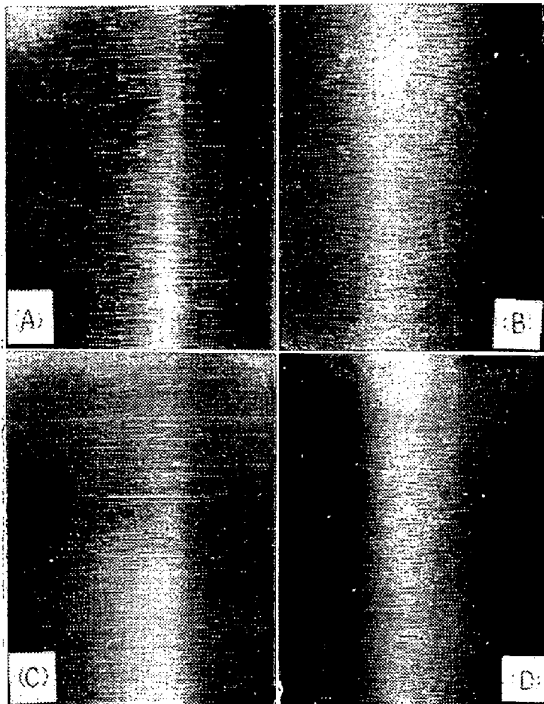
Table 2 に示すごとく、これらの試料の砂疵の数は、これを単位面積当りに換算すれば、No. 3 を除き、良、不良間に差異は認められない。検鏡した A, B, C 系介在物の種類に関し各種腐蝕試験を行なつて検討するとともに、A, B 系介在物の個数、長さを顕微鏡により測定し前表に併記した。No. 3 は大きい介在物が多く 1 cm² 当り 0.1 mm 以上のものが 56 個も発生しており、これが砂疵となつたことが分る。

No. 4 および 8 は介在物の総数が少ない方であるが、いずれにしても 326~943 個/cm² という多数の介在物を含

有し、大半は A 系でしかも 0.05 mm 以下の長さのものが大部分であつて、この多数の介在物が白雲状砂疵の主因をなすことがわかつた。

III. 切削条件

微小砂疵の顕出の難易におよぼす切削速度ならびにバイトの刃先角度の影響を検討した結果によれば、微小砂疵は切削速度が早く、バイトが尖鋭な場合によく顕出し、速度が遅く、バイトの刃先角が大きい場合に顕出しがたくなる。切削速度が早い場合バイトが硬い介在物に当り振動が起り grating を発生し、これが肉眼的不規則となりやすく、また回転が早く刃先が尖鋭な場合パイ



(A)=No. 3, r.p.m. 370, 59 m/mn, 0.2mmr
 (B)= " , r.p.m. 260, 41 m/mn, 0.7mmr
 (C)=No. 10, r.p.m. 370, 47 m/mn, 0.2mmr
 (D)= " , r.p.m. 260, 33 m/mn, 0.7mmr

Phot. 2 Appearances of smaller sand marks & fibers which are changed by cutting conditions

ト目が細かく仕上面が美麗であるので不規則さが顕著になると考えられる。例えば Phot. 2 において, No. 3 できさえも r.p.m. をおとし刃先を丸くすれば (A→B) 砂疵が比較的目立たなくなり, 在庫良品 No. 10 も r.p.m. を上げ刃先を尖鋭にすれば (D→C), fiber が目立つてくることが認められる。

IV. 非金属介在物の変化

上述した結論をさらに再検討するために, 各過程における介在物の変化を顕微鏡試験, point counting, 化学分析, 各種腐蝕試験, sulphur print などで検討した。その一例を Table 3, 4 に示す。さらにマクロ試験, 段削りによる砂疵検査を行なった。

これらの諸試験結果により SUJ3 ころ材に認められる白雲状砂疵は多数の A&B 系 (主として sulphide, alumina) 介在物に基因し, fiber structure がこれの顕現を助長することを知った。

Table 3. Change of inclusions during manufacturing processes.

Sampling period		Amount of non-metallic inclusions by point-counting %				Number of inclusions			
		No. 11		No. 12		No. 11		No. 12	
		A type	C type	A type	C type	A type	C type	A type	C type
Melt down		0.025	0.021	0.054	0.004	124	47	130	30
After analysis		0.017	0.050	0.066	0.0	107	72	208	16
Before tapping		0.029	0.042	0.033	0.021	118	103	59	35
Ingot No. 2		0.048	0.024	0.042	0.017	91	89	113	42
Bar (φ 50mm)	T 1	0.050	0.008	0.046	0.0	178-5.80-0.35-11*		119-2.71-0.10-1*	
	T 2	0.108	0.025	0.039	0.025	145-4.76-0.30- 7*		110-3.63-0.40-5*	
	Mean	0.079	0.019	0.042	0.014				
Sampling period		Amount of non-metallic inclusions by chemical analysis %							
		No. 11							
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Mn ₃ O ₄	Total		
Melt down		0.00048	0.00037	0.0022	0.000016	0.00096	0.00384		
After analysis		0.00038	0.00021	0.00502	0.000013	0.00185	0.00778		
Before tapping									
Ingot No. 2									
Bar (φ 50mm)	T 1	0.00078	0.00034	0.00331	0.000034	0.00324	0.00764		
	T 2								
	Mean								

Note * On the A & B type inclusions, total number-total-length-max. length->0.1 mm

Table 4. Forging ratio and size of inclusions.

