

電気泳動法による泥漿鑄込成形

長谷川龍三 加藤 勝正 星 幸二

Slip Casting by Electrophoresis

by

Ryuzo HASEGAWA, Katsumasa KATO and Koji HOSHI

鑄込成形法の着肉厚みの向上と成形速度の迅速化を図るため、電気泳動成形法の応用を試みた。これは懸濁液に直流電流を通じると、粒子は負極に荷電しているため正極側に移行し、沈積着肉することを応用したものである。黒鉛電極を用い、粘土質泥漿の着肉試験を行ったところ、100V、10 mA/cm²、30分間成形で約25mmの着肉厚みを得た。これは通常の鑄込成形では達成できない厚みであり、着肉速度も通常法の約10倍である。通電条件によっては素地にキレを生ずることもあるので、その防止方法についてもいくつか検討した。泳動後期の通電条件を抑制することにより、その目的が達成できる見通しを得た。

1. ま え が き

粘土懸濁液に直流電流を通じると、粘土粒子は負極に荷電しているので正極に移行し、放電して沈積する。この電気泳動の原理を利用して鑄込成形を効率化することを検討した。

電気泳動法をセラミックスに応用した成形技術としては、アルミナの薄板成形¹⁾や基材への薄膜被覆法²⁾に関する報告はあるが、肉厚素地の成形^{3), 4), 5)}についてはあまり試みられていない。しかし、本法は、着肉量と成形時間とが、ある厚みまではほぼ比例関係にあり、通常の鑄込成形のように着肉厚さの増加に伴ない着肉速度が著しく減衰することがなく、この点において肉厚素地の成形あるいは鑄込成形の迅速化という面で、今後その実用化が期待できる新しい成形法と言えよう。

電気泳動成形法を支配する因子としては、泥漿の調製条件、電解質の設定、さらには電極、鑄型の材質選定など、幾多の問題があるが、今回の試験では、主として通電条件と着肉状況との関連性を検討するにとどめ、残された問題は今後の検討課題としたい。

2. 試 験 方 法

2.1 装 置

図1に本実験で最も多く使用した装置の概略図を示す。実験装置は目的に応じ、その都度工夫を

重ねたが、基本的には図1に示すものである。

鑄型は、実用化する場合は、耐久性ある材質が要求されるが、ここでは実験の作業性から石膏型を用いた。電極は、りん状黒鉛の微粉末にフェノール系樹脂を加え、加圧成形後、熱硬化させて作った。直流発生器は、全波整流型のもので、最大出力600V、1.5Aである。

2.2 泥 漿

今回の研究では、着肉速度の迅速化および肉厚の改善を主目的とするため、通常の鑄込成形法で着肉性に問題の多い粘土質泥漿を中心に試験を行った。この泥漿は工場で盆栽鉢の鑄込成形に使用されているものである。また参考のため、磁器質泥漿についても一部扱った。

2.3 実験方法

図1のように、電極を埋め込んだ石膏型を用い上型と下型の間にゴムパッキングをはさみ、絶縁シールさせ装置を組立てた後、鑄込口から泥漿を注ぎ、通電して電気泳動させた。一定時間後脱型し、乾燥後の素地厚みを測り、その着肉を調べた。

電気泳動の進行に伴ない、泥漿は固相と液相に分離する。通常の実験では、下型を正極にし、上型を負極にして試験した。この場合、下型に着肉し、上型からは水分が湧出する。この水分移動をコントロールしたり脱水をさらに効率化するため、型内部に多孔パイプを埋め込み真空ポンプで外部

