

次世代高強度複層鋼板における高強度-高延性の発現機構の解明 In-situ Analysis of Deformation of High Strength Multilayered Steel Composite by Synchrotron Radiation

小島 真由美^a, 井上 純哉^a, 菖蒲 敬久^b, 城 鮎美^b, 南部 将一^a, 新野 拓^a
Mayumi Ojima^a, Junya Inoue^a, Takahisa Shobu^b, Ayumi Shiro^b, Shoichi Nambu^a, Taku Niino^a

^a東京大学, ^bJAEA

^aThe University of Tokyo, ^bJapan Atomic Energy Agency

白色放射光回折法により、積層型高強度鋼板の変形挙動を検討した。高強度を担保する焼入れマルテンサイト鋼中の応力状態について積層界面に注目して検討した所、35%という高ひずみ域に至るまでクラックや積層界面におけるデラミネーションが生じることなく均一に変形が生じていることが明らかとなった。破壊力学的な幾何設計指針に基づいて設計された積層型鋼板中では脆性的なマルテンサイトにおいても十分な塑性変形を誘発する事が可能であり、この点が高強度-高延性をもたらす要因であると考えられる。

キーワード： 鉄鋼材料、複層鋼板、機械的特性、応力解析、マイクロ組織、異相界面、白色X線

背景と研究目的：

鋼の強度-延性バランスの更なる向上は、社会基盤材料としての様々なニーズに応えるとともに、移動体とりわけ自動車の車体軽量化を通して資源・環境問題の改善にも寄与すると期待されている。そのような中、本研究グループでは、マルテンサイト鋼とオーステナイト鋼を積層化した複層型鋼板(複層鋼板)[1]を用い、各構成層の構成比や層厚を制御する外部設計型の手法を用いることで、従来にない強度-延性バランスの実現を目指してきた。複層鋼板の強度-延性バランスの実現には、高強度マルテンサイト相が十分な塑性変形量を有することが鍵である。これまでの研究でマルテンサイト相に大変形を誘発するための破壊力学的な幾何設計指針[2]については明らかにしたもの、脆性的なマルテンサイト相が30%を超える延性を示す原理は未だに明らかになっていない。複層鋼板中のマルテンサイト相に生ずる大変形の発生機構の解明には、作製工程中に生じる残留応力分布や、変形中に生じるマイクロな応力分配を明らかにすることが不可欠であり、特に、クラックやデラミネーション(層状剥離)の発生が予測される積層界面近傍における変形挙動の解明は重要である。そこで、数10 μm まで集光が可能な放射光X線回折法を用いて引張変形中その場内部応力測定を実施し、界面近傍の特異性について検討する事とした。また、白色光では一度に多くの指数からの回折を得ることが可能である利点を活かし、弾性および塑性変形の結晶方位依存性についても検討することで、マルテンサイトの大変形機構を明らかにすることを目的とした。本報告書では主に界面近傍の内部応力解析について報告する。

実験：

試料には3層構造の幅4 mm, 厚さ1 mm, 平行部長さ20 mmの小型引張試験片を用いた。層厚は中心層のマルテンサイト鋼が200 μm であり外層のオーステナイト鋼は400 μm である。中心層のマルテンサイト鋼には異なる化学成分の鋼を用いた(Smp.No.1105:0.13C-Fe, Smp.No.1107:14Ni-0.002C-Fe, Smp.No.1134:14Ni-0.2C-Fe)。外層のオーステナイト鋼には全種類においてJIS SUS316を用いた。ビームラインに引張負荷装置を導入し、変形中および除荷後においてマルテンサイト層の中心位置およびオーステナイト層との層界面付近においてそれぞれ回折プロファイルを得た。概略図をFig. 1に示す。用いた光学・測定条件は以下の通りである。

- ・ 入射スリットサイズ：高さ0.05 mm×幅1 mm
- ・ 回折角 2θ : 8 deg
- ・ エネルギー範囲：40-160 keV
- ・ 測定時間：300 sec

- ・ 負荷条件：応力制御およびひずみ制御
- ・ 測定環境：室温大気中
- ・ Ge 半導体検出器(SSD)によるエネルギー分散法による測定

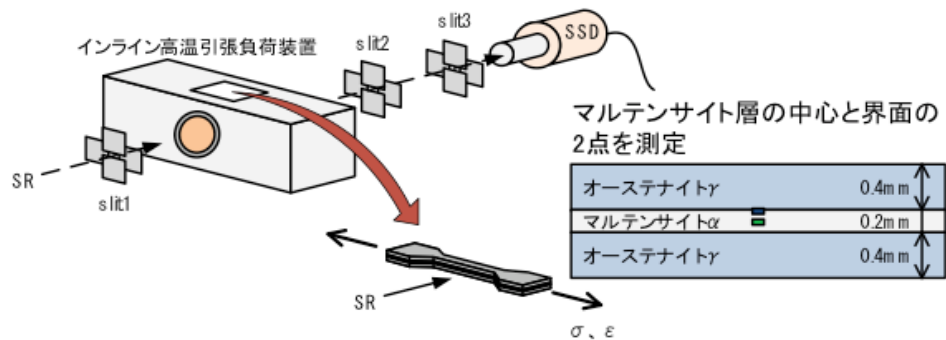


Fig. 1. 試験片の形状と実験装置セットアップの概略図

結果および考察：

Fig. 2に得られた回折プロファイルの一例を示す。Fe- α およびFe- γ の格子定数をそれぞれ2.8664 Å, 3.6517 Å[3]とし、得られた回折ピークの同定を行った。

