

鑄鉄と鋼球・鋼線等との半溶融接合

—半溶融接合に関する研究 4—

Mashy Joining of Steel Balls and Steel Wires with Cast Iron

木内 学*・柳本 潤*・杉山 澄雄*

Manabu KIUCHI, Jun YANAGIMOTO and Sumio SUGIYAMA

1. はじめに

筆者らは、半溶融状態にある金属基材表面に、セラミックス粒子、金属球、金属短繊維等の強化粒子を整列させ埋め込み接合することで、摩擦特性・摩耗特性・磁気特性などに関する基材表面改質を実現し、機能性の高い素形材を製造するプロセスの研究を行っている^{1), 2), 3)}。

前報では、アルミニウム合金 A 2011 の基材の表面にアルミニウム合金・銅合金・ステンレス鋼のフィンやピンを多数本(多数枚)整列し半溶融接合する研究を行い、プロセスとしての可能性、その応用ならびに接合製品の特性などの検討結果を報告した。

本報では、片状黒鉛鑄鉄・球状黒鉛鑄鉄・共晶黒鉛鑄鉄の各種鑄鉄を基材とし、その表面に鋼球・鋼線・SUS 304 線を一定間隔に整列配置し半溶融接合する問題を取り上げ、その可能性について検討した結果を示す。

2. 実験条件および方法

対象基材として、共晶黒鉛鑄鉄・片状黒鉛鑄鉄・球状黒鉛鑄鉄を用い、強化材(接合材)として、直径 2 mm・3 mm・5 mm の鋼球(炭素クロム軸受鋼)の他、直径 3 mm 長さ 10 mm の鋼線(SS 400 相当)ならびに SUS 304 線を用いた。

接合実験の概略を図 1 に示す。鋼球を鑄鉄基材表面に接合させる場合には、パンチ表面に鋼球を予め整列させ保持しておく方法を採用し、線材を接合させる場合は、同様に、パンチ下面に線材を垂直に立てて保持しておく方法と、線材を水平に倒して保持しておく方法を採用した(図 2 参照)。鋼球・線材とも予熱は行わず、室温で用いた。接合実験手順は、(1) るつばで溶解した各種鑄鉄基材を金型(外径 40 mm 長さ 30 mm)に厚さ約 10 mm 程度まで注湯し、(2) 注湯された鑄鉄の上表面の温度を熱電対で監視し

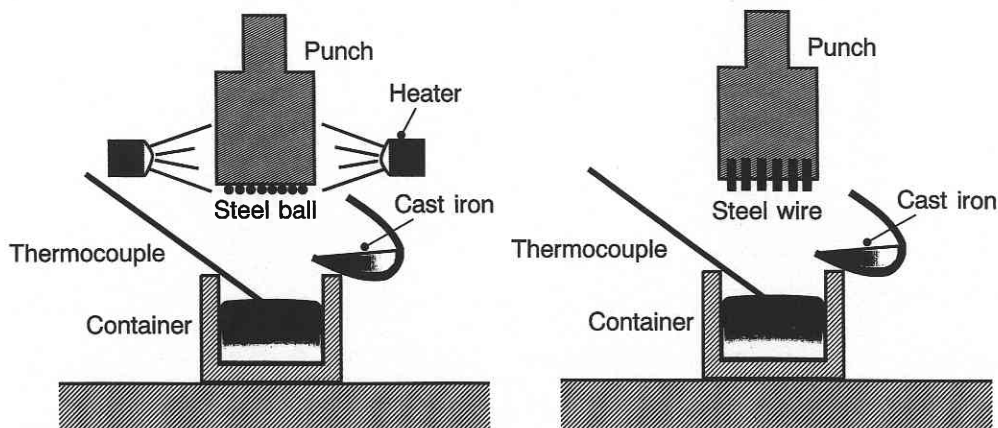


図1 半溶融接合実験の概略図

*東京大学生産技術研究所 情報・システム大部門

つつ、接合に適した適度の軟らかさとなる 1130 ~ 1150°C (片状黒鉛鑄鉄), 1110 ~ 1130°C (球状黒鉛鑄鉄), 1140 ~ 1150°C (共晶黒鉛鑄鉄) の半溶融 (半凝固) 温度に達した後、直ちにパンチを最大 20 MPa の力で押しつけ、(3) そのまま大気中で放冷凝固させる、である。なお、今回採用した接手法は、前報までのアルミニウム合金を基材に用いた場合と異なり、鑄鉄の溶湯を適度に冷却した後に接合処理を行うことから“半凝固接合”とするべきであるが、本研究は金属材料一般の固液共存状態下での接合を意図しているため、ここでは“半溶融接合”に代表させ記すこととする。

