ノート

加熱加圧接着による電磁鋼板モータコアの積層接着技術の開発

中川　昌幸*　森田　渉*　岡田　英樹**　相田　収平**

Development of Laminating Process with Heating and Pressing for Motor-Core of Piled Electromagnetic Steel Sheets

NAKAGAWA Masayuki*, MORITA Wataru*, OKADA Hideki** and AIDA Shuhei**

1. 緒　言

現在主流となっている電磁鋼板モータコアは，一般的には金型内で積層する，ダボカシメ積層と呼ばれる手法で生産されている。これはプレス加工でカシメ用のダボを成形し，ダボカシメしながら抜き落として積層し，指定枚数になったところで金型内から排出する手法である。しかし，ダボカシメ積層では，電磁鋼板の塑性変形による損失[1)]や層間短絡による鉄損の低下が避けられない。また，効率化のために電磁鋼板の薄肉化が進むほどカシメによる損失が大きくなるため，接着による積層が適していると考えられる。

プレスで打ち抜いた後に抜き落として積層接着する場合，1 枚ごとに接着剤を塗布する必要があるが，接着面積の小さい小型モータコアの場合には余剰接着剤の処理や離型の問題がある。

一方，材料に接着剤を塗布，乾燥させて皮膜とし，その後プレスで打ち抜き，型内積層させ，加熱圧着させる方法では，モータのサイズやコア形状に依らず，それらの問題を解決することができると考えられる。本研究では，このような積層接着工程に適用可能な接着剤および加熱圧着条件について検討した。また，接着による鉄損の変化を確認するため，積層接着した電磁鋼板のリング形状試験片の鉄損を測定した。

* 下越技術支援センター
** 研究開発センター

2. 供試材および実験方法

2.1 評価用コア材料

モータコアには軟磁性材料である電磁鋼板が良く用いられる。本研究では，20HTH1200 t0.2mm （新日鐵住金（株））を用いた。

2.2 接着剤

本研究では，接着剤を塗布した電磁鋼板を積層させたのち，加熱，加圧して接着する方法を検討した。接着剤として一液エポキシ加熱硬化型接着剤を用いた。

接着剤の硬化反応を確認するため，熱重量示差熱分析（TG-DTA）を行った。室温から250℃まで 10℃/min で昇温し，そのときの重量変化率（TG）と参照試料との温度差（DTA）を測定した。その結果を図 1 に示す。およそ170℃付近まで重量がわずかに減少しており，これは接着剤に含まれていた溶媒などが蒸発したものと考えられる。DTA チャートから，およそ 130℃から発熱が始まり，178℃でピークとなった。このことから，130℃以上に加熱することで接着剤の硬化反応が開始するものと思われる。

図 2 に接着剤を室温から 150℃まで 10℃/min で昇温し，その後 60min 保持したときの DTA の変化を示す。130℃を越えたところで DTA が上昇し始め，150℃に達した 2min 後にピーク

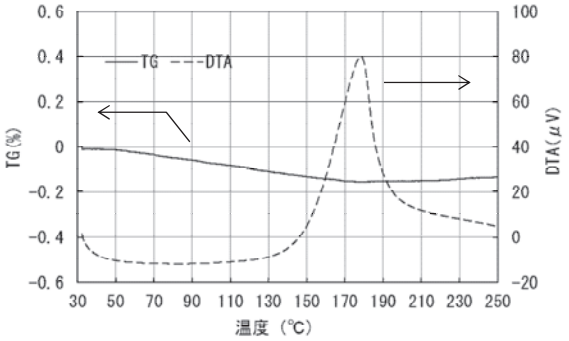


図 1　接着剤の TG-DTA 分析結果

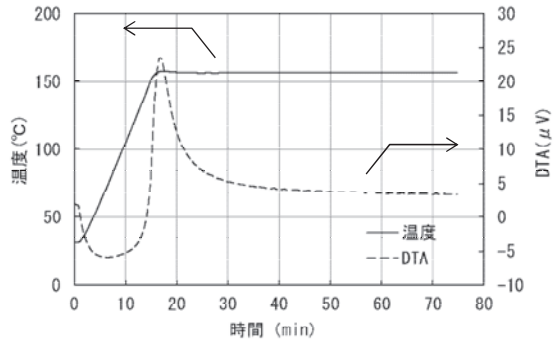


図 2　接着剤の DTA の等温測定結果

を示し，そこからおよそ 25min 経過したあたりからほぼ変化がなくなった。このことから 150℃で加熱した場合，25min 以上保持することで接着剤の硬化はある程度完了するものと考えられる。

