

Application News

No. i258

超音波疲労試験機 USF-2000A

金属材料の超音波疲労試験

一般に、構造用の金属の多くは繰り返し回数が 10^6 回までは疲労強度が低下するものの、 10^7 回以降は疲労限となり、疲労破壊しないことが知られています。しかし、焼入れや表面処理を施した高強度の金属材料では、内部の介在物が疲労破壊の起点となり、 $10^8 \sim 10^9$ 回でも疲労破壊が起こることがわかってきました。一方で、近年の工業製品に求められる機能や耐久性の要求は非常に厳しいものとなっており、それに伴い工業製品を形作る金属材料に対する要求も厳しくなってきました。そのため、従来の 10^7 回を最大の繰り返し回数とした基準では不十分であり、 10^9 回を超える疲労試験が求められるようになっております。しかし、 10^9 回を超える疲労試験は、かなりの時間が必要になるといった問題があります。例えば、 10 Hz の周波数で 10^9 回の試験を行うと、約 3.2 年必要な計算になります。今回使用しました超音波疲労試験機は 20 kHz の周波数での試験が可能であり、 10^9 回の試験を約 14 時間で試験することが可能になります。つまり、 10^9 回を超える疲労試験において、超音波疲労試験は非常に有効な測定方法となります。

今回、SNCM439 と A6063 の 2 種類の金属試験片に対して、日本溶接協会規格 WES 1112:2017（金属材料の超音波疲労試験方法）に準じた試験を行いましたので、その結果をご紹介します。

F. Yano

測定システム

測定は超音波疲労試験機 USF-2000A を使用しました。測定原理に関しては、当社カタログ（動的・疲労試験システム）をご確認ください。表 1 に試験装置、図 1 に試験の様子を示します。WES 1112:2017 では、試験片の高応力部の表面温度を計測し、 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下となるように条件設定をしなければならないとの記載があり、温度の測定に放射温度計を推奨しています。室温が $30 \text{ }^\circ\text{C}$ を超える場合は室温 $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ を上限としています。また、試験片の冷却には強制空冷を推奨しており、空冷の際の空気の温度は $10 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下となることを推奨しています。

表 1 試験装置

試験機	: 超音波疲労試験機 USF-2000A
温度計	: 放射温度計
変位計	: 渦電流式変位計

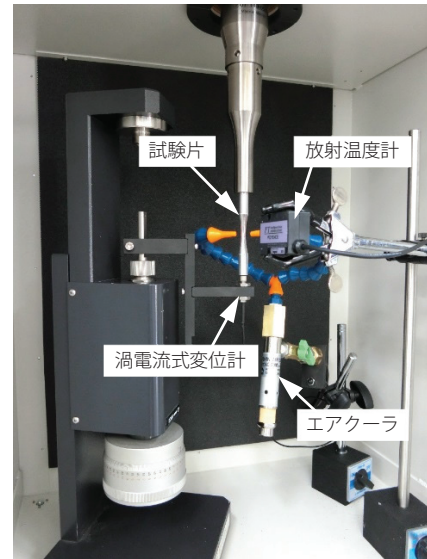


図 1 試験の様子

試験片の作製

超音波疲労試験機は試験片を 20 kHz で共振させることで、試験片に応力を発生させる装置です。WES 1112:2017 では、繰り返し速度に関して、 15 kHz 以下だと可聴域になるため騒音の問題が発生し、 30 kHz 以上の高周波数は共振条件を満たす試験片の設計が困難となるため、 $20 \pm 1 \text{ kHz}$ で試験を行うことを推奨してしています。そのため、まずは 20 kHz で共振可能な試験片を作製する必要があります。今回は平行部長さ（図 2 の L）の異なる 3 種類の試験片を作製し、それぞれの共振周波数を求めて、それらを線形補完することで 20 kHz における試験片寸法を求めました。一例として SNCM439 の試験片の図面を図 2 に、共振周波数と平行部長さの関係を図 3 に示します。

