

熱可塑性 CFRP 成形のヒートアンドクール金型

金沢大学 設計製造技術研究所 米山 猛

1. はじめに

炭素繊維強化樹脂 (CFRP) は比重が 1.5 と軽量で、強度が高いことから、機器の軽量化のための材料として使われている。今後の量産に向けた CFRP として熱可塑性樹脂を含浸させた熱可塑性 CFRP (CFRTP) が期待されているが、まだ CFRTP を用いた量産成形方法は開発途上にある。本研究では、不連続炭素繊維を用いた CFRTP によるカップ成形(鍛造)を取り上げ、成形サイクルタイムを短縮するために必要なヒートアンドクール金型についての知見を明らかにする。

2. 目的

繊維長 20mm 程度の CFRTP を用いたカップ鍛造成形の金型において、成形後の冷却を促進する装置を製作し、金型の冷却効果を確認するとともに、CFRTP 成形の成形時間を短縮する効果を確認する。

3. 実用的な価値

CFRTP の成形においては樹脂が熔融温度域にあるうちに成形を行わなければならないが、樹脂が固化しなければ取り出すことができない。したがって、樹脂が熔融温度域にあるうちに成形できるように金型を加熱しておくことが必要であり、また成形後には、成形品を取り出すために、金型を冷却する必要がある。成形サイクルを速めるためには、成形後の金型をすばやく冷却する必要がある。本研究で開発したヒートアンドクールの方法は、簡便な CFRTP 金型のヒートアンドクールとして実用的な価値がある。

4. 研究内容の詳細

4.1 ヒートアンドクール金型の設計

CFRTP カップ成形の方法として、加熱した CFRTP のビレットを金型内に挿入し、鍛造によってカップを成形する加工法を取り上げる。CFRTP の加工には以下のような特徴がある。

- ① 炭素繊維に含浸した熱可塑性樹脂(本研究ではナイロン PA6) の熔融温度以上に加熱しなければ、成形加工ができない。
- ② 樹脂の固化温度以下まで冷却しなければ取り出しができない。

- ③ 成形中に炭素繊維を寸断しないようにする必要がある。

- ④ 成形後の冷却過程で樹脂が収縮し、樹脂と炭素繊維との剥離を防ぐため、冷却中も加圧を継続することが求められる。

CFRTP に含浸している樹脂が熔融温度にあるうちに成形を行うために、金型表面温度を樹脂の熔融温度に近づける必要がある。金型表面温度が低いと、金型に接触した樹脂が冷却されて固化し、金型表面から動かなくなるので、変形を妨げるからである。一般の樹脂の射出成形の場合には、金型と接触した樹脂が金型表面から固化しても内部の樹脂が肉厚中心部を通して流動することができるが、CFRTP においては、10 mm 以上の長い炭素繊維に樹脂が含浸しているので、金型表面からの固化層に炭素繊維が固定されてしまうと流動や変形が困難となる。したがって、成形品の形状を作るためには、できるだけ樹脂が固化しないうちに成形を行う必要がある。

一方、成形後は、速やかに冷却を行って、成形品を取り出したい。そのため、成形時には金型を温め、成形後には速やかに冷却を行うというヒートアンドクール機能が生産性向上のために求められる。

射出成形などのヒートアンドクールの方法には、熱媒と冷媒を切り替えるなどの方法があるが、本研究では、比較的設備費のかからない方法として、カートリッジヒータを用いた金型加熱と水冷を組み合わせたヒートアンドクール方式を採用する。

ヒートアンドクール金型として検討した第 1 案を図 1 に示す。パンチと下型をカートリッジヒータで加熱し、成形後、ヒータへの通電を切って、水冷管(バッフル)を金型に押し付ける方式である。しかし、水冷管を最初から金型に内蔵しておく、金型温度の上昇が遅くなること、また水冷管の先端を押し付けても、接触面積が小さいので、冷却効果があまり大きくならないと考えられたので、この第 1 案は採用せず、図 2 の第 2 案を考案し、採用した。これは、あらかじめ、熱伝導のよい銅のピンや銅リングなどを金型に埋め

