


学位論文の要旨

専攻名	工学専攻	ふりがな氏名	とうはら まこと 東原 純	
学位論文題目	多管式熱交換器の強磁性管を対象とした電磁非破壊検査技術に関する研究			
<p>本論文では、化学プラントや石油精製プラント等で設置されている多管式熱交換器伝熱鋼管に生じる欠陥検査を行う新たな電磁気検査手法について論じている。伝熱鋼管は強磁性を有しており、非磁性伝熱管の検査に用いられる正弦波交流磁界のみを利用した渦電流探傷法を適用した場合、磁気特性の違いから同等の検査速度や局所的欠陥の検出性能を得られない。近年、交流磁界に加え直流磁界を併用することで検査速度や欠陥検出性能の改善が確認されている。一方で、その電磁現象は解明されているとは言い難い。そこで本研究では直流磁化を利用した強磁性鋼管の欠陥検査法を2種類提案し、数値解析により検査原理の解明を試みた。1つ目は直流バイアス矩形波交流磁界を利用した強磁性鋼管の欠陥検査法の提案である。2つ目は直流磁界による速度誘導型交流磁界を利用した強磁性鋼管の欠陥検査法の提案である。具体的には以下に示す通りである。</p> <p>1つ目の提案検査手法については、正弦波交流磁界と比べ検出感度の向上が見込まれる矩形波交流磁界を使用し、かつ直流磁界を併用した検査手法を検討し、電磁界解析によって合成磁界現象の解明を行った。正弦波交流磁界と矩形波交流磁界の検出感度の比較においては、電磁気センサに直流バイアス正弦波交流磁界を印加した場合と、直流バイアス矩形波交流磁界を印加した場合で実験的に検証した。その結果、矩形波交流磁界の方が正弦波交流磁界に比べ、約27%欠陥の検出感度が向上することが分かった。また矩形波をフーリエ級数展開すると、同一振幅及び周波数の正弦波に振幅が$4/\pi$倍の基本波形が含まれていることから説明がついた。直流バイアス矩形波交流磁界による電磁現象の解明については、新たに検討した磁化曲線の電磁界解析モデリング手法であるプレイモデル法によって、試験鋼管のマイナーループ磁化曲線を考慮した3次元非線形電磁界解析を使用して行った。直流バイアス矩形波交流磁界が検査鋼管に伝わると、鋼管の内側で矩形波による交流磁束が分布し、表皮効果の影響により鋼管の外側には浸透していないことを確認した。一方で直流バイアスによる直流磁束は鋼管肉厚全体に均一に分布していることが分かった。鋼管に外面欠陥があると直流磁束は欠陥を迂回して欠陥部の磁束密度が上昇し、その変化が鋼管の内表面側に集中する矩形波交流磁界に伝わり、欠陥有無の交流信号変化を提案電磁気センサの検出コイルによって捉えていることが分かった。またプレイモデル法による解析結果と実験結果が初磁化曲線のみを考慮した解析結果よりも一致することが確認され、プレイモデル法による解析手法の有用性を示せた。</p> <p>2つ目の提案検査手法については、直流磁界のみを利用した強磁性鋼管の欠陥検査手法の検討を行った。この手法は直流磁界のみを印加した電磁気センサを鋼管内で走査させたときに生じる、速度効果による渦電流で欠陥を検出する手法であり、従来の検査手法に比べて装置構成の簡易化が期待できる。検査原理の解明には、鋼管やセンサに使用したヨーク材、鋼管外側に配置されている支持鋼板の初磁化曲線を考慮した3次元有限要素法の非線形電磁界解析に</p>				