図 3 (a) は、各鑄鉄基材の溶湯を金型に注湯した際の、金型面上ならびに金型面より約 10 mm 上方位置での温度の実測値を示す。図から、金型面上の鑄鉄基材は一瞬のうちに冷却されるが、金型面から離れている鑄鉄基材は、金型面上の鑄鉄基材より 10 数秒遅れて冷却されることがわかる。上述の温度測定結果から、金型に注湯された鑄鉄基材の凝固と半凝固の様子は概略図 3 (b) のようになることが予想される。接合製品は、金型と鑄鉄基材とが凝着することなく容易に取り出すことができた。実験条件、各鑄鉄基材の化学成分および固相線 (共晶) 温度等を表 1 にまとめて示す。

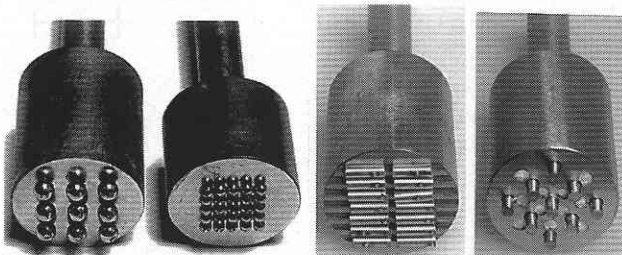


図 2 鋼球・短線のパンチ面上への取り付け状況

3. 実験結果および考察

3.1 鋼球の鑄鉄基材表面への接合

図 4 は、鑄鉄基材に直径 3 mm ならびに直径 5 mm の鋼球をそれぞれピッチ 3.2 mm ならびに 7.5 mm の間隔で縦横に並べて半溶融接合した製品の外観例を示す。図 5 (a) (b) はそれらの上面ならびに横断面を示す。上面を示すサンプルは、上面から鋼球の半径の深さ程度まで研削して示してある。図から、いずれの場合も鋼球は鑄鉄基材中に埋没し、鑄鉄基材によって完全に包み込まれ、良好な接合製品となっていることがわかる。一般に、不定形状の強化粒子をランダムに基材表面に接合させた場合には、強化粒子

表 1 実験条件一覧表

Material Combination	ECI /Steel balls FGCI /Steel ball /Steel wire /SUS 304 wire SGCI /Steel balls
Dimension /mm	Steel ball: φ3 Steel bar: φ3-10
Joining temp. /°C	ECI : 1140~1150 FGCI : 1130~1150 SGCI : 1110~1130
Joining pressure / MPa	Max. 20

Eutectic cast iron : ECI
Flake graphite cast iron : FGCI
Spherical graphite cast iron : SGCI

	C	Si	Mn	P	S	Solidus Line temp
ECI	3.35-3.70	2.85-3.35	0.20-0.60	0.25	0.08	≒1135°C
FGCI	3.60	2.91	0.30	0.125		≒1106°C
SGCI	3.63	3.04	0.15	0.035	0.007	≒1076°C

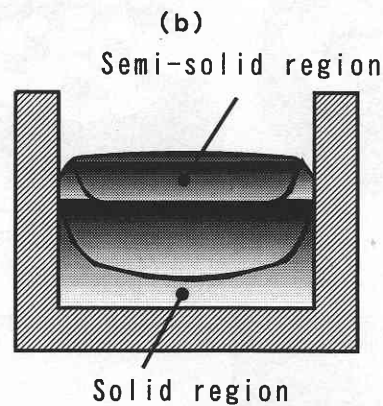
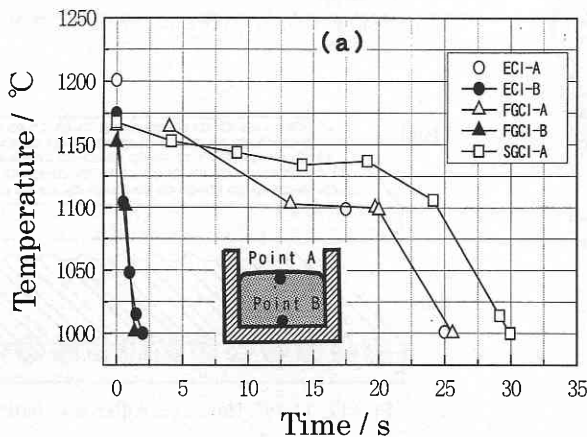