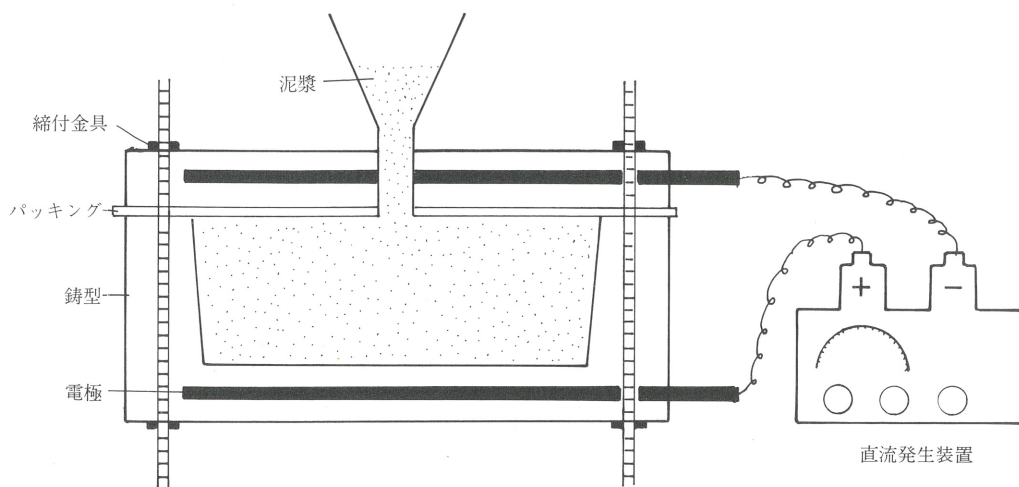


図1 電気泳動成形実験装置

へ吸込除去することも行った。この場合は、電極板に小穴を多数開け、水分移動を容易にさせる試みや、さらには型表面を樹脂でシールして吸込効果を高めることも行った。

3. 試験結果および結果の検討

3.1 着肉厚みに及ぼす電流密度の影響

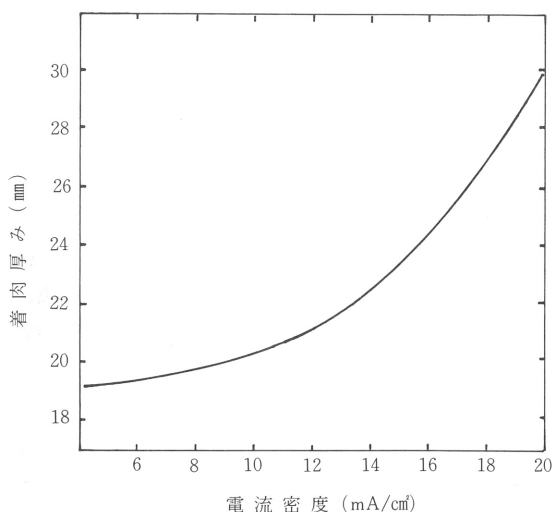


図2 着肉厚みに及ぼす電流密度の影響
(電気泳動時間30分間の場合)

図2に30分間電気泳動を行ったときの電流密度と着肉厚みとの関係を示す。

ここで電流密度と記したのは、装置の最大設定電流を成形体の底面積で除した数値であるが、通電の後期においては、着肉素地の電気抵抗のため電流値は小さくなり、必ずしも設定通りの電流密度になっていない。またこの時の設定電圧は、最大100Vとし、直流発生装置の関係上、設定電流の相異に伴ない設定電圧もやや変化させている。なお電圧の影響については、100V前後の場合は着肉にあまり関係のないことは、既に確認している。

この実験に供した泥漿は、通常の鋳込成形では30分間の着肉量が、ほぼ2.5mmであり、図2に示すように電気泳動法により、着肉量が約10倍ほどに改善されることが分る。また図2の結果は、電流値の増加に伴ない着肉速度が向上することを示している。

3.2 キレの発生とその防止

電気泳動法が、着肉速度の向上に著しく効果のあることは前述した通りであるが、この実験で、初期に着肉した素地が脱水されること、及び、それに伴って着肉素地自体が通電の後期において抵抗体となり発熱することもある。この2つの大きな理由のため、成形した素地にキレが発生する