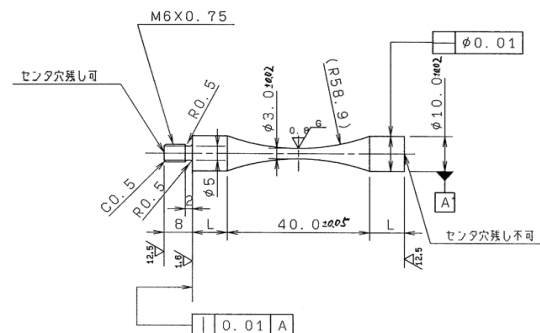


図 2 SNCM439 の試験片の図面

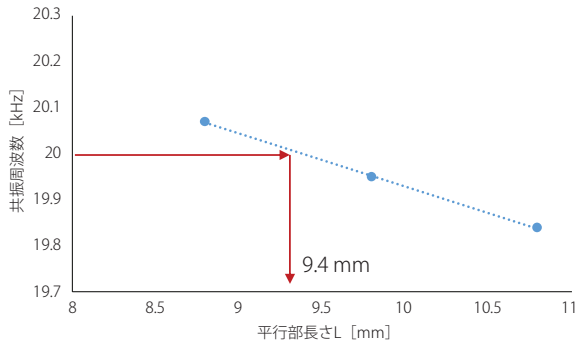


図3 SNCM439の共振周波数と平行部長さLの関係

■ 試験条件

表2に試験条件を示します。今回は2種類の金属試験片に対して、最大負荷応力を表2のように6水準設定して試験を行いました。また、今回は試験片の発熱を防ぐために、強制空冷だけでなく、発振時間と停止時間を交互に繰り返す間欠運転を行いました。WES 1112:2017では、間欠運転を行うことの試験への影響は非常に小さく、間欠運転を行ってよいといった記載があります。今回行った間欠運転の条件を表3に示します。

表2 測定条件

試験片	: SNCM439、A6063 T5
最大負荷応力	: SNCM439 1100、1050、1000、950、900、850 Mpa A6063 120、110、100、90、80、70 Mpa
最大繰返し数	: 1×10^{10}
試験数	: n = 2
応力比	: -1
周波数	: 20 kHz

表3 間欠運転の条件

試験片	最大負荷応力 [MPa]	発振時間 [ms]	停止時間 [ms]
SNCM439	1100	200	500
	950~1050	300	500
	850~900	300	200
A6063	120	200	500
	110	300	500
	70~100	300	100

■ 試験結果

SNCM439の試験結果を図4にA6063の試験結果を図5に示します。今回試験を行ったSNCM439とA6063はそれぞれ低温焼き戻しとT5熱処理を行っており、強度を高めた材料になります。そのため最大負荷応力が小さい条件では、 $10^8 \sim 10^9$ 回で疲労破壊しております。また、最大負荷応力が高いと破断繰返し数のばらつきが小さいですが、最大負荷応力が低いと破断繰返し数のばらつきが大きくなっています。これは最大負荷応力が高いと表面から破壊するのに対し、最大負荷応力が小さいと内部の介在物を起点に破壊が進行しており、その介在物の大きさに影響を受けているためだと考えられます。

■ まとめ

今回、2種類の金属の超音波疲労試験を行いました。いずれの材料も $10^8 \sim 10^9$ 回での疲労破壊が確認されたため、より耐久性が求められる場合は 10^7 回以降も試験を行う必要があります。今回使用しました超音波疲労試験機は20 kHzでの疲労試験が可能であり、 10^7 回以降の疲労試験を行う場合に適した装置になります。

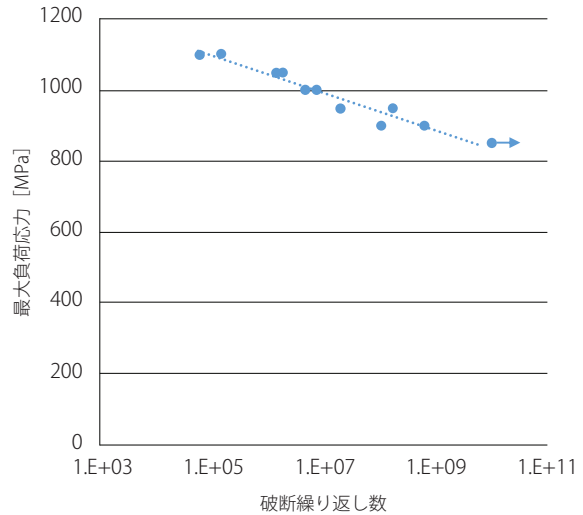


図4 SNCM439のS-N線図

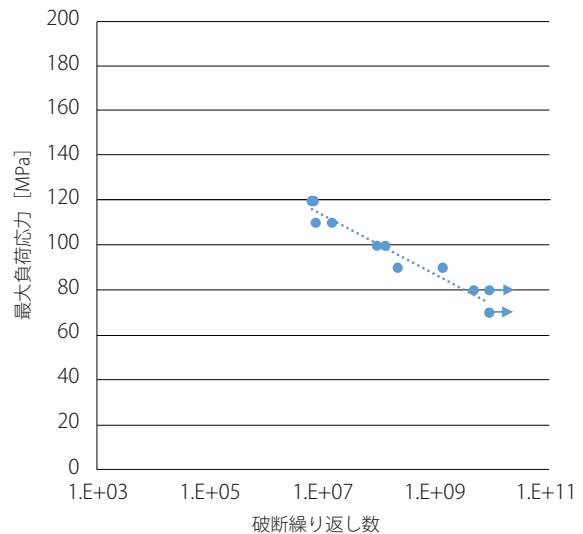


図5 A6063のS-N線図