

マルテンサイト逆変態に誘起される オーステナイト再結晶を利用したスーパーインバー鋳鋼の剛性改善

新報国製鉄株式会社、坂口 直輝

1. 諸言

スーパーインバー合金(Fe-32%Ni-5%Co, mass%)は熱膨張係数が極めて小さいことから、精密機器部材に広く使用されており、とくに形状が複雑な部材には鋳鋼品が採用される。ところが、スーパーインバー鋳鋼は、多量な Ni 添加に加えて、凝固組織に由来した集合組織によって著しく低い剛性を示すことが知られており⁽¹⁾、剛性の改善が本鋳鋼を大型構造部材に適用するための大きな課題となっている。本研究では、塑性加工を用いない熱処理のみによるスーパーインバー鋳鋼の剛性改善を目指し、サブゼロ処理とその後の焼鈍処理によって生じるスーパーインバー鋳鋼の組織変化ならびにそれに伴うヤング率変化を調査した。

2. 実験方法

本研究では、Table1 に示す化学成分を有するスーパーインバー合金を大気炉にて溶解し、JIS G 0307 Y 型試験片に鋳造した。なお、凝固組織を変化させることを目的に、鋳型への注湯温度を 1550°C と 1450°C に変えた 2 種類の鋳鋼を準備した(1550°C, 1450°C 鋳造材)。

Table1 Chemical composition of a super invar cast alloy (mass%).

C	Si	Mn	P	S	Ni	Co	Fe
0.008	0.12	0.27	0.004	0.003	31.98	5.70	Bal.

このうち、1550°C 鋳造材は鋳鋼のまま液体窒素にて -196°C で 3.6ks のサブゼロ処理に供した後、830°C で 7.2ks の焼鈍後水冷した(熱処理材)。なお、熱膨張試験によって測定した鋳造材の M_s 点および A_f 点は、それぞれ -50°C と 580°C 程度であり、上記の熱処理により、試料の一部で fcc-bcc マルテンサイト変態ならびに bcc-fcc マルテンサイト逆変態が生じることを期待した。

Fig. 1 に示すように各試料の Y ブロック鋳鋼の中央部から $7 \times 16 \times 125 \text{mm}^3$ の板材を切り出し、ヤング率測定と光学顕微鏡による組織観察、XRD 回析($\text{CoK}\alpha$, 30kV-100mA)を用いた集合組織解析を行った。ヤング率は、二点支持共振法を実施することで試料長手方向への共振周波数を実測することで測定した。

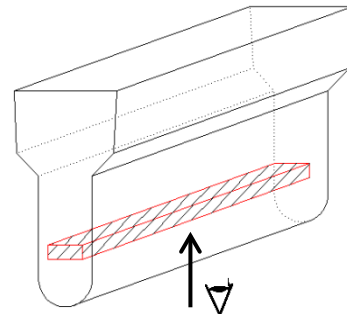


Fig. 1 Schematic illustration of the position of plate sample cut from a Y-block ingot.

3. 結果および考察

Fig. 2 は、(a)1550°C 鋳造材、(b)1450°C 鋳造材ならびに(c)熱処理材の光顕組織を示す。どちらの鋳造材も粗大なオーステナイト単一組織を有し、とくに注湯温度が高い 1550°C 鋳造材では、凝固時の温度勾配が大きいと、粗大な柱状晶凝固組織が発達していることがわかる(a)。しかしながら、この 1550°C 鋳造材にサブゼロ処理と焼鈍処理を施した熱処理材では、粗大な柱状晶凝固組織は消滅し、等軸かつ微細な組織が形成していることが確認できる(c)。Krauss⁽²⁾は、安定な Fe-33.5%Ni オーステナイト合金に対して、サブゼロ処理と焼鈍処理を施した場合、試料の一部で fcc-bcc マルテンサイト変態ならびに bcc-fcc マルテンサイト逆変態が生じること、さらに、この 2 度のマルテンサイト変態によってサブゼロ処理前のオーステナイト組織が復元されることを報告し

ている。その一方で、牧ら⁽³⁾は、Fe-18%Ni マルテンサイト合金を用いて、マルテンサイト逆変態によって形成したオーステナイト組織（逆変態オーステナイト）に及ぼす焼鈍温度と時間の影響を調査し、高温・長時間の焼鈍によって逆変態オーステナイトが再結晶することを報告している（再結晶オーステナイト）。彼らの研究を考慮すると、本 casting 材では、830℃での焼鈍過程においてマルテンサイト逆変態ならびにそれに誘起された再結晶が生じ、微細な再結晶オーステナイト組織が形成したと考えられる。これら3つの試料に対してXRDを行ったところ（Fig. 3）、1550℃ casting 材(a)では著しく配向したオーステナイト(200)集合組織が確認され、凝固組織が微細となった1450℃ casting 材(b)においても、依然として(200)が強く配向していた。ところが、熱処理材(c)では、(200)以外の回折が強く観察され、再結晶オーステナイトの形成によってオーステナイトの結晶方位がランダム化されたと理解できる。

