

文 献

- 1) A. P. WEAVER: Trans. Amer. Soc. Metals, 49 (1957), p. 497
- 2) W. SIMON: Trans. Soc. Auto. Eng., 69 (1961), p. 69
- 3) 荒木, 小柳, 大橋: 鉄と鋼, 43 (1957) 3, p. 400
- 4) 小柳, 荒木, 大島: 鉄と鋼, 49 (1963) 10, p. 1487
- 5) 小柳, 荒木, 松隈: 鉄と鋼, 49 (1963) 10, p. 1481
- 6) J. H. NEAD, et al.: Metal & Alloys, 10 (1939), p. 109
- 7) T. SWINDEN: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), (1943) 11, p. 441

(146) 合金肌焼鋼および同含鉛鋼の転動疲労特性について

金属材料技術研究所	工博○荒木	透
本田技術研究所	大沢	恂
山陽特殊製鋼	鳥谷	徹
遠藤鉄工所	大橋	久道
金属材料技術研究所	平井	春彦

On the Rolling Fatigue Characteristics of Case Hardened Alloy Steels with and without Lead Addition.

Dr. Tōru ARAKI, Makoto OSAWA,
Toru KARASUDANI, Hisamichi OHASHI
and Haruhiko HIRAI.

I. 緒 言

最近、主として自動車工業の合理化にともない部品の切削工程における生産能率が重視される。そこで被削性のよい合金肌焼鋼の使用に関心が持たれ、快削鋼種の使用度が高まり生産数万トンの需要が見られる現状にある。これらの鋼の疲労特性、とくに繰返し曲げ応力による疲労などについて従来から研究¹⁾が多く行なわれているが、接触応力による転動疲労についての精しい研究報告²⁾が少ない。

本報ではギヤー、ピン、シャフト材にもつとも普遍的に用いられている SCM22, SCr22 系の浸炭熱処理材について、接触繰返し応力による転動疲労特性を早期寿命、スラスト型寿命試験機を用いて研究調査し、鋼中に分散する鉛の影響、サブゼロなどの熱処理条件、合金元素、浸炭条件などの効果について検討を行なった。スラスト型寿命試験では、SCM22 および 22F (含鉛材) を小型鋼塊および実用中型鋼塊から製造した試料について相互比較を行なった。

II. 供試材および実験方法

供試材の化学成分、加工浸炭、熱処理条件などを Table 1 に示す。

B グループにはアーク炉で溶製した 400 kg 鋼塊を鍛造比 19~20 以上に加工したものを使用している。

A, C グループは高周波炉で溶製を行なっているが C

グループは鉛含有量を同一チャージで変化させるため 20 kg の小型鋼塊を使用しており鍛伸比約 2 程度および据込みを行なつたものである。

これらの試料はいずれも機械加工後、930°C の一定温度でガス浸炭を行なつており浸炭完了後油焼入れ、ないしマルクエンチを行ない 150°C 前後で焼戻しを行なつた。

B グループについてはいずれもサブゼロ処理を行なつた試料をも用意し (-70°C, 1 時間保持) 後の実験で焼戻し材との比較に供した (B-10, B-20, B-30, B-40)。

A グループの試片は丸棒状 (5φ×30) ニードルローラーの接触応力を変えて早期転動寿命試験法³⁾により試験した。なお応力繰返し速度は油潤滑下で 31,000 cycle/min である。

B, C グループにはスラスト型転動寿命試験機⁴⁾で試験した (接触応力は 450 kg/mm² に一定)。試験片は円板状 (55φ×5) としケース下部にとりつけ、この上を転動するスラストベアリングボールと接触する。繰返し数は試験機上部の回転計で測定し、フレーキングの発生は荷重をかけるカンティレバー上に振動ピックアップをとりつけ電氣的に検出する。両者の潤滑剤にはいずれも 60 番スピンドル油を使用し、応力繰返しは 900 cycle/min である。

