

技術資料



Technical Data

鋼製品の外観検査技術の開発

片岡克仁*, 湯藤隆夫*, 武田諭喜夫**

Development of Appearance Inspection Technology for Steel Products

Katsuhito Kataoka, Takao Yuto, and Yukio Takeda

Synopsis

For the visual inspection of forging steel products with individual differences, we developed the inspection methods by the image processing and the 3D shape measurement.

Unevenness of dimensions within tolerance and uneven surfaces are key factors in the differences.

The characteristic of the image processing method is to assume a part of product oneself a template and to compare the part with the similar other parts.

And the characteristic of 3D shape measurement method is to emphasize the differences by the differential method after breaking down complicated shape measurement data into simple standard shape data, e.g., cylinder form and rectangular box.

2012年11月5日受付

* 大同特殊鋼(株)研究開発本部 (Daido Corporate Research & Development Center., Daido Steel Co., Ltd.)

** 大同特殊鋼(株)知多工場 (Chita Plant, Daido Steel Co., Ltd.)

1. 緒言

一般的に、表面仕上げ加工された単純かつ均一な表面状態の金属表面検査への画像処理技術の応用は以前から行われており、目視検査の補助から自動検査装置にいたるまで実用化されている。

一方、鍛造品などの鋼製品では、鍛造工程、余肉の切除・切削工程、ショットブラストなどの表面処理工程を経て、製品形状に成形された後、表面に欠陥が存在しないかを判定する外観検査が行われている。各工程における外乱要因（金型摩耗による寸法精度の低下・表面凹凸のばらつき、表面処理による粗さや肌状態のばらつき）による製品個々の個体差が存在するため、自動画像検査を適用することが困難で、目視検査に頼っているのが現状である¹⁾。特に、鍛造品では、金型磨耗による寸法精度・表面凹凸のばらつき、ショットブラストの使用回数に伴う表面粗さのばらつきが、製品個体差となる。

また、目視検査においても、これらの製品個体差によって、判定基準が設定しづらく、個人の能力に左右され易いという問題がある²⁾。

そこで、本稿では、十字状の鍛造品の自動外観検査を実現するために、製品個体差の影響を抑制した検査方法を開発したので紹介する。

2. 鍛造品の外観検査について

鍛造品の主な表面欠陥について、Table 1に示す。鍛造品の表面欠陥には、欠肉・型ズレ・バリ・打痕・汚れ・錆などがあり、目視による外観検査では、これらを

まとめて検査している。

これらの欠陥は、欠肉・型ズレ・バリ・打痕といった形状変化を伴う欠陥と、汚れ・錆といった見た目、つまり、外観変化のみの欠陥に大別できる。

そこで、今回、鍛造品の外観検査として、外観変化の検査には画像処理 (Image processing) を用いた検査方法を、形状変化の検査には形状測定 (3D shape measurement) を用いた検査方法を開発し、それらを組み合わせることで鍛造品の自動外観検査技術を開発した。

2. 1 画像処理を用いた検査方法

目視検査の代替となる画像検査には、CCD や CMOS に代表される受光素子を用いた工業用カメラと LED やハロゲンランプを用いた照明を組み合わせた画像処理技術を適用した³⁾。システム構成を Fig. 1 a) に示す。

鍛造品は、表面粗さのばらつきなどが撮影画像に影響するため、できる限り肌の影響を受けにくく錆や汚れの視認性のよいリング照明を選定した。また、複雑形状した製品の輪郭を正確に認識することは難しく、寸法公差も大きいために一定サイズで切り出すことができない。そこで、きず判定用の凹凸が強調されるような画像とは別に、製品部分の輝度を飽和させて製品の輪郭が強調されるような画像を撮影することとした。

従って、画像検査では、以下の画像を使用する。

- ①輪郭強調画像＝製品の外形(輪郭)を強調した画像 (Fig. 1 b)
- ②凹凸強調画像＝製品の凹凸を強調した画像 (Fig. 1 c)

Table 1. Surface defects of forging products.

