

レーザー画像計測を利用した熱間鍛造品の 表面欠陥オンライン検査技術の開発

熊本大学 工学部 知能生産システム工学科
教授 濟木弘行 助教授 丸茂康男
(平成13年度研究開発助成 AF-2001011)

キーワード：熱間鍛造，表面欠陥検査，レーザー光

1. 緒言

熱間鍛造プロセス中に発生した欠陥を迅速に検出し、欠陥発生原因の解明とその問題点を改善することにより、成形品の品質と信頼性を高めることができる。このためには、成形工程直後における全ての鍛造品の形状・表面欠陥検査をオンラインで行うことが必要となる。しかし、熱間や温間鍛造の自動欠陥検査ではプロセス中に扱う素材温度が高く、しかも刻々と変化する厳しい測定環境で行われるため、様々な技術的工夫と改善を伴う研究開発が必要になる。

そこで本研究では、高温における熱の影響を考慮し、省スペースでの作業が可能で、さまざまな加工品に対応できるレーザー光を用いた自動表面欠陥検査システムの開発を行う。鍛造品の欠陥には様々のものがあるが、ここでは重要度が高く検出が比較的容易と考えられる成形品輪郭に現れる欠肉とばりに注目し、この二種類の欠陥が発生する鍛造品かど部を中心に欠陥検出ができるシステムの構築、自動検査を行うためのソフトウェアの開発、さらに、実際の熱間鍛造工程における表面欠陥検査環境に対応するための表面欠陥検査実験を行った。

2. レーザー光の画像計測と実験条件

2.1 計測誤差に及ぼす測定物表面温度の影響

レーザー光などで高温物体の寸法計測を行う場合、光路の曲がりによる寸法計測誤差や画像の揺らぎの問題がある。図1は、1200℃に加熱された幅360mmの鍛造品を寸法計測する場合、高温の温度境界層において入射光が曲がることで生ずる寸法誤差を評価した結果である。自然対流層に入射する場合、入射角が60°を越えると0.1mmを越える大きな誤差が生ずる。しかし、扇風機の弱風（流速1m/s）によるわずかな強制対流を与えることで誤差は大きく減少させることが分かる。したがって、温度境界層を減少させることが重要になる。

2.2 実験装置及び画像計測

本実験の計測に利用したHe-Neレーザーは波長 0.633 μ m の赤色光で、スリット光の線幅は2mmである。スリット光を検査対象物に対してある角度で入射することによって、表面の凹凸の状態を検査することができる。図2に示すようにCCDカメラを配置し、レーザー光と水平面との角度を θ とすると表面凹凸の高さ h は $h/\tan\theta$ に拡大されて見え

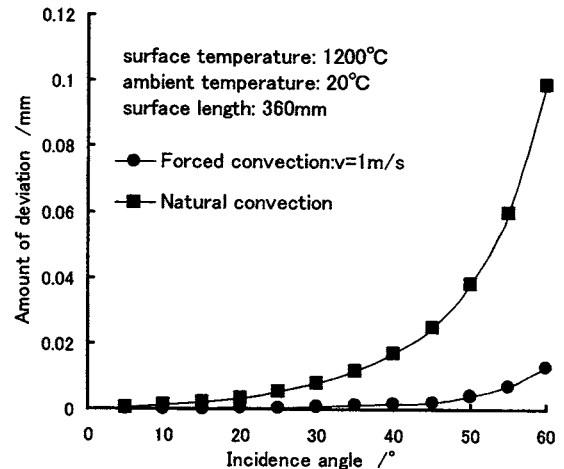


図1 自然対流と強制対流下におけるレーザー光入射角と計測寸法誤差の関係

る。したがって、角度 θ が小さいほど小さな凹凸まで検出できることになるが、ここでは画像処理等の関係から角度 θ は約30°が適当である。

図3は実験用計測系の略図である。電気炉で高温(1050℃)に加熱されたモデル試験材料($\phi 50 \times 20$)をx軸方向(紙面に垂直方向)に135°傾いた斜台上に置き、回転駆動ピンで回転させる。円柱試験片の角部には人工的な欠肉あるいはばりを全周にわたって施してある。スリット光を試験片輪郭に60°以内の角度で照射し、その反射像を試