III. 実験結果

(1) 早期寿命試験

SCM22 材の転動寿命は鋼中に分散する鉛粒によつてかなり低下することが繰返し速度の早い本実験法によつてすでに確かめられている²⁾。

本報では試験材の Hertz 接触応力を 223, 300, 369 kg/mm² に変化させた場合のフレーキング発生までの繰返し数測定を行なった。従来の試験結果より転がり疲労試験のバラツキはほぼ対数正規分布をなすことが知られているので、上記結果を対数確率紙にプロットすると Fig. 1 のようになった。これによると荷重が増加するに

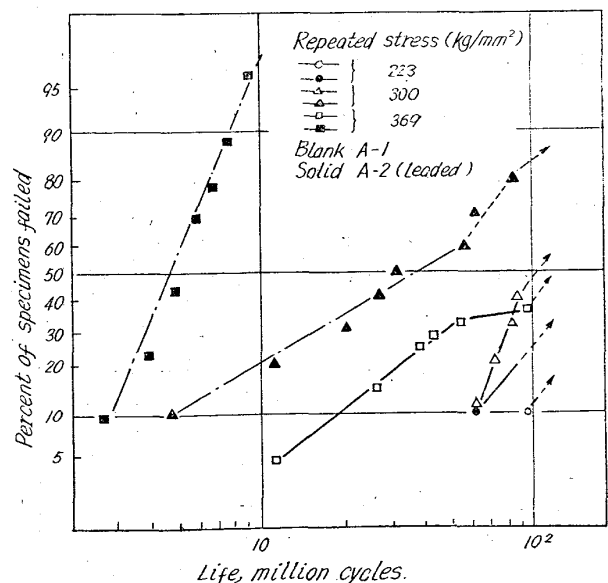


Fig. 1. Rolling fatigue of specimen made of H. F-melted A group steel.

Table 1. Identification and chemical composition of specimens.

Test group	Number of specimen	Steel type	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Pb	Melting practice	Charge weight
A	A-1	SCM22 (SCM22F)	0.19	0.23	0.78	0.014	0.022		1.04	0.26			H. F.*	500 kg
	A-2		0.19	0.23	0.78	0.014	0.022		1.04	0.26		0.24		
B	B-1	SCM22 (SCM22F)	0.19	0.35	0.78	0.017	0.009		1.07	0.15			Basic arc furn.	8~13 t
	B-2		0.20	0.26	0.76	0.012	0.009	0.08	1.02	0.16	0.17	0.16		
	B-3	SCr22 (SCr22F)	0.22	0.32	0.71	0.017	0.009		1.02					
	B-4		0.21	0.28	0.72	0.010	0.011	0.08	1.02		0.15	0.20		
C	C-1	SCM22 (SCM22F)	0.19	0.33	0.78	0.011	0.028	0.012	1.08	0.28	0.19	—	H. F.*	150 kg
	C-2		0.19	0.33	0.78	0.011	0.028	0.012	1.08	0.28	0.19	0.03		
	C-3	SCM22 (SCM22F)	0.19	0.33	0.78	0.011	0.028	0.012	1.08	0.28	0.19	0.11		
	C-4		0.19	0.33	0.78	0.011	0.028	0.012	1.08	0.28	0.19	0.23		

Test group	Number of specimen	Steel type	Ingot weight	Forging ratio	Heat treatment	Case depth	Size and shape of specimen
A	A-1 A-2	SCM22 (SCM22F)	210 kg	~20	930°C Carburizing→O. Q. →180° temper	~0.6mm	Needle roller (5 f × 30)
B	B-1 B-2 B-3 B-4	SCM22 (SCM22F) SCr22F (SCr22F)	360~ 400 kg	20~31	930°C Carburizing→A. C. (6 hr) 830°C (15')→O. Q.→150°C temper→or subzero treated**	1.0~1.2	
C	C-1 C-2 C-3 C-4	SCM22 (SCM22F) SCM22 (SCM22F)	20 kg	~2 +upsetting	930°C Carburizing→A. C. 830°C (15')→150°C marquenched →150°C temper	0.6~0.8	Disk (60 f × 5)

* High frequency furnace.