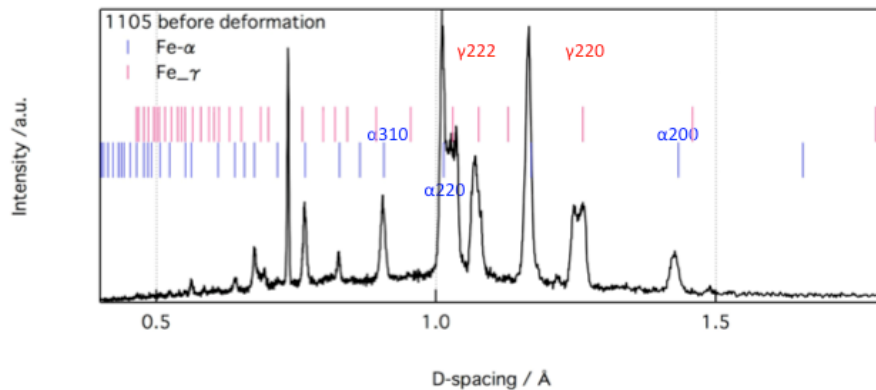


Fig. 2. マルテンサイト(Fe- α)層とオーステナイト(Fe- γ)層で構成される複層鋼板(1105)において得られた回折プロファイルの一例
積層界面を測定しているため Fe- α , Fe- γ 回折が混在する

Fig. 3(a)に負荷応力および負荷ひずみの変化に伴うマルテンサイトの321回折ピークの変化を示す。負荷応力の増加にともないピークトップの位置が図中の矢印の変化で示すように低エネルギー方向へシフトし、格子面間隔が増加していることが分かる。一旦、急激に増加した格子面間隔はある程度負荷応力が増加すると(300MPa 付近)変化量が小さくなる。このことは、弾性変形から塑性変形に移行した事を意味する。このような負荷応力(もしくは負荷ひずみ)と格子面間隔の関係は回折法を用いた鋼における内部応力測定で一般的に見られる傾向であり、本実験の装置環境ならびに測定条件が適正である事を示している。各プロファイルのピーク位置をガウス関数によりフィッティングし、変形前を基準点として格子ひずみを算出した。Fig. 3(b)に、負荷応力および負荷ひずみの変化に伴う層の中心位置および界面付近(Fig. 1)のFe-bccの321格子ひずみの変化を示す。層内の位置に関わらず内部応力値はほぼ同様であることから、変形中に生じる内部応力の層内分布は非常に小さく、マルテンサイト層中に均一に応力が伝達していることが明らかになった。35%という高ひずみ域に至るまでクラックや界面におけるデラミネーションが生じることなく脆性マルテンサイトが均一変形し続けることが、複層鋼板に高強度-高延性をもたらす要因であることが明らかとなった。

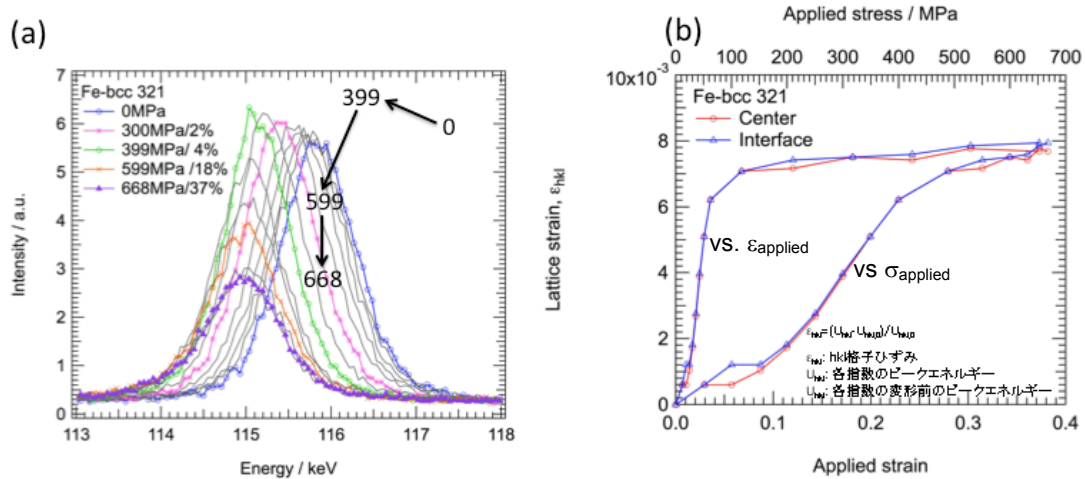


Fig. 3. (a) 負荷応力および負荷ひずみの変化に伴う Fe- α の 321 回折ピークの変化
 (b) 負荷応力 ($\sigma_{applied}$) および負荷ひずみ ($\epsilon_{applied}$) の変化に伴う板厚中心位置 (赤 : Center) および界面付近 (青 : Interface) の Fe- α 321 格子ひずみ変化

参考文献 :

- [1] 小関敏彦ら, 金属, 80, 4, 271-309 (2010)
- [2] J. Inoue et al., *Scripta Materialia*, 59, 1055-1058 (2008)
- [3] C.S. Barrett, Structure of Metals 2nd Ed., McGraw-Hill Book Company Inc., New York, 1952