

マグネシウム合金鋳物の高温引張圧縮耐久限度線図

堀田昇次, 猿木勝司

Axial Loading Endurance Limit Diagrams of Magnesium Alloy Castings at High Temperatures

Shoji Hotta, Katsushi Saruki

要 旨

各種マグネシウム合金鋳物の室温および高温環境下における疲労強度に及ぼす平均応力の影響を明らかにするため、6～20mm厚の鋳造素材から採取した試験片を用いて、種々の平均応力下で引圧疲労試験を行った。そして、その耐久限度線の作図法を明らかにした。得られた主な結果は以下のようである。

両振耐久限度 σ_{wo} は、0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ と良い相関を示し、 $\sigma_{wo} = 0.63\sigma_{0.2}$ の関係式が得られた。

クリープが生じない室温環境下での耐久限度線

は、横軸上にとった真破断力 σ_T と縦軸上にとった両振耐久限度 σ_{wo} を結ぶ直線で表すことができた。

クリープを伴う高温 (max423K) 環境下での耐久限度は、高平均応力域において急激に低下する。この耐久限度線は、 σ_m (平均応力) $\leq \sigma_{e2.5}$ (2.5%クリープひずみ強度) においては、上記と同様の方法で推定でき、 $\sigma_m > \sigma_{e2.5}$ においては、上記の方法で求めた推定線における横座標 $\sigma_{e2.5}$ の点と横軸上にとったクリープ破断強度 σ_c を結ぶ直線で表すことができた。

Abstract

To clarify the effect of the mean stress on the fatigue strength of various magnesium alloy castings at room temperature and high temperature, tension-compression fatigue tests were carried out under various mean stresses by using specimens cut from 6-20-mm-thick castings. Consequently, a method of drawing endurance limit diagrams has been developed. The main results obtained are as follows.

The endurance limit, σ_{wo} , under completely reversed stress showed a good correlation with 0.2% proof stress, $\sigma_{0.2}$, which can be expressed by the following equation.

$$\sigma_{wo} = 0.63\sigma_{0.2}$$

In the case of room temperature, at which no creeps occur, the endurance limit diagram can be estimated by

a straight line which passes the true fracture strength, σ_T , on the horizontal axis and the endurance limit, σ_{wo} , of the completely reversed stress on the vertical axis.

In the case of high temperature (max. 423 K), at which creeps occur, the endurance limit decreases abruptly on the region of high mean stress. The endurance limit diagram can be estimated by the same way as mentioned above, under the condition of σ_m (mean stress) $\leq \sigma_{e2.5}$ (2.5% creep strain strength).

However, under the condition of $\sigma_m > \sigma_{e2.5}$, it can be presented as a straight line which passes $\sigma_{e2.5}$ (horizontal coordinate) on the line estimated by the above mentioned method and the creep rupture strength, σ_c , on the horizontal axis.

キーワード

マグネシウム合金鋳物, 疲労強度, 平均応力, 引張圧縮, 高温

1. はじめに

自動車の燃費向上のための軽量化指向に関連して、部品の材料置換が一つの方法として考えられるが、そのなかの一つとしてマグネシウム化がある。しかし、マグネシウム合金の疲労強度については、基本となる室温環境下での両振のデータ^{1~16)}は、豊富にあるものの、平均応力が作用した場合のデータ^{9~11, 16)}は少ない。また、高温環境下では、両振のデータ^{1, 4, 6, 10, 14)}が若干ある程度で、平均応力下の検討は筆者らの知る限り皆無である。

このようなことから、この種の材料の耐疲労設計についての考え方は、現段階ではあまり明らかになっているとは言えない。中でも高温下における平均応力の影響をどう見積ればよいか等は、ほとんど不明である。

従って、今後、自動車部品にこの種の材料を積極的に使用していくには、これらのことを明らかにしていく必要がある。

そこで、我々は、板状およびYブロック形状によるマグネシウム合金鋳物の室温、高温環境 (max 423K) 下における両振および平均応力下での疲労強度の把握と、それらの疲労強度推定法について検討した。さらに、実体鋳物の疲労強度を、上記鋳物で検討した方法に基づいて推定し、実際に求めた疲労試験結果との比較も行った。

2. 実験方法

2.1 供試鋳物および試験片

供試鋳物は、板状またはYブロック鋳物であり、それぞれの合金種類、鋳造方法、鋳物形状および化学成分をまとめてTable 1に示す。ダイカスト法は、いずれも酸素雰囲気ダイカスト方式 (無孔性ダイカスト: Pore Free Diecast) によりコールドチャンパーを用いて行った。今回の鋳物は、以後表中の左欄の記号で呼ぶことにする。

これらの供試鋳物から、Fig. 1に示す引張および疲労試験片を採取し、その後試験片形状の状態でのX線探傷試験を行い、鋳造欠陥の認められない試験片を試験に供した。

2.2 引張試験

試験には、容量9.8kNのインストロン4302型万能材料試験機を使用した。

試験温度は、原則として室温、353K (80℃), 393K (120℃), 423K (150℃)の4条件とした。高温試験では、所定の温度に達した後、約60分以上保持したうえで試験を開始した。

試験速度は、JISに準じて、応力が0.2%耐力を越えるまでは0.3%/min以下 (クロスヘッド移動速度0.5mm/min), 0.2%耐力を越えて破断するまでは7.5±2.5%/min (同2mm/min) になるように、クロスヘッド移動速度を選定して行った。

Table 1 Castings tested.