** Subzero treated at -70°C 1 hr

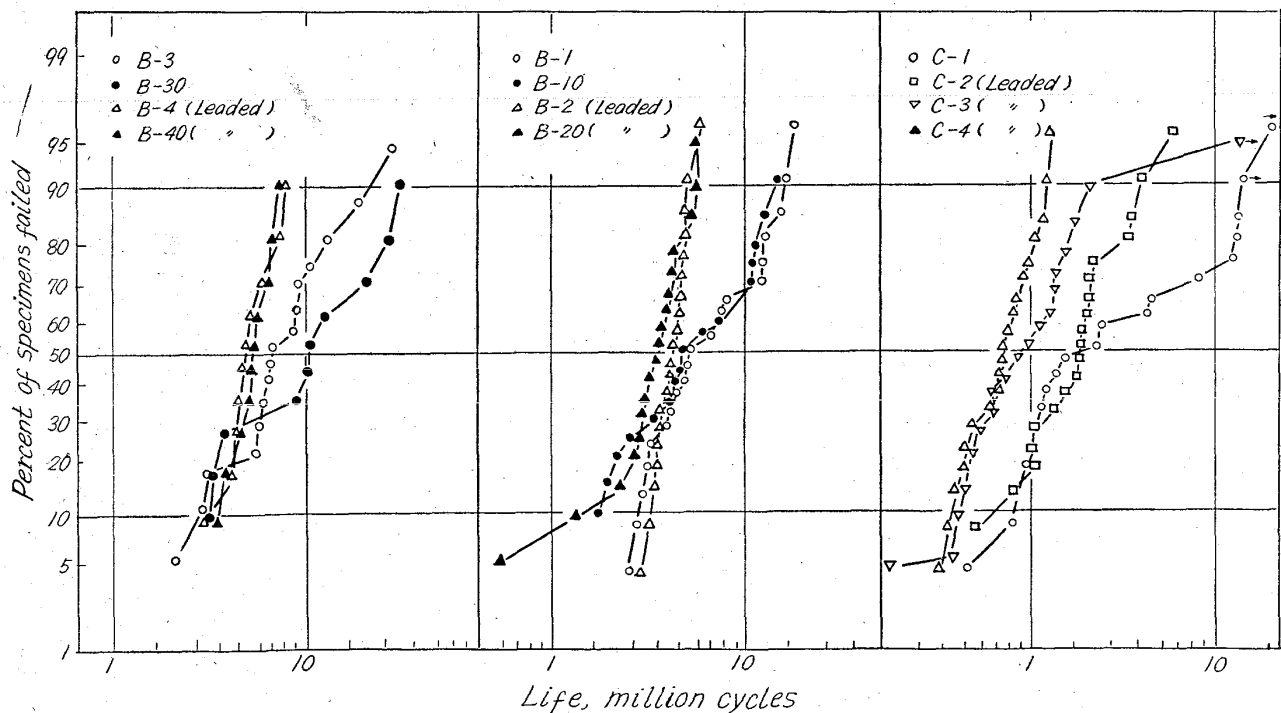


Fig. 2. Rolling fatigue of specimen made of H. F., Basic arc melted B & C group steel.

