

アルミニウム鋳物の特性評価技術



近年の環境保護の観点から、自動車産業には排ガス低減や燃費向上などの要求がますます厳しくなっている。また、走行性能の向上を目的としても、自動車各部材の軽量化が求められている。すでに、鋼板の高強度化やアルミニウム化として研究開発が進められており、特にアルミニウムは密度が鋼の約1/3と軽量効果が大きく、鋼材からの材料置換が積極的に進められている。

以前から、エンジン部品や足回り部品にはアルミニウム鋳物が使用されているが、最近では車体部品などの強度および耐久性保証が必要な構造部材にも適用されつつある。また、複雑形状を短時間で大量生産できるダイカスト材の使用も増加しており、強度を向上させて薄肉化しようとする開発が盛んに行なわれている。これらアルミニウム鋳物では、鋳造時に取り込まれる水素を主としたブローホール、凝固時の引け巣や湯境、ダイカスト材における破断チル層などの鋳造欠陥に起因する強度低下の克服が緊急課題となっている。

本稿では、アルミニウム鋳物の特性評価技術として、鋳造時に発生するこれらの鋳造欠陥が機械的特性および疲労強度に及ぼす影響について紹介する。



評価材料

A-1

ここでは自動車のアルミホイールなどの足回り部品に多く用いられているAC4CH (Al-7%Si-0.4%Mg) 組成の舟形試験片を用いた。

溶製時の脱ガスおよび改良処理の有無 (あり: DG, なし: NG) により、欠陥の存在状態を調整した。さらに、採取位置をJIS規定部 (J) と鋳造欠陥の多い欠陥部 (D) として4種類の試料を評価材料とした。またこれらの評価材料は、熱処理の影響を考慮しなくてすむよう、すべて鋳造ままの状態として使用した。

これらの代表として、脱ガス材・JIS部 (DGJ) および未処理材・欠陥部 (NGD) のマイクロ組織を写真1に示す。脱ガス材・JIS部 (DGJ) の α 相は明瞭な樹枝状組織 (デンドライト) で、共晶Siが

改良処理によって粒状で細かく分散している。

一方の未処理材・欠陥部 (NGD) は、それに比べて α 相は大きく、共晶Siは粗い針状となっている。

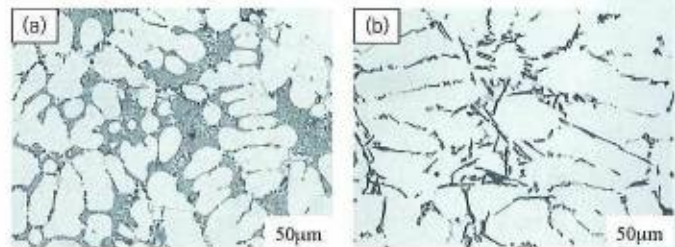


写真1 (a) 脱ガス材をJIS部、(b) 未処理材・欠陥部のマイクロ組織

密度と水素ガス量の関係

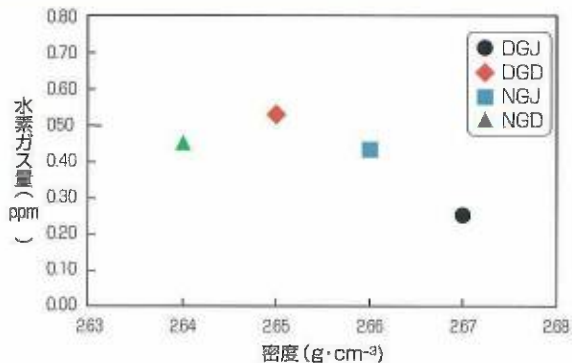
A-2

第1図にアルキメデス法により測定した密度と不活性ガス融解-熱伝導度法にて求めた水素ガス量との関係を示す。

密度が低くなるほど水素ガス量が高くなる傾向を示す。

最も密度の低い未処理材・欠陥部 (NGD) はその傾向から外れており、密度が低いにも関わらず水素ガス量はJIS部 (NGJ) と同等である。

これは他に比べて水素ガスによる欠陥とともに、引け巣が多く存在していることによる影響と考えられる。



第1図 密度と水素ガス量との関係

密度と引張特性の関係

A-3

第2図に密度と引張特性 (強度、伸び) との関係を示す。写真中の数値は、破面上の欠陥投影面積率である。密度の高いものほど強度および伸びが向上し、AC4CHの標準的な密度 (2.68g/cm³) に近づくとともに、急激に強度および伸びが増加している。

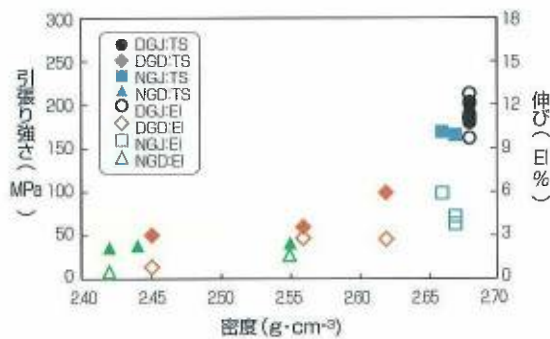
また、わずかな密度の低下でも伸びが低下し、強度も低下している。アルミニウム鋳物の場合、伸びが大きい (加工硬化する) ほど強度も高くなる傾向を示すのが一般的である。

