白虹面の微視的光沢*

藤 本 定 正**

Microscopic Gloss of White Iridescent Surface

Yasumasa FUJIMOTO

The microscopic gloss of turned surfaces is experimentally studied on nonperiodic turned scratches. The turned surface is illuminated along the cutting direction at the incident angle of 60° and observed with a microscope from right above the surface. Because the visual field of the microscope is dark, the same periodic turned streaks as the feed of lathe can not be found but only nonperiodic turned scratches are observed in the field. After taking the microscopic photographs of the nonperiodic turned scratches, the density distribution of the photographic films are recorded with a microphotometer. The mean distance between adjoining peaks p , the mean height of peaks h and the mean depth of valley bottoms l are obtained through the photographic density curve respectively. $S=250/p$ defines a visual power in which the distribution density of nonperiodic turned scratches is taken into account, while $R=\log(h/l)$ is a quantity relating to the size of the scratch. The microscopic gloss of a turned surface is expressed by a point on the S - R coordinate plane. In white iridescent surfaces, S is within the range from 9500 to 14000 and R is within the range from 0.025 to 0.060.

1. 緒 言

通俗的に白虹面と呼ばれる旋削面がある。肉眼観察によると、白虹面は表面からの虹光に素地の白さが混合して観察される面であるといわれている¹⁾。鴨川ら^{2), 3)}は切削加工の立場から白虹面を研究している。それによると、工具切れ刃を600倍の顕微鏡により観察したところ、切れ刃は切削中に刃こぼれが行われたように非常にあれている。この工具で快削黄銅を旋削した面の断面曲線は三角山形が送りの周期で配列しているが、三角山形の斜面に凹凸が顕著である。この切削みぞ斜面の正反射方向における回折光強度は、凹凸によるスペクトル拡散のために、非常に弱いものとなっている。白虹面を3000倍の走査型顕微鏡により観察すると、三角山形斜面のあらさは切削方向に対して不均一となり、むしろ表面を生成している。以上が白虹面の定性的な特徴といえることができる。

藤本⁴⁾によると、虹光強度は三角山形斜面のあらさ $U_{\max}$ に関係している。すなわち、 $U_{\max}=0.18 \mu\text{m}$ より小さいとき、虹光は非常に弱く鏡面と呼ばれ、そして $U_{\max}>0.18 \mu\text{m}$ のとき、虹光は $U_{\max}$ の増大につれて強くなり、虹面と呼ばれる旋削面となる。旋削面が虹面と呼ばれるためには三角山形斜面のあらさが大きいことが

必要である。さらに、白虹面と呼ばれるためにむしろ表面となっていることを必要とする。白虹用ダイヤモンドバイトによって加工された旋削面が切削方向に対してむしろ表面を形成していないなら、この旋削面は普通虹面となるはずである。また、虹面用ダイヤモンドバイトで加工された旋削面であってもむしろ表面を形成しておれば、白虹面と呼ばれるはずである。すなわち、白虹面は虹面の光沢の問題としてとらえることができる。

従来の光沢測定法は比較的広い範囲を均一とみなして、そこからの平均的な反射光強度分布に基づいて測定を行っている^{5), 6)}。虹面は肉眼の分解能が問題になる狭い範囲でも均一とみなすことができない。また、虹面の反射光の中には回折スペクトルがあって、その強度分布形態は切削みぞ形状に依存しているので、虹面の光沢は従来の光沢測定法によって測定できない。

金属面の光沢感覚は反射光の強さというよりは拡散反射光がないことである⁶⁾。むしろ表面のような光のじょう乱成分が虹面の散乱光の原因となっていて、じょう乱成分は肉眼の分解能の大きさより小さい。じょう乱成分の多少は顕微鏡的な範囲からの反射光特性に基づいて測定するのが合理的である。このような方法で測定された光沢を微視的光沢と呼ぶことにする。沢路⁷⁾は便宜的につやの量を巨視的反射特性に基づいた性質とし、つやの質を微視的な反射特性に基づいた性質として区別している。微視的光沢は微視的反射特性に基づいているので、つやの質と同等なものである。この研究は微視的光沢が