つれて繰返し寿命のバラツキの減少するのが見られ、鉛を添加した A-2 とベース材 A-1 の間に荷重の増加とともにかなりの有意差の観察されることがわかった。

223 kg/mm² の接触応力ではかならずしも含鉛による差は認め難い。

(2) スラスト型寿命試験

B, C グループについてスラスト型寿命試験機による試験を行なった。(1) と同じくフレーキング発生までの繰返し数の対数と確率 (%) の関係を求めると Fig. 2 のようになった。これによると SCM22 系 (B-1, 2), SCr22 (B-3, 4) の間にはほとんど有意差が観察されず Mo の有無にかかわらずほぼ同一の結果をえている。これに対して C グループ (小溶解) 試料では繰返し数がかなり低レベルにあり、B グループに比してオーダーが低下していることがわかる。これは前者の実験溶製の条件と小鋼塊のため鍛圧比が 2 程度であることなどが原因していることは後述のとおりである。つぎに各グループのベース材と含鉛鋼の比較を行なうと、ベース材ではフレーキング発生までの繰返し寿命のバラツキの大きいのに対し後者では著しく揃ってくるのが認められる。この現象はかなり顕著であり従来の早期寿命試験で観察された鉛の有無による著しい寿命の有意差も観察されない。寿命特性は鉛の添加によつて悪化せずむしろ改善部分の認められるところさえある。

焼入処理後サブゼロを行なったベース材では無処理のものとはほとんど差異の認められないのに対し、鉛添加を行なった材料ではバラツキの巾に有意差が認められサブゼロ材にかなりの分布巾増加が認められる。

これらについての原因をさらに調査するため試料転動面付近の清浄度の測定 (点算法) および鋼中に分散する

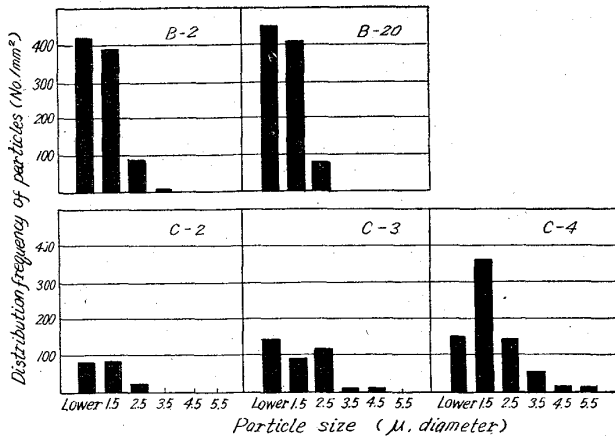


Fig. 3. Lead particle size distribution of B & C group.

鉛の粒度分布測定を行なった。結果の代表を Table 2 および Fig. 3 に示す。

C グループでは清浄度のかなり低下しているのが認められ、とくに C 型介在物の増加が著しい。また鉛粒の分布でもかなりの相違が認められ、C グループ、とくに C-4 において 2 μ 以上の鉛粒が多数観察されていることがわかった。さらに B, C グループについて浸炭表面部の微小硬度測定を行なった。結果を Fig. 4 に示す。

B グループではサブゼロ処理材に著しい硬度上昇が認められ焼入硬化層が広く浸炭表面硬度は鉛の添加によつて変化せずほぼ一定であり (無処理材 HRC 61, サブゼロ処理材, HRC 65) 両者ともに硬度の減少傾向は緩やかである。つぎに C グループでは焼入処理にマルクエンチを行なつておりコア部の硬度が低く、ケース部からコア部にいたる傾斜は急激に変化している。