(注) 和文 2,000 字又は英文 800 語以内

続紙 有 無

よって行った。この検査手法により、 $\phi 1$ mmの貫通穴や減肉深さ10%の浅い欠陥まで検出可能であることが確認でき、欠陥検出レベルは従来の手法に比べ遜色ないことが分かった。欠陥検出時の磁界現象では、欠陥部において磁性領域が減少し、電磁気センサ内のヨーク材の磁束密度が変化することで外面欠陥を検出可能であることが分かった。また電磁気センサの走査速度を高めるほど検出感度が向上することも分かった。これは走査速度の上昇に伴い、鋼管内で発生する渦電流量が増加し、浸透深さが鋼管の外面側へ延びたためであることが分かった。鋼管の外側に配置されている支持鋼板(バッフル)の有無による欠陥検出信号への影響については、バッフルがあると欠陥検出信号の振幅が減少することが分かった。これは鋼管の比透磁率がバッフルに比べて低く、鋼管内の磁束がバッフルに引き寄せられたためであることが分かった。また、この検査手法を用いて、鋼管の肉厚評価について検討した。これまでの局所的な欠陥の深さ評価では、電磁気センサの差動検出コイルの出力電圧を用いていたが、肉厚評価には、差動検出コイルの片方の検出コイルのみを使用し、検出コイルに得られる出力電圧を磁束密度に変換することで鋼管の肉厚評価が可能となった。

本論文で提案した2種類の検査手法によって、これまで熱交換器の強磁性鋼管の電磁気検査において、磁性ノイズによる孔食などの局部減肉の検出性低下、非磁性管検査と比較して検査速度が劣っていた点の解決を図ることができ、かつ電磁現象の解明も行うことができたと考える。本研究の成果は多管式熱交換器伝熱鋼管の電磁非破壊検査技術発展に貢献できるものと考えられる。

学位論文審査結果の要旨

専攻	工学専攻 物質生産工学コース	氏名	東原 純
論文題目	多管式熱交換器の強磁性管を対象とした電磁非破壊検査技術に関する研究		
主査	後藤雄治		
審査委員	小田和広		
審査委員	岩本光生		
審査委員	高 炎輝		
審査委員			
審査結果の要旨 (1000字以内)			
<p>本論文では、化学プラントや石油精製プラント等で設置されている強磁性炭素鋼における多管式熱交換器伝熱鋼管に生じる欠陥検査を行う新たな電磁気検査手法について論じている。現在、この熱交換器伝熱鋼管内に発生する欠陥の探傷は主に超音波試験法が実施されているが、この試験法には水を主成分とした媒体を必要とするため、前処理・後処理が必要なことから手間がかかるといった問題がある。一方、原子力発電プラントをはじめとした非磁性材料で構成されている伝熱管の高速探傷に正弦波交流磁界を使用した渦電流探傷試験法が適用されている。しかし、化学プラントや石油精製プラント等での伝熱鋼管は強磁性を有しており、非磁性伝熱管の検査に用いられる正弦波交流磁界のみを利用した渦電流探傷法をこれに適用した場合、磁気特性の違いから同等の検査速度や局所的欠陥の検出性能を得られない。近年、交流磁界に加え大きな直流磁界を併用する電磁気検査手法を適用することで、強磁性伝熱鋼管内の欠陥検査が行え、検査速度や欠陥検出性能の改善が確認されている。しかしこの手法においては、検査原理の解明が不十分であり、改善すべき課題が多く存在する。そこで本論文では直流磁界を利用した強磁性鋼管の欠陥検査法を2種類提案し、数値解析と検証実験により、それらの有用性が示されている。1つ目の提案検査手法は、正弦波交流磁界と比べ検出感度の向上が見込まれる矩形波交流磁界と直流磁界を併用した検査手法を検討したものである。ここでは電磁界解析によって合成磁界の現象の解明が行われており、検証実験も実施されている。実験と解析の整合性も示されており、本検査手法の有用性が論じられている。2つ目の提案検査手法は、直流磁界のみを使用し、電磁気センサを鋼管内で高速移動させることで鋼管の欠陥を検査する手法が提案されている。鋼管の磁気特性の非線形性と速度効果の両方が考慮された電磁界解析と検証実験が実施されており、両者の整合性もある結果が提示された。これらの成果は多管式熱交換器伝熱鋼管の電磁非破壊検査技術の発展に貢献できるものと考えられる。</p> <p>本審査では幾つかの質問が出されたが、適切な回答が得られたものと思われる。博士論文も内容として優れており、本研究内容は博士(工学)の学位に値すると認められる。</p>			