込んでおき、加熱時は金型と同じ温度まで加熱させ、成形後はヒータの電源を切った後、銅ピンや銅リングの根元に水冷を行って銅媒体を通じて金型を冷却しようと考えたものである。銅ピンの代わりにヒートパイプを採用することも検討したが、金型加熱時にヒートパイプ内の媒体が気化してしまう危険もあるため、本研究では、より安全な銅媒体を用いることとした。

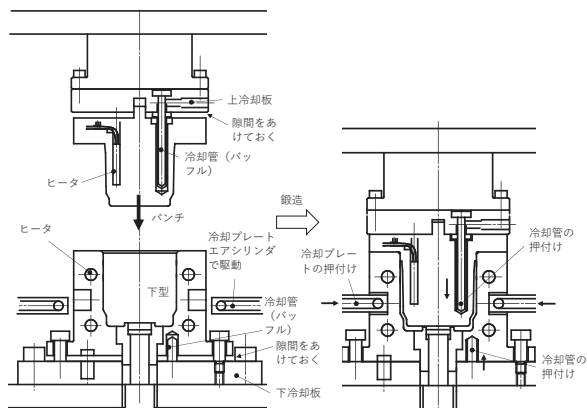


図1 ヒートアンドクール金型 第1案

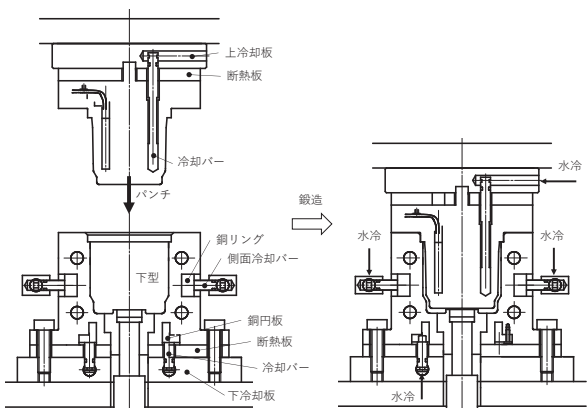


図2 ヒートアンドクール金型 第2案

金型の冷却効率を上げるため、金型材には、一般の金型材よりも熱伝導率の高いDHA-Thremo（大同特殊鋼：高熱伝導率熱間工具鋼：熱伝導率 37 W/mK）を用いた。

銅の熱伝導率は400W/mK, PA6の熱伝導率は0.4 W/mK程度、炭素繊維の熱伝導率は、10W/mK程度である。CFRTPの炭素繊維と樹脂の体積割合は50%ずつであり、CFRTPの熱伝導率は4W/mK程度であると考えている。

4.2 ヒートアンドクール金型の製作

対象とした成形品の寸法を図3に示す。直径63mm、高さ58mm、側面の肉厚約2~2.6mm(外側はストレート、内側は抜き勾配1°)、

底面の肉厚4mmのカップである。円筒形状のビレットを金型内に挿入し、パンチで押し込んで、カップを鍛造する。これは、同様のアルミニウム合金鍛造品をモデルにしたものである

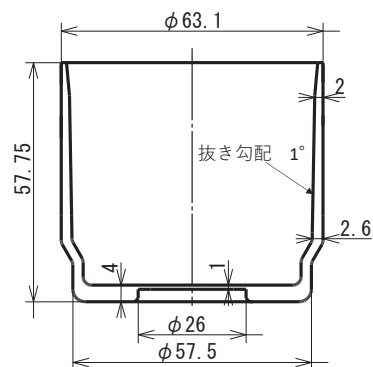


図3 対象とした成形品寸法

製作したヒートアンドクール金型のパンチを図4に示す。パンチ背面に見える4本のバーが銅の冷却バーである。この冷却バーの先端が上冷却板の水管部分に差し込まれ、水管に水を流すとパンチが冷却される。