Sample	Alloy	Casting method	Shape of casting (mm)	Chemical compositions (wt%)									
				Al	Zn	R. E.	Mn	Zr	Si	Cu	Ni	Fe	Mg
A	AZ91D ^{a)}	High pressure die casting	Plate (150×180×6)	9.0	0.68	—	>0.15	—	<0.10	<0.030	0.002	0.005	bal.
B	AZEM2130 ^{b)}	High Pressure die casting	Plate (150×180×6)	2.14	1.05	3.05	0.31	—	<0.001	<0.001	0.001	0.004	bal.
C	AZEM2230 ^{b)}	High Pressure die casting	Plate (150×180×6)	1.90	1.92	2.55	0.39	—	—	—	—	—	bal.
D	AZE223 ^{b)}	High Pressure die casting	Plate (150×180×6)	1.99	2.08	2.91	—	—	—	—	—	—	bal.
E	ZE41A ^{a)}	Low pressure casting	Plate (80×180×15) ^{c)}	0.02	4.52	1.26	<0.005	0.73	<0.005	<0.001	<0.001	>0.001	bal.
F	AZEM2130 ^{b)}	Gravity casting	Y block (190×145×20)	1.97	1.03	3.04	0.32	—	<0.001	<0.001	0.001	0.005	bal.
G	ZE41A ^{a)}	Low pressure casting	Die casting parts ^{d)}	0.002	4.3	1.45	0.008	0.78	0.002	0.002	0.003	0.006	bal.

a): ASTM standard alloy

b): Toyota development alloy

c): T5 treatment (603K × 2hrA.C. → 443K × 16hrA.C.)

d): T5 treatment (603K × 2hrA.C. → 448K × 16hrA.C.), Wall thickness 5mm

2.3 疲労試験

試験は、容量98kNの電磁共振式万能疲労試験機を用い、試験速度110Hz（ 10^7 回繰返すまでの時間は25hr）で行った。

試験温度は、引張試験と同様の4条件を原則とした。高温試験では、所定の温度に達した後、約60分以上保持したうえで試験を開始した。

負荷形式は引張圧縮とし、両振すなわち平均応力が0MPaの場合および種々の平均応力をかけた場合について試験を行った。なお、両振の試験はS-N曲線を求め、平均応力下での試験は、耐久限度（ 10^7 回繰返しても破断しない応力）近傍の応力を主体に行った。

破断繰返し数は、試験片が分離破断するまでの繰返し数をとった。試験打ちりの繰返し数は原則として 10^7 回とした。

3. 試験結果

3.1 硬さおよび引張強度特性

得られた結果をTable 2にまとめて示す。硬さHv、0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ 、引張強さ σ_B 、および真破断力 σ_T は、鋳物の種類にかかわらず、いずれも試験温度の上昇に伴って低下した。

3.2 疲労強度

Fig. 2に一例として、鋳物A、Cの試験温度393K

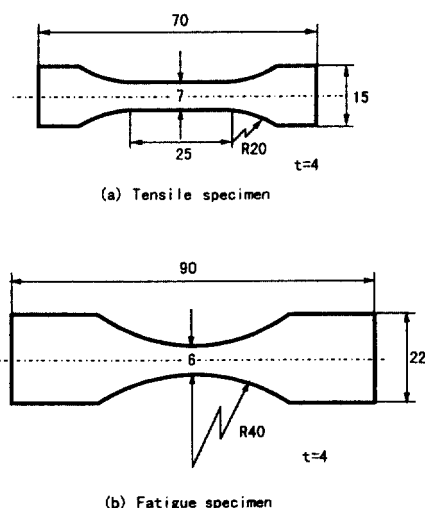


Fig. 1 Specimens.

および鋳物Eの試験温度423Kで行った両振（平均応力0MPa）と平均応力下での疲労試験結果を示す。図から平均応力があるレベル以下のS-N曲線に比べて、平均応力が非常に高い場合（黒点）、例えば(a)図における平均応力127MPaの場合などでは、そのS-N曲線の勾配が立っており、 10^7 回付近で疲労強度が大幅に低下していることがわかる。これは、後述するようにクリープを伴って疲労破壊したことと関連があるものと思われる。

他の温度域、他の材料についても得られた 10^7 回時間強度を読み取り、耐久限度として表すこととした。Table 2には両振（ $\sigma_m = 0$ MPa）耐久限度 σ_{w0} の値を示す。この表の数値を基に、両振耐久限度と基本的な機械的性質（Hv, $\sigma_{0.2}$, σ_B ）との相関性を調べた。結果をFig. 3に示す。一般に、マグネシウム合金の両振耐久限度は、ばらつきは認められるものの引張強さと相関性がある^{5, 16)}と考えられている。

しかし、今回我々は、硬さHv、0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ 、引張強さ σ_B について調査したが、両振耐久限度 σ_{w0} との相関係数は、それぞれ $r = 0.451$, $r = 0.869$, $r = 0.505$ となり、引張強さとの相関は必ずしも高くなかった。そして、両振耐久限度 σ_{w0} と相関性が最も高いのは、0.2%耐力であることがわかった。その関係式は

$$\sigma_{w0} = 0.63\sigma_{0.2} \quad \text{.....(1)}$$

となった。

Fig. 4には、鋳物の種類別に得られた平均応力と耐久限度の関係を示した。耐久限度は、引張強度特性と同様、試験温度の上昇とともに低下している。また、耐久限度は、室温、高温ともに、平均応力の増加に伴ってほぼ直線的に低下する傾向を示したが、353K～423Kの高平均応力域では、その直線関係からはずれ、さらに低下した。これらについては後で考察する。

