

レーザ光による金属塑性加工品 超微細表面の計測と定量化

横浜国立大学 工学部 生産工学科

教授 小豆島 明

(平成元年度研究開発助成 AF - 89005)

1. 研究の背景

表面粗さは工業製品や機械部品の表面機能に関する重要な量であり、工業界において重要な管理対象とされている。近年、表面性状のオンライン管理の要求にともない、光学的手法による非接触センサ、とりわけレーザ光線を用いたものがいくつか考案され開発されてきた。しかし、いずれも2次的に散乱した反射光を1次的に処理するものでその測定精度や汎用性から、研究室の領域を出られないものが多い。このような状況から新しい非接触オンラインセンサの開発が望まれている。

当研究室で開発した画像処理装置を用いた散乱光計測システムは、反射散乱光を半透過性のスクリーン上に投影し、散乱光分布の全体かもしくはほぼ全体を1枚の画像としてとらえることにより、散乱光分布の2次的処理が可能である。

そこで本研究は、この画像処理散乱光計測システムを用いて、新しい散乱光の2次的処理手法を考案すると共に表面性状の定量的評価をすることを目的とする。

2. 研究成果

2.1 測定装置

測定装置の概略を図1に示す。装置の基本動作は次の通りである。光源は出力5mWのHe-Neレーザで、入射角 20° で試験片表面に照射される。試験片表面におけるレーザスポット径は約1.2mmである。反射した散乱光は試料台から325mm離れた半透過性のスクリーン上に投影され、スク

リーンの裏側からCCDカメラにより1枚の画像として捉えられる。その画像は日本アビオニクス製のイメージプロセッサImage Mateへ送られ、イメージプロセッサは画像をA/D変換してパソコンHP216へ転送する。この動作はHP216によって制御される。パソコンに転送された散乱光の画像は、レベル0~255までの2次元整数配列としてコンピュータ内に存在する。コンピュータへの画像転送領域はデータ処理速度を決定する重要な項目であるが、本研究の場合画面の中央に縦300ピクセル、横300ピクセルの合計9万ピクセルをとることにした。この結果データ転送時間は約90秒となった。またこれはスクリーン上において縦横それぞれ90mmに相当し、散乱角にして $\pm 8.5^\circ$ を

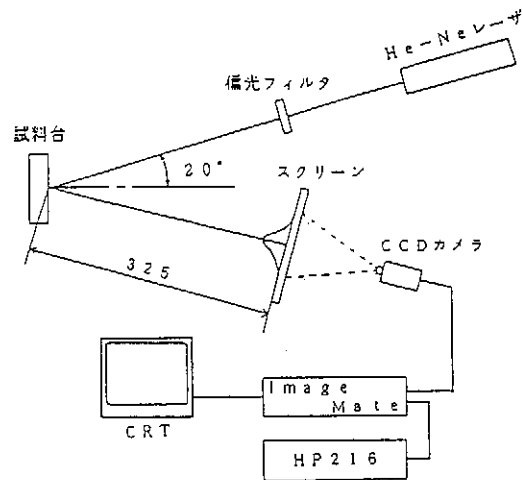


図1 測定系統概略図

カバーし、1ピクセルあたり約0.05°の高分解能を得た。

2.2 試験片

2.2-1 表面粗度パラメータ

本研究では表面粗度を表すパラメータとして振幅、周波数、傾斜角の3種類の情報について、触針粗さ計で以下の3つのパラメータを測定した。

(1) 2乗平均粗さ R_{rms}

(2) 自己相関距離 T

$$C(\tau) = \phi(\tau) / \phi(0)$$

$$\phi(\tau) = \frac{1}{L} \int_{-L/2}^{L/2} z(x) \cdot z(x+\tau) dx$$

$z(x)$: 表面プロフィール関数

T : $C(\tau)$ が $1/e$ になる時の τ の値

$$C(T) = C(0) / e \approx 0.37$$

(3) 平均傾斜角 δa

$$\delta a = \frac{1}{L} \int_0^L |\delta - \delta_m| dx$$

δ : dz/dx

δ_m : 中心線 (表面プロフィールの単純平均角度)

