

クラッド材の引き抜き加工に関する品質管理データ取得方法の開発

Development of quality control data acquisition method for extraction processing of clad material

技術開発部 工業材料科 工藤弘行 西村将志
応募企業 北光金属株式会社

応募企業は、現在引き抜き加工によるクラッド材製品の量産化に取り組んでいるが、素材ロットにより寸法変化が大きく変わるという課題がある。そこで、CAE解析及び硬さ測定を行い、品質管理の裏付けとなるデータを取得する手法を開発した。その結果、CAE解析ではA材とB材の変形抵抗のバランスが、寸法変化に影響することが分かった。硬さ測定では製品全体の硬さ値の分布をヒートマップとして可視化する手法を提案した。

Key words: クラッド材、引き抜き加工、塑性加工CAE、ヒートマップ

1. 緒言

応募企業は、現在、引き抜き加工によるクラッド材製品の量産化に取り組んでいる。図1のとおり製品はA材とB材により構成されており、クラッド材として接合した素材に対し、引き抜き加工を4工程繰り返して製品に仕上げる。工程が進む順に1パス目、2パス目、3パス目、4パス目と呼称する。

引き抜き加工は、素材を穴が開いた金型に通すことで、断面積を減少させ、同一断面の部材を得るシンプルな加工法であるが、一度の加工で変形できる量には限りがあるため、複数の工程を繰り返す、また、焼鈍により加工硬化した素材を軟化させ加工性を回復するなどの工程設計が必要である。

現在の工程設計は、試行錯誤的であり、今後、品質管理の面で課題となる懸念がある。そこで、本事業では、塑性加工CAE解析と硬さ測定を用いて、今後の品質管理の裏付けとなるデータを取得する手法を開発した。

塑性加工CAE解析では、引き抜き加工のような連続的な現象を計算することが苦手であるため、引き抜き加工やクラッド材の特徴を踏まえつつ、短時間で妥当な結果が得られる計算手法を見出すことを目的とした。

硬さ測定では、製品全体の硬さ値の分布をヒートマップとして可視化する手法を検討した。

さらに、塑性加工CAE解析と硬さ測定で得られたデータ、及び社内の品質管理で得られたデータを統合し活用する手法についても検討した。



図1 製品断面形状

事業課題名「クラッド材の引き抜き加工に関する品質管理データ取得手法の開発」

2. 実験

2. 1. CAE解析手法

本事業では、塑性加工に特化した機能を持つ有限要素解析ソフトウェア Simufact.forming (MSC Software 社製 ver13.0。以下、Simufact) を使用してCAE解析を行った。

引き抜き加工では、多くの場合、長さ数m以上の素材を、数秒間以上、連続的に加工するが、金型と接する部分の素材の変形は定常状態が続くため、全ての過程をCAEで計算することは非効率である。そこで、図2に示すように、数m以上の長さの素材のうち、長さ3[mm]の部分だけをモデル化した。また、モデルは対称性を考慮し、1/2モデルとした。図中の引き抜き工具は、解析の都合上モデル化した実在しない物体であり、素材を引っ張る役割を持つ。引き抜き加工に相当する境界条件として、引き抜き工具に1mm/secの速度変位を一定時間与えた。

クラッド材は、異種材料を加熱と加圧で接合した部材であり、理想的な接合では原子レベルで強固な結合力をもち一体化している。CAE解析では、この接合界面の設定が重要となる。Simufactでは、滑りや摩擦を表現する一般的な接触状態を指定する「Touching」の他に、接着状態を表現する「Glued」の設定が可能である。本事業では、クラッド材を構成するCu部と抵抗体を別々の物体としてモデル化し、その接合界面に対し「Glued」接着を指定した。また、引き抜き工具とCu部、抵抗体の接合部についても「Glued」接着を指定した。

材料物性値は、ソフトウェアが保有する材料物性値ライブラリから、「ECu-58_c」(JIS C1100材相当)を用いた。A材の物性値は情報が不足しているため、B材「ECu-58_c」の物性値を基準とし、スケーリング機能により、B材の1.5倍とした。

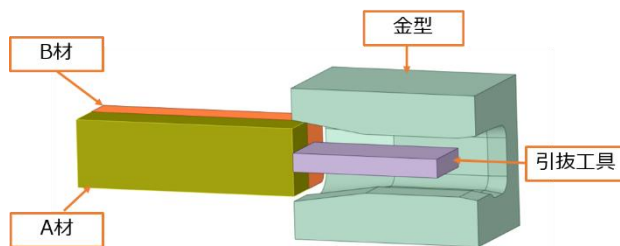


図2 クラッド材の解析モデル

2. 2. ビッカース硬さ試験

マイクロビッカース硬度計（島津製作所製 HMV-G31-FA-D）を用いた。測定条件は、試験力 50 [gf]、エッジからの距離 0.05 [mm]、測定ピッチ 0.1 [mm] の長方形パターンとした。