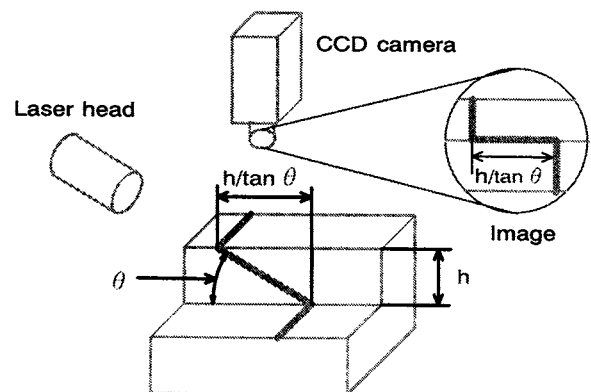
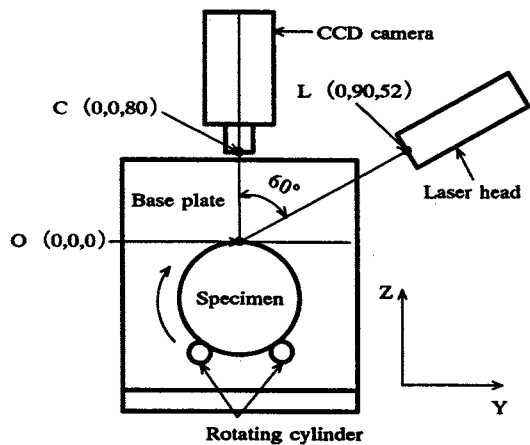
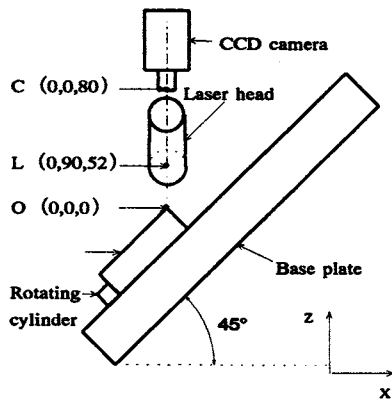


