

補助事業番号 2024M-438

補助事業名 2024年度 材料の簡便迅速な機械的特性評価手法の開発 補助事業

補助事業者名 九州工業大学 大学院工学研究院 機械知能工学研究系 松田健次

1 研究の概要

金属に脆化が生じる低温下で実験が可能な反発式硬さ試験機を開発し、室温下および低温下で、先端に対面角の異なるダイヤモンド四角錐圧子を付与した2種類の超合金製ハンマを試料表面に衝突させ、その反発挙動をレーザードップラー振動計を用いて測定した。また、同一材料のシャルピー衝撃試験を実施し、その温度依存性を調査した。その結果、低温脆化が生じない快削黄銅では、衝突時のハンマの速度波形や加速度波形に及ぼす温度の影響は極めて小さいのに対し、低温脆化が生じるSS400Dでは対面角172°の圧子を付与したハンマを衝突させた場合に、顕著な影響が生じることを明らかにした。

2 研究の目的と背景

機器、構造物を長時間にわたって健全に使用することは、CO2排出およびエネルギー消費削減の現実的かつ具体的解決策となる。その実現のためには、機器、構造物に使用される部材の機械的強度の経時変化を把握する等、品質管理をより厳しくする必要がある。一方で、少子高齢化に伴う労働人口の減少により、作業の省力化が求められている。このような状況に於いて、特に現場で、簡便・迅速に機械の品質や設備の状態を把握することの重要性が増している。

そこで本研究は、機器、構造物に使用されている部材の劣化度を、現場で非破壊的に瞬時に把握することのできる手法の確立を目指して計画されたものである。目指す手法は、ハンマを対象物に衝突させてその反発挙動を測定するものであり、原理的に極めて短時間に結果が得られるという特長を有している。本研究では、第一段階として、材料に劣化(脆化)を短時間に確実に発現させるために、-80℃程度までの低温下での試験が可能な反発硬さ試験装置を開発し、材料の劣化がハンマ反発挙動に及ぼす影響を調査した。

3 研究内容

(1) 低温環境反発試験装置の開発

<https://kenjimatsuda2012ki.wixsite.com/my-site-2>

図1に開発した低温環境反発試験装置の全体像を示す。-80℃ワクチン保管用フリーザー(設定温度範囲-80℃~-65℃)内部に、直径100mm、高さ110mmのSUS303製の試料台を設置し、その表面に試験片をボルト

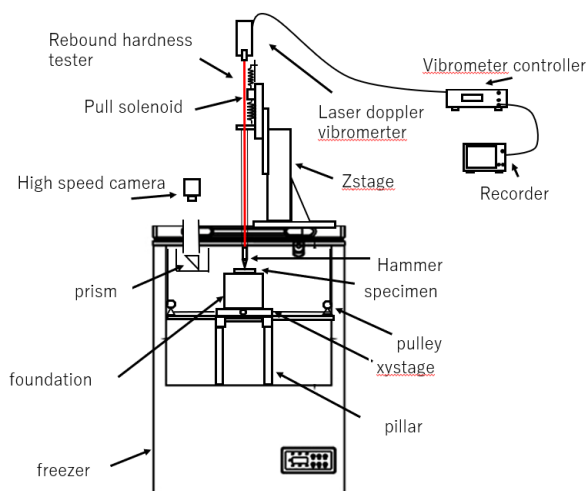


図1 低温環境反発試験装置

で固定する。試料台下部には自作したx-yステージが設置してあり、ステージ端部に一端を固定した金属ワイヤーをフリーザー本体と蓋の間から外部に引き出し、これを引っ張ることによりハンマ衝突位置を変えられる構造とした。

ハンマは、フリーザー上部に開けた穴に通した3本の細い釣り糸によって吊り下げられており、この糸の上部を固定したりニアガイドブロックにソレノイドを用いて重力加速度以上の加速度を下向きに与えることにより糸がたわみ、ハンマが試験片表面に自由落下する仕組みとなっている。

ハンマの反発挙動はハンマ上端にレーザードップラー振動計のレーザを照射することにより測定するとともに、フリーザーの上部に設置した高速ビデオカメラを使用して観測可能である。

