

Title	電磁超音波探触子を用いた冷間圧延鋼板の深絞り性の非破壊評価に関する研究
Author(s)	村山, 理一
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.11501/3075303
DOI	10.11501/3075303
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏 名 村 山 理 一

博士の専攻分野の名称 博士(工学)

学位記番号 第 11192 号

学位授与年月日 平成6年3月16日

学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当

学位論文名 電磁超音波探触子を用いた冷間圧延鋼板の深絞り性の非破壊評価
に関する研究

論文審査委員 (主査)
教授 福岡 秀和

(副査)
教授 小倉 敬二 教授 小坂田宏造 助教授 平尾 雅彦

論文内容の要旨

本研究は製造ライン上で冷間圧延鋼板(冷延鋼板)の深絞り性(\bar{r} 値)の非破壊的に全長測定するという課題を解決するために実施されたものである。

冷延鋼板の \bar{r} 値を評価する方法としては、冷延鋼板を引張試験片に機械加工し、15~20%の伸びを与えた結果生じる引張試験片のひずみから求める方法が一般的である。この場合は冷延鋼板のサンプリングが必要であり、破壊測定となるため製造される冷延鋼板のごく一部だけの測定を実施しているのみであり、製造ライン上で全長連続 \bar{r} 値測定をおこなう方法の開発が強く要望されていた。

第2章では本研究で実施した評価法の測定原理について述べている。すなわち \bar{r} 値は{111}結晶面が圧延方向に密度高く存在すれば高い \bar{r} 値を示し、その{111}結晶面の存在確率は結晶粒方位分布関数の展開係数の1つである W_{400} と強い相関がある。特に多結晶である冷延鋼板の弾性定数を求め、それにもとづき S_0 モード板波の分散関係を明らかにした。その結果、 S_0 モード板波音速は結晶粒方位分布関数の展開係数である W_{400} 、 W_{420} 、 W_{440} の一次関数であり、伝播方向 θ に対して $\cos 2\theta$ 、 $\cos 4\theta$ の関数となることを示した。この結果は W_{400} が 0° 、 45° 、 90° 方向に伝播する S_0 モード板波音速の平均から求めることができることを示している。また W_{400} 、 W_{420} 、 W_{440} の大きさは単結晶の場合でも、たかだか0.01~0.03であり、各項の係数 A_0 、 A_2 、 A_4 は6.083、-9.182、6.673であることから \bar{r} 値の違いによる音速変化は大きくても数%程度になることを明らかにした。

第3章では本研究で用いた評価法を製造ラインで適用するために開発した S_0 モード板波用電磁超音波探触子(EMAT)について述べている。実際には従来一般に使われていたローレンツ力型 S_0 モード板波EMATと本研究で特に着目した磁歪型 S_0 モード板波EMATとについて比較検討を実施した。その結果、磁歪型 S_0 モード板波EMATがどの測定条件においてもローレンツ力型に比べて2倍以上(リフトオフ、板厚に依存)高い受信信号強度が得られること、また受信信号強度を最大にするための電磁石の磁化電流は、ローレンツ力型の1/10以下で良いことを明らかにした。この結果は磁歪型EMATを用いれば電磁石の発熱という課題を解決でき、かつローレンツ力型で実施できない板厚まで、ライン上での \bar{r} 値測定が可能になることを明らかにした。

第4章では固定長を伝播する S_0 モード板波伝播時間の伝播方向依存性について実験をおこない、伝播時間から求めた W_{400} 、 W_{420} 、 W_{440} は{111}、{110}、{100}のいずれの結晶軸密度とも高い相関をもっていること、特に W_{400} と \bar{r} 値が高い相関性を持っていることを明らかにした。この結果から工業的にオンラインで \bar{r} 値評価を実施するた

めには、 \bar{T} 値評価精度が高い S_0 モード板波がよいということを明らかにした。

また同 \bar{T} 値でも連続鈍材とバッチ材では主要結晶軸密度が異なっており、この場合、伝播時間測定による \bar{T} 値測定値は異なった結果を与えることを明らかにした。ただし、連続焼鈍材に限定すれば、 S_0 モード板波伝播時間測定による \bar{T} 値評価精度は $1\sigma=0.07$ となることを明らかにした。

第5章では前章までの研究結果をもとに、連続焼鈍ライン上で実際に \bar{T} 値を測定するオンライン \bar{T} 値計を製作し、オフライン、オンラインでの性能評価実験をおこない、以下のことを明らかにした。

