

植込み接合

松 本 良

大阪大学

鍛造品を想定したフランジ部材に棒材をプレスで直接押し込み接合させる「植込み接合」について、接合可否、接合強度、接合メカニズムについて紹介する。またサーボプレスによる振動付加の効果について紹介する。

1. はじめに

一般に熱間鍛造品にはピン等の棒材を取り付けることが多く、鍛造品に棒材を取り付ける場合、穴あけ、ねじ切りなど複数の工程が必要となる。特に複数の棒材を取り付ける場合、製造工程が複雑、精度の維持が困難となり、製造コストが高騰する。棒材と板材を塑性加工により接合する方法としては、高速ハンマ装置による高速せん断接合¹⁾、プレス機を用いて素材をシェービングさせ異種材を結合させるシェービング接合²⁾、部材を加熱せずプレス機で押し

込む高強度塑性結合法³⁾などが提案されている。一部実用化されているが、材料の組み合わせによっては十分な接合強度が得られない場合や寸法精度などの問題により広くは普及しておらず、研究段階のものが多い状況である。

ここでは、鍛造品を想定したフランジ部材に棒材をプレスで押し込み接合させる「植込み接合」について紹介する。

2. 植込み接合法

植込み接合法⁴⁾は図1に示すようにプレス等を用いて室温の棒材を板材（鍛造直後の部材を想定）に押し込んだ後、板材が高温の場合は板材を空冷して棒材を固定する塑性流動接合法である。板材の塑性変形により生じる棒材-板材間の新生面の凝着・焼付きと板材の冷却収縮により接合面に生じる圧縮応力および残留応力を利用して、棒材と板材を接合する。植込み接合法は鍛造品の生産工程の一工程として組み込み可能であり、穴あけ、ねじ切り等の作業工程を省略できるため、効率的な加工法と考えられる。本接合法の応用例として、図2に示すような複数本の棒材、複数枚の板材の接合、長尺棒材の植込み等が想定される。

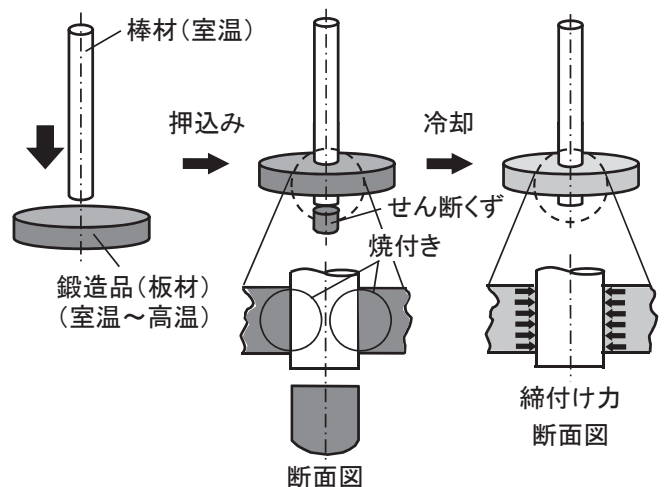


図1 植込み接合法

図3は植込み接合における板材変形の模式図である。板材が受ける変形は打抜き加工に似ており、棒材-板材接触面の板材表面はせん断面と破断面から構成される。破断面では表面凹凸のため、棒材-板材の接合力はほとんど得られないため、せん断面を増やすことで棒材-板材の真実接触面積が増え、凝着・焼付きによる接合力が得られるものと考えられる。