Name	Contents	Defect type
Underfill	Materials are not pervasive to the corner.	Image + 3D
Die Gap	Gap of the shape by the core difference of the die.	Image + 3D
Burr	The thin materials which protrude from the gap of the die.	Image + 3D
Dent	The fall or contact dented the material.	Image + 3D
Stain	The stain which attached in a process.	Image
Rust	The rust which occurred by long-term safekeeping.	Image

Image : Image processing, 3D : 3D shape measurement

2. 2 形状測定を用いた検査方法

形状変化を伴う欠陥の定量的な検査には、製品の3次元形状の測定方法が有効で、光の位置情報を利用するホログラフィー法、干渉を利用するスペックル干渉法、三角測量の原理を利用し、スポットレーザ光を2次元走査して距離画像を得る方法、ラインレーザ光を1次元走査して距離画像を構成する光切断法、複数の角度から撮像した画像を用いたステレオカメラ法など³⁾の方法がある。

今回の検査対象である鍛造品の場合は、表面状態はショットブラスト加工肌で、色はほぼ単色であり、より高精度な形状情報がほしいという点から、ラインレーザ光を用いた光切断法を用いた。システム構成を Fig. 2 a) に示す。光切断法による3Dスキャナを被検査体に対して1軸方向に走査させることで、Fig. 2 b) のような被検査体全体の3次元形状情報を取得する。

また、同一の製品（被検査体）に対し、2.1節の画像処理を用いた方法と形状測定を用いた方法を組み合わせた検査（システム構成）を行うことで、各々の得意、不

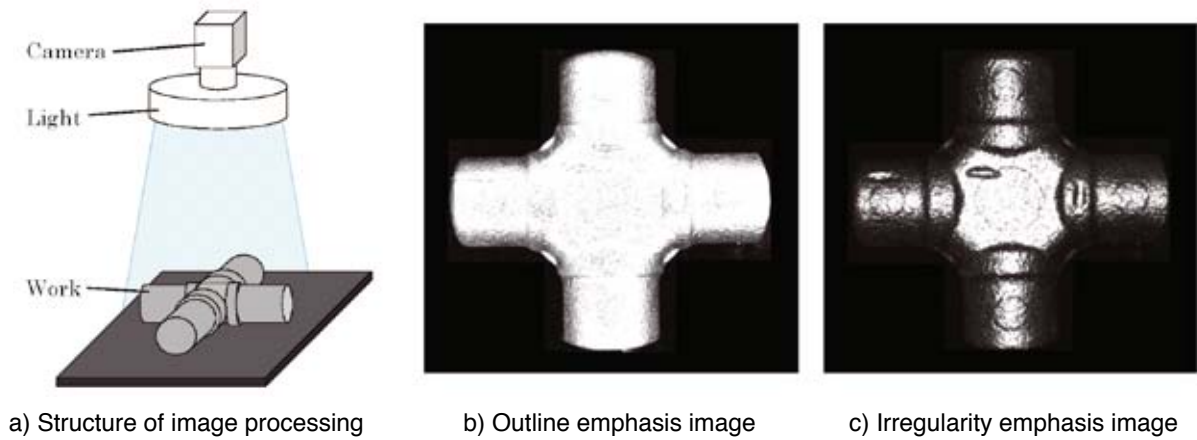


Fig. 1. Structure of image processing and grabbed images.