* 原稿受付 昭和48年3月5日。昭和47年度精機学会秋季大会学術講演会(昭和47年10月30日)にて発表。

** 正 会 員 長野県精密工業試験場(長野県岡谷市9959)

加工条件

材料: Al 合金 5056, 工具: 高速度鋼工具, 送り: 0.04 mm/rev, 切込み: 0.1 mm, 切削速度: 400 m/min

図1 旋削面

加工条件は図1に同じ

図2 非周期切削痕

虹面に適用される際, その妥当性が検討された。更に, 白虹面を微視的光沢で評価し, 微視的光沢による白虹面と他の虹面との相違および白虹面の得られた加工条件を明らかにした。

2. 旋削面の顕微鏡による観察

ダイヤモンド工具は, ラップ盤上で, 研摩材にダイヤモンドパウダを用いて研摩される。研摩された工具の切れ刃は思い通りの形状に成形できない。虹面上には工具の切れ刃形状が切削過程を通じて転写されている。虹面の一つの切削みぞ内では斜面に存在する微細な凹凸はそのため全く不規則であるが, しかし切削面全体は切削みぞ形状が旋盤の送り周期で配列している。図1は旋削面の顕微鏡写真である。旋盤の送りと同周期の切削条痕があって, そのほかにじょう乱成分(以下「非周期切削痕」と呼ぶ)がある。

旋削面を切削方向と同一方向に斜めに当たる光で照明し, 試料の真上から顕微鏡により観察する。図2はその

写真を示す。顕微鏡の視野は暗視野となるため, 旋盤の送りと同周期の切削条痕は消えて, 非周期切削痕が面上に点々と分布していて, 非周期切削痕は全く不規則に生成されている。光沢のある旋削面では非周期切削痕が小さくまばらであり, 反対に, 光沢のない旋削面では大きく密に分布している。非周期切削痕の分布密度と大きさが虹面の光沢に影響する。

3. 試料および測定法

3.1 試料

実験に使用した被削材はアルミニウム合金 5056, 2011 および 2017 である。旋削加工に使用した工具はダイヤモンド工具(鏡面用 1 本, 虹面用 2 本), 超硬工具(#220 ダイヤモンドホイールで研摩)および高速度鋼工具(砥石 WA 60 JV で研摩)である。工具の形状は頂角 167° , すくい角 0° および逃げ角; 鏡面用 6° , 虹面用 15° , 超硬工具 6° および高速度鋼工具 15° である。試料は精密旋盤で長手切削を行った。切削条件は切込み 0.05 mm, 送り 0.04 mm/rev および切削速度 100~600 m/min の範囲である。ただし, 高速度鋼工具による切削速度は 250~600 m/min の範囲である。なお, 2017 および 2011 の旋削加工は虹面用ダイヤモンド工具により切削速度 400 m/min で行った。

3.2 測定法

試料は切削方向と同一方向に入射角 60° の方向から照明されて, 非周期切削痕だけが反射角 0° の方向から顕微鏡でフィルムに記録される。このネガフィルムの濃度分布をマイクロフォトメータで記録する。最終倍率は走査方向に 300 倍, 走査に垂直方向は受光器の感度切替えで可変である。分解能は双方向共 $8 \mu\text{m}$ である。

3.3 測定結果

図3(a)~(c)は濃度曲線の例を示す。縦軸はネガフィルムの透過光強度で, 横軸はマイクロフォトメータの走査距離を試料面の実寸法で表示した。測定長は約 0.5 mm である。

4. 濃度曲線の解析

肉眼の分解能は視角 θ で約 1 分である。この値は一つの極値で, 図形とその背景との間のコントラスト γ に関係している。 γ の大きいとき, 図形の存在あるいは形態の認知は小さな視角で可能になる。