No.		φ 150 mm Billet									φ 50mm		
		Outer part			Center part			Mean			L	W	L/W
		L	W	L/W	L	W	L/W	L	W	L/W			
11	T 1	15.1	3.2	4.7	16.3	4.1	4.0	15.5	4.1	3.8	17.8	2.5	7.1
	T 2	13.8	3.5	3.9	13.8	4.3	4.1	12.2	3.8	3.2	22.5	2.1	10.6
12	T 1	9.2	3.0	3.1	12.5	3.4	3.7	10.4	3.1	3.4	12.0	1.4	8.3
	T 2	11.2	2.7	4.1	14.1	3.5	4.0	12.6	4.1	4.1	16.1	1.4	11.6

Note: \bar{L} = Mean length, \bar{W} = Mean width, unit = μ

(85) 軸受鋼の疲労現象

Fatigue Phenomenon of Ball-Bearing Steel.

Iku Uchiyama, et alii.

金属材料技術研究所

工〇内山 郁・工修星野明彦・工 上野 学

I. 緒 言

軸受の耐久性向上の問題については、著者らが数年来研究し、発表してきたが、本報告では、軸受のくりかえし疲労によつて生ずると考えられるいわゆるフレーキング現象を光学的、あるいは電子顕微鏡的な二、三の方法によつて観察を行つたので、その結果を報告し、若干の考察を述べる。

II. 軸受における疲労

回転している軸受では、内輪の軌道面上をボールが自転しながら公転して内輪の回転方向に転つている。その際に内輪とボールの間にはほとんど送り現象をとまなわない。ゆえに、現象的には、軸受鋼は潤滑油の存在のもとで、送りをともなう摩擦現象よりも、むしろ疲労現象をうけている。しかし、軸受鋼の疲労は、ボールと内輪との間のヘルツの接触楕円における点接触部分のくりかえし疲労と考えられ、一般の材料試験における疲労現象とは少し様子が異なる。軸受がある時間回転すると軌道面に“フレーキング”あるいは“ピッチング”が発生するが、これは軸受鋼の疲れ現象によるものと考えられる。既報の早期寿命試験機(“鉄と鋼” Vol. 44 (1958) No. 9, p.1105)によりニードルの試験を行い、応力(ヘルツの理論による最大接触圧力をとる)に対するフレーキングを生ずるまでのくりかえし回数の分布をとると、Fig. 1 のようになる。すなわち、応力の低いところでは、くりかえし回数のバラツキが大きく、 $10^7 \sim 10^8$ 回にわたつている。一方、高いところでは、バラツキが少なく

り、くりかえし回数が多い時には焼付きの現象がみられることがある。

III. 実験および観察方法

(1) 実験試料

供試材として SKF 軸受鋼パイプ材および国産市販軸受鋼(SUJ-2)を用い、その圧延方向よりφ3mm×18mmの試験ニードルを削り出し、840°C×1/2h 鉛浴加熱後油冷し、150°C×1h 焼戻した。これをφ2.81mm×18mmに研削し超仕上げした。

(2) 試験条件

上記ニードル試験片を早期寿命試験機によりくりかえし疲労を与え、最大接触圧力(P_{max.})が444 kg/mm²および494 kg/mm²の条件において、フレーキングの生じた場合(Fig. 1においてab線より右側の範囲)およびフレーキングを生じない前に試験を止めた場合(ab線の左側に属する)の試験片を観察した。

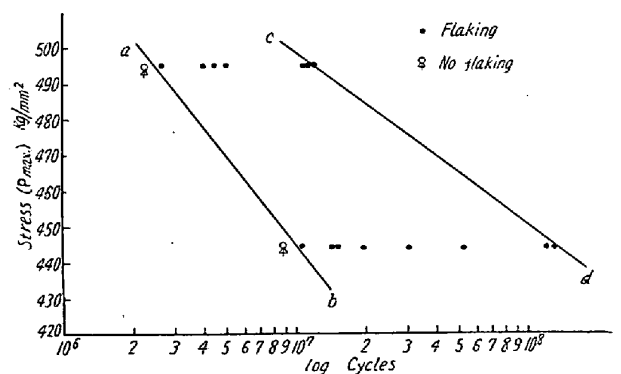


Fig 1. Relation between stress and log. repeated cycles.

(3) 観察方法

つぎの3つの方法を採用した。

(i) アセチルセルローズ膜による方法

試験片が3mmφの円筒形のため、軌道面の状態およびフレーキングの穴を光学的顕微鏡で観察することは、