当該試験機は自動測定機能を有することが特徴である。図3に手動測定と自動測定における硬さ試験の測定手順を示す。手動測定では、測定的位置決め、高さ調整、試験、圧痕読み取りのサイクルを試験回数分繰り返す必要があり、手間と時間がかかる。自動測定では、予めサンプルのエッジ検出、パターン作成、高さ登録をすれば、以降は自動で測定できる。表1に各加工工程後のサンプルの試験点数と試験時間を示す。自動測定は手間がかからず、短時間で実施できる機能であることが分かる。

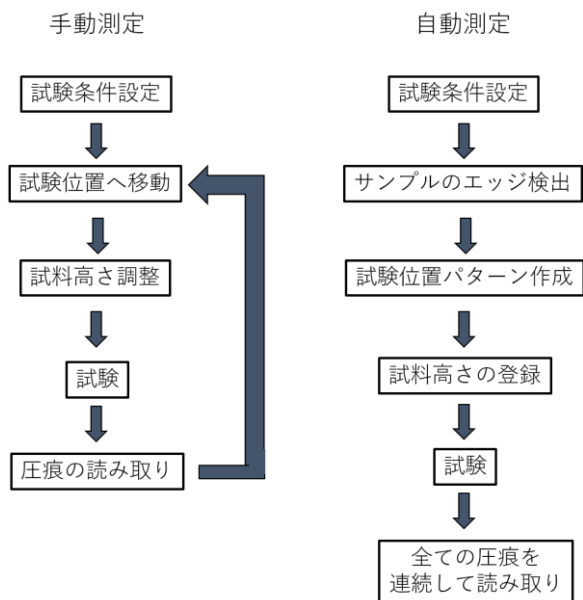


図3 硬さ試験の測定手順

表1 試験点数と試験時間

測定サンプル	試験点数	試験時間	
		手動	自動
1パス目	154	111 min	77 min
2パス目	128	93 min	64 min
3パス目	108	78 min	56 min
4パス目	90	65 min	45 min

製品全体の硬さ値の分布を判別しやすくするため、ヒートマップによる視覚化を検討した。なお、試験機の解析ソフトに硬さ値を色分けする機能はないため、図4のとおり得られた結果を座標値に合わせて集計及び色分けし、観察画像の圧痕位置と重なるように貼り合わせることで疑似的なヒートマップとして示すこととした。

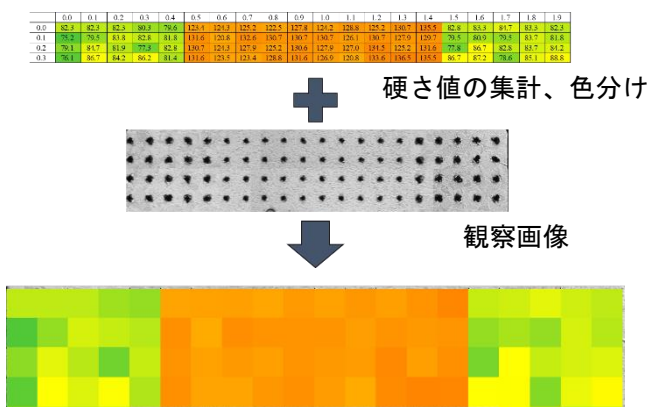


図4 ヒートマップ

3. 結果

3. 1. CAE 解析結果

CAE 解析では、素材が金型に侵入する瞬間に素材の後部が上下に振られる挙動が見られたが、加工が進むにつれて、安定した。この安定状態が引き抜き加工の定常状態と見られるため、計算結果の安定化に着目し、解析モデルの妥当性を検証した。

図5に、1パス目加工において、素材先頭が金型出口を通過した加工距離 3 [mm] 時点（3 秒後）の上下方向変位と相当塑性ひずみの分布図を示す。素材の先端は金型の形状にならって、断面が変形しており、引き抜き加工を良く再現している。素材先頭に局所的な分布が見られるものの、それを除外すれば、この時点で、変位、ひずみともに、一定の状態が続いている。

図6は、引き抜き工具に生じる引き抜き方向と上下方向の反力の経時変化を示したもので、緑色の線は加工距離 3 [mm] 時点を示している。加工距離 1.5 [mm] までは、荷重の変動が見られるが、3 [mm] の

時点で荷重はほぼ一定となっている。

以上より、簡便化した本解析モデルであっても、素材先端を除外し、加工距離 3[mm]時点を過ぎた断面以降は、変形は定常化しており、妥当な計算ができていていると判断した。

