

金属3Dプリンタ (Additive Manufacturing, AM)

～新しい評価法によるAM造形品の品質の向上を支援します!～

金属AM技術は、鋳造や鍛造では製作困難な製品が造形可能です。現在では鋳造並みの引張強度が得られ、一部では実用化にも至り、ますます応用が広まることが予想されています。

(株)神戸工業試験場(KMTL)は民間試験場として、数多くのAM造形品や粉末の各種試験・データ採取を行っています。その蓄積されたノウハウから、お客様のご要望や目的にあった評価方法をご提案しております。

特にAM材では引張強度が通常の圧延材並みでも、疲労強度が極端に低い場合があります。これは「造形肌の表面粗さ」や「造形内部に生じる未熔融や空隙等の欠陥」に起因するものです。本資料では、その一例をご紹介します。

試験・分析項目

造形品の強度試験

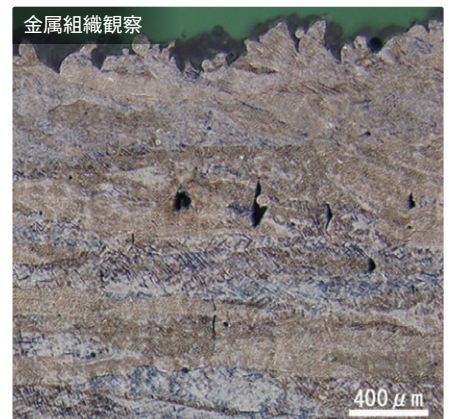
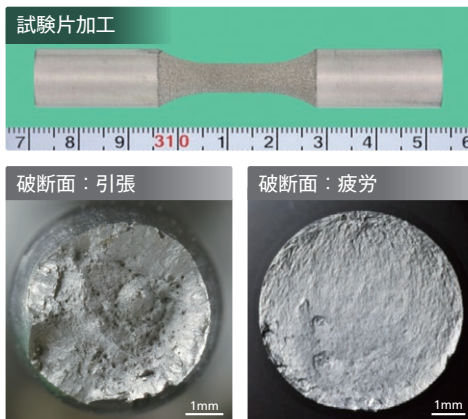
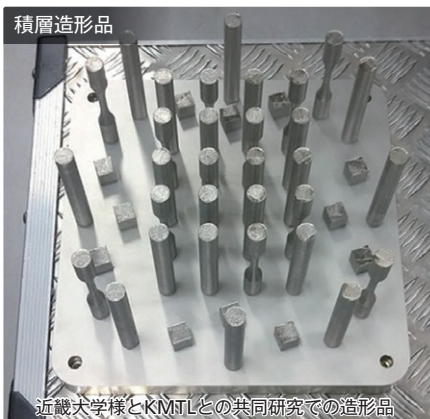
引張試験、疲労試験、クリープ試験、硬さ試験、衝撃試験、破壊靱性試験等

造形品の観察、測定

金属組織観察、破断面観察、成分分析、極値統計による欠陥評価等

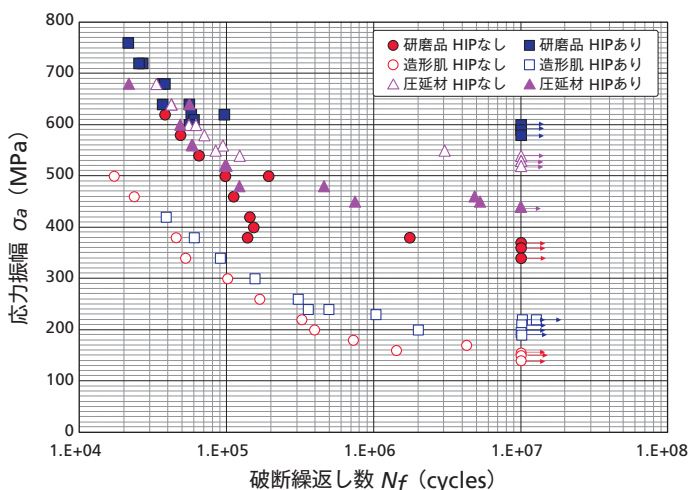
粉末特性

密度、粒径分布、成分分析(酸素分析)等



評価例

回転曲げ疲労試験 ～疲労強度の評価～



■ 電子ビーム方式で造形したTi-6Al-4V材について、試験片平行部が造形肌まま品と表面研磨品の疲労試験を行い、表面凹凸やHIP処理^{*1}の影響および圧延材との比較を行いました。

■ 造形品の疲労限度は

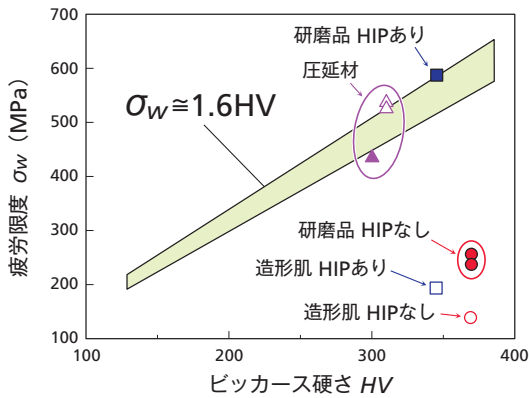
造形肌 HIP処理なし < 造形肌 HIP処理あり < 表面研磨 HIP処理なし < 表面研磨 HIP処理あり