モータコアにおいて，鉄心の占積率を高くする必要があり，接着層はできるだけ薄くしなければならない。しかし，接着剤は原液のままだと粘度が高いため，薄く塗布することが困難である。したがって，薄い接着層を形成させるためには，溶媒で希釈し，接着剤の粘度を下げ，塗布後，溶媒を蒸発させることが有効である。本研究では，メチルエチルケトン（以後 MEK と記載）を用いて，接着剤を希釈した。

2.3　接着継ぎ手の引張試験方法

図 3 に試験片の概略図を示す。厚さ 0.1mm の短冊形状の SUS304 板を 20×20mm 角で重ね合わせ，接着した。一方の端部に接着面積が 20×20mm となるようにマスキングを施し，接着剤を滴下し，100℃に 30min 保持して乾燥さ

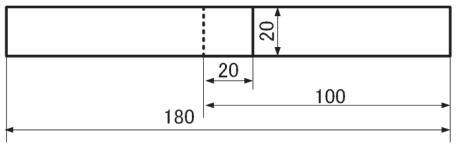


図 3　引張試験片形状

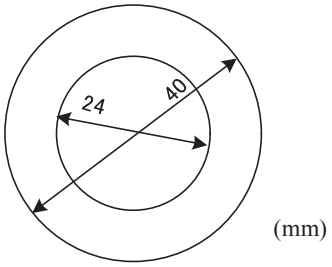


図 4　リング形状試験片形状

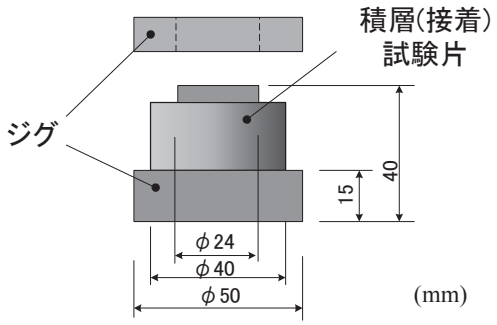


図 5　積層ジグと試験片

せた。その後重ね合わせた部分に 3.65N を負荷した状態で，150℃で 1h 加熱した。

2.4　リング形状の積層接着方法

供試材を図 4 に示す試験片形状にプレスで打ち抜き，ディッピングにより MEK で希釈した接着剤を塗布した後 100℃で 30min 乾燥させ，塗布ありとなしの試験片を順番に 1 枚ずつ 11 枚重ねた。1 枚目と最後の 1 枚を塗布なしのものにすることで，片面塗布の試験片を重ねたときと同じように，向かい合った材料間の片面に接着剤層が形成される。

2.5　積層接着

前述のリング形状試験片に 50 倍希釈の接着剤を塗布，乾燥後，重ねた状態で図 5 のような

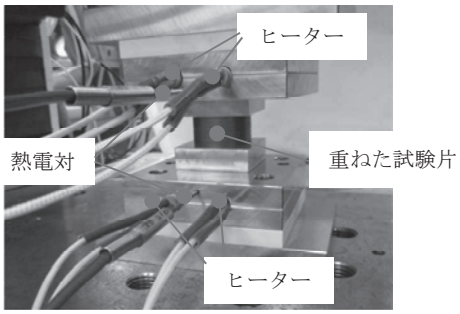


図 6　積層接着試験の様子

ジグに設置した。その上下を TG-DTA で測定した硬化温度 150℃よりも高い 200℃に設定したヒータープレートで加熱し，万能材料試験機により，10MPa で加圧した。加圧時間は重ねた試験片外周に温度計を当て，150℃に達してから 20min とした。積層接着試験の様子を図 6 に示す。

2.6　鉄損測定

積層接着したリング形状試験片を鉄心としたコイルを製作し，電力計法を用いて鉄損を測定した。トランスに組み立てた積層接着試験片を図 7 に，測定回路を図 8 に示す。鉄心に一次および二次コイルを同数巻いてトロイダル型変圧器を製作し，電力計で無負荷状態の有効電力を測定した。電力計で測定される有効電力(瞬時電力の時間平均値）を鉄損とした。

