

1. INTRODUCTION

インバー合金(Fe-36%Ni) ¹⁾の熱膨張を限りなく 0 に近づけるためには、Ni を数%Co に置き換え、最適な比率(32%Ni-5%Co=スーパーインバー合金)にする必要がある ²⁾。しかし、Ni 量を少なくし、Co 量を上げることでマルテンサイト変態開始温度(M_s 点)が高くなることがわかっている ³⁾。その為、273K から 193K 以下の低温域でスーパーインバー合金を使用するとマルテンサイト変態が起り低熱膨張特性を損なうので、一般的に熱膨張係数が大きいインバー合金が使用されている。近年の精密機械の高精度化に伴い、インバー合金の熱膨張率では不十分である為、インバーを粉末冶金にて高純度化し、熱膨張を 0 に近づける研究が報告されているが、製造形状や大きさに制限があり、実用化には至っていない ⁴⁾。

他方、増本により Stainless Invar 合金(Fe-Co-Cr)が開発されたが ⁵⁾、低熱膨張がなかなか再現されず、これまで実用化されていない。増本の特許によれば ⁶⁾、Fe-Co-Cr 合金にはカーボンを含 0.19%含有している。インバー合金において、カーボンは経年変化を著しく阻害することが知られている ⁷⁾。そこで、新報国製鉄(株)は低カーボン系の Fe-Co-Cr 合金の組成を見直すことにより新低熱膨張合金 IC-DX の開発に成功した。IC-DX 合金は低温安定性且つ極低熱膨張特性と高ヤング率、高耐食性を実現した。本論文では IC-DX の極低温及び常温での特性評価を行った。

2. 極低温熱膨張測定

2.1 測定サンプル

極低温熱膨張測定を行った測定サンプルを Table1 に示した。

Table1 Test Sample list of CTE at Cryogenic Temperature

	Alloy Grade	Chemical Composition	Sample Size
Sample1	IC-DX	Fe-Co-Cr	20×20×8mm
Sample2	36%Ni Invar	Fe-Ni	20×20×8mm

測定サンプルは共に鍛鋼品を使用し、極低温熱膨張を測定するにあたり、測定サンプルの平面度、平行度が重要である為、20×8 面については超精密鏡面加工を用い試験片サンプルの作製を行った。

2.2 測定装置・方法

産業技術総合研究所の協力を受け、He-Ne レーザーを光源とする低温用レーザー干渉計を用いて熱膨張測定を行って頂いた。測定温度域は 45K~300K とした。室温にて試験片を取り付けた後、Figure1 に示したように-18K/h で 45K まで冷却したのちステップ状に温度上昇を行った。

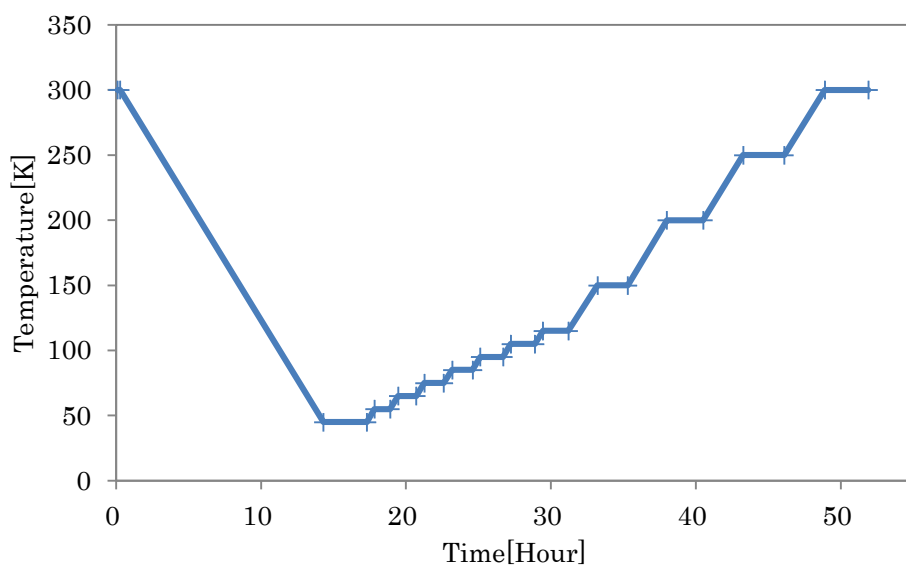


Figure1 Temperature control pattern

ステップ状の昇温過程において、それぞれの指定温度に定温制御した状態で試験片温度及び温度ステップ間での試験片長の変化量を測定する。得られた試験片温度及び試験片長の変化量よりステップ間での平均熱膨張率(CTE)を求めた。また長さ変化率($\Delta L/L_0$)についても求めた。尚、 L_0 は測定前の常温(293K)の試料長である。