視力 $S(=1/\theta)$ は図形の明度 F と背景の明度 G との間に次の関係がある^{7),9)}。

$$S = a \log \frac{F}{G} + b \quad (a, b; \text{定数}) \quad (1)$$

被削材: Al 合金5056, 工具: ダイヤモンド工具, 切削速度: 600m/min
(a) 旋削面 1 ($L=72$)

被削材: Al 合金5056, 工具: 高速度鋼工具, 切削速度: 600m/min
(b) 旋削面 2 ($L=251$)

被削材: Al 合金5056, 工具: 超硬工具, 切削速度: 250m/min
(c) 旋削面 3 ($L=475$)

図3 濃度曲線の例

図4 濃度曲線の解析

図4において, 山の平均間隔 $p \left(= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \right)$, 山の平均高さ $h \left(= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i \right)$ および 谷の平均深さ $l \left(= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \right)$ とするとき, この測定方法に基づいて, 式(1)の S と $\log(F/G)$ を求めると次式のようになる。

$$S = \frac{D}{p}, \quad R = \log \frac{h}{l} \quad (2)$$

ただし, D は明視の距離 ($=250 \text{ mm}$) である。式(2)をこの測定方法に基づいて検討する。

p は隣接ピーク間の平均間隔, すなわち非周期切削痕の平均間隔である。 $1/p$ は非周期切削痕の分布密度である。試料を明視の距離から観察したとき, 視力 S は分布密度 $1/p$ と明視の距離 D との積である。 S は視力とともに非周期切削痕の分布密度を示す要素を持っている。 h/l は濃度曲線の山の高さと谷の深さのそれぞれの平均値の比である。非周期切削痕には種々の大きさがある。それらは走査スリットで走査される。切削痕がスリット面積より大きいとき, 大きな凹凸が濃度曲線に現れる。反対に切削痕がスリット面積より小さいとき, 凹凸は両者の面積比に基づいて小さくなる。 h/l は非周期切削痕と背景との間のコントラストを示すとともに, 非周期切削痕の大きさに関係する要素を与える。 h/l に及ぼす効果は図2で明らかなように前者より後者の方が大きい。 S と R はそれぞれ式(1)の S と $\log(F/G)$ に対応しているので, 比例関係にある。光沢感覚は非周期切削痕の分布密度を考慮に入れた S とそれらの大きさを考慮に入れた R の2要素を持っている。微視的光沢は S と R の直角座標上の一点で示される。

沢路は S と R の積でつやの質 L を定義した⁷⁾。

$$L = \frac{D}{p} \log \frac{h}{l} \quad (3)$$

L は S と R に比べて物理的意味が不明となる。等 L 線は S と R の両対数座標上で直線となる。式(3)によって求められた L を図3のそれぞれの曲線に附記した。

5. 実験結果と検討

5.1 測定値

測定試料は, 表1に示すように, 工具, 被削材および切削速度のそれぞれ異なる16個である。各試料の濃度曲線から式(2)および(3)によって求めた S, R および L を表1と図5に示す。スリガラスおよび卵殻は沢路の測定値である⁸⁾。図5のなかで, 破線 BE は存在認知の限界線である。大きさ 20 mm 四角で, 反射率 4.5% の図形を種々の反射率の背景の中におき, 背景の反射率を変えたときの存在認知に要する視角を求めて得られた値である^{7), 9)}。

5.2 微視的光沢とその官能量との間の相関関係

微視的光沢 L と光沢の官能量との関係を一対比較法による官能検査¹⁰⁾ により検討した。その結果を図6に示す。試料は L が段階的に変わっている6個の試料を用いた。微視的光沢はその官能量に反比例している。