図2 レーザー光と表面凹凸の関係



(a) 正面図



(b) 側面図

図3 実験装置主要部

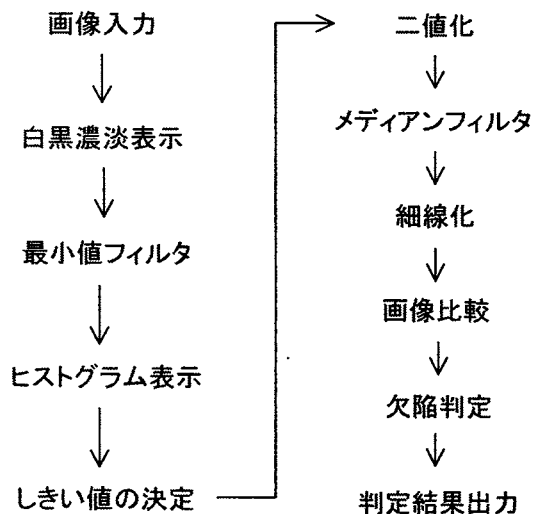


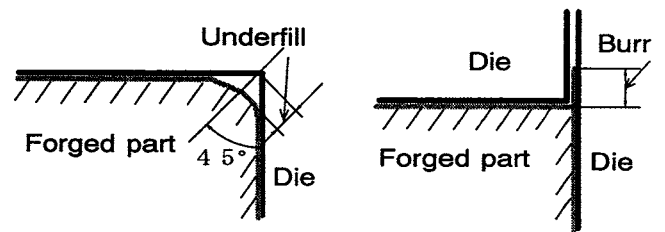
図4 表面欠陥検査の流れ

験片直上の偏光フィルター付き CCDカメラ (画素数 640×480) で撮影し、形状を計測する光切断法¹⁾を用いて欠陥の評価を行う。計測画像は画像処理ボードを介してパソコンに取り込まれ処理される。図3で示した点O, C, Lはそれぞれ試験片被検査点, カメラ先端点, レーザー照射装置先端点を示し、各座標はOを原点とした場合の各点の位置をmm単位で示したものである。

画像処理プロセスは、通常の白黒の濃淡画像表示、その細線化処理、基準画像との位置合わせと比較等からなっている。回転する試験片素材から18コマの画像が連続で取り込まれ処理される。図4に表面輪郭欠陥検査の流れを示す。

2.3 欠肉量とばり量

図5に示すように欠肉は材料の型への充填不良で、角部において材料不足となっている。ばりは型の合わせ部において材料がはみだしてできる突起状の欠陥である。今回の研究では各欠陥の大きさを欠肉量とばり量として図5に示すように定義する。欠肉量は、図5(a)に示すように輪郭かど部の二等分線上における基準からの隔たりとして定義する。ばり高さは図5(b)に示すように定義する。



(a) 欠肉 (b) ばり

図5 欠肉量及びばり量の定義

3. 実験結果および考察

3.1 画像計測と画像処理

図6に欠肉の場合の画像計測の模式図を示す。図7には、欠陥なしの場合の標準画像、欠肉及びばりの計測画像例を示す。図8は欠肉画像の一連の処理の例である。

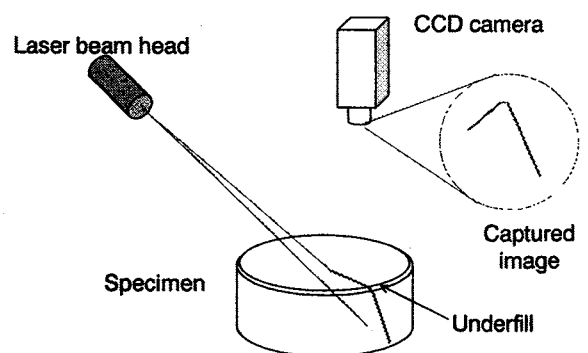
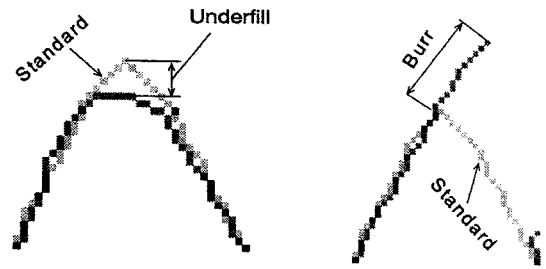


図6 欠肉画像計測の模式図



(a) 標準画像 (b) 欠肉画像 (c) ばり画像
図7 計測画像の例



(a) 欠肉の場合 (b) ばりの場合
図9 細線化された標準画像と欠陥画像の比較

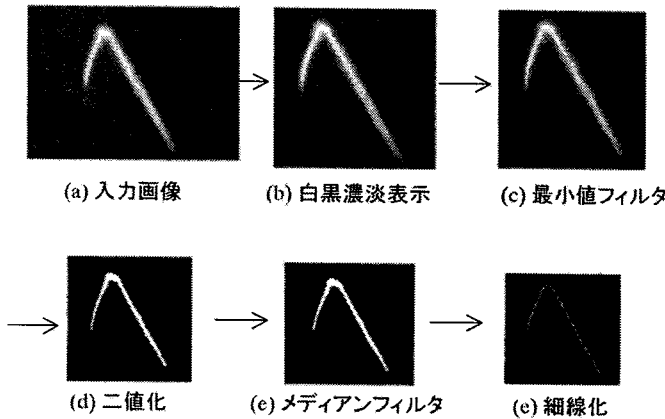
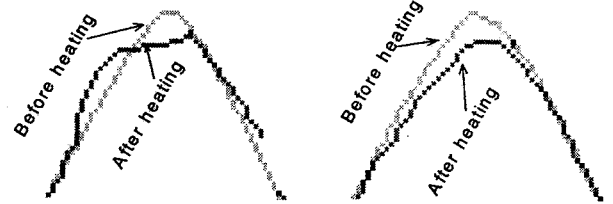