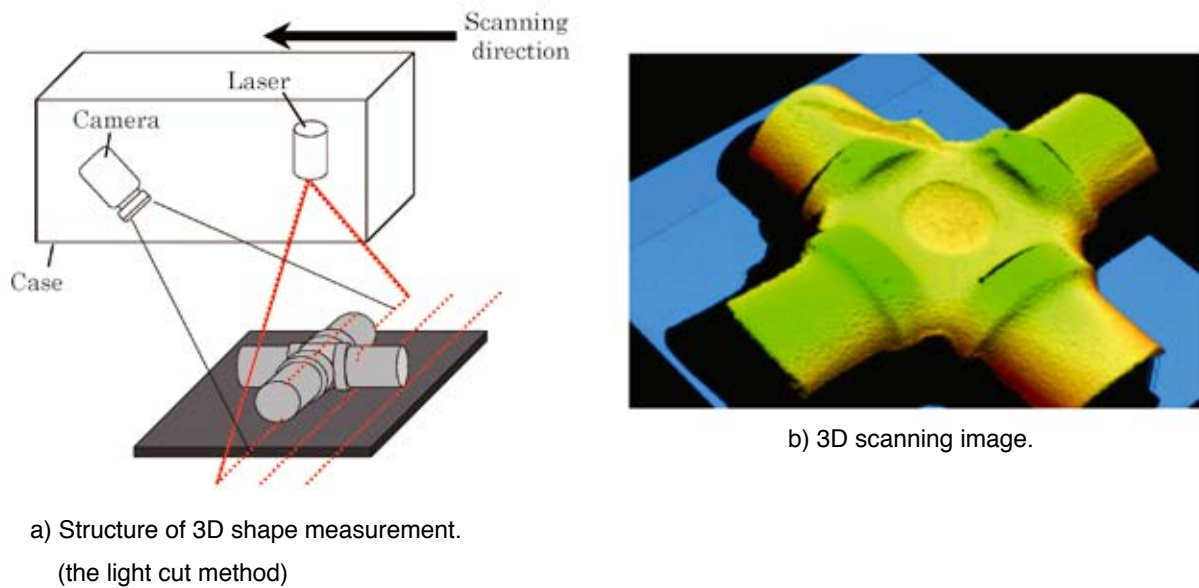


Fig. 2. Structure of 3D shape measurement and scanning image.

得意項目を補完しあうことのできる信頼性の高い検査の実現を図った。

ちなみに、目視検査においても、ゲージなどを用いた形状検査をしながら、人の目で外観検査も同時に実施している。

3. 各種検査の処理・判定方法の開発

3. 1 画像検査の処理・判定方法の開発

2.1節の方法から得られる2種類の画像を利用して、以下の処理・判定を行った。なお、各画像は、被検査体(製品)を固定し、測定条件(照明方法)を切り換えて撮像しているため、得られる各画像内の製品の位置は同一である。

まず、輪郭強調画像(Fig.1 b))から、製品の向きと外形輪郭を把握し、Fig.1 b)と同一位置にある凹凸強調画像(Fig.1 c))の向きを揃え、製品の一部を切り出す。

製品の切り出す一部とは、他に同一の部位が存在するように切り出すのが特徴である。そして、切り出した製品自身の一部を基準とし、他の製品部位と比較検査する。

具体的には、十字状製品の各軸を、Fig. 3に示すように、A、B、C、Dの部位に切り出す。次に、例えば、Aの部位を基準画像(Master Image)とし、AとB、AとC、AとDを差分処理する。Fig. 4に示すように、BとDの部位に、凹みや凸による陰影が存在していた場合、AとBの差分処理とAとDの差分処理を行うと、陰影部分だけが残り、これにより欠陥が判定できる。また、もし基準となるAに凹凸起因の陰影が存在した場合は、他の全ての部位との差分処理で陰影が残るため、そのまま不良と判定したり、もしくは、他部位に共通した陰影が残る場合にはAに欠陥があると判定した。

この方法は、表面粗さや肌状態のばらつきによる製品個体差の影響を抑制するのに有効である。なお、後述する形状測定においても、3次元の形状情報を画像のように扱えば、この方法を同様に適用することも可能である。また、本稿で取り上げた十字状製品に限らず、歯車や輪のような形状であっても、他に共通する部位に切り