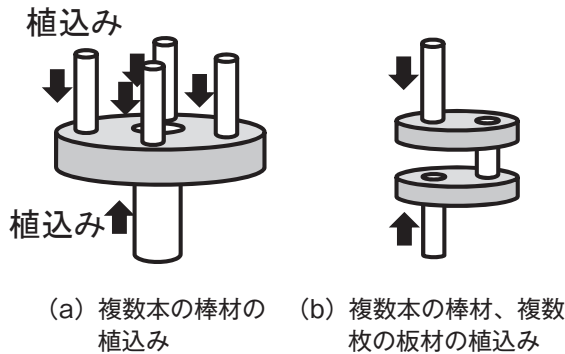


図2 植込み接合の応用例

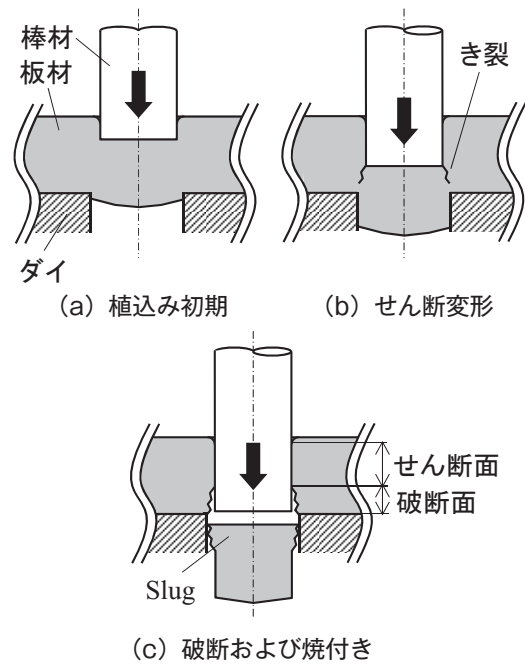


図3 植込み接合における板材変形の模式図

3. 植込み接合の基礎特性

図4はクロムモリブデン鋼棒材を炭素鋼板材に植込んだ場合の植込み接合後の写真である。棒材は機械プレス(株)アマダ:TP60、最大加圧能力:600kNにより植込み開始速度約200mm/sで板材に植込まれている。板材温度が750℃以下の場合(図4(a))には棒材が板材に押込まれず、塑性変形により棒材先端部の直径が大きくなり、900℃以上の場合(図4(b))には棒材は塑性変形や座屈を生じることなく板材を貫通し、棒材直径とほぼ同じ直径の板材のせん断くずが生じている。植込み接合では植込み

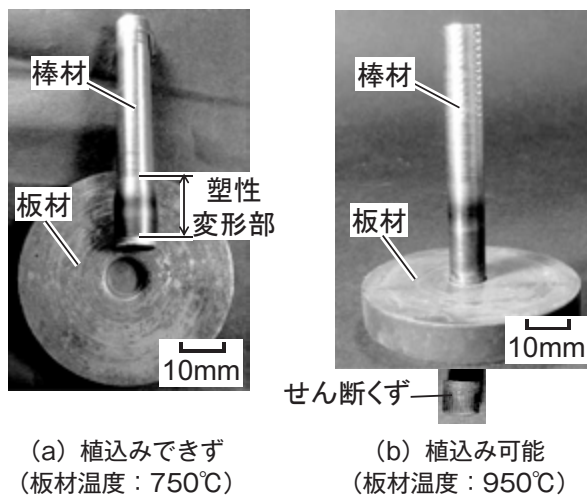


図4 鋼材同士の植込み接合

最大圧力(植込み中の最大荷重/棒材断面積)を棒材の降伏応力以下に抑えることが植込みの必要条件である。

板材温度を上げることなく植込み荷重を低減させる対策の一つとして、板材植込み部に図5に示すような棒材直径より小さな穴(予備穴)をあらかじめ設けることがあげられる。図6は950℃の予備穴付き板材に植込み接合を行った場合の板厚と植込み接合の可否の関係を示したものである。予備穴直径が大きいほど植込み接合可能な限界板厚は厚くなることを確認できる。また予備穴を設けることで棒材の

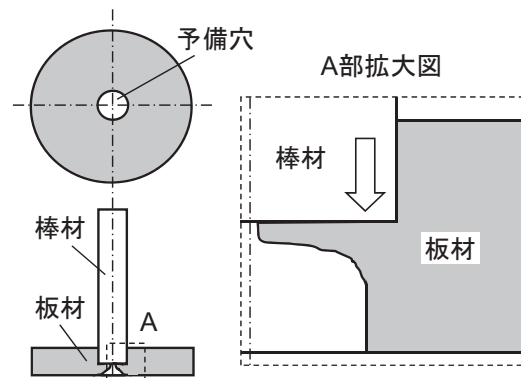


図5 板材に設けた予備穴と棒材植込み中の予備穴の変形

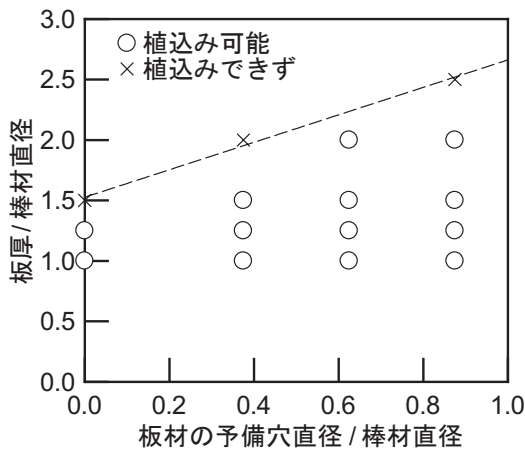


図6 鋼材同士の植込み接合における板材に設けた予備穴直径と植込み接合可能な板厚の関係(板材温度: 950℃)