(2) シャルピー衝撃値の温度依存性の把握

<https://kenjimatsuda2012ki.wixsite.com/my-site-2>

低温下で脆化が明確に生じる材料と脆化が生じない材料を、入手性も考慮して検討した。その結果、低温下で脆化が明確に生じる材料としてSS400D(ミガキ材)四角棒を、一方、低温下でも脆化が生じない材料として面心立方格子金属の中から入手と試験片加工の容易な快削黄銅四角棒を入手し、JIS Z 2242 Vノッチ試験片(長さ55mm, 高さ10mm, 幅10mm, ノッチ下高さ8mm)に加工した。同試験片にT熱電対(銅-コンスタンタン)を半田付けし、液体窒素に浸けて十分に冷却した後試験機にセットし、熱起電力をモニターすることによって -80°C になる瞬間を狙ってハンマを衝突させた。実験の様子はデジタルカメラを用いて動画撮影し、ハンマが衝突した瞬間の熱起電力を試験機と一緒に撮影したデジタルマルチメータから読み取り、試験片温度を算出した。

図2に、シャルピー衝撃試験の結果を示す。面心立方格子を持つ快削黄銅では温度によってシャルピー衝撃値はほとんど変わらないが、体心立方格子をもつSS400Dは低温で大きく靱性が低下していることが分かる。

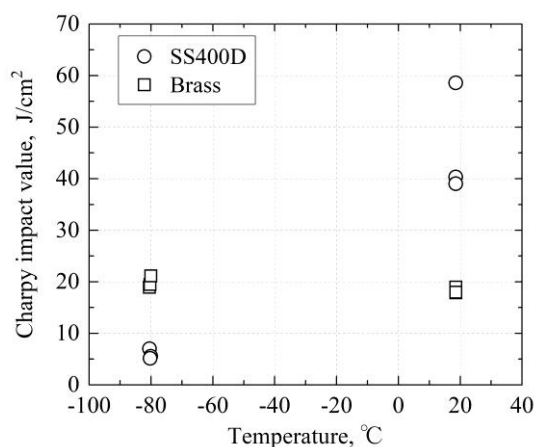


図2 シャルピー衝撃値と温度の関係

(3) 反発挙動とシャルピー衝撃値の関係の解明

<https://kenjimatsuda2012ki.wixsite.com/my-site-2>

低温環境反発試験装置の試料台に、シャルピー衝撃試験片(未使用)をその側面を上にしてセットし、落下高さ5mmを目標値としてハンマを衝突させた。ハンマには、直径10.4mm, 長さ32.5mmの超硬合金製の軸の先端に、ダイヤモンド四角錐圧子を付与したものを用いた。圧子対面角は 136° と 172° の2種類であり、質量はそれぞれ39.2gと39.1gである。

図3に、衝突前後の速度比から求めた反発係数 e と温度の関係を示す。全体的に対面角 172° の圧子の方が対面角 136° よりも反発係数が大きくばらつきも大きいことが分かる。温度の影響に

注目すると、対面角 136° の場合、快削黄銅では低温の方が若干(平均値で8%程度)小さく、SS400では低温の方が若干(平均値で8%程度)大きい。対面角 172° においてはばらつきが大きく正確な比較は困難であるが、平均的な値で比較するとSS400では低温の方が若干10%程度小さく、快削黄銅では両温度で同程度であった。

図4に、ハンマ速度波形を時間で微分して得られた加速度波形を示す。対面角 172° の圧子の方が加速度の立ち上がりと低下の速度が大きく、最大値は 136° の場合よりもかなり大きく、一方衝突時間は 136° の場合よりもかなり小さくなっている

ことが分かる。快削黄銅の場合、対面角 136° では温度による相違はわずかであり、対面角 172° においては低温の方が最大値が若干大きくなっているものの室温との相違は小さい。一方、SS400Dの場合、対面角 136° の場合は温度の影響は小さいが、対面角 172° の場合には急峻な山の形態を呈し、最大値は室温の場合よりも40%程度増加している。

反発係数のばらつきが大きいため、現段階では反発係数の変化と低温脆化との関連について議論するのは困難である。しかしながら、速度波形、加速度波形に注目すると、低温脆化が生じない快削黄銅では温度の影響が小さいのに対し、低温脆化が生じるSS400Dでは顕著な影響が生じることが明らかとなった。このことは、本研究で開発した低温環境反発試験機によって、 -80°C の低温下においてもハンマ反発挙動を精確に捉えられることを示すとともに、反発挙動を精確に捉えることにより材料劣化の程度を把握することが可能になることを示唆していると言える。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究で開発した低温環境反発試験装置を