4. 室温環境下での引張耐久限度線図

平均応力下での耐久限度を推定する方法を検討する。まず、一般の鋼材に適用できると言われている方法¹⁷⁾を用いて耐久限度線を推定する。これは、Fig. 5中に太線で示したように、耐久限度軸上の両振耐久限度 σ_{w0} の実験点と平均応力軸上の真破断力

σ_T の点とを直線で結ぶものである。なお、 σ_{w0} の実験値がない場合には、0.2%耐力の値を上記式(1)に代入して求める。

このようにして推定した各種鋳物の耐久限度線をFig. 4中に太線で示した。その結果、室温環境下では、いずれのマグネシウム合金鋳物においても、推定耐久限度線と実験点（○印）とはよく一致した。

5. 高温環境下での引圧耐久限度線図

同様にして示したFig. 4の353K～423Kでの推定

線（太線）と実験点（◇，□，△印）との対応結果をみると、低平均応力域では、両者はよく一致しているが、高平均応力域で疲労強度が大幅に低下している領域については、推定線をそのまま延長しても実験点とは一致せず、実験点はそれよりも下側にプロットされていることになる。そこで、この低下領域について以下考察する。

5. 1 試験後の試験片表面の観察

Fig. 6には、疲労試験、引張試験および後で述べるクリープ試験後の試験片表面を実体顕微鏡で観察した一例を示す。写真(a)からわかるように、低

Table 2 Hardness, tensile strength and endurance limit.

Sample	Room temperature					353K					393K					423K				
	Hv	$\sigma_{0.2}$	σ_B	σ_T	σ_{w0}	Hv	$\sigma_{0.2}$	σ_B	σ_T	σ_{w0}	Hv	$\sigma_{0.2}$	σ_B	σ_T	σ_{w0}	Hv	$\sigma_{0.2}$	σ_B	σ_T	σ_{w0}
A	73	137	252	280	78	64	130	233	265	72	54	113	215	248	64	46	98	172	198	49
B	65	120	240	299	73	52	-	-	-	-	45	90	163	200	63	42	85	137	205	50
C	58	116	241	296	70	48	104	203	298	70	43	94	168	281	68	39	84	140	232	58
D	69	115	240	291	72	42	-	-	-	-	35	-	-	-	-	29	79	121	180	44
E	63	138	223	238	91	51	135	209	233	91	45	124	182	228	81	41	118	165	209	69
F	49	53	172	190	42	42	-	-	-	-	35	-	-	-	-	29	49	133	166	35
G	71	128	228	246	-	-	-	-	-	-	-	116	177	213	78	-	-	-	-	-

Hv : Vickers hardness (kgf/mm²)

$\sigma_{0.2}$: Proof stress (MPa)

σ_B : Tensile strength (MPa)

σ_T : True fracture strength (MPa)

σ_{w0} : Endurance limit under completely reversed stress (MPa)

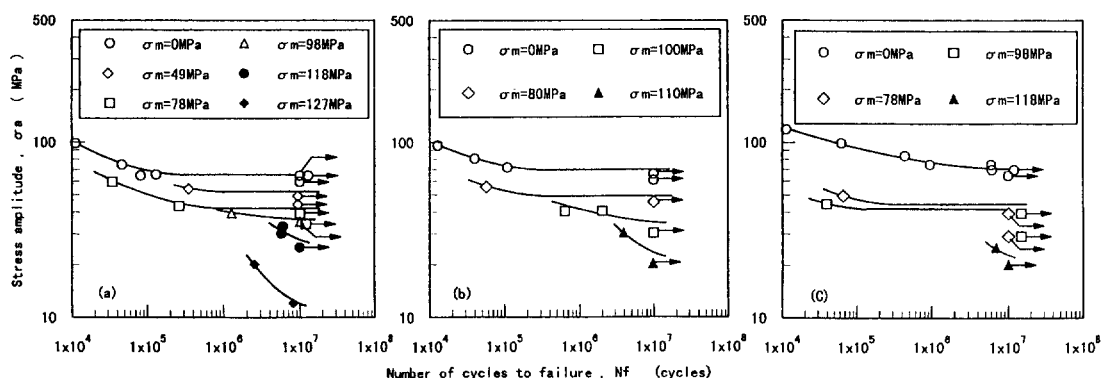


Fig. 2 S-N relations.

(a) Casting A, 393K

(b) Casting C, 393K

(c) Casting E, 423K

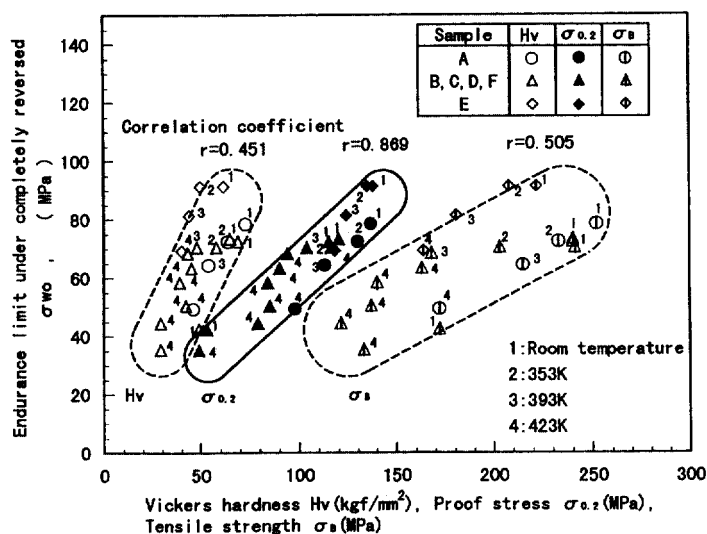


Fig. 3 Relation between endurance limit under completely reversed and mechanical properties.