ここでも鉛粒による硬度低下はほとんど認められず表面部ロックウェルカタサに一致が見られた。

IV. 考察および総括

本実験の結果を通覧すると、早期寿命試験では鉛粒の

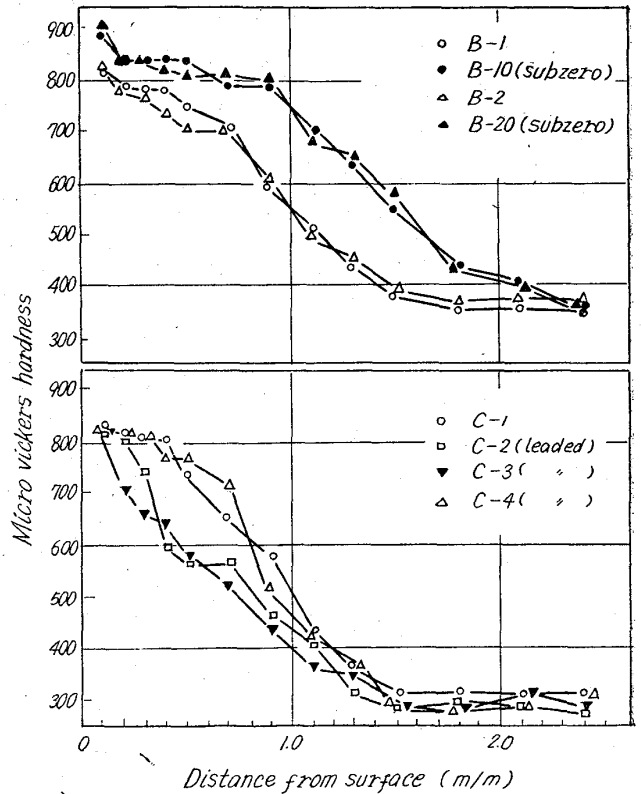


Fig. 4. Hardness distribution of carburized layer. (Load 200 g).

Table 2. Cleanliness rating of B & C group steels (area %).

Specimen	B-1	B-10*	B-2	B-20*	C-1	C-2	C-3	C-4
Classification								
d A ₆₀ × 400	0.08	0.08	0.08	0.04	0.12	0.08	0.06	0.04
d B ₆₀ × 400	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.03
d C ₆₀ × 400	0.03	0.04	0.03	0.07	0.13	0.13	0.14	0.20
d ₆₀ × 400	0.12	0.15	0.13	0.12	0.27	0.22	0.23	0.27

* Sub zero treated (-70°C, 1 hr).

影響がかなり認められるのに比し、スラスト寿命試験ではほとんど差異が認められない。これは繰返し速度の速い前者の試験中疲労の進行とともに微少局所の温度上昇による影響¹⁾によるものと推定される。

さらに両試験法ともに鉛粒が鋼中に介在物として多量に存在するとバラツキの巾が著しく減少するのが観察される。これは高応力下において、ミクロ的な内部の応力集中源を提供する剛性率の異なつたいろいろの介在物粒子の貢献の度合い、マトリックスと鉛粒および他の介在物とのぬれ(界面)特性、転位と粒子との反応機構などが主なる鍵となつているものと考えられるがさらに電顕などによる観察実証が必要であろう。なおサブゼロ処理を施した硬度の高いものはバラツキの巾が広く観察され、これらの現象に一つの示唆を与えるものと考えられる。以上鋼中の介在物の分布の様相の外にも、浸炭層の厚さ、ケース、コア部の熱処理硬度が実験結果に若干の因子となつている。以上を総括すると

(1) 早期転動寿命試験, スラスト型転動寿命試験を浸炭熱処理を施した SCM22 (SCr22) および含鉛材について行ない、応力繰返し速度の高い前者試験では鋼中鉛の影響の著しいことを認めたが一方スラスト寿命試験では Pb および Mo の有無によりほとんど差異の認められないことを知つた。これは高速の場合試験進行とともに局所的な温度上昇による影響が無視できぬことが一因であろう。

(2) SCM22, SCr22 に鉛を分散するとフレーキング発生までの繰返し数のバラツキが著しく減少し揃つてくることを認めた。しかしサブゼロ処理を行なうとバラツキの巾にわずかながら増加が認められた。

文 献

- 1) 浅田, 他: 電気製鋼, 31(1960), 鉄と鋼, 49(1963), p. 1492
- 2) 関口, 他: 日本機械学会誌, 63(1960), p. 726
- 3) 上野学, 中島, 他: 金材技術研報告, 4(1961)2, p. 73~79
- 4) 荒木透, 小柳, 大橋: 鉄と鋼, 44(1958)9, p. 1097
- 5) 荒木透, 谷他: 鉄と鋼, 49(1963)10, p. 1490

(147) バネ式マルチ・クリープ破断試験機について

東京大学工学部 工博○藤田利夫

On the Spring Type Multi-Creep Rupture Testing Machine.