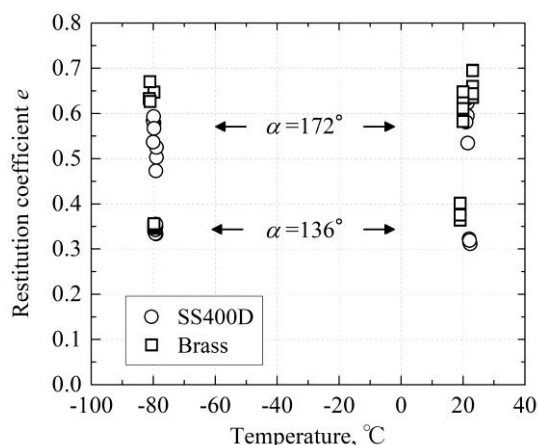
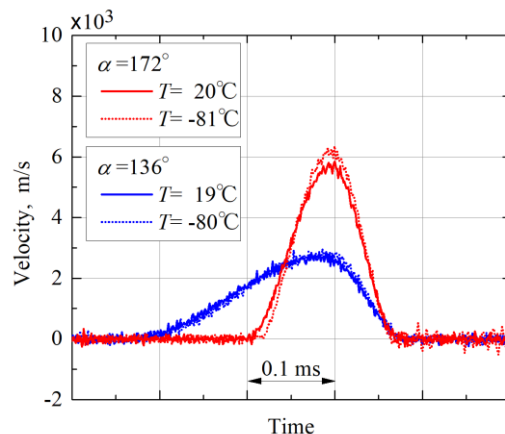
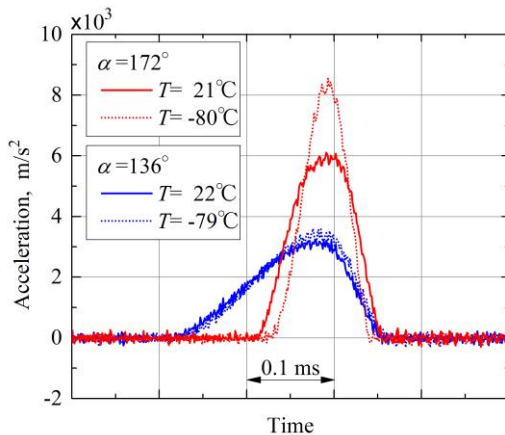


図 3 反発係数と温度の関係



(a) 快削黄銅



(b) SS400D

図 4 ハンマ加速度波形

用いれば、極めて低温な環境下においても簡便に材料の特性を評価できる。今後、金属以外の材料、例えば水素社会で極低温下で使用される機会が増加しているゴム等の高分子材料の評価にも活用できると考えている。また、中性子照射などによる金属の脆化の程度を定量的に評価する手法としてシャルピー衝撃試験が用いられているが、試験片を別途用意しておく必要がある。一方、反発硬さ試験では必ずしもその必要がないため、試験片不足の問題も解決や、省力化、および高頻度の測定による安全性の確保も強化できる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

事業者はこれまで、ライフワークとして「硬さ試験」に関する研究を行ってきた。近年は特に、極めて短時間に結果が得られるという特徴を有する「反発硬さ試験」に注目している。従来は、単なる硬さの比較法として用いられてきたが、これまでの事業者の研究で、ハンマ反発挙動を精確に捉えることにより、硬さがほぼ同じで応力-ひずみ線図の形体が異なる材料の識別や、メッキの付着強度の評価にも利用できる可能性を秘めていることが明らかにしてきた。今回の研究で、さらに新しい分野へ展開できることが示唆された。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

なし

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

なし

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名：九州工業大学

(キュウシュウコウギョウダイガク)

住 所：〒804-8550

福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1

担 当 者：教授 松田 健次

(マツダ ケンジ)

担 当 部 署：大学院工学研究院

(ダイガクインコウガクケンキュウイン)

E - m a i l : matsuda.kenji792@mail.kyutech.jp

U R L : <http://www.mech.kyutech.ac.jp/labo/tribo.html>