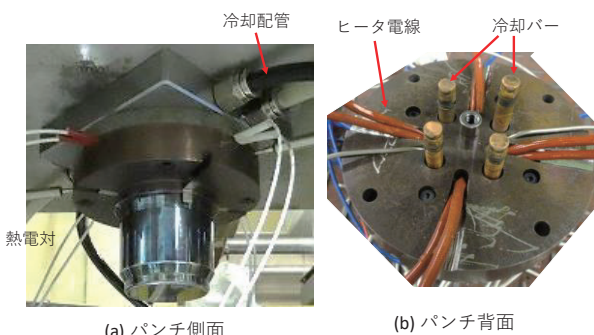
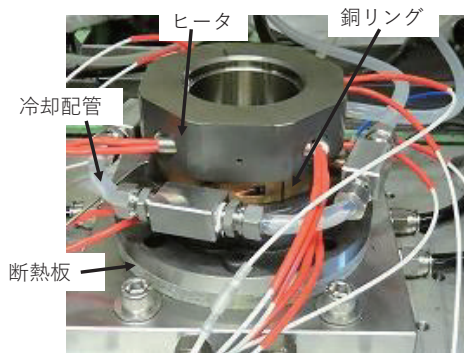


図4 製作したパンチ

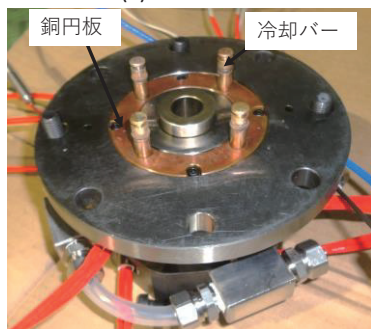
製作したヒートアンドクール金型の下型を図5に示す。下型側面に銅リングが取り付けられており、ここに4本の銅バーがついており、この銅バーの先端が水冷管の継手部分に差し込まれている。また下型の底面には銅円板が貼られ、この銅円板とつながっている銅バーの先が下冷却板の水冷管内に挿入されて、水を流すと冷却される構造となっている。

パンチおよび下型それぞれの冷却テストを行った結果を図6に示す。パンチは145°Cから、下型は180°Cからヒータによる加熱を止めて、水冷を始めた後の金型の温度変化を示している。パンチは熱容量が小さいため冷却が速いが、水冷を行わない場合40°C低下するのに300sかかっているが、水冷を行った場合、230s程度に短縮している。下型においては、水冷なしの場合、400s後に180°Cから

153°Cまでしか下がっていないが、水冷を行うと125°Cまで下がっている。



(a) 下型側面



(b) 下型底面

図5 製作した下型

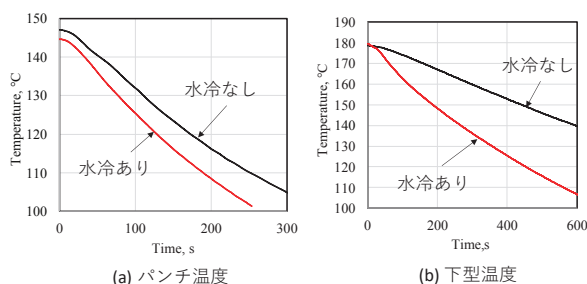


図6 パンチおよび下型の冷却テスト

4.3 CFRTP の鍛造

(1) CFRTP ビレットの製作

CFRTP ビレットとして、2種類を製作した。一つは、一方向炭素繊維に熱可塑性樹脂 PA6 を含浸させた厚さ 0.17 mm のシート (Tencate 製) から、直径 50 mm の円板を切り出し、これを積層して製作したもので UD 積層ビレットと呼ぶ。各円板の中央に繊維方向に直交する長さ 30 mm のカットを入れ、圧縮時に繊維が両方向に分かれることをねらっている。繊維方向が 22.5° ずつことなる 8 方向の円板を図 7 に示したように順番に重ね、合計 110 枚重ねたものをコンテナ内に入れて加熱し、樹脂が溶融温度に達したらパンチで加圧しながら冷却してビレットを製作した。一方、一方向 CFRP シートから、幅 10mm, 長