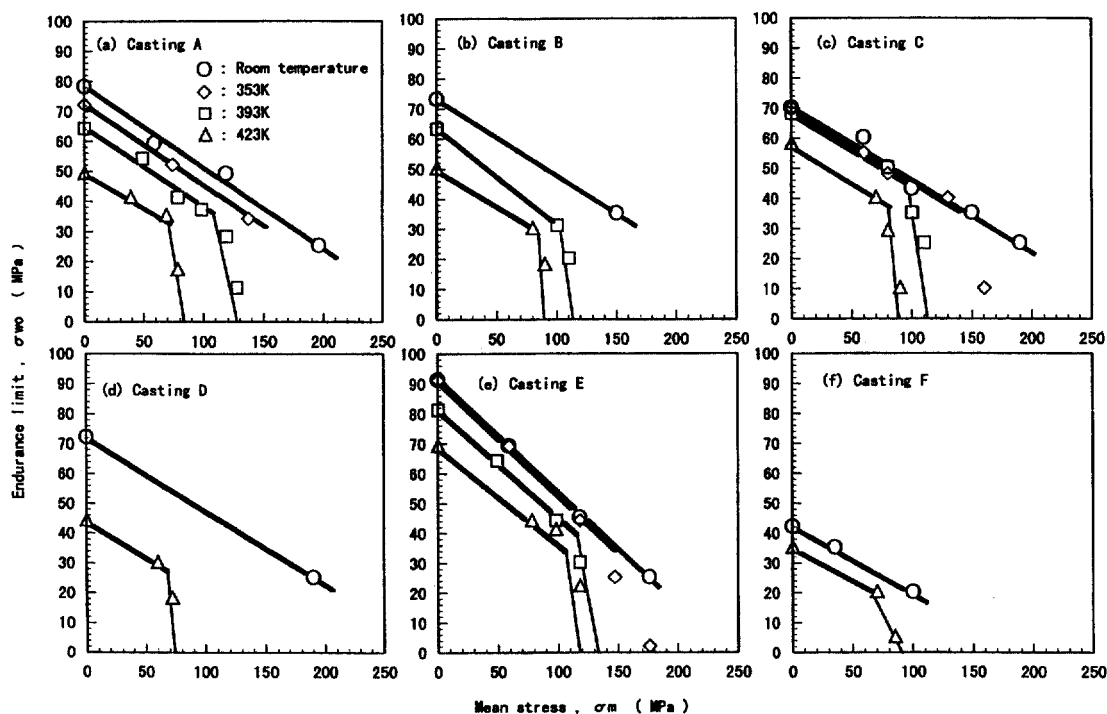


Fig. 4 Relation between endurance limit and mean stress.

Bold line : $\sigma_{wo} - \sigma_T$ estimated line

Fine line : $\sigma_{e2.5} - \sigma_c$ estimated line

平均応力で破断 {この場合, σ_{wo} と σ_T とを結ぶ推定線 (太線) の上側で破断} した疲労試験片と高平均応力で破断 {この場合は, 上記推定線 (太線) の下側で破断} した疲労試験片の表面状態には, 大きな違いが認められた。すなわち, 前者は, 疲労試験前とほぼ同じように表面状態に変化がない。これに対して, 後者では, 試験後の凹凸が激しく, 大きな塑性変形を受けており, 写真(b)および(c)に示す試験後の引張試験片およびクリープ試験片の表面状態と似通っていた。このように, σ_{wo} と σ_T とを結ぶ推定線よりも下側で破断したこれらの疲労試験片は, 平均応力が常時作用していることから,

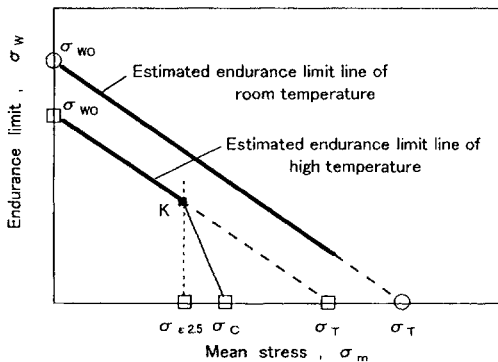


Fig. 5 Estimation of endurance limit line for

Fig. 5 Estimation of endurance limit line for magnesium alloy castings.

σ_{wo} : Endurance limit under completely reversed

クリープを伴いながら疲労破壊したものと思われる。

このことから, 高平均応力下では, クリープ特性に関連して, 疲労強度が変化するものと思われる。

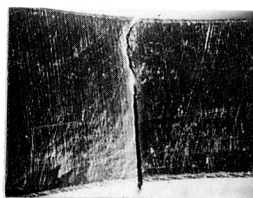
5.2 クリープ特性と高平均応力下での耐久限度との対応調査

試験温度393Kおよび423Kでクリープ試験を行った。クリープ試験に用いた試験片は, Fig. 1(a)の平板試験片である。クリープ試験は, 2.3節で述べた試験機を使用し, 一定の静荷重を負荷して行った。