2.2-2 試験片

本研究では、測定対象表面を2次元ランダム表面に絞り、試験片は単純引張、および流体潤滑圧延によって周波数の異なる以下の3種類の自由変形表面を作成した。

(1) Aシリーズ 引張アルミキルド鋼

コイル状の低炭素アルミニウムキルド鋼焼きなまし調質材を300mm程度の短冊に切断し、引張試験機で単純引張したもので、表面粗度は

$$R_{rms} = 0.050 \sim 0.238 \mu m$$

$$T \approx 13 \mu m$$

$$\delta a = 0.429 \sim 1.432 \text{ deg}$$

(2) Bシリーズ 引張ステンレス鋼

フェライト系ステンレスSUS430をAシリーズと同様に単純引張したもので、表面粗度は

$$R_{rms} = 0.020 \sim 0.227 \mu m$$

$$T \approx 19 \mu m$$

$$\delta a = 0.218 \sim 0.997 \text{ deg}$$

(3) Cシリーズ 圧延ステンレス鋼

短冊状に切断したSUS430を比較的粘度の高い潤滑油 (パラフィン系鉱油、340 cSt at 20°C) を用いて一定速度 (12m/min)、一定圧下率 (7.5%) で圧延することにより、流体潤滑に近い状態で自由変形させたもので、直径76mmの圧延ロールの粗さを変化させることにより試験片の表面粗さを変化させた。

$$R_{rms} = 0.059 \sim 0.091 \mu m$$

$$T \approx 6 \mu m$$

$$\delta a = 0.850 \sim 1.128 \text{ deg}$$

これと もう一つ、600 cSt at 20°Cの潤滑油を用いて同じ条件で圧延し、さらに自由変形させた試験片を作成した。

$$R_{rms} = 0.212 \mu m$$

$$T \approx 10 \mu m$$

$$\delta a = 1.486 \text{ deg}$$

これらの試験片はランダムとは言うものの、測定方向によって粗さが異なるので、測定は各試験片について引張、圧延方向およびそれに垂直な方向それぞれ5回ずつ測定し、その平均値を表面全体の粗さの代表値とした。また、レーザ光の回折に直接的に関わりの薄い表面の低周波成分を除去するためCut off は0.25mmとした。

2.3 実験

2.3-1 データ処理方法

従来、散乱光のデータ処理方法としては、ピーク強度や半値幅、拡がりの標準偏差や分散などが測定され、表面粗度との関係が調べられてきたが、ここでは新しく散乱光の拡がり进行评估する方法として、取り込んだ散乱光の画像を一定のしきい値 (= 10) で2値化して、その拡がり面積 (画素数) を測定し、表面粗度との関係を調べた。

2.3-2 測定結果

測定は、各試験片について近傍の3点を測定し、その平均値を代表値とした。2値化面積と R_{rms} および δa との関係を図2、図3に示す。

図2から周波数の異なる各表面に対して、それぞれ2値化面積はRrmsと比例関係にあることが分かる。またその傾きは3種類ともほぼ同じである。そして、図3から2値化面積は表面の傾斜角に応じて広がっているのが分かる。また傾斜角が小さいすなわち鏡面に近い領域において相関性が高くなっている。Aシリーズのみ多少他シリーズと異なるが、これは鋼とステンレスの反射率の違いから生じたものではないかと思われる。

2.4 考察

図2、図3から分かるように2値化面積による測定法は鏡面に近い領域からかなり粗れた領域まで、表面の周波数が分かっていたら振幅を、分かっていたら傾斜角を一貫して測定することが可能である。そこでこの2値化面積の物理的意味について考えると、これは指数関数的に分布した散乱光のある強度レベルにおける拡がりの程度を、2次元的に検出したものということである。これは従来の1次元的に検出した半値幅に性格的に対応するものであることは容易に分かる。半値幅が表面粗さの変化にともなうピーク強度の変化によって、しきい値の絶対レベルが変化するのに対し、本方法はしきい値のレベルをハード的に一定(=10)にしたところに特徴がある。このしきいレベルを絶対レベルとしてかなり低いところに設定したため、ピーク強度の強い鏡面に近い表面でもその微妙な表面傾斜の変化に応じて広がった散乱成分を検出し、測定することが可能となった。また2次元測定により情報量が増加した結果、各試験片についての3回の測定誤差は3%以内で触針式粗さ計などと比較しても精度は高いと言えるであろう。