の順に高くなっています。

■ 造形肌の表面粗さが疲労強度の大きな低下要因であることが判ります。また研磨品では、HIP処理により疲労限度が大きく上昇し、圧延材と同等の強度が得られております。

*1: 熱間等方圧加圧法(Hot Isostatic Pressing: HIP)とも呼ばれ、圧力と熱の相乗効果で、内部欠陥の除去や異種金属の拡散接合等に利用される。

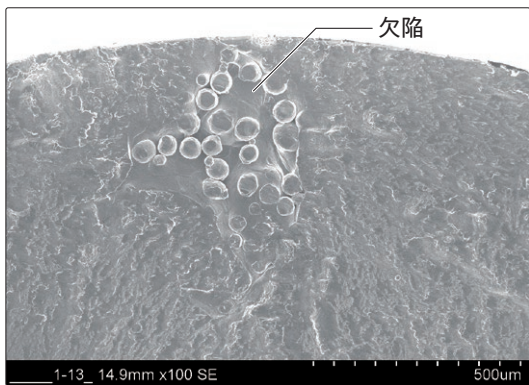
ビッカース硬さ試験 ～疲労限度とビッカース硬さの関係～



- 一般的に、疲労限度 σ_w とビッカース硬さHVには相関があり、経験式 $\sigma_w \approx 1.6HV$ ($HV \leq 400$)が知られています^{※2}。疲労限度が硬さの1.6倍程度であれば、当該材料には重大な欠陥はないと言えます。しかし、1.6HVよりも低い場合には、空隙や介在物、傷などが原因(起点)となって強度を低下させている可能性があります。
- 本材料の場合、造形肌と研磨品HIPなしが $\sigma_w \approx 1.6HV$ を満たしておらず、起点に特異部がある可能性が示唆されます(造形肌では表面粗さが影響)。一方、研磨品HIPありは1.6HVを満たしており、硬さ値から得られる理想強度に達していると判断できます。

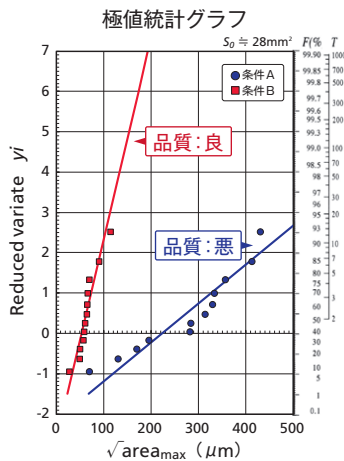
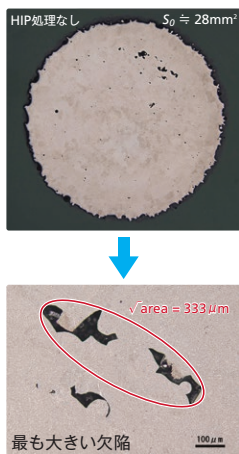
※2：西島敏,「疲労試験データの統計的整理」, 材料, Vol.29, No.316 (1980), 24-29.

破断面観察 ～破壊要因の特定～



- 疲労試験後の破断面観察は、疲労破壊の要因を調べる上で、きわめて重要な項目となります。
- 左図は研磨品HIP処理なしの破壊起点部をSEMにより拡大観察した写真で、起点部に欠陥が認められます。他の全ての研磨品HIP処理なしの起点部にも欠陥が見られ、**欠陥が疲労強度を低下させた**ことが判りました。
- HIP処理を施した表面研磨品および圧延材には、欠陥は見られず、外表面が起点となっていました。起点部に表面凹凸や欠陥という特異部がなかったため、理想強度を達成できたと考えられます。

欠陥寸法の極値統計 ～疲労強度の推定および品質評価～



- 欠陥を有するAM材の強度設計はどのようにすべきでしょうか。10本程度の試験片から得られたS-N曲線を基に行うのであれば、注意が必要です。なぜなら、小型部品の大量造形や大型部品の造形の場合には、統計的により大きな欠陥が存在する(疲労強度の低下)確率が高まるからです。
- ばらつきがある欠陥寸法を予測するには極値統計^{※3}が有用です。ある一定面積(体積)に注目し、その中で最も大きい欠陥の寸法を極値確率紙にプロット(例えば、N=10~40)することで、より大きな面積(体積)に含まれる最大欠陥寸法を予測できます。また、積層条件や造形メーカー毎に、プロットの傾きを比較すれば、品質評価・比較にも利用できます。
- 欠陥寸法を予測できれば、 $\sqrt{\text{area}}$ パラメータモデルにより疲労限度を推定することも可能になります^{※4}。

※3：村上 敬宜 他,「大量生産部品のリコールを防止するための極値統計による新しい品質管理法」, 日本機械学会論文集, Vol.83, No.853 (2017), DOI: 10.1299/transjsme.17-00231.
 ※4：村上敬宜, 金属疲労 微小欠陥と介在物の影響, (1993), 養賢堂.

● 本資料の試験データは、金属技研株式会社様と当社KMTLとの共著論文^{※5}の一部です。

※5：H. Masuo, Y. Tanaka, S. Morokoshi, H. Yagura, T. Uchida, Y. Yamamoto, Y. Murakami: Influence of defects, surface roughness and HIP on the fatigue strength of Ti-6Al-4V manufactured by additive manufacturing, Int. J. Fatigue, 117 (2018) 163-179.