図 3 注湯後の各種鑄鉄基材の温度変化ならびに予想される半溶融 (半凝固) 域の推移

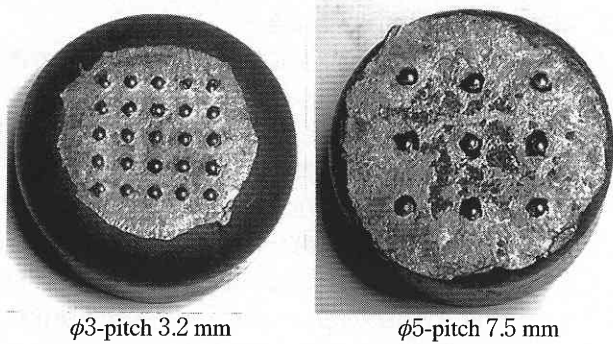


図4 半溶融接合品の外観(共晶黒鉛鑄鉄/鋼球)

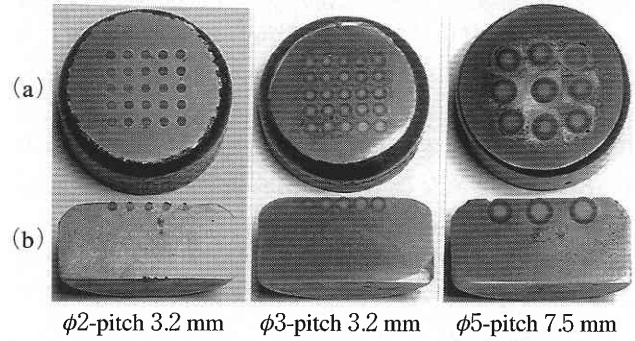


図5 半溶融接合品の平面および断面(共晶黒鉛鑄鉄/鋼球)

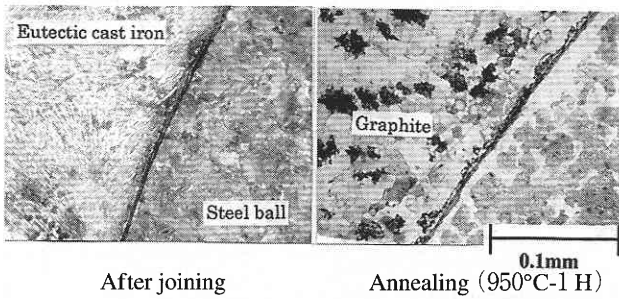


図6 半溶融接合品の内部組織(共晶黒鉛鑄鉄/鋼球)

Outlook of product

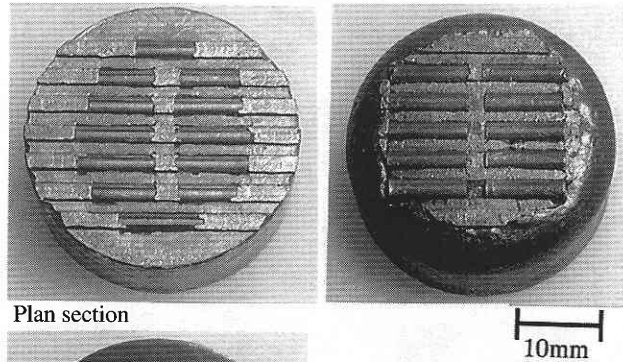


図7 半溶融接合品の外観および平面(片状黒鉛鑄鉄/鋼短線)

Outlook of product

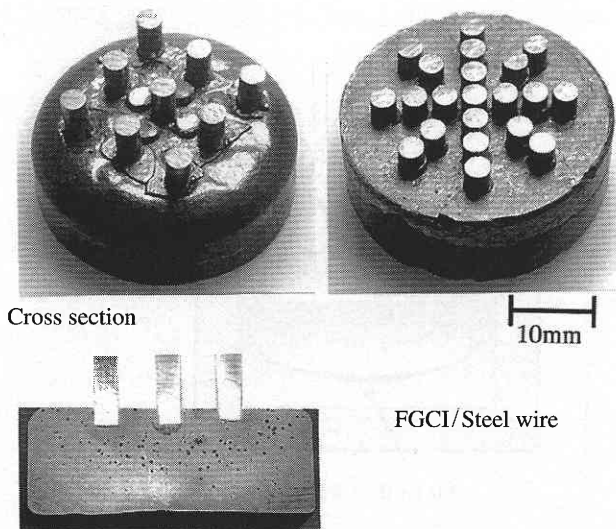


図8 半溶融接合品の外観および断面(片状黒鉛鑄鉄/鋼短線)