次に2値化のしきい値を変化させたときの2値化面積とRrmsの関係を図4に示す。図4から分かるように絶対レベルを変化させても比例関係は保たれている。また低いレベルで2値化したほうが粗さとの相関性は高いが、低くしすぎると外乱の影響やピーク強度の強い散乱光を測定する際に

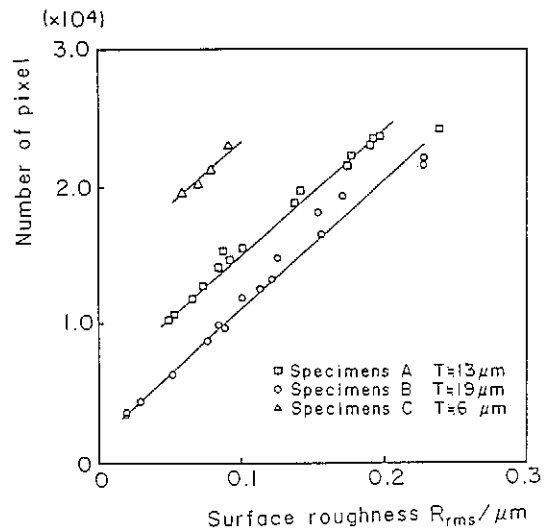


図2 2値化面積とRrmsの関係

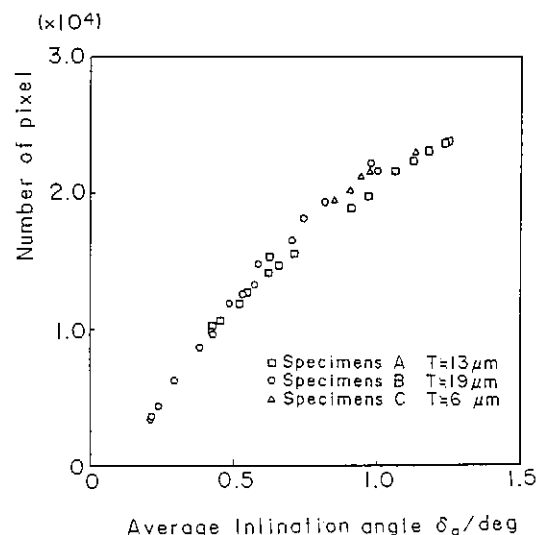


図3 2値化面積と δa の関係

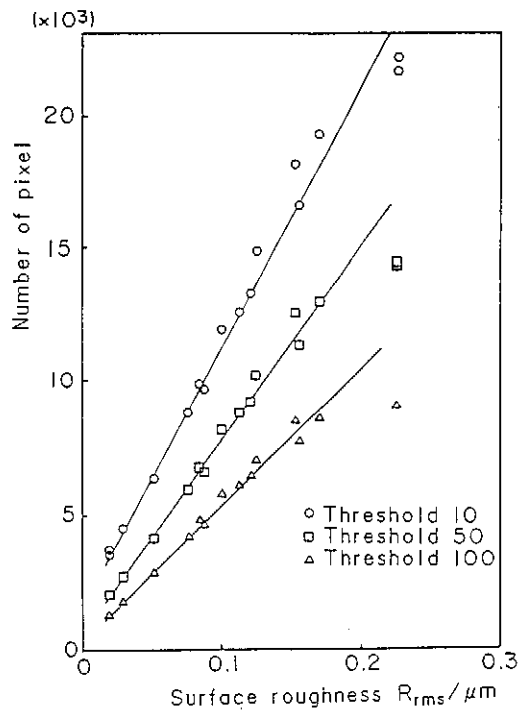


図4 2値化面積のしきい値依存性

CCDカメラの欠点として、画面の縦方向に帯状の虚像が生じるので、最適のレベルをうまく選定する必要がある。また当然レーザー出力は一定に管理する必要があるが、本研究では標準試験片を選定し、用いることによって一定に管理した。

3. おわりに

本研究は、天田金属加工機械技術振興財団の補助を受けたことを付記し、御礼申し上げる。