出すことが可能であれば、本処理・判定方法は適用可能である。

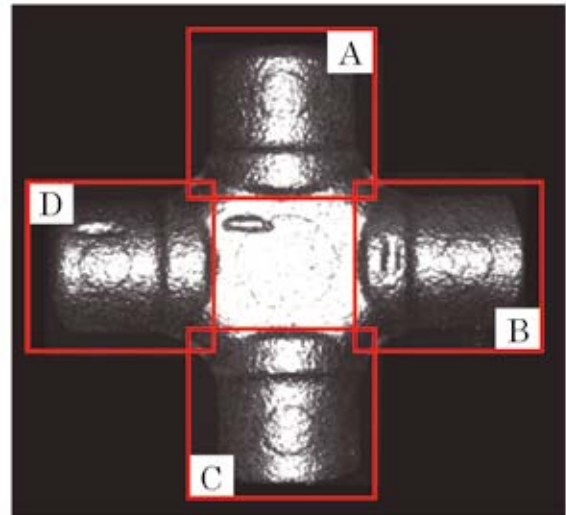


Fig. 3. Original image.

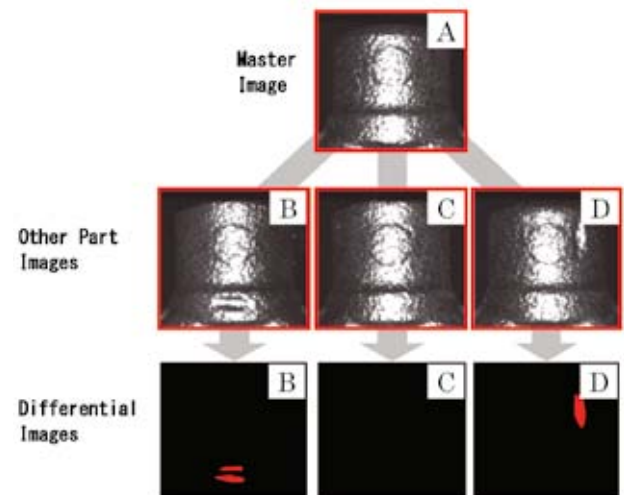


Fig. 4. Images before and after the comparison (differential) processing.

3. 2 形状測定処理・判定方法の開発

形状測定の特徴は、製品の3次元形状情報を定量的に扱えることである。

Fig. 5に、2.2節の方式で測定した製品の形状測定結果を示す。Fig. 5は、X-Y軸に製品の縦横情報を割り当て、製品の高さ情報を色調で表している。

この測定結果から欠陥を判定する方法を説明する。まず、製品の3次元形状情報を以下のような単純形状の部位毎に切り出す。Fig. 6に製品の模式図と単純形状の各部位を示す。また、便宜上、切り出した各部位を、軸部 (Shaft)、肩部 (Shoulder)、中央部 (Center) と呼ぶことにする。

Fig. 6の各名称部位のうち、中央部は、単純平面と見して、平面に対する凹凸の有無で、不良/良を判定した。

次に、軸部は、単純な円筒状と見なして、軸寸法の理想円弧との差分処理から凹凸の有無を判別してもよいが、製品が寸法公差内で変形し単純円弧ではない場合、理想円弧との差分は、凹凸の誤検出や過検出を生むことになる。

そこで、軸部の軸方向の全長にわたって最も外側に位置する形状情報を繋ぎ合わせた曲線を生成し、これを基準形状とした。言い換えると、Fig. 7に示すように、軸部を軸方向に投影した場合の形状を基準とした。