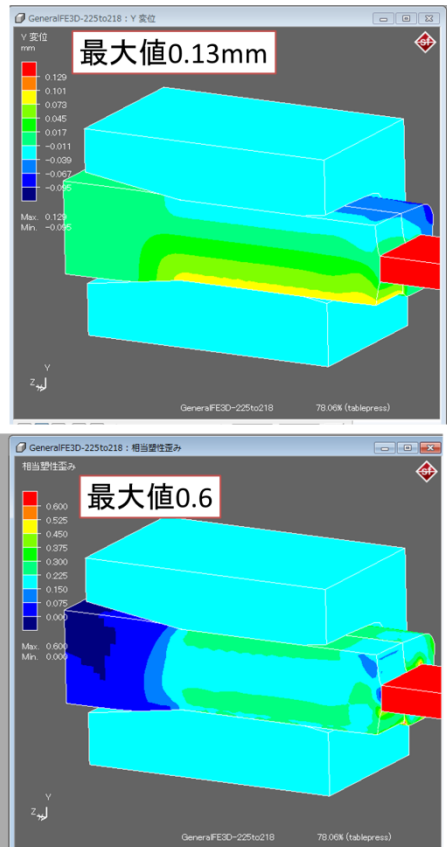


図5 加工距離 3 mm 時点の CAE 解析結果
(上) 上下方向変位 (下) 相当塑性ひずみ

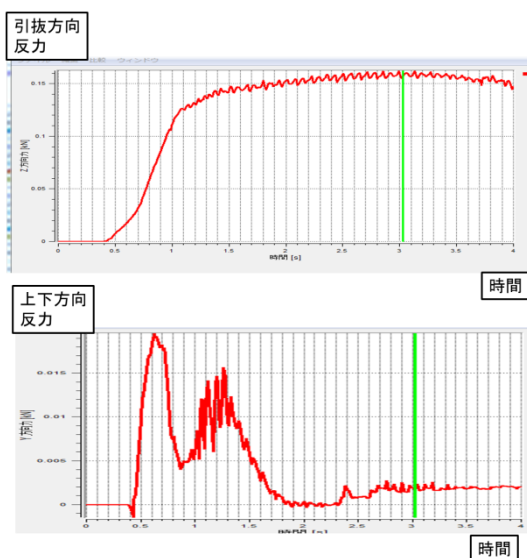


図6 引き抜き工具の反力の経時変化グラフ
(上) 引抜方向 (下) 上下方向

3. 2. ビッカース硬さ試験結果

各加工工程後のサンプルのビッカース硬さ値の分布を図7にヒートマップとして示す。

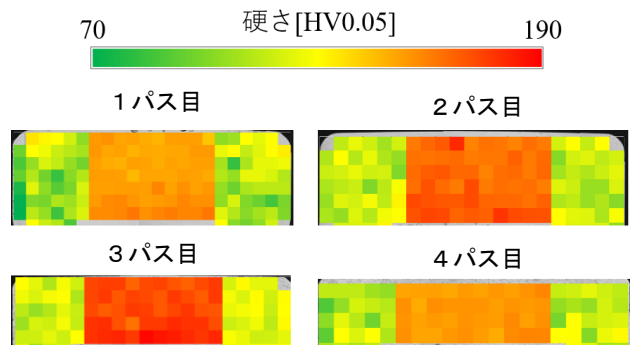


図7 ビッカース硬さ測定結果 (ヒートマップ)

硬さは、A材の最大値が高い順に、3パス目、2パス目、1パス目、4パス目であった。B材はA材ほどの硬さの違いは現れなかったが、2パス目、3パス目が、1パス目、4パス目よりも若干硬かった。

本加工では、1パス目から3パス目まで、引き抜き加工を繰り返し、4パス目の加工前に軟化のために焼鈍を行っている。図7における1パス目から3パス目までは加工硬化により加算的に硬さが上昇し、4パス目で低下する測定結果は、加工工程に見合った様相である。

4. データ活用法の検討

塑性加工 CAE 及び硬さ測定において得られたデータと、従来から社内にて取得している品質管理データを統合的に活用する手法の検討を行った。

硬さ測定では、引き抜き加工による寸法減少を考慮する必要があるため、項目 3. 2での測定ピッチではなく、代表寸法を横方向は 20 分割、縦方向は 4 分割した値を試験位置とした。CAE 解析の変位分布から、この手法でほぼ同一点を追跡した硬さ測定が実現すると考える。

Simufact では、「パーティクル」機能により、サンプル内の任意の点の計算結果を経時グラフで表示することができる。図8は、「パーティクル」配置の拡大図と、設定ウインドウを示したものである。図中、緑色が製品の断面形状であり、青色の点が「パーティクル」である。本機能では、水平、垂直、外形線に対して、評価点の間隔を距離や分割数で指定することができる。本事業では、硬さ測定に合わせて同一の分割数の配置とした。