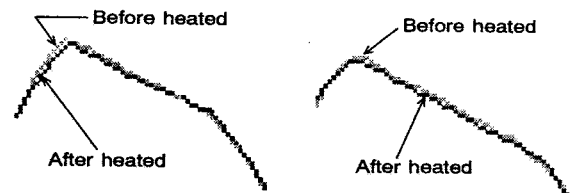
図8 画像処理の例 (欠肉画像)



(a) 欠肉量: 0.14mm (b) 欠肉量: 0.32mm
図10 欠肉の計測画像に及ぼす加熱の影響 (欠肉が小さい場合)

3.2 欠肉の検査結果

図9(a)に標準画像と欠肉画像を細線化処理した画像の比較例を示す。酸化被膜が少ない場合はほとんど問題はないが酸化被膜が成長すると計測画像が変化し計測精度が低下する。図10に欠肉量が0.14mmと0.32mmの場合の酸化被膜発生後の計測画像の例を示す。炉内滞在時間が短い場合や炉だし後の計測時間が短い場合は問題はないが温度低下後で酸化膜の膨れが生ずる時点での高精度計測は困難になる。計測精度を±0.2mm程度とすれば安定した計測が可能である。なお、欠肉量が多い場合は、図11に示すように、加熱の影響は図10の場合に比較して小さいことがわかる。

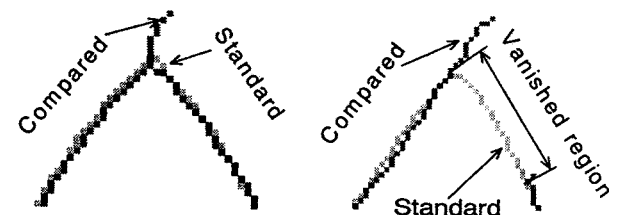


(a) 欠肉量: 1.08mm (b) 欠肉量: 1.36mm
図11 欠肉の計測画像に及ぼす加熱の影響 (欠肉が多い場合)

3.3 ばりの検査結果

図9(b)に標準画像とばり画像を細線化処理した画像の比較例を示す。0.5mm以上のばりの場合には、図12(b)に示すように、光の影によって線画が一部消えるため他の処理が必要になる場合もある。ばり確認の精度は、光の影によって線画が一部消えない場合には0.1~0.15mm程度であり、線画一部消える場合には約0.5mm以上のばりを確認できるが、基準画像の交点からの距離を利用すれば前者と同程度の誤差で計測できる。この場合酸化膜の成長による測定精度への影響は欠肉の場合よりも小さい。

ただし、いずれの場合も酸化膜によって大きな膨れが生ずると標準画像と計測画像の照合精度に問題が生ずる。



(a) ばり量: 0.3mm (b) ばり量: 0.6mm
図12 ばりの計測画像に及ぼす加熱の影響

4. 欠陥の連続計測と処理速度の向上

ここでは、複数の異なる大きさの欠陥を有する一つの試験片を用いて、欠陥の連続計測と処理速度の向上について述べる。図13に連続計測に用いた実験計測装置を示す。この装置は円柱試験片だけでなく角柱試験片等にも利用することができる。図14に欠陥を設けた試験片の例を示し、表1には欠陥の寸法を示す。