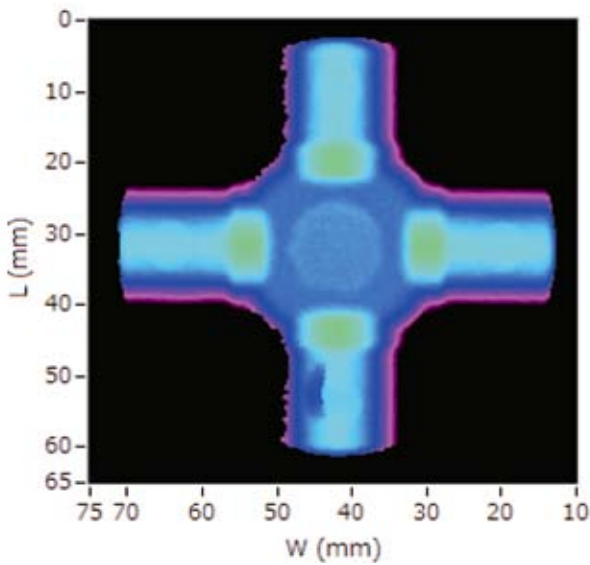


Fig. 5. 3D scanning image of work.

最後に、Fig. 8に示すように、生成した基準形状 (Master Profile) と、軸部を細分した断面形状 (Line Profile) 毎で差分処理をすれば、凹凸情報だけが残り、これをもとに不良/良と判定した。なお、肩部についても、軸部と同じ円筒状と見なして、同様の処理を行った。

この方法は、許容公差内の寸法・表面凹凸のばらつきによる製品個体差の影響を抑制するのに有効である。

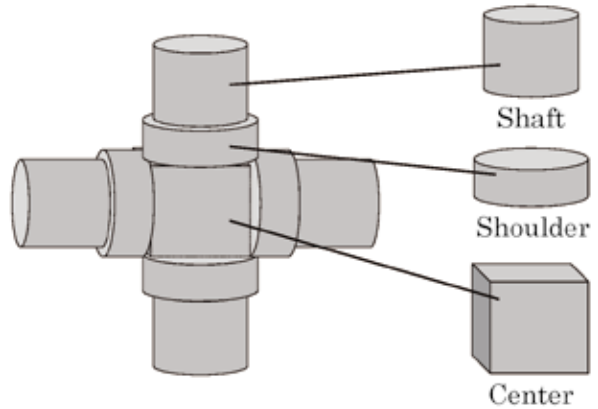


Fig. 6. Schematic view of work.

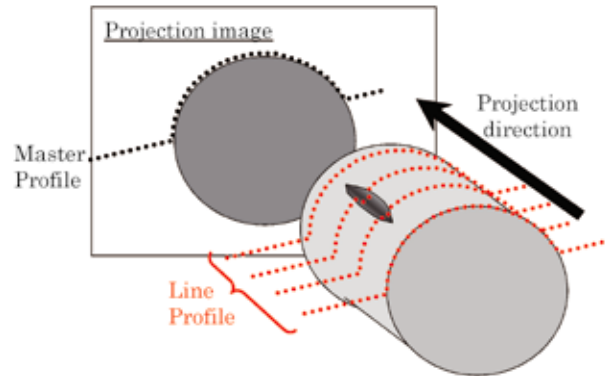


Fig. 7. Illustration of master profile and line profile.

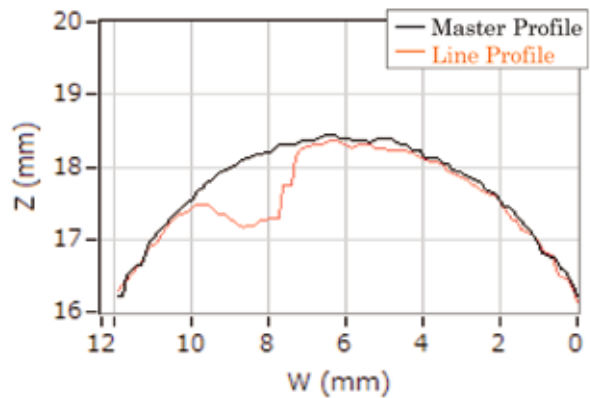


Fig. 8. Master profile and line profile of shoulder.