Dr. Toshio FUJITA.

I. 緒 言

最近マルチ・クリープ破断試験機としてわが国では英国の Swinden 型式のものが比較的多数利用されている。しかしこれはかなり高価であるため長時間(数万時間)のクリープ破断試験を多数行なうにはかなり不経済である。著者らは、さきに Swinden 型式のものを改良して伸び測定も連続に行なえる比較的簡単なものを試作した

が、本報ではさらに横型で荷重をバネでかける非常に簡単なものを試作し、1年程度運転したので、その結果について述べる。

II. マルチ・クリープ破断試験機

(1) 試験機本体

Fig. 1 に示すごとく試験機でバネにより荷重をかけ、最大荷重は 0.8 t である。バネの引張りでは正確な荷重が得られないため、圧縮を利用して試験片には軸方向に正確な引張り応力がかかるように設計している。また補助バネにより破断時に他の試験片に衝撃がかからないように工夫をしている。このようにして試験片にかかる応力は常に試験荷重の $\pm 1\%$ 以内(直径 6mm の試験片を使用して、 2 kg/mm^2 程度の応力で試験する場合は、約 $\pm 2\%$ の誤差を生ずる)に保持することができる。ただし試験片の伸びに応じてバネをしめて、規定応力にしなければならないことは勿論のことである。

また試験温度は $550^\circ\sim 650^\circ\text{C}$ で、しかも最大応力が 0.8 t であるため試験機の引張棒は SEH4 の耐熱鋼を使用し、試験機の価格をできるだけ安くするようにした。

(2) 試験片

マルチ・クリープ破断試験機の試験片は小さい方が多数同時に試験ができて有利であるが著者はシングル型式の試験機と併用するため従来のものと同じ寸法のものを使用し標点距離 30mm, 直径 6mm, 全長 70mm, としている。試験片の伸び測定は連続的に行なわず破断までに数回必要に応じて電気炉からとり出し伸び測定を行なう方法を採用している。

(3) 電気炉および温度調節

電気炉は外径 450mm, 内径 150mm, 長さ 600mm にし、発熱体はニクロム線 ($1.6 \text{ mm } \phi$) を使用し、両端部を 8mm 間隔で巻き中央部を 12mm 間隔で巻いたが炉の温度分布は中央部が約 $4\sim 5^\circ\text{C}$ 高くなるが、一列に試験片を 2 本つなぐ場合、この部分は丁度チャック部(試験片の継目部)に相当し各試験片標点間の温度差は $3\sim 4^\circ\text{C}$ 以内におさえることができる。これは Swinden 型式の試験機のような電気炉のニクロム線の巻方に改良したいと考えている。

炉内にはステンレス鋼製の均熱管をいれ、この均熱管により温度分布を良くし、かつ破断したとき他の試験片に衝撃をあたえないように内部を 4 等分している。

温度調節器は著者らの開発した電子管式の自動温度調節器を使用している。万一自動温度調節器が故障したときは非常用リレーが切断して試験温度以上にならないようにしている。これらにより電源電圧が $200 \text{ V} \pm 20 \text{ V}$ 程度であれば試験片はたえず 600°C 付近で $\pm 1.0^\circ\text{C}$ 以内に保持することができる。

また試験片が破断して交換する場合でも縦型の電気炉とことなり上昇気流がないため炉内の温度分布を変化させることなしに交換できることは非常に有利である。

III. 実験結果

(1) 試料およびその熱処理

使用した試料は Table 1 に示す。S1 は $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼の鍛造材で、S2 は $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼の鍛造材である。S3, S4 は 12%Cr 鋼にそれぞれ Ti, Nb を添加した 12%Cr 耐熱鋼である。