さ 20mm に切ったチップを、図 8 のようにランダムに混ぜた UD ランダムビレットも製作した。

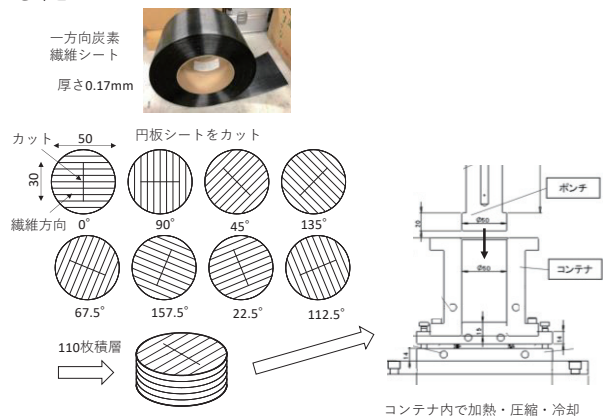
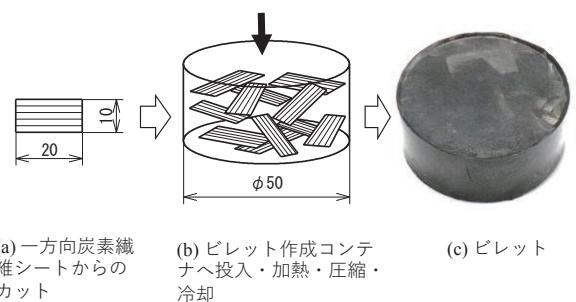


図7 UD 積層ビレットの製作法



(a) 一方向炭素繊維シートからのカット (b) ビレット作成コンテナへ投入・加熱・圧縮・冷却 (c) ビレット

図8 UD ランダムビレットの製作法

(2) CFRTP 鍛造

CFRTP のカップ成形を行う装置を図 9 に示す。鍛造成形には 30 トン油圧プレスを使用した。下からの加圧を行う別の油圧シリンダをセットし、ダイセットに下型とパンチを組んだ。

鍛造プロセスを図 10 に示す。マッフル炉の中で、ビレット温度が 280°C になるまで加熱する。プレス機に設置したパンチは 150°C、下型は 180°C に加熱しておく。加熱されたビレットをマッフル炉から取り出して下型内に挿入し、パンチを下降させてカップ形状に鍛造する。パンチが下死点まで到達したら、ヒータへの通電を切って、水冷をスタートする。同時に下からのシリンダを駆動させて下からの加圧を行い、冷却中の加圧を行う。上からのパンチも加圧を続けるが、パンチの縁のプレートが下型上面に当たって止まったままになるので、パンチの変位は動かない。このような鍛造条件で、水冷時間を 10 分から 30s まで変化させた場合、および水冷なしの場合の成形を行った。