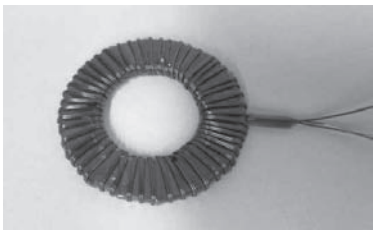


図 7　トランスに組み立てた積層接着試験片

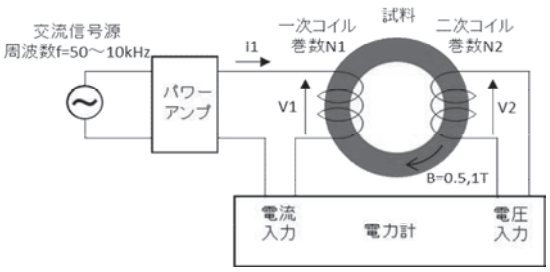


図 8　鉄損の測定回路

3.　実験結果

3.1　接着継ぎ手の引張試験

MEK で 20 倍，50 倍に希釈された接着剤を用いて図 3 に示した試験片を製作し，引張試験を行った。結果を図 9 に示す。50 倍希釈では 20 倍希釈と比べて破断荷重が 20%程度低下した。希釈が大きくなると，接着剤量が少なくなるためと考えられる。しかし，50 倍の希釈でも t0.1mm の SUS304（引張強さ 1300MPa）の母材強度の 78%程度の継手強度を示した。破断した接着面の様子を図 10(a)(b)に示す。(a)は 20 倍希釈，(b)は 50 倍希釈の場合の破断面である。剥離した接着面の両側には広く接着剤が残留しており，破断経路は母材-接着剤界面の剥離ではなく，接着層破断であると考えられる。

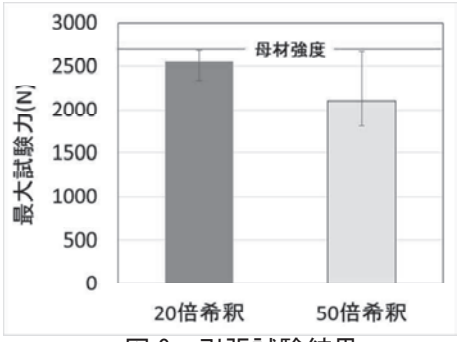
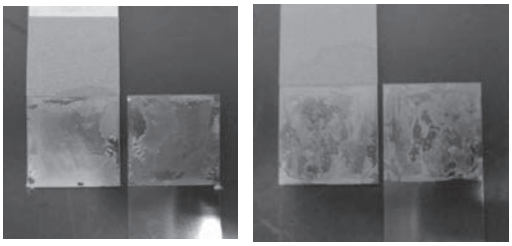


図 9　引張試験結果



(a)　20 倍希釈　　(b)　50 倍希釈

図 10　引張破断部

3.2　鉄損測定

積層接着リング試験片と比較のために接着せずに重ねただけの試験片を用いて、それぞれを鉄心としたコイルを製作し、鉄損を比較した。どちらの鉄心も占積率はおよそ 98%となった。図 11 に磁束密度 1T，周波数 10kHz までの鉄損測定結果を示す。接着による鉄損の増加は 10kHz で 2%程度であった。

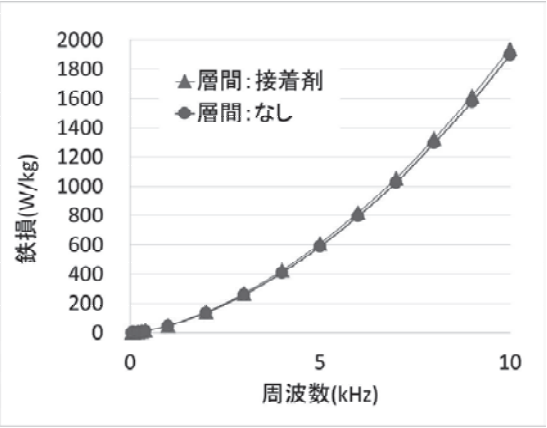


図 11　鉄損測定結果

4.　結　　言

（1）一液エポキシ加熱硬化型接着剤を MEK で 20 倍および 50 倍に希釈して，重ね接着継ぎ手を製作し，引張試験を行った。希釈倍率に関わらず，界面剥離ではなく接着層破断となった。50 倍希釈では 20 倍希釈よりも破断荷重が 20%程度低下したが，t0.1mm の SUS304（引張強さ 1300MPa）の母材強度の 78%程度の継手強度を示した。

（2）MEK で 50 倍希釈した接着剤を塗布，乾燥させ，接着剤層を形成した電磁鋼板を重ねて 200℃に加熱したプレートで加熱圧着し，積層接着したコアを製作した。占積率は従来のカシメ積層と同程度の 98%となった。

（3）電力計法を用いて積層接着したコアの鉄損を測定した。接着しない重ね電磁鋼板コアの鉄損と比較し 2%程度の増加にとどまり，接着による影響は小さいと考えられる。

参考文献

1）川邊ほか，“無方向電磁鋼板の切断加工による磁気特性劣化の推定”，日本磁気学会誌，38(1)，2012，p.5