5.3 微視的光沢に及ぼす切削速度の効果

ダイヤモンド工具, 超硬工具および高速度鋼工具を使用して Al 合金 5056 を旋削加工した。それらの旋削面の

表 1 旋削面の微視的光沢

番号と記号	虹面の種類	切 削 条 件			$1/p$ (1/mm)	D^*/p ($\times 10^{-2}$)	$\log \frac{h}{l}$	L
		工 具	被削材	切削速度 (m/min)				
1 ○	鏡 面	ダイヤモンド工具鏡面用		5056	600	25.6	0.006	38
2 ○	"	"	"	400	29.4	73.5	0.009	66
3 ○	"	"	"	250	30.3	75.8	0.013	99
4 ●	虹 面	ダイヤモンド工具虹面用 (A)	"	600	27.8	69.5	0.008	56
5 ●	"	"	"	400	27.8	69.5	0.011	76
6 ●	"	"	"	250	27.8	69.5	0.014	97
7 □	"	超硬工具	"	600	35.7	89.3	0.015	134
8 □	"	"	"	400	40.0	100.0	0.017	170
9 □	白虹面	"	"	250	38.5	96.2	0.058	558
10 △	虹 面	高速鋼工具	"	600	43.4	108.7	0.023	250
11 △	白虹面	"	"	400	47.6	119.0	0.042	500
12 △	梨地面	"	"	250	41.7	104.2	0.053	552
13 ⊙	虹 面	ダイヤモンド工具虹面用 (A)	2011	400	37.0	92.5	0.013	120
14 ⊗	白虹面	"	2017	400	43.5	108.7	0.040	435
15 ⊙	虹 面	ダイヤモンド工具虹面用 (B)	5056	400	34.5	86.2	0.009	78
16 ⊙	白虹面	"	2017	400	55.6	139.0	0.033	459
17 ■**	スリガラス				10.0	25.0	0.093	232
18 ×**	卵 殻				6.0	15.0	0.076	114

* $D=250$ mm, ** 沢路の測定値⁸⁾

BE: 存在認知の限界線

図 5 旋削面の微視的光沢

図 6 L と光沢の官能量 $\hat{a}$ との関係 図 7 L に及ぼす切削速度の効果

微視的光沢に及ぼす切削速度の効果を図 7 に示す。鏡面用ダイヤモンド工具による旋削面は $S=6400 \sim 7580$, $R=0.060 \sim 0.013$ および $L=38 \sim 99$ で、虹面用ダイヤモンド工具の旋削面は $S=6950$, $R=0.008 \sim 0.014$ および $L=56 \sim 97$ となっている。ダイヤモンド工具による旋削面の虹面および鏡面は $L < 100$ で、切削速度にあまり影響されていない。超硬工具による旋削面は 400 m/min より切削速度が遅い加工条件になるにつれて急に大きな L となる。切削速度 600 m/min で, $S=8930$, $R=0.015$

および $L=134$, 250 m/min のとき, $S=9\,620$, $R=0.058$ および $L=558$ となる. S の変化は 8% で, R は 3 倍および L は 4 倍の変化となる. S は非周期切削痕の分布密度を示す要素を持つが, 大きな変化はない. R は非周期切削痕の相対的大きさを示し, これが大きく変化する. 高速鋼工具による旋削面は切削速度 600 m/min による旋削面を除いてすべて $L>350$ である. 切削速度 600 m/min で, $S=10\,870$, $R=0.023$ および $L=250$, 切削速度 250 m/min のとき $S=10\,420$, $R=0.053$ および $L=552$ である. S の変化はほとんどなく, R が 2.3 倍および L は 2.2 倍となっている. 全体的に見て, 非周期切削痕の分布密度は切削速度によって大きく変わらないが, R は超硬工具と高速鋼工具の旋削面で大きく変化する.

5.4 検 討

旋削面は, 図 5 に示すように, 存在認知の限界線 BE より S が大きく, R の小さいところに分布している. その分布は BE 破線と平行である. S と R は BE 破線より S が大きく, R の小さいこの領域において, つやの質感より量感覚をよく表示する^{7),8)}. 虹面の光沢は非周期切削痕の量を問題にしているため, 微視的光沢 S と R によって表示することが適当である.