こともある。この防止のためいくつかの試みを行った。

(1) 水分供給法

通電期間中、水分は負極に向かって移行する。そのため、先に着肉した素地は脱水され、成形素地に水分勾配が生じ、これがキレの一つの原因となる。そこで鑄型の底部を水に浸し、脱水される側から水分を補給する方法を検討した。30分間電流密度 $12\text{mA}/\text{cm}^2$ で通電したところ、着肉は 18.7mm で、図2の結果より、約10%着肉は悪いがキレは大幅に減少した。この方法はキレ防止には効果があるが、脱水させ成形する鑄込成形法で、外部から補水することは、あまり能率的な方法と思えない。

(2) 水分除去法

着肉素地の水分勾配がキレ発生の原因となり、(1)の実験では乾き過ぎる側の補水を試みたが、ここでは、水分量の多い側の脱水を考えた。そこで、水分量の多くなる負極側、つまり上型の鑄型に多孔パイプを埋め、外部から真空ポンプで脱水することを試みた。しかし結果はあまり良好なものでなかった。さらに上型外面を樹脂でシールし、吸込脱水がより効果的になるよう配慮したが、これも芳しい結果ではなかった。機械的な脱水方法よりも、電気的な水分移動速度の方が優先するためであろう。

(3) 逆通電法

今までの試験とは逆に、上部を正極、下部を負極にして実験した。この方法では上型に着肉することになる。実験の結果、粒子が重力に抗して移行するため、着肉性のよい磁器質泥漿を用いたにもかかわらず、 $16\text{mA}/\text{cm}^2$ 、30分間で着肉量は 20mm に満たなかった。またキレ防止にもあまり効果がなかった。

(4) 鑄込装置90°回転法

次に鑄込装置を90°回転させ、電極を左右にもって行き、立てて鑄込試験を行った。この場合はキレは発生しなかった。しかし上下方向で着肉厚みに差異を生じた。

(5) 電極切替法

水分移動の緩和と両面への着肉を意図して、一定サイクル毎に通電方向を切り替えて電気泳動を行った。しかし、この場合は、通電のサイクル設定が非常に難しく、誤ると、ほとんど着肉しない

ことも起こる。電流密度 $12\text{mA}/\text{cm}^2$ とし、8分間普通通電、2分間逆通電を1サイクルとして、これを3回繰り返し、30分間電気泳動を行ったとき、 21.4mm の着肉を得、キレも改善できた。切替時間および繰り返しサイクルの設定は、個々の条件毎に慎重に選定する必要がある。

(6) 通電時間短縮法

通電時間が長くなると、通電の後期に、着肉素地が抵抗体となり発熱するので、通電時間を短縮することによりキレ防止の改善を試みた。測定結果の一例を表1に示す。通電時間を10分間程度にした場合、着肉厚みは当然少なくなるが、キレ発生は、大幅に防止できた。

表1 通電時間と着肉状況

通電条件	通電時間(分)	着肉厚み(mm)	着肉状況
{ 100 V 12mA/cm ²	8	10.2	良好
	10	13.7	良好
	30	21.0	キレ発生

(7) 供給電源制御法

通電量が多いと、発熱原因となるので通電量を段階的に制御して、キレ防止を図った。通電の初期は、導電性が良いので、最初の5分間は $4\text{mA}/\text{cm}^2$ とし、残り25分間を $12\text{mA}/\text{cm}^2$ にしたところ、着肉は 18.7mm あり、キレ防止に効果があった。その他、最初の5分間 $4\text{mA}/\text{cm}^2$ 、次の10分間 $8\text{mA}/\text{cm}^2$ 、最後の15分間を $12\text{mA}/\text{cm}^2$ など、段階的に電流密度を変える試験を実施したが、キレを完全に防止することは、実験範囲内では達成できなかった。

3.3 製品化

(1) 肉厚平板成形への応用

粘土質泥漿を用い、約 300mm 角、厚み 30mm 以上の大形陶板を電気泳動法で試作することを試みた。ここに用いた泥漿は、通常鑄込法では、2時間鑄込みで、 5mm 程度の着肉しかないものである。