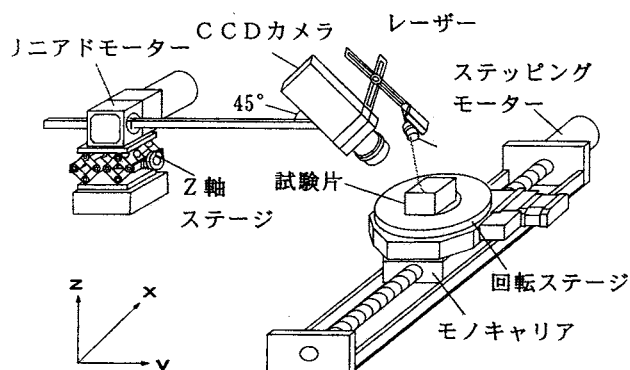
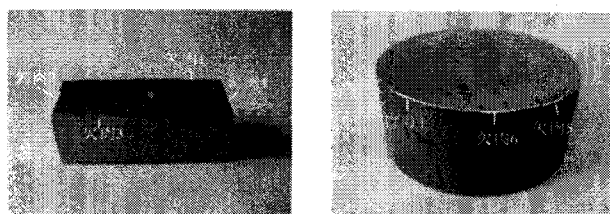


図13 連続計測用実験装置



(a) 角柱試験片 (b) 円柱試験片

図14 複数の欠陥を有する試験片

表1 円柱及び角柱試験片に設けた欠陥の寸法

試験辺	欠陥名	欠陥量(mm)	欠陥幅(mm)
直方体	欠肉1(辺1)	0.20	2.4
	欠肉2(辺2)	0.24	1.0
	欠肉3(辺3)	0.22	2.4
	欠肉4(辺4)	0.20	1.0
円柱1	ばり1	0.18	4.7
	欠肉5	0.20	4.7
	欠肉6	0.25	4.7
円柱2	ばり2	0.33	4.7
	欠肉7	0.30	4.7
	欠肉8	0.35	4.7
	欠肉9	0.40	4.7
	欠肉10	0.45	4.7
	欠肉11	0.50	4.7
円柱3	欠肉12	0.55	4.7
	ばり3	0.41	4.7
	欠肉13	0.60	4.7
	欠肉14	0.80	4.7
	欠肉15	1.00	4.7

図15 細線化処理された欠肉画像



図16 細線化処理されたばり画像

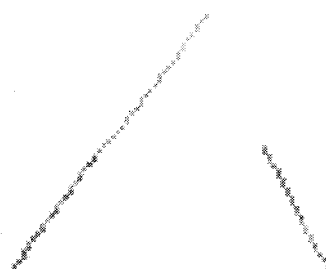


図13に示す装置を利用した場合も、計測条件を調整することで欠陥の検出が可能である。欠肉とばりの計測例を図15と図16に示す。

画像処理速度については、

- (1) カメラの絞りによって見かけのレーザー幅を細くして細線化の負担を軽減させる。
- (2) 画像拡大率を変えて画像処理のサイズを減らす。
- (3) メディアン処理と最小値処理を簡略化する。
- (4) 高性能CPUを使用する。

などの項目を実施し、処理の高速化を図った。いくつか克服すべき問題は残ったが処理速度を向上させることができた。

5. 結言

He-Neレーザーを用いて表面温度700~1000℃の鍛造品の欠肉とばりの欠陥検査を行ったところ、欠肉については少なくとも±0.2mm程度の誤差で、ばりについても同程度の誤差で評価できる。今後、複雑輪郭形状や偏肉の欠陥計測も同時に行う方法や評価時間の一層の短縮法を検討する予定である。

謝辞

本研究の実施に対し、研究助成を賜りました財団法人天田金属加工機械技術振興財団に厚く御礼申し上げます。

文献

- 1) 米田, 松下: 塑性と加工, 38-433(1997), 118.