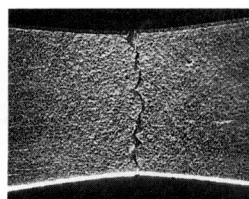
経過時間に伴うひずみの変化状態の一例 (鋳物A) をFig. 7に示す。なお, この場合のひずみは, 試験片平行部に貼付したひずみゲージの出力 (ただし, この場合は, ひずみ量1%までしか測定できない) と試験片全長およびチャック等の伸びを含めて測定したクロスヘッド移動量の出力との対応関係を基にして, クロスヘッド移動量から求めた値を用いた。

図より, それぞれの負荷応力に対し, ひずみ1%, 2.5%および5%を示す時間と破断時間を読み取り, 応力とそれらの時間の関係を求めた。このようにして, 得られた応力と時間の関係図の一例 (鋳物A) をFig. 8に示す。

3.2節で述べたFig. 4(a)の393Kおよび423Kでの疲労試験結果 (鋳物A) より, 太線から実験点が下側に離れ始める平均応力値 σ_m を読み取り, この値をFig. 8の耐久時間 (試験周波数110Hzで 10^7 回

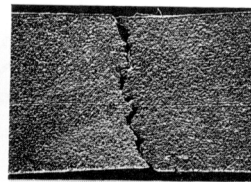


Fatigue specimen tested under low mean stress ($\sigma_m=98\text{MPa}$, $\sigma_a=44\text{MPa}$, $N_f=3.9 \times 10^4$ cycles)

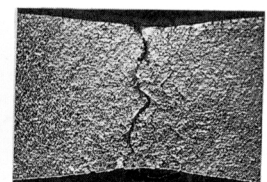


Fatigue specimen tested under high mean stress ($\sigma_m=118\text{MPa}$, $\sigma_a=25\text{MPa}$, $N_f=6.9 \times 10^6$ cycles)

(a) Fatigue specimen



(b) Tensile specimen



(c) Creep specimen

2mm

Fig. 6 Appearance of specimen surface after test (casting E, 423K).

繰返したときの時間は25時間)上にプロットすると、393Kは●印、423Kは▲印となった。図より、両実験点とも、クリープひずみ量が2.5%の関係線によく乗っていることがわかる。なお、このクリープひずみ量が2.5%の値は、Fig. 7からわかるように、クリープ曲線の2次から3次に移行する部分にほぼ相当する領域である。

このことから、高温環境下における高平均応力での大幅な疲労強度低下は、クリープ特性と深い関連性のあることが認められた。

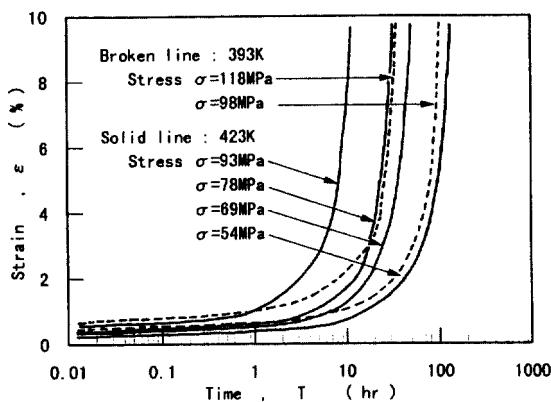


Fig. 7 Relation between strain and time of creep test of casting A.

なお、ここでは、クリープ特性を求めるための試験片形状として平板平行部型 (P.P.T.) としたが、参考として、クリープ特性に及ぼす試験片形状の影響を調査した結果をFig. 9に示した。その結果、砂時計型試験片 (H.P.T.) と平行部型試験片のクリープ特性は、(a)図に示したようにほとんど差が認められなかった。また、平板試験片と丸棒試験片 (P.R.B.T.) のクリープ特性は、(b)図に示したように平板試験片の方が丸棒試験片に比べてやや悪くなっているが、同一時間に対する応力で比較すると、1割以下と差が小さい。

以上のことから、クリープ特性に及ぼす試験片形状の影響は、比較的小さいと考えられるので、クリープ特性値を求めるための試験片の形状としては、ここに示した程度のものであれば、いずれを用いても良いと考えられる。

5.3 高温環境下における高平均応力での耐久限度線

以上の検討結果を踏まえ、高温環境下における高平均応力での耐久限度線を推定する方法について述べる。

推定線はFig. 5中に細実線で示した。この線は、Fig. 8に示すようなクリープ試験により得られた応力と時間の関係図上から読み取った耐久時間 (ここでは25hr) に相当する2.5%クリープひずみ強度 $\sigma_{\epsilon 2.5}$ およびクリープ破断応力 σ_c の値を平均応力軸上

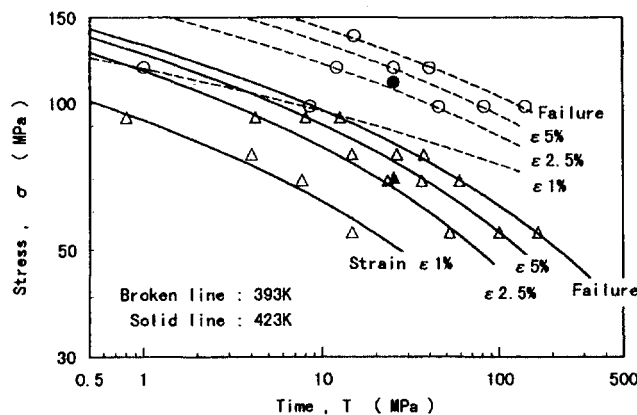


Fig. 8 Relation between stress and time of creep test of casting A.
(Mean stress at knee point in Fig. 4(a). ● : 393K, ▲ : 423K)