成形実験は、加電圧 80V 、電流密度 $1.66\text{mA}/\text{cm}^2$ の条件で行った。設定電流密度は、先の実験に比べて、やや少ないが、これは手持ちの直流発生器の最大容量で、これ以上強めることができなかったためである。2時間通電で、ほぼ満足な約 30mm の着肉量を得た。しかし若干のキレが発生するため、数回成形実験を繰り返したが、完全に防止す

ることはできなかった。しかしながら通常鑄込法では全く到達することのできない肉厚素地の成形が可能であることを示唆している。

(2) 袋物成形への応用

先の陶板の試作試験は、中実鑄込として実施したが、ここでは排泥鑄込による袋物成形への電気泳動の応用を試みた。

製品の形状は、内容量約200mlの壺型で、鑄型の石膏の外周に黒鉛板を埋め込み正極とし、泥漿を注入した後、鑄込口から負極の黒鉛電極を挿入し、通電して電気泳動を行った。設定電圧60V、電流値1.4Aで、10分間程度で、充分な着肉を得た。キレの発生もあまり心配はない。表2に試験結果の一例を示す。

表2 成形体の着肉量の比較

成 形 条 件	着肉量(素地重量)
30分間通常鑄込	116 g
電気泳動成形	
60V, 1.2A, 7分間	300 g
60V, 1.2A, 9分間	365 g

3.4 電気泳動法応用上の問題

(1) 電 極

実験当初は、電極として銅板を使っていたが、通電によりイオン化し、これが型表面に溶出し、製品の表面を汚染させる。そこで今回の実験では主として黒鉛板を電極として用いた。しかし黒鉛板は、鑄型に組み込む時、形状に制約を受けるので、その使用に限界があろう。金属を電極として使用する場合は、白素地に対してはアルミニウム、朱泥素地には鉄と言ったように使い分けるのも一法である。

(2) 型材と鑄型

実験では石膏を型材として使用したが、工業化する場合は、耐久性ある材質が要求される。材質としては、珪酸カルシウム、セメント、セラミック焼結体、樹脂硬化体あるいはそれらの複合材料が考えられる。

今回の実験では、鑄型の周辺に黒鉛板を埋め、

電極とする方法をとったが、電極と着肉面との間に石膏が介在し電気抵抗体となるので、電気泳動の弊害となる。従って鑄型自身に通電性を持たせる工夫が必要になってくる。1つの試みとして、黒鉛粉末を添加した石膏を用いて鑄型を試作した。黒鉛配合量の増加に伴ない型強度の低下は免がれないが、これは樹脂配合等により克服することができる。しかしながら、黒鉛粉末を50%添加したものの、通電性はあまり良くない。通電性を高めるには、炭素繊維を用いた複合体などで鑄型を作製し、型としての機能と電極としての機能を両立させる手法も、今後の開発課題として有望と考える。

4. む す び

鑄込速度の迅速化と着肉量の改善を図るため、電気泳動法を鑄込成形に応用することを検討した。その結果、通常法に比べ、数倍の着肉速度と着肉量が得られることが分った。

今回は、通常の泥漿をそのまま用いたが、電気泳動成形を効率化するためには、除去する水分量が可能な限り少ない方が得策である。従って流動性に富んだ低水分の泥漿を調製することも重要な技術と考える。このことにより、着肉素地の水分勾配も緩和され、キレの心配も解消できよう。

工業化するためには、泥漿の調製技術の他に、型材、通電方法など残された課題も多いが、今後の鑄込成形法として、有望な技術と考える。

5. 参 考 文 献

- 1) Andrews, J. M. et al, Proc Br Ceram Soc, 1969, No.12, 211—229
- 2) Krishna Rao, D. V. et al, J Am Ceram Soc Bull, 58 [4] 467—469 ('79)
- 3) Ryan, W. et al, Interceram, [2] 117—119 ('79)
- 4) Ryan, W. et al, J Br Ceram Soc, 80 (2), 46—47 ('81)
- 5) Chronberg, M. S. et al, Interceram [1] 33—34 ('78)