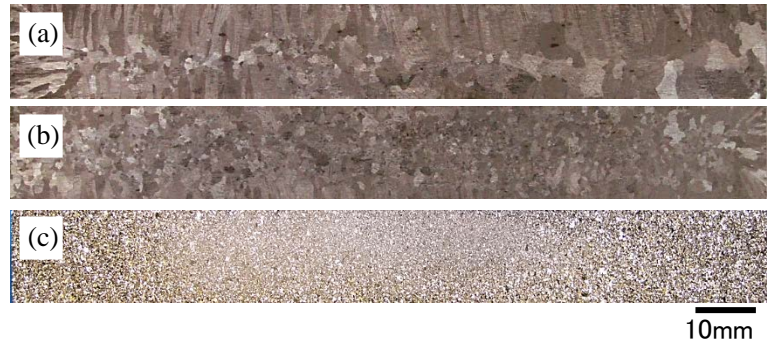


Fig. 2 Macroscopic optical microstructure of austenite in (a) 1550°C-, (b) 1450°C-cast and (c) heat treated materials.

と、本 casting 材では、830℃での焼鈍過程においてマルテンサイト逆変態ならびにそれに誘起された再結晶が生じ、微細な再結晶オーステナイト組織が形成したと考えられる。これら3つの試料に対してXRDを行ったところ（Fig. 3）、1550℃ casting 材(a)では著しく配向したオーステナイト(200)集合組織が確認され、凝固組織が微細となった1450℃ casting 材(b)においても、依然として(200)が強く配向していた。ところが、熱処理材(c)では、(200)以外の回折が強く観察され、再結晶オーステナイトの形成によってオーステナイトの結晶方位がランダム化されたと理解できる。

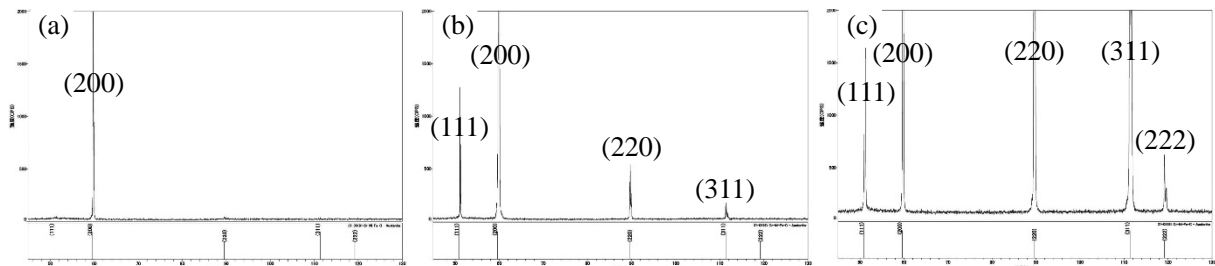


Fig. 3 X-ray diffraction profile showing a texture along longitudinal direction of plate sample in (a) 1550°C-, (b) 1450°C-cast and (c) heat treated materials.

そこで、同一試料のヤング率を測定した結果を Fig. 4 に示す。なお、図中には、単結晶の<200>、<220>、<111>方向のヤング率も点線で示している⁽¹⁾。各試料のヤング率は、XRD による集合組織の変化とよく一致し、<200>方位の減少ならびに結晶方位のランダム化によってヤング率が増加し、鍛鋼材と同程度の高剛性を示すことが明らかとなった。以上の結果より、サブゼロならびにその後の焼鈍によってマルテンサイト逆変態によるオーステナイトの再結晶が発現し、これによってスーパーインバー casting 鋼の剛性が改善することが明らかとなった。

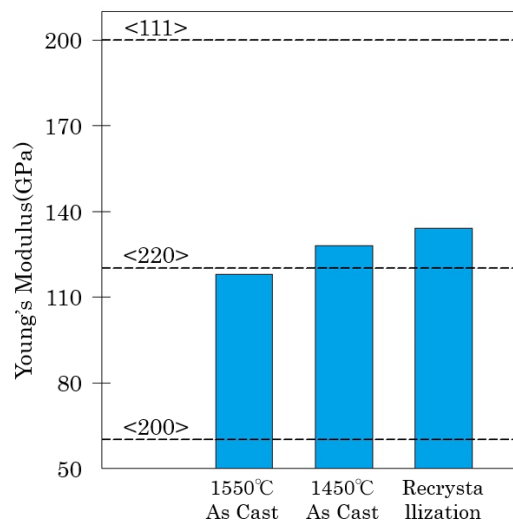


Fig. 4 Young's modulus along longitudinal direction of plate sample in (a) 1550°C-, (b) 1450°C-cast and (c) heat treated materials.

【参考文献】

- (1) 増本 量, 菊池 紀雄, 沢谷 昭八：日本金属学会誌, 33, 11, p.1299 (1969).
- (2) G.KRAUSS：ACTA METALLURGICA, 11, p.499 (1963).
- (3) 牧 正志, 森本 啓之, 田村 今男：鉄と鋼, 65, 10, p.1598 (1979).