$$CTE = \Delta(L_1 - L_2) / L_0 / \Delta(T_1 - T_2)$$

2.3 測定結果

長さ変化率を Figure2 に、平均熱膨張率を Figure3 に、293K からの各温度の熱膨張率を Figure4 に示した。IC-DX は 36%Ni インバーと比較して変化率が小さいことが確認できる。特に 65~85K にかけてはほぼ 0 であるといえる。

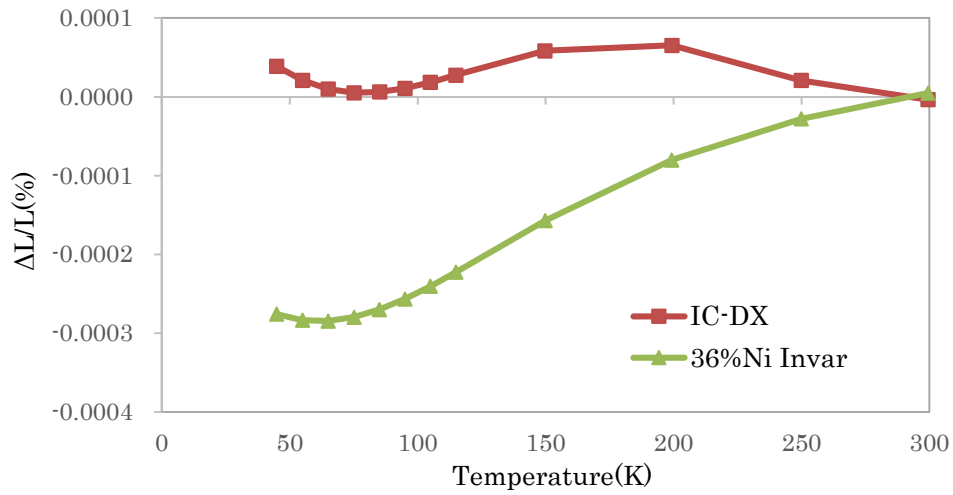


Figure2 Comparative Relative contraction of IC-DX and 36Invar

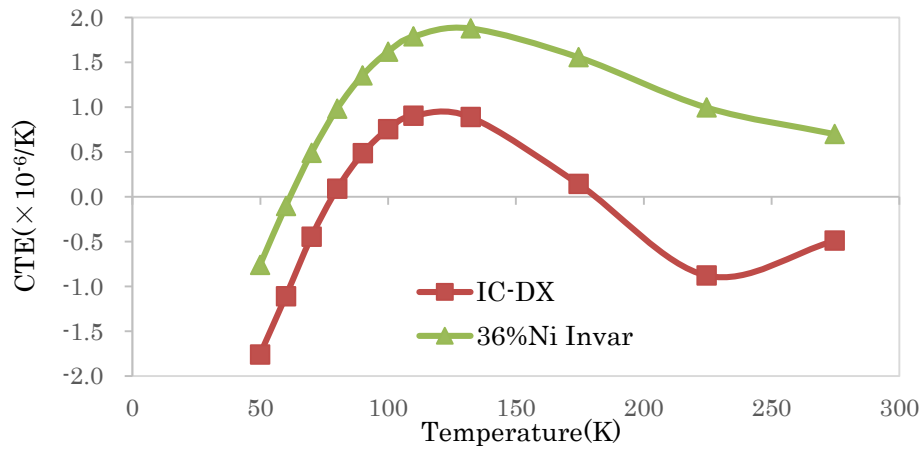


Figure3 Comparative CTE of IC-DX and 36Invar

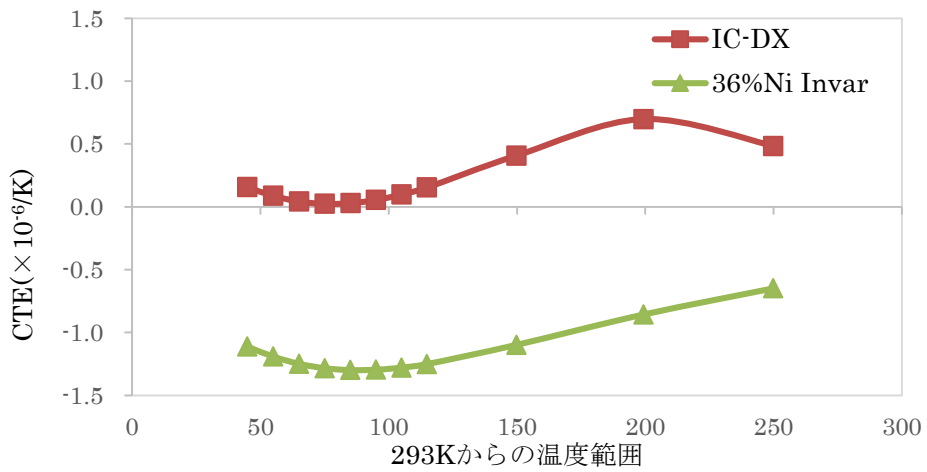


Figure4

3. 極低温組織安定性

3.1 観察サンプル

極低温組織安定性試験を行った観察サンプルを Table2 に示した。尚、観察サンプルはすべて鍛鋼品を使用した。

Table2 Test Sample list of Stable structure

	Alloy Grade	Chemical Composition
Sample1	IC-DX	Fe-Co-Cr
Sample2	36%Ni Invar	Fe-Ni
Sample3	Super Invar	Fe-Ni-Co

3.2 観察方法

Sample1 及び 2 は液体ヘリウムに浸漬させ 4K、Sample3 は液体窒素に浸漬させ 77K まで冷却する。サンプルを常温に戻した後、粗研磨・仕上げ研磨を行い、腐食液を使用しエッチングを行い、光学顕微鏡を用い組織観察にてマルテンサイト変態の有無の確認を行う。尚、組織観察倍率は 100 倍とする。

3.3 観察結果

Sample1 及び 2 は液体ヘリウム下(4K)でもマルテンサイト変態しておらず、組織安定であることがわかる。Sample3 に関しては液体窒素下(77K)でもマルテンサイト変態しており、組織安定性がないことがわかる。



IC-DX(4K)