3. 3 形状測定を表裏判別方法の開発

形状測定において、被検査体の表裏で形状が異なる場合、3.2節に示した単純形状の部位毎に詳細な処理・判定方法を行う前に、全体形状から表裏を判別する方法があれば、前段で表裏が判別できないほどの大欠陥（不良）を選別し、通過したもの（良）だけ、後段でより詳細な欠陥を判定することが可能となる。そこで、以下に開発した表裏判別方法を示す。

Fig. 9 に表裏の形状が異なる鍛造品の設計図面（断面図）を示す。最初に、設計図面、もしくは、実際の製品の形状測定結果から、製品の表面形状（Surface Profile）と裏面形状（Back Profile）を抽出し、それぞれ基準形状（テンプレート）として記憶する。

次に、実際の製品検査において、順次供給される製品の上側の形状測定結果（Line Profile）に、上述の表面基準形状と裏面基準形状を比較検査して、それぞれの一致率で、表裏を判別する。Fig. 10 では、模式的に示しているが、表面／裏面のどちらかの基準形状と一致していれば表裏を判別可能で、どちらとも一致しなければ、例えば異製品と判別することも可能である。

ところで、許容公差内の寸法・表面凹凸のばらつきによる製品個体差がある鍛造品では、最初に記憶した基準形状で、上記の表裏判別をしていると、一致率の低下、さらには、表裏のどちらとも一致しないような場合が起こってくる。そこで、連続した製品の表裏判別の一致率が徐々に低下してきた場合に、製品個体差が大きくなってきたと判断し、次の製品測定で表裏のどちらかで一致した場合の形状測定結果を、表裏どちらかの基準形状として更新することとした。これによって、外乱要因による製品個体差（形状変化）に追従することになり、継続して、安定した表裏判別が可能となった。

4. 結 論

鍛造品などの、製造工程における外乱要因（許容公差内の寸法・表面凹凸のばらつき、表面処理による粗さや肌状態のばらつき）による製品個々の個体差が存在する鋼製品の自動検査を実現するために、以下の検査技術を開発した。

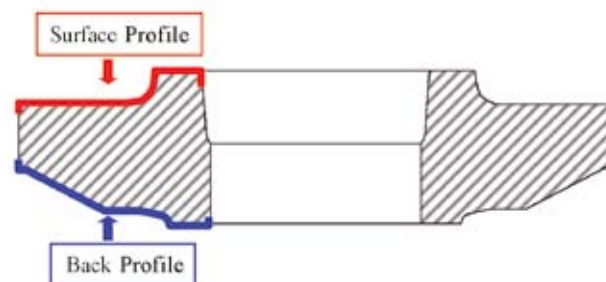


Fig. 9. Product drawing and surface profile/back profile.

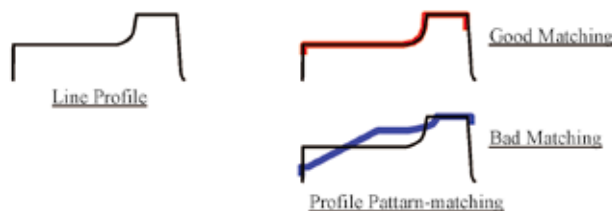


Fig. 10. Pattern matching with line profile.

- (1) 画像処理検査＝製品自身の一部を基準とし、他の類似部位との比較検査
- (2) 形状測定検査＝製品の3次元形状の最外形を基準とした差分処理検査
- (3) 形状表裏判別＝製品個体差による基準形状変化を更新しながら実施する表裏判別

今後は、目視検査に頼っている、個体差がある製品検査に、本検査技術を適用し、機器検査化・自動検査化を図っていく。

（文 献）

- 1) 新田雅康：電気製鋼，79(2008)，299.
- 2) 日本鍛造協会：鍛造現場のQ & A，(2009)，54-63.
- 3) 山田龍三：電気製鋼，79(2008)，313.