にとり、 $\sigma_{\epsilon 2.5}$ については、この点を通るように耐久限度軸（縦軸）に対して平行線（細破線）を引き、この平行線と太線との交点をK点とし、このK点と平均応力軸上の σ_c 点とを直線で結んだものである。このようにして推定した各種鋳物の耐久限度線を、Fig. 4中に細線で示した。

その結果、393K、423Kの環境下では、いずれのマグネシウム合金鋳物においても、推定耐久限度線と実験点とはよく一致した。

5. 4 高温環境下での耐久限度線に及ぼす試験速度の影響

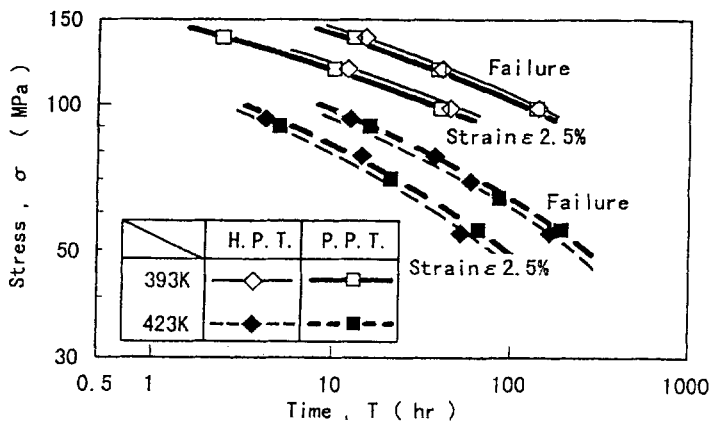
前述したように、高温環境下における高平均応力域での疲労強度は、試験速度が110Hzとかなり速く、 10^7 回繰返すまでの時間が25時間と短いにもか

かわらず、クリープ現象が重畳して急激に低下することがわかった。このことから、試験速度が遅くなった場合には、繰返し数は同じでも、それに要する時間は長くなるため、クリープが疲労強度に及ぼす影響が強く出てくることが予想される。

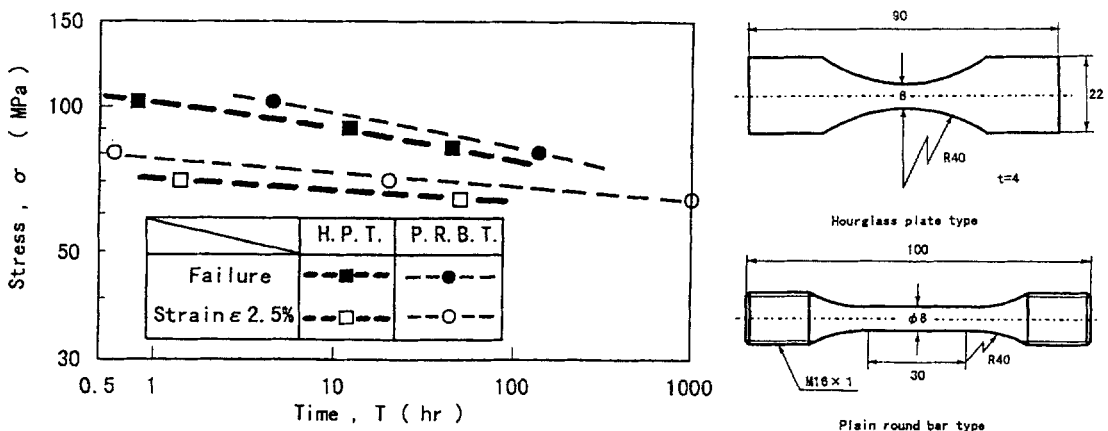
そこで、高温環境下における高平均応力での疲労強度が試験速度の違いによってどのように影響されるかを検討した。

5. 4. 1 クリープ特性が良好でない合金の場合

検討に用いた鋳物はAである。試験は、容量20kNの電気油圧式疲労試験機（島津製サーボパルサー）を用い、試験速度30Hz（ 10^7 回繰返すまでの時間は93hr）と前述の試験速度の30%弱という遅い速度で行った。その他の試験条件は2. 3節と同じ



(a) Comparison of creep properties between plain plate type and hourglass plate type of casting A.



(b) Comparison of creep properties between plain round bar type of casting F at 423K.

Fig. 9 Effects of the specimen shape on the creep properties.

である。

得られた結果を耐久限度と平均応力の関係で表すと、Fig. 10のようになる。なお、図中の太線は、5.3節で述べた方法により推定した耐久限度線を示す。また、この図には、試験速度110Hzで行って得られた耐久限度線も細線で再録した。

図より、393Kおよび423Kともに、平均応力が低い方の実験点は、細線上によく乗っており、試験速度に依存していない。これに対して、平均応力が高い方の実験点は、細線よりも下側にプロットされ、試験速度の影響を受けていることがわかる。

これは、Fig. 8に示したように、試験速度が遅くなるほど、 10^7 回繰返すまでの時間が長くなり、それに伴ってクリープ強度が低下するためである。

なお、この場合にも、耐久時間93hrに相当する。2.5%クリープひずみ強度 $\sigma_{e2.5}$ とクリープ破断応力 σ_c から推定した耐久限度線（太線）は、実験点とよく一致した。

5.4.2 クリープ特性が良好な耐熱合金の場合

耐熱合金鋳物Eのクリープ特性結果を鋳物Aと比較（423Kの場合）してFig. 11に示す。鋳物Eは、鋳物Aに比べて、負荷時間の増加に伴う $\sigma_{e2.5}$ および