L は S と R の両対数座標上で直線となるので, 同じ L を示す光沢面が無数にあることになる. 例えば, 表 1 に示すように, 卵殻 ($L=114$) と虹面 (13 ㊦ , $L=120$) は全く異なる面であるが, L は大体同じ値を示している. 同じ種類の加工面を分類することは, L が一つの面に対して一つの値を示すために便利である. それは測定機の分解能が一定で, 同種の加工面であると D/p は大きく変化しないからである. 旋削面の場合, 図 6 に示すように, L とその官能量は反比例の関係にある. 旋削面が $L<100$ の領域, $L=100\sim350$ の領域および $L>350$ の領域の 3 領域に分けて肉眼観察により検討した.

1) $L<100$ の領域

この領域はダイヤモンド工具で A1 合金 5056 が $100\sim600 \text{ m/min}$ の切削速度の範囲内で旋削された加工面である. 非周期切削痕はほとんど感じられない. そのため旋削面は美しい虹面となる.

2) $L=100\sim350$ の領域

この領域は A1 合金 2011 がダイヤモンド工具によって $100\sim600 \text{ m/min}$ で, A1 合金 5056 が超硬工具によって $350\sim600 \text{ m/min}$ で, A1 合金 5056 が高速鋼工具によって 600 m/min で旋削された加工面である. 旋削面は非周期切削痕が白くぶつぷつと観察される. 非周期切削痕の量は L の値の上昇につれて増加する. そのため旋削面はよごれた虹面である.

3) $L>350$ の領域

この領域は A1 合金 2017 がダイヤモンド工具によって $100\sim600 \text{ m/min}$ の範囲内で, A1 合金 5056 が超硬工具によって $100\sim300 \text{ m/min}$ の範囲で, A1 合金 5056 が高速鋼工具によって $250\sim550 \text{ m/min}$ の範囲で旋削された加工面である. 旋削面に非周期切削痕が非常にたくさんあって, そのため旋削面は通称的に白虹面と呼ばれる虹面となる.

図 3 の濃度曲線の例について, (a) は美しい虹面, (b) は非周期切削痕が白くぶつぷつと観察される虹面 および (c) は白虹面である.

表 1 において, ダイヤモンド工具虹面用 (A) と (B) により A1 合金 5056 を切削した表面の $U_{\max}$ はそれぞれ 0.21 と $0.58 \mu\text{m}$ である. 表 1 に示すように, これらの工具で A1 合金 5056 を切削した表面は切削速度 400 m/min でそれぞれ $L=76$ (5㊦) と $L=78$ (15㊦) となり普通虹面である. しかし A1 合金 2017 を切削した表面はそれぞれ $L=435$ (14㊦) と $L=459$ (16㊦) で, 非周期切削痕が非常に多く, 双方とも白虹面である. 鴨川ら^{2),3)} によって使用された工具切れ刃の欠けの非常に大きい工具 (白虹用バイト) を使用しなくても, 虹面用工具 (A) を使用して A1 合金 2017 を切削することにより, 白虹面は加工できる. 藤本⁴⁾ は $U_{\max}=0.80 \mu\text{m}$ の旋削面を白虹面であるとしているが, しかし, この工具の切れ刃は鋭利でないため, 非周期切削痕が非常に多い. これらの非周期切削痕によって光が散乱して白虹となる. 工具切れ刃の欠けによって生じる切削みぞ斜面上にある送りと同周期の凹凸は白虹面の生成に直接関係していないと考えられる.

6. 結 論

- (1) 虹面の光沢表示: 光の回折現象を伴う旋削面の光沢は非周期切削痕の分布密度に関係する視力 S とその大きさに関係する R の 2 要素で示すことが合理的である. 旋削面の光沢を L で表すと便利である.
- (2) 白虹面の微視的光沢: 白虹面は $9\,500 \leq S \leq 14\,000$ および $0.025 \leq R \leq 0.060$ の範囲にある. 非周期切削痕の分布密度は $38 \leq 1/p \leq 56$ の範囲で, L は $350 < L$ の範囲である.
- (3) 白虹面の得られた加工条件
 - a) A1 合金 2017 を切削速度 $100\sim600 \text{ m/min}$ の範囲で, 虹面用ダイヤモンド工具によって切削した場合.
 - b) A1 合金 5056 を切削速度 $100\sim300 \text{ m/min}$ の範囲で, 超硬工具で切削した場合.
 - c) および A1 合金 5056 を切削速度 $250\sim550 \text{ m/min}$ の範囲で, 高速鋼工具で切削した場合.