解析例として、1パス目における抵抗体について、代表的な 9 点を選び、相当塑性ひずみの経時グラフ

を図9に示す。いずれの点も、ほぼ同じタイミングでひずみが増大した後、ほぼ一定となっており、素材が金型を通過する時のみ大きな塑性変形が生じる引き抜き加工の特徴を反映している。グラフ右下にパーティクルの位置を示したが、9点の中で9番の点が最大のひずみとなり、最大値は0.38であった。

図10に、本事業で提案する「加工履歴」を重視したデータ取得手法のイメージを示す。塑性加工CAE解析で計算される相当塑性ひずみと、硬さには強い相関関係があるため、縦軸に硬さと相当塑性ひずみを統一的に示し、横軸に加工工程のグラフとして示すことで、素材の時点から加工終了までの加工履歴を統一的に示すことができる。

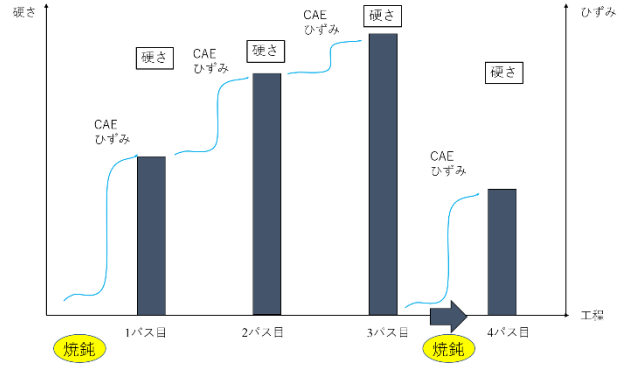


図10 取得データの関係性

5. 結言

クラッド材の引き抜き加工における品質管理の裏付けとなるデータを取得するため、塑性加工CAE解析と硬さ測定を行った。これらの結果から以下の知見が得られた。

- CAE解析を実施した結果、数m以上の長さの素材のうち、長さ3[mm]の部分だけをモデル化した解析であっても、加工距離3[mm]時点を過ぎた断面以降は、変形が定常化しており、妥当な計算ができた。
- 製品全体の硬さはヒートマップで視覚化できる。
- 硬さ測定データとCAE解析データを統合的に扱うため、CAE解析の後解析機能を用いて、評価点を統一する手法を提案した。本事業で得られたデータ数は少なくビッグデータでなかったものの、CAEと硬さ測定を統合したデータベース化が進めば、共通する点の硬さ測定結果を基に、製品表面の硬さを推定するなどの応用が可能と考えられる。

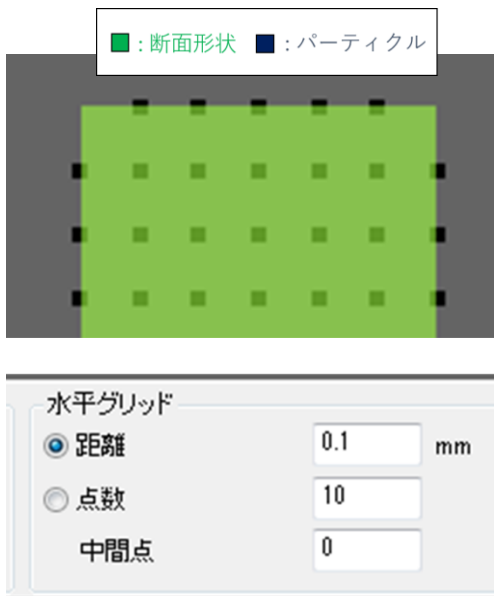


図8 パーティクルの配置及び設定ウインドウ

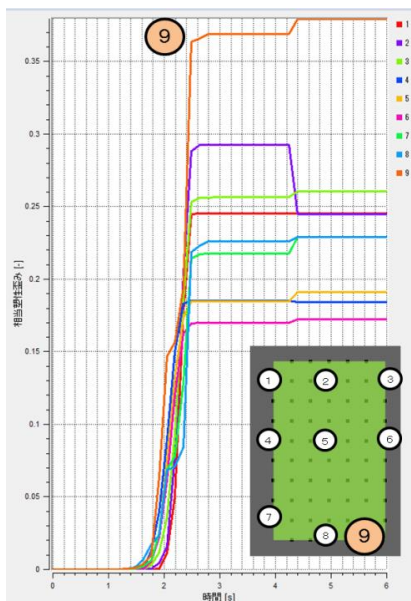


図9 抵抗体における相当塑性ひずみの経時変化