脱ガス材・JIS部 (DGJ)、未処理材・JIS部 (NGJ) の試験片破面SEM像を写真2に示す。

脱ガス材・JIS部 (DGJ) に比べて、未処理材・JIS部 (NGJ) は破面の凹凸が激しく、欠陥を伝って冗余曲折しながら破壊に至っている。

また、わずかな密度の低下と同様に、欠陥投影

面積率のわずかな変化でも引張特性が大きく変化することがわかる。



第2図 密度と引張特性との関係

(a) 欠陥投影面積率0.6%



(b) 欠陥投影面積率1.6%



写真2 (a) 脱ガス材・JIS部 (b) 未処理材・欠陥部の引張破面

A-4

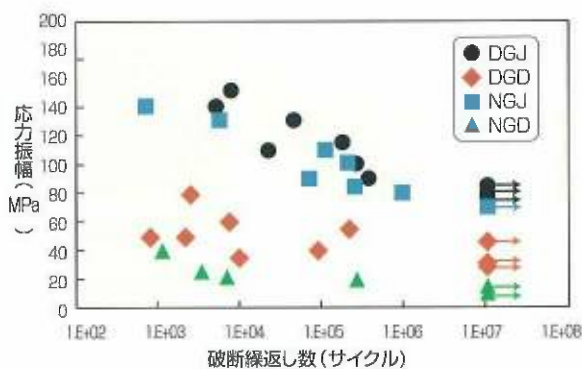
軸疲労強度

第3図にこれら4種類の軸疲労試験 (応力比R=-1) によるS-N曲線を示す。

引張特性と同様、密度の低いものほど疲労強度

が低くなる傾向を示す。欠陥部より採取したものは、脱ガス処理の有無に関わらずばらつきが大きくなっている。脱ガス材・欠陥部 (DGD) の破面SEM像を写真3に示す。

デンドライト状の引け巣が起点となって破壊に至っていることがわかる。



第3図 軸疲労試験のS-N曲線



写真3 脱ガス材・欠陥部の軸疲労破面

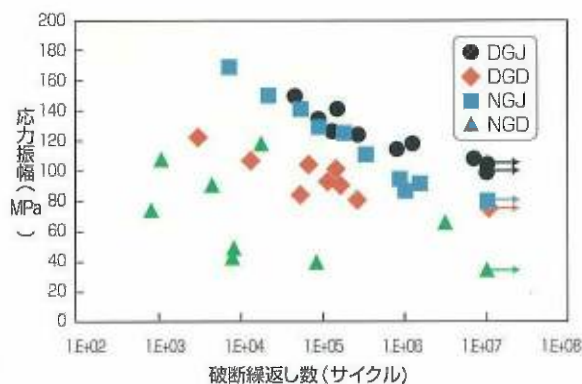
A-5

平面曲げ疲労強度

第4図に平面曲げ疲労試験 (応力比R=-1) によるS-N曲線を示す。

先の軸疲労試験と同様、密度の低いものほど疲労強度は低くなり、欠陥部より採取したもののばらつきは軸疲労試験に比べて大きい。負荷状態が曲げのため、欠陥の存在位置が軸疲労試験よりも大きく影響を及ぼしているものと考えられる。

写真4に未処理材・JIS部 (NGJ) の破面SEM像を示す。破壊の起点は、試験片表面に接した铸造欠陥であることが分かる。



第4図 平面曲げ疲労試験のS-N曲線



写真4 未処理材・JIS部の平面曲げ疲労破面

上記の疲労試験結果から代表的な破面を用い、画像処理より起点部の欠陥面積を求めた。

さらに硬度のデータと合わせ、疲労限予測式としてよく用いられている村上の式¹⁾から予測される疲労限との対応を、簡易的に試みた。その結果を第1表に示す。

式の詳細は省略するが、欠陥がほとんどない場合（硬度のみで決定される）、欠陥が存在する場合（村上の式から予測）のいずれも、多くの場合は約70%以上の確度で計算式と試験結果が合うこ

とが分かる。

しかしながら、②DGD(55MPa)の結果では、約50%にしか実際の疲労限はなっていない。

この部位のサンプルは、舟形試験材の上部よりサンプリングされたもので、デンドライト状の引け巣が存在することが考えられ、予測にはこのような形状因子やマイクロ組織（特にアルミ鋳物材の場合は晶出Si相の形態などの影響を考慮する必要が示唆された。

1) たとえば山田ら：デンソーテクニカルレビュー(2000), Vol.15, No.2, p.107

第1表 疲労限予測式による検討

疲労試験区分	TPNo.	C	HV	σ_{WL}	σ_{WU}	$\sigma_w(S-N)$	σ_w/WL	σ_w/WU
軸疲労	①DGJ(140MPa)	(1.56)	57.8	125	92	85	0.68	0.92
	②DGD(55MPa)	1.41	58.9	83	94	45	0.54	0.48
	③DGJ(100MPa)	1.43	66.2	97	106	70	0.72	0.66
平面曲げ	④DGJ(135MPa)	(1.56)	57.8	110	92	105	0.95	1.14
	⑤DGJ(120MPa)	(1.56)	57.8	124	92	105	0.85	1.14
	⑥NGJ(130MPa)	1.41	66.2	107	106	80	0.75	0.76

$\sigma_{WL} = C(HV+120)/(\sqrt{\text{area}})^{1/6} \cdot [(1-R)/2]^\alpha$ …… 村上の式

$\sigma_{WU} = 1.6HV$ …… 欠陥がほとんどない場合

C: 表面に接する時 …… 1.41

表面上の時 …… 1.43

内部の時 …… 1.56

area: 欠陥面積 (μm^2)

アルミニウム鋳物の特性評価技術として、鑄造欠陥が機械的特性および疲労強度に及ぼす影響について紹介した。

このように、アルミニウム鋳物では鑄造欠陥の種類や大きさ、分布の違いによって強度特性が大

きく変化する。このため、実製品製造時の鑄造条件の管理は極めて重要であり、本稿を製品開発時の機会に何らかの参考にしていただければ幸いです。

[材料評価事業部材料技術部 大家正二郎]