終わりに臨み、実験結果の検討と種々の忠告をたまわった信州大学教授・沢路雅夫博士に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 藤本定正, 鮎沢 隆, 栗山博美: にじ面の研究, 精密機械, **32**, 6 (1966) 409.
- 2) 鴨川昭夫, 斉藤弘義, 谷口紀男: 虹面切削に関する研究——表面の微細構造と虹面との関連, 理化学研究所昭和44年度日本自転車振興会補助事業, 生産加工技術に関する研究報告書, 9.
- 3) 鴨川昭夫, 斉藤弘義, 谷口紀男: 虹面切削に関する研究, 表面の微細構造の効果, 精機学会東北支部講演会前刷

(1971-3) 29.

- 4) 藤本定正: 虹面の種類に及ぼす表面の微細形状の影響, 精密機械, **37**, 3 (1971) 184.
- 5) 蓮沼 宏: 拡散反射と表面の光沢Ⅱ: 第1種面の光沢と光沢計, 応用物理, **23**, 12 (1954) 548.
- 6) 蓮沼 宏: 拡散反射と表面の光沢(3), 第2種反射面の理論と光沢測定, 応用物理, **24**, 3 (1955) 97.
- 7) 沢路雅夫: つやの質についての一考察, 反射特性の微細構造, 応用物理, **29**, 11 (1960) 789.
- 8) 沢路雅夫: つやの質についての二, 三の測定例, 応用物理, **31**, 3 (1962) 237.
- 9) 蓮沼 宏: 光沢, コロナ社 (1965) 9.
- 10) 日科技連官能検査委員会: 工業における官能検査ハンドブック, 日科技連出版社 (1968) 305.

——表紙写真説明——

マシュプリボリントルク <ソ連>

万能測定顕微鏡 UIM-21 型 (ミニコンピューター付)

従来の万能測定顕微鏡はX方向, Y方向2軸の測定しできなかったが, このUIM-21型はX, Y, Z方向3軸の測定が可能である。また, 光学的な読取りのほかにデジタル読取り装置が取り付けられ, 光学的とデジタル読取りが同時に行えるようになっている。さらに, デジタル装置にミニコンピューターを接続させ, 測定時間を大幅に短縮することに成功している。

ミニコンピューターを併用した場合, 次のようなメリットがあげられる。

1. 測定物の平行度を出す必要がなく, 測定テーブルに置くだけで測定できる。
2. 測定時間が10倍以上も短縮される。
3. 計算は自動で行われる。
4. 計算されたデータが自動記録される。
5. 測定者の疲労が大幅に軽減される。

自動測定データ例 (タイプライター打出し)

測定順番	図面寸法	公差	実測値	誤差	公差外誤差
No. 1	50.000	±0.002	+50.003	+0.003	+0.001
No. 2	40.000	±0.002	+40.001	+0.001	0.000
No. 3	30.000	±0.003	+29.996	-0.004	-0.001

仕 様

測定範囲	X方向	200 mm
	Y方向	100 mm
	Z方向	100 mm

最小読取り値 X, Y, Z方向とも 0.001 mm

(光学スケールは目測で
0.1μまで読取り可能)

精密回転テーブル最小目盛 5秒(投影方式) 30秒

割出しセンター最小目盛 5秒(") 60秒

総代理店

山本機械通商株式会社

本社 東京都渋谷区代々木5-7-5 (山本ビル) ☎(03) 467-1251
 別館 東京都渋谷区元代々木町21-8 (山本第2ビル) ☎(03) 469-4631
 大阪出張所 〒530 大阪市北区太融寺町33 (大阪合同ビル) ☎(06) 312-2851
 名古屋出張所 〒460 名古屋市中区栄1-5-8 (藤田ビル) ☎(052) 221-1601