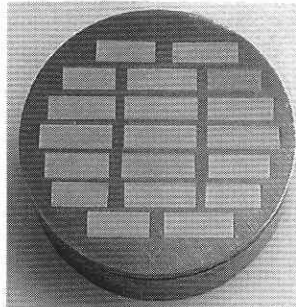


図9 鋼球・鋼短線を使った半溶融接合品の期待される応用例

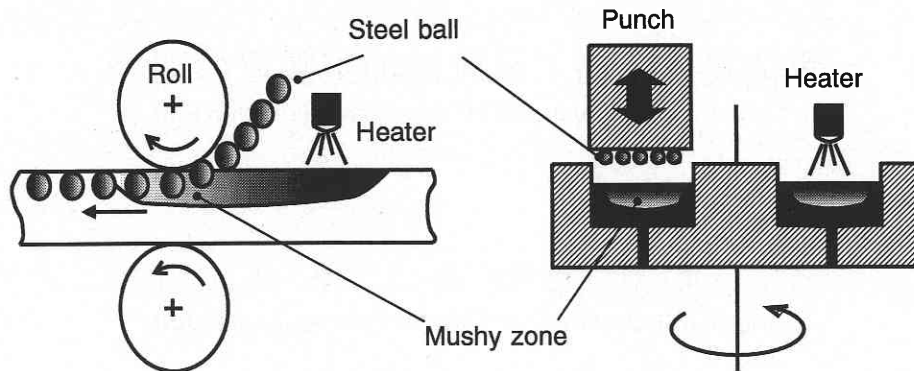


図 10 鋼球・鋼短線等を使った半溶融接合プロセス

の欠落の心配があるが、鋼球を用いることで、より確実な接合の達成が可能となっている。また、本接合製品は、埋め込む鋼球のサイズならびにピッチを調整することで、鋳鉄基材表面の摩擦特性ならびに摩耗特性を意図的に作り込むことが可能となり、したがって鋳鉄表面の高機能化を目指すことができる。

図 6 は、半溶融接合製品の共晶黒鉛鋳鉄と鋼球との境界付近の内部組織を示す。図 6 (a) は、半溶融接合後の製品の内部組織を示し、図 6 (b) は、同製品を温度 950°C・1 時間保持・炉冷の条件で焼鈍した後の内部組織を示す。図 6 (a) からは鋳鉄地内に黒鉛の析出は見られないが、図 6 (b) からは、直径 20～50 μm 程度の塊状の黒鉛が鋳鉄地内に均一に分散析出していること、また、鋳鉄と鋼球との界面には反応相が形成されていることなどがわかる。

3.2 線材の鋳鉄基材表面への接合

図 7 は、φ3 mm の SUS 304 線および鋼線の短線を水平に一定間隔に並べて、片状黒鉛鋳鉄基材の表面に半溶融接合した場合の外観ならびに表面を多少研削した上面を示す。図から、鋳鉄基材が線材端部にまで隙間なく進入し、良好な接合製品となっていることがわかる。

図 8 は、φ3 mm の SUS 304 線および鋼線の短線を垂直に一定間隔に並べて、片状黒鉛鋳鉄の表面に半溶融接合した場合の外観ならびに横断面を示す。この場合も、良好な接合製品となっていることがわかる。図 7、図 8 に示すような接合製品は、硬さ特性、放熱特性、磁気特性、摩擦・摩耗特性等に優れた、表面改質高機能素形材としての用途が考えられる。

3.3 半溶融接合プロセスの応用

半溶融接合法は、極めて単純化されたプロセスでありながら複雑な組立品の接合を実現できる可能性を有している。具体的には、鋼球あるいは短線を板状・円盤状・円筒

状の基材の表面に順次または一括して整列させ埋め込むことにより、図 9 に示すフラットケージ、ローラーウェイ、ボールスライドユニットなどの機械部品の製造が可能となる。

図 10 は、鋼球（球体）または鋼短線等を使った半溶融接合プロセスの具体例を示す。すなわち、図は、各種合金基材の表面を、高周波・アーク・ガス等を熱源とする加熱装置によって加熱し、適当な半溶融状態を現出させ、その部分に鋼球・鋼線等をロールあるいはパンチによって接合させる半溶融連続接合プロセスを示している。

4. ま と め

各種鋳鉄基材の表面に鋼球・鋼線・SU 304 線を整列させ半溶融接合する研究を行い、鋼球・鋼線等は、機械的にまた金属学的に確実に接合（結合）されることがわかった。さらに、鋳鉄の持つ潤滑性・摩擦特性と鋼球・鋼線等の持つ耐摩耗性を、目的に応じて組み合わせて接合することにより、表面改質高機能素形材の製造が可能なることもわかった。

また、これまでの一連の半溶融接合研究結果を総合し、半溶融接合法は、アルミニウム合金・銅合金・鉄合金などの板・棒・管表面の一部あるいは全部に、鋼球・セラミック球等の球体、鋼・セラミック等の非球体・板状体・柱状体・線状体等を、ロールあるいはパンチによって、連続的あるいは断続的に埋設する等の仕様を十分に満足する有用な接合プロセスになり得ることが判明した。

(2000年6月20日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内ほか：生産研究，49-9（1997），419-422.
- 2) 木内ほか：生産研究，51-3（1999），105-108.
- 3) 木内ほか：生産研究，51-3（1999），109-112.