植込み中の板材の変形状態は図5に示すような一種の切削加工に近い状態になり、板材のだれや棒材-板材間の隙間が少なく、真実接合面積が大きくなるため、引抜きせん断力が若干向上することも分かっている。

図7は板材温度と植込み接合後の棒材の引抜きせん断応力の関係である。引抜きせん断応力(引抜き最大荷重/棒材の植込み部接触面積)は植込まれた棒材から板材を静的(5.0mm/min)に引抜く際の引抜き抵抗である。引抜きせん断応力は100~120MPaであり、板材温度が高いほど板材上面のだれも大きくなるにも関わらず、接合強度は高くなる事が分かる。また棒材-板材の接合強度については鋼材同士の植込み接合の場合、約80%が凝着・焼付き、約20%が冷却収縮による圧縮応力であることが明らかになっている。

植込み接合による接合強度の耐久性は疲労試験により調べられている。疲労試験では棒材-板材の接合部に2.0kgf・mの曲げモーメント(最大引張り応力: 約390MPaに相当)の負荷を棒材植込み方向と90°方向に0.56Hzで0~10,000回繰返し負荷した後、引抜き試験を実施している。図8は疲労試験後の接合強度である。2,000回の疲労試験後の接合強度は約15%程度の低下が見られるが、2,000回以上の疲労試

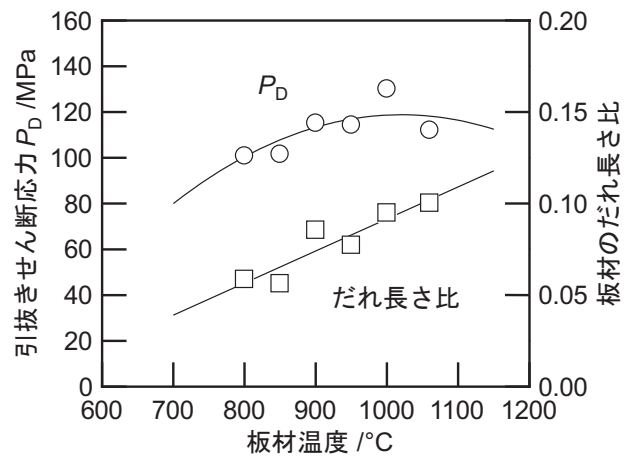


図7 鋼材同士の植込み接合における接合強度

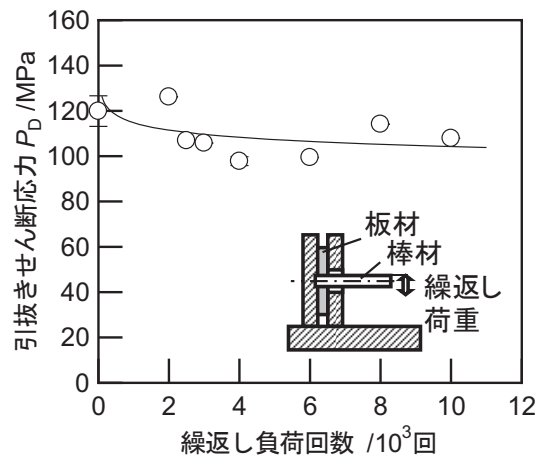


図8 鋼材同士の植込み接合における接合部の疲労試験後の接合強度

験後の接合強度ではさらなる低下は見られない。

本稿では鋼材同士の植込み接合⁴⁾のみを取り上げたが、アルミニウム材同士⁵⁾、鋼材-アルミニウム材の異種材の植込み接合⁶⁾も実施しており、アルミニウム材同士の接合では約80MPa、鋼材-アルミニウム材の異種材の接合では約60MPaの引抜きせん断応力がそれぞれ得られている。また中実棒材の植込みのみならず、パイプ材の植込み接合⁷⁾も取り組んでおり、中空部材の接合も可能である。

4. サーボプレスを用いた振動付加植込み接合⁸⁾

最近、ACサーボプレスの活用がさまざまな塑性加工プロセスで試みられている。そこで、アルミニウム棒材と板材の植込み接合において、ACサーボプレスを用いて棒材の植込み直後に棒材を植込み方

向に振動させる振動付加植込み接合法を筆者らは提案している。図9は振動付加植込み接合におけるプレススライドモーション線図の一例である。棒材の板材への植込みには、リンク式サーボプレス(コマ

