

液体ヘリウムをもちいた極低温環境における材料特性評価

技術本部 機械・プロセスソリューション事業部 機械技術部 田中 慎吾

1970年代より、核融合炉用大型超電導マグネット、超電導発電機などの大型極低温機器の設計・開発が進められたことで、超電導技術や周辺技術の急速な進歩が生じた。超電導マグネットなどに使用される構造材料は、極低温の環境で使用されることから、同様の環境での引張強度や破壊靱性値などの材料特性を把握することが必須であり、極低温試験技術の開発や基礎研究が活発に行われた¹⁾。当社は、1990年初頭に、極低温環境(液体ヘリウム浸漬環境/4K)材料試験装置を(株)神戸製鋼所から譲り受け、社外からの試験に対応できる体制を整えた。1993年には「こべるにくす」に「極低温における材料強度試験」記事を寄稿し、PR活動を開始、現在に至るまで数多くの極低温環境での材料試験の受託実績を蓄積してきた。

近年、水素社会に向けた水素インフラ整備に伴う液体水素向け機器用材料や、先端学術研究向けの粒子加速器や熱核融合実証炉等の超電導コイル構造材料などの開発・製作が盛んになり、極低温環境下での材料試験ニーズが高まっている。以下、当社保有の極低温環境試験装置および実施可能な材料試験について説明する。

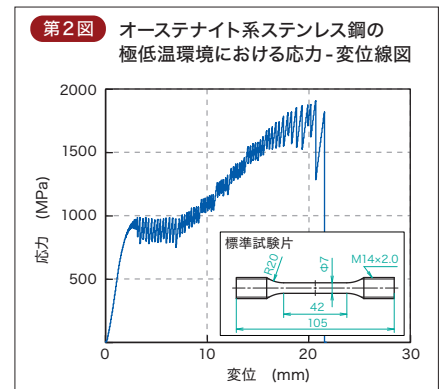
【極低温試験装置概要】

極低温の専用試験装置として、万能試験(荷重容量100kN)および電気油圧サーボ式疲労試験機(荷重容量100kN)を保有する(第1図)。試験片を液体ヘリウムに浸漬し、液体ヘリウムの大気圧沸点(およそ4K)温度にて材料試験を行うことができる。ヘリウムは限られた地域のみで生産される貴重なガスであるため、万能試験機では一度に複数の試験片を液体ヘリウムに浸漬できる構造をもち、液体ヘリウムの使用量を節約することができる。加えて、本年度から液体ヘリウムの安定入手が可能な体制を整備した。

【試験内容について】

JIS Z2277「金属材料の液体ヘリウム中の引張試験方法」、JIS Z2284「金属材料の液体ヘリウム中弾塑性破壊靱性 J_{IC} 試験方法」およびJIS Z2283「金属材料の液体ヘリウム中の低サイクル疲労試験方法」などの各種試験に対応可能である。試験結果の一例として、オーステナイト系ステンレス鋼の極低温環境における応力-変位線図を示す(第2図)。オーステナイト系ステンレス鋼のように低温脆性を示さない材料の極低温環境における引張試験では、材料の引張強さは一般に常温の場合の1.5~2倍以上となる。また、比例限を超えたあたりから鋸刃状の挙動を示す。これは「セレーション」と呼

ばれ、降伏による発熱と再冷却の繰り返しにより生じると言われている。このように極低温環境では室温と比較して材料の特性が大きく変化する。



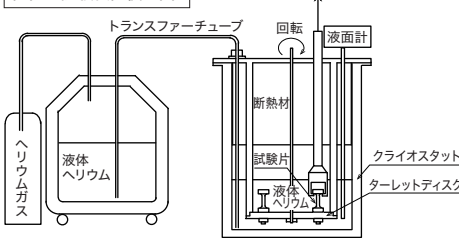
第1図 極低温試験装置

装置	対応可能な試験内容	一度に投入可能な試験片数量
万能試験機 荷重容量100kN	引張試験、破壊靱性試験などの静的試験	丸棒：10本 平板および破壊靱性試験片：5本
電気油圧サーボ式疲労試験機 荷重容量100kN	疲労試験、疲労き裂進展試験などの動的試験	1本

試験装置外観(万能試験機)



極低温試験装置模式図



万能試験機では、ターレットディスク上に複数の試験片を設置し液体ヘリウム液槽(クライオスタット)内で試験片の交換が可能

治具構造を工夫することにより圧縮試験や3点曲げ試験なども実施可能である。金属材料だけでなく、樹脂・断熱材・コンクリートなどの適用実績もあり、お客さまのニーズに合わせて最適な試験方法を提案させていただきます。

今後も、この技術を継続・発展させていくことで、お客さまの極低温環境試験のニーズに応えてまいります。

※1) T.Mizoguchi et al.: Proc. Japan-US Joint Seminar on Advanced Materials for Severe Service Applications, Elsevier Applied Science, (1986) p273/289.