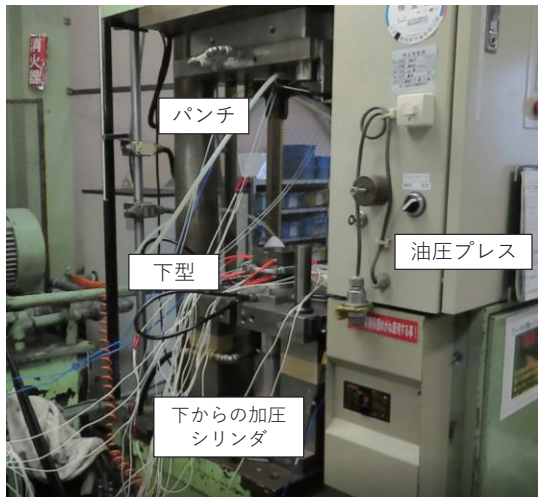


図9 CFRTP 鍛造システム

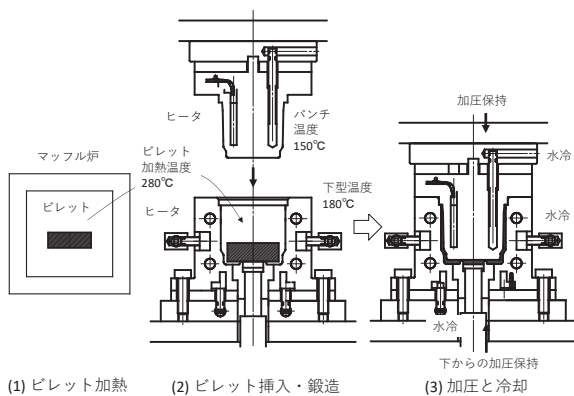


図10 CFRTP 鍛造のプロセス

(3) 鍛造時の金型温度変化

鍛造成形後の冷却時のパンチ温度，下型温度の変化を図 11 に示す．水冷を行った場合，下型温度は初期温度 180℃から 3 分で 150℃まで冷却される．一方，初期温度が 150℃のパンチは下型内に挿入されることで，下型から熱が伝わり，一旦温度が上昇し，その後下降して，2 分後に 150℃に戻りその後も低下を続けている．

水冷を行わなかった場合には，下型温度は成形から 3 分後にも 165℃あり，パンチは 3 分後に 155℃となっている．銅板や銅ピンを用いた水冷システムにより，冷却が促進されることが確認された．

(4) 鍛造後の成形品の外観

UD ランダムビレットの鍛造成形において，冷却時間を 3 分，1 分，30s とした場合の成形品の外観を図 12 に示す．冷却時間 1 分までは問題なく成形できたが，水冷なしの冷却時間 30 s においては，下型からイジェクトして取り出した成形品の側面に引っかき傷が多かった．

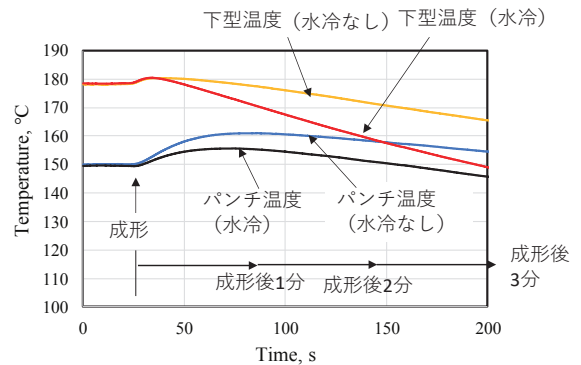


図11 鍛造成形時の金型温度

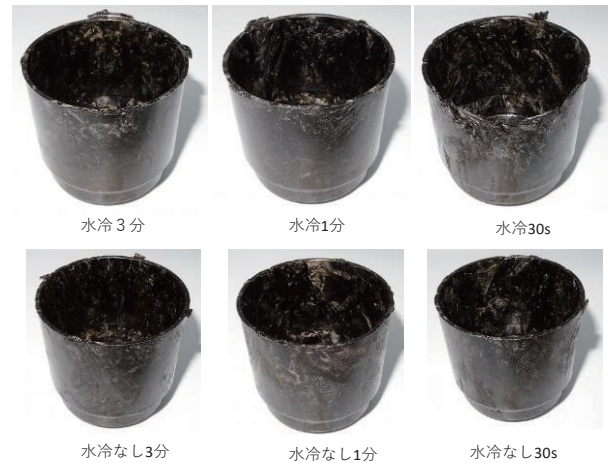


図12 UD ランダムビレットからの成形品

5. まとめ

一方向炭素繊維の CFRTP を繊維長 20 mm 程度にしたビレットを作成し，これを加熱してカップを鍛造するプロセスにおいて，金型の冷却を促進するヒートアンドクールシステムを作成し，成形後の金型冷却を促進することを確認した．本研究で採用した冷却銅の金型への組み込み→銅端部の水冷による金型冷却の方法は，簡便な冷却促進法として，CFRTP 成形のサイクルタイム短縮を実現するものである．

本研究における成形品の選定から鍛造実験まで，群馬精工（株）にお世話になった．

参考文献

- 1) 谷口ほか：第 69 回塑性加工連合講演会講演論文集（2018），291-292.
- 2) 吉川ほか：第 70 回塑性加工連合講演会講演論文集（2019），95-96