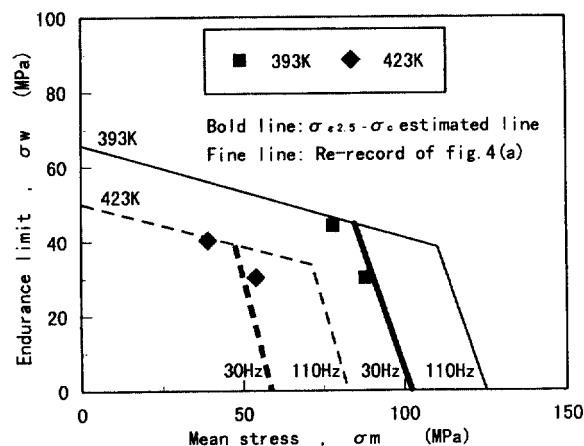


Fig. 10 Fatigue test results for test speed 30Hz of casting A.

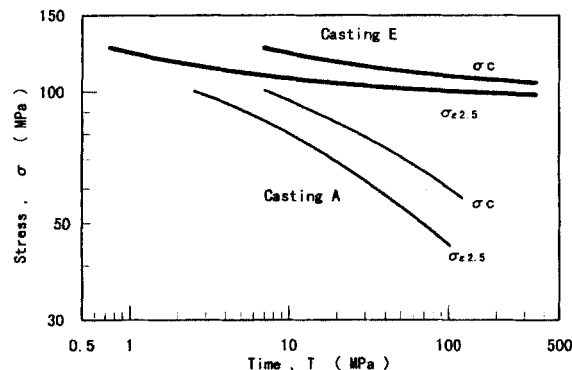


Fig. 11 Comparisons of creep strength between casting E and casting A at 423K.

$\sigma_{e2.5}$: 2.5% Creep strain strength

σ_c : creep rupture strength

σ_c の低下量は少なく、特に300hr以上ではほとんど低下しない。

この図から、耐久時間が25hrの場合と長時間(300hrまたは100hr)の場合について、5.3節で述べた方法により耐久限度線を推定すると、Fig. 12のようになる。

鋳物Eは、耐久時間が大きく異なっても耐久限度線に違いがあまり認められないが、鋳物Aでは、わずかの耐久時間の違いが耐久限度線に大きく影響を及ぼしていることがわかる。

以上のことから、高温環境下に長時間さらされる実部品には、特に高平均応力下の疲労に対して、鋳物Eのような耐熱合金がかなり有用であることがわかる。

5.5 実体鋳物の高温環境下での耐久限度線図

Table 1に示す実体鋳物(鋳物G)を用いて、5.3節で述べた耐久限度線の推定法の妥当性を検討した。

実験により求めた静的強度(Table 2に結果を示す)およびクリープ特性の値から、複雑な形状を

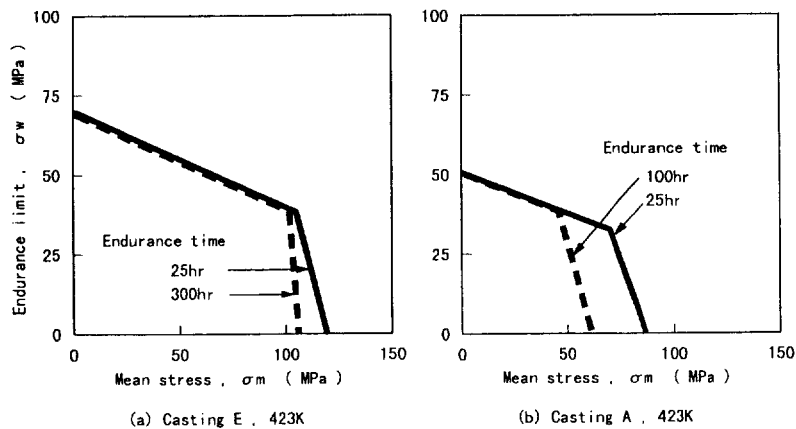


Fig. 12 Effect of the test speed on the endurance limit line at high temperature.

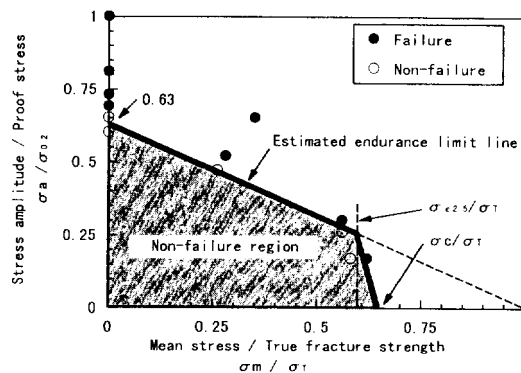


Fig. 13 Comparisons between estimated endurance limit line and experimental results for magnesium alloy casting parts (casting G, 393K).