Invar(4K)



Super Invar(77K)

Figure5

4. 常温の材質特性

4.1 機械的特性

IC-DX の常温における引張試験、ヤング率及びロックウェル硬さの測定を行った。引張試験片は JIS2241 の 14 号試験片とし、伸び計を使用しオフセット法にて 0.2% 耐力を測定した。引張強さ、破断伸びについても測定した。ヤング率は 7T×16W×125L の試験片を用い、二点支持横共振法にて共振周波数を測定しヤング率を計算にて求めた。ロックウェル硬さ試験は JIS2245 にて測定した。結果を Table3 に示す。

Table3 Materials characteristic of IC-DX

0.2% yield strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Young's Modulus (GPa)	Hardness (HRB)
213	575	56.7	177	75.3

5. SUMMARY

既存の低熱膨張合金 36%Ni インバー合金は熱膨張係数が大きい、32%Ni-5%Co スーパーインバー合金は低温の組織安定性がないとの欠点を有するが、新報国製鉄が開発した低温安定型ゼロ熱膨張合金 IC-DX は極低温熱膨張係数がゼロに近く組織安定性も優れている。また、IC-DX の諸特性は 36%Ni インバー合金よりも優れているか同等である。

文献

- 1.Ch.E.Guillaume : C.R.Acad.Sci., 125 (1897) ,235
- 2.増本量 : 応用物理, 1 (1932), 227
- 3.H.Saito : PHYSISC AND APPLICATIONS OF INVAR ALLOYS, 21 (1978), 495
- 4.Witold M. Sokolowski(NASA):Patent Number5476633 (1995)
- 5.増本量(東北帝国大学) : 日本金属学会誌, 2 (1938) , 141
- 6.増本量(東北帝国大学) : 特許 97033 号 (1931)
7. S.Kachi : PHYSISC AND APPLICATIONS OF INVAR ALLOYS, 17 (1978), 395