温度の影響については、雰囲気温度が 30°C 変化するためにおきる伝播時間測定値変化は、 \bar{T} 値が 0.1 変化するためにおきる伝播時間測定値変化に対応していることを明らかにした。また張力の影響については、製造ラインでの操業条件（最大張力変化： 20MPa ）では考慮する必要がないことを明らかにした。リフトオフについては、 1mm のリフトオフ変化が \bar{T} 値変化 0.08 に対応していることを明らかにした。その結果、オンライン \bar{T} 値計の測定誤差は、測定値の繰り返し再現性、長期安定性などを考慮しても、 $1\sigma=0.02$ となり目標評価精度 $1\sigma=0.07$ の $1/3$ 程度であることがわかり、本システムが $1\sigma=0.07$ の精度で \bar{T} 値を評価するのに妥当であることを明らかにした。また広い範囲の板厚と材質を含むサンプル板で評価した結果、オフラインでの測定精度は $1\sigma=0.07$ 以内となり、目標精度以内で測定できることが確認できた。また長期連続測定していくという観点からは、電磁石を上下対称に配置することで、冷延鋼板とセンサが接触することがないことを確認できた。また受信信号強度を高くするという点でも有効であることを明らかにした。さらにコイル-コイル間の溶接点退避時に磁化電流をオフして、エアージェットを実施することで、鉄粉のセンサヘッド下面への堆積もなく長期間連続使用可能であることを確認できた。実際のオンライン上での測定精度についてはテストコイルによる1コイル内の測定精度、製品コイルのトップ、ボトム部を使ったコイル-コイル間の測定精度を評価し、 $1\sigma=0.07$ 以内であり、目標精度以内であることを確認できた。以上の結果から、開発装置が実用装置として十分な性能を持っていることを明らかにした。

第6章では冷延鋼板 \bar{T} 値計の適用拡大の1つとして、亜鉛メッキ鋼板の場合の \bar{T} 値評価について検討を実施した。亜鉛メッキ層厚が厚くなるにしたがって音速は低下し（伝播時間は長くなる）、その低下率は亜鉛と鋼の音速を、その層厚比で平均して評価できることを明らかにした。本評価法を用い、溶融亜鉛メッキ後の平均伝播時間に亜鉛メッキ層厚による音速低下の補正をおこなえば、溶融亜鉛メッキ鋼板の \bar{T} 値を $1\sigma=0.07$ の精度で評価できることを明らかにした。

以上の結果から、 S_0 モード板波超音波を用いた \bar{T} 値評価は有効であり、磁歪型 S_0 モード EMAT をセンサとして採用したオンライン \bar{T} 値計測システムが実用的にも十分な性能をもっていることが明らかになり、世界で初めて実用化に成功した。

今後、本手法は他の機械試験値のオンライン測定や亜鉛メッキ鋼板オンライン \bar{T} 値計への適用拡大もおおいに期待できる。

論文審査の結果の要旨

冷間圧延鋼板は板厚が薄く、寸法精度も良いので、自動車、家電、車両、建築、など広範囲にわたって利用されている。このような利用においては大部分がプレス加工によって深絞り成形されている。鋼板より切りだした引張り試験片に $15\sim 20\%$ の伸びを与えてその前後の板幅と板厚の塑性歪比として求めた値を r 値と呼ぶ。 r 値が大きければ絞り加工を行ったときの板厚減少が板幅減少に較べて小さくなることになり破断がおきにくくなる。現在ではこの r 値により深絞り加工法の評価を行っている。この方法では鋼板のサンプリングが必要であり、また破壊的な測定であるため製造される鋼板のごく一部だけを測定していることになる。本論文は超音波を用いて非破壊的に r 値を測定する方法を確立し、さらにそれを製造ラインにくみ込んだオンラインシステムを開発する事を目指したものである。第2章では、冷間圧延鋼板の r 値と集合組織を明らかにし、さらに集合組織のある冷間圧延鋼板の S_0 モード板波の分散関係式を導出し、 S_0 モード板波の速度と集合組織ならびに r 値との関係を求めている。第3章では、製造ラインでオンライン r 値計測を行うためのセンサとして、種々のタイプの電磁超音波探触子（EMAT）について実験的

に研究を行った。その結果、低周波駆動の磁歪型 S_0 モード板波 EMAT を送信子、受信子として用い、かつ電磁石の配置は鋼板をはさんで上下対称とし、センサコイルは送信回路を共振させて用いることが最適であることを明らかにした。第4章では、 S_0 モード板波音速の鋼板平面内での分散関係を用いて結晶方位分布関数の展開係数を求め、これらの係数と主要結晶軸密度および r 値との関係を明らかにした。第5章では、前章までの結果を基に r 値計測装置の開発・試作を行い、実用とするに十分な性能を持っていることを明らかにした。第6章ではこの方法の適用拡大を目的として、亜鉛メッキ鋼板に関して r 値評価の可能性について実験を行った結果を述べている。以上本論文は、 S_0 モード板波を用いた r 値評価が有効であることを示し、磁歪型 S_0 モード EMAT をセンサとして採用したオンライン r 値計測システムが実用的にも十分な性能を持っていることを明らかにし、世界で初めて実用化に成功したもので、学位論文として価値あるものと認める。