$\sigma_{e2.5}$: 2.5% Creep strain strength

σ_c : creep rupture strength

した鋳物Gの耐久限度線（環境温度 393K, 試験速度 30Hz）を推定し、その推定線と疲労試験結果（試験温度 393K, 試験速度 30Hz）とを比較して Fig. 13に示した。なお、この図の縦軸は、両振耐久限度と相関のある0.2%耐力で、横軸は、真破断力で無次元化して表した。

その結果、推定線は、試験結果とよく対応しており、実体鋳物においても、本方法により耐久限度が良好に推定できていることが確認できた。

6. まとめ

各種マグネシウム合金鋳物の室温および高温環境下における疲労強度に及ぼす平均応力の影響を明らかにするため、6～20mm厚の鋳造素材から試験片を採取して、引圧疲労試験を行い、耐久限度線を求めるとともに、その耐久限度線を静的強度等から推定する方法を検討した。結果を要約すると以下ようになる。

(1) マグネシウム合金鋳物の室温～423Kでの両振耐久限度 σ_{wo} は、0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ と良い相関（ $r = 0.87$ ）を示し、 $\sigma_{wo} = 0.63\sigma_{0.2}$ の関係式が得られた。

(2) クリープが生じない室温環境下での耐久限度は、平均応力の増加に伴ってほぼ直線的に低下する傾向を示し、その耐久限度線は、両振耐久限度 σ_{wo} と真破断力 σ_T を結ぶ直線で表すことができた。

(3) クリープを伴う高温（max 423K）環境下での耐久限度は、平均応力の増加に伴って漸次低下する領域と急激に低下する領域の2領域が認められ、これらの耐久限度線は

1. σ_m （平均応力） $\leq \sigma_{\epsilon 2.5}$ （2.5%クリープひずみ強度）： σ_{wo} と σ_T を結ぶ直線

2. $\sigma_m > \sigma_{\epsilon 2.5}$ ：クリープ破断強度 σ_c に向かう直線の2本で表すことができた。

(4) 高温環境下での耐久限度線に及ぼす耐久時間（試験速度により異なる）の影響は、鋳物のクリープ特性と関連しており、鋳物Eのように、クリープ時間が増加しても $\sigma_{\epsilon 2.5}$ 、 σ_c があまり変化しない場合には、影響の受け方も小さいことがわかった。

(5) 上記推定法に基づき、静的強度およびクリープ特性から推定した実体鋳物の耐久限度線（393K）は、実験結果と良く対応することを確認した。

謝辞

本実験を遂行するにあたり、試料提供等に多大なご協力を頂いたトヨタ自動車(株)第1材料技術部金属材料室の関係者各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 河合邦夫, 松崎克行, 大野雅史: "マグネシウム合金鋳物の強度とその問題点", 自動車技術会講演前刷集, **802-B62**(1980), 381
- 2) 加藤一, 杜沢達美: "Mg-Al-Zn合金の疲労破壊について", 軽金属, **31-4**(1981), 240
- 3) 加藤一, 杜沢達美: "Mg-Al-Zn合金の疲労破壊特性", 軽金属, **32-9**(1982), 473
- 4) 加藤一, 杜沢達美: "室温～150℃におけるAZ31マグネシウム合金の疲労き裂伝ば挙動", 軽金属, **33-2**(1983), 76
- 5) 原田雅行, 鈴木敏夫, 福井泉: "マグネシウム鍛造材ZK60A合金の機械的性質・疲れ強さに及ぼすメタル・フローの影響", 軽金属, **34-5**(1984), 265
- 6) Wickberg, A., Ericsson, R.: "Magnesium in the Volvo LCP 2000", SAE Tech. Pap. Ser., No.850418(1985), 10p.
- 7) 峯岸知弘, 嵯峨常生, 犀川浩, 大森悟郎: "鋳物用マグネシウム合金MC3およびMC6の疲労挙動", Magnesium, **15-8**(1986), 9
- 8) 井藤忠男, 滝北高憲: "高品質マグネシウムダイカスト技術(MAGTEK)", 月間「AI-ある」, No.2(1987), 22
- 9) 軽金属協会: "マグネシウム合金の強度", マグネシウム便覧, (1975), 179
- 10) Ogarevic, V. V., Stephens, R. I.: "Fatigue of Magnesium Alloys", Annual Reviews Master. Sci., **20**(1990), 141
- 11) Gjestland, H., Nussbaum, G., Rogazzon, G.: "急速凝固したAZ91系の機械的性質と加工性", Magnesium, **19-1**(1990), 8
- 12) Aune, T. Kr., Albright, D. L., and Westengen, H.: "Properties of Die Cast Magnesium Alloys of Varying Aluminum Content" SAE Tech. Pap. Ser., No.900792(1990), 4p.
- 13) Ito, T., Takikita, T., and Miki, I.: "Wheels and Other Automotive Parts Through the Pore-Free Die Casting Process", SAE Tech. Pap. Ser., No.910552(1991), 10p.
- 14) 井藤忠男, 白井秀友: "マグネシウムダイカスト合金と自動車部品への応用", 軽金属, **42-12**(1992), 707
- 15) 小島陽: "マグネシウムの材料特性", 表面技術, **44-11**(1993), 866
- 16) Heywood, R. B.: "The Unnotched Fatigue Properties of Some Other Materials", Designing Against Fatigue, Chapman and hall LTD. London, 64p.
- 17) 例えば西原利夫: "疲労耐久線の形に就て", 日本機械学会論文集I-3, **7-29**(1941)



堀田昇次 Shoji Hotta

生年：1952年。

所属：強度評価研究室。

分野：金属材料の疲労強度評価に関する研究。

学会等：軽金属学会会員。

1992年度日本鋳物協会東海支部
奨励賞受賞。



猿木勝司 Katsushi Saruki

生年：1939年。

所属：強度評価研究室。

分野：材料および機械要素の強度評価に関する研究。

学会等：日本機械学会，日本材料学会，
日本材料強度学会会員。

1991年度日本材料学会技術賞受賞。
工学博士。