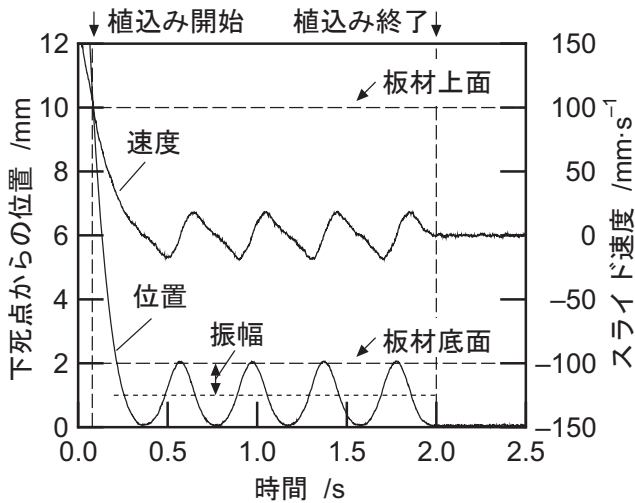


図9 振動付加植込み接合におけるサーボプレスのスライドモーション線図

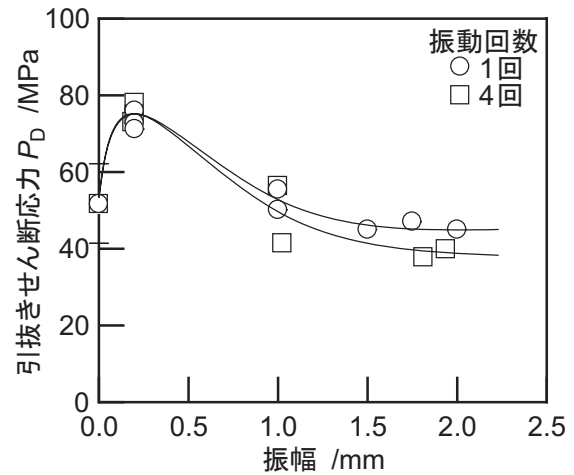


図10 アルミニウム棒材-板材の振動付加植込み接合における振幅と接合強度の関係

ツ産機(株):H1F45、最大加圧能力:450kN)を使用し、スライド下死点まで下降後、直ちに周波数約2.0Hz、振幅0.2~2.0mmで棒材を振動させている。振動回数はプレス機の仕様上、最大4回としている。

図10は振動付加植込み接合における振幅とアルミニウム棒材-板材の接合強度の関係である。振幅0.2mmの振動を付加することで振動付加なしの場合

の約1.5倍の接合強度が得られ、振幅1.0mm以上では接合強度は振動付加なしの場合に比べて若干低下することが分かる。また接合メカニズムを考察したところ、振動付加により棒材-板材接合面の凝着・焼付きの度合いは振動付加なしの場合と同程度あるいは若干低下する一方、板材の残留応力による締付け力は増加することが分かる。

5. まとめ

鍛造品を想定したフランジ部材に棒材をプレスで押し込み接合させる「植込み接合」について、各種金属の接合可否、接合強度、接合メカニズムおよびサーボプレスによる振動付加の効果について紹介した。今後、実用化にむけて接合精度や接合部の疲労強度のさらなる検証を行うとともに産業部品への展開を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 柳原直人, 齊藤博, 中川威雄: 高速せん断接合, 塑性と加工, 28-322 (1987) 1181-1185.
- 2) 町田輝史: 異種材のシェービング接合法とその軟鋼への応用, 塑性と加工, 28-322 (1987) 1158-1165.
- 3) 広田健治, 松浦崇, 北村憲彦, 鶴飼須彦, 松永啓一: ねじり強度を重視した焼入れ軸とフランジの塑性流動結合, 塑性と加工, 48-552 (2007) 66-70.
- 4) R. Matsumoto, S. Hanami, A. Ogura, H. Yoshimura, K. Osakada: New Plastic Joining Method using Indentation of Cold Bar to Hot Forged Part, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 57/1 (2008) 279-282.
- 5) R. Matsumoto, T. Chida: Development of Plastic Flow Joining Method Using Indentation of Aluminum Bar to Aluminum Plate, Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, 3-12 (2009) 1223-1232.
- 6) 松本良, 花見真司, 小坂田宏造, 吉村豹治: 鋼材-アルミニウム材の異種金属の植込み接合(フランジ付軸部品の植込み接合法の開発 第2報), 塑性と加工, 50-581 (2009) 550-554.
- 7) 花見真司, 松本良, 小坂田宏造, 吉村豹治: 植込鍛接による塑性結合法の開発(第4報 パイプ材の植込鍛接), 平成20年度塑性加工春季講演会講演論文集(2008) 303-304.
- 8) 松本良, 地田隆博, 花見真司: サーボプレスを用いた振動付加植込み接合法(フランジ付軸部品の植込み接合法の開発 第3報), 塑性と加工, 51-593 (2010) 597-601.