研 究

切削加工面からの虹光に関する実験*

—虹面切削の研究(第2報)—

鴨川 昭夫** 斎藤 弘義*** 佐田登志夫****

Experiments on the Iridescent Reflection Light from the Machined Surface

—Study on Generation of Iridescent Surface II—

Akio KAMOGAWA, Hiroyoshi SAITO, Toshio SATA

The present paper describes some experimental verifications of the diffraction theory on iridescence from the machined surface which was reported in the previous paper¹⁾. The brass disks are machined under various cutting conditions, that is, by two kinds of lathe, by four cutting tools of different material and with different tool feeds. Surface profiles are measured by a surface roughness meter and photographic recordings of diffracted spectra are obtained by an optical diffractometer for each surface. The effects of cutting condition are investigated to find the best condition for making clear iridescent surface.

The surface should have the roughness curve which consists of exactly periodic feed marks. Pitch error of feed and waviness of the surface cause a decrease of saturation of iridescent color. The use of a diamond lathe i.e., a fine turning lathe with precision sliding bearing, is the most preferable for the purpose.

1. 緒 言

第1報¹⁾で模型的な表面あらさを仮定し、その場合の反射回折光による虹面現象を解析したが、この報告では第1報で得られた結論を実験的に確かめ、また実際の切削条件でどのような虹面が得られるかを調べた。切削条件としては旋盤の種類、工具材質、および工具送りを変えた。このようにして仕上がった面について反射回折スペクトルとあらさ曲線を同時にとり、相互の関係を理論解析と照合して、虹面切削の条件を検討した。

2. 実 験

虹面観察に用いた試料は外径 180 mm の黄銅円板で、その表面を旋盤により正面削りして仕上げたものである。切削条件としては旋盤の種類、工具材質、および工具送りを変えて実験を行なった。実験に用いた旋盤は精密すべり軸受を主軸軸受とする精密旋盤^aおよびテーパローラベアリングを主軸軸受とする高速旋盤の二種である。また使用した工具材料はダイヤモンド工具、セラミ

ック工具、超硬合金工具および高速度工具の四種である。工具の刃先半径は 0.5 mm でありダイヤモンド工具を除く他の工具はすべて #300 のダイヤモンド砥石で研削して仕上げた。切削条件は切込み 0.05 mm, 送り は 0.11 mm/rev と 0.023 mm/rev, 切削速度は約 750 m/min を用いた。

このようにして作った切削加工面からの反射回折光を観察するため図1の装置を用いた。すなわち水銀ランプ S からの光をコンデンサレンズ C, フィルタ F (ラッテン No. 77A), スリット Sl, コリメータレンズ L₁ を通して波長 5461 Å の単色平行光束を作り、それを入射角 45° で試料面に投射する。そして反射光を正反射方向に光軸を持つコリメータレンズ L₂ により集光し、レンズの焦点面に生ずる回折スペクトルを写真乾板に撮影記録した。試料面に投射される光束の中心は、円板中心より半径 70 mm の距離にあり、光束の拡がり は 20×30 mm² である。したがって工具走行の条こんは少々弯曲したものとなり回折スペクトルは 0 次から離れるにつれわずかに線長が伸びるように拡がる。しかしその程度は少ないから平行の直線格子と見なして理論と比較すること

*原稿受付 昭和43年12月13日。昭和42年度春季大会学術講演会(昭和42年4月4日)にて発表。

**正 会 員 理化学研究所

***理化学研究所(埼玉県北足立郡大和町広沢 2-1)

****正 会 員 東京大学工学部

△ダイヤモンド旋盤と俗称されるもので、振動を防止するためにモータは機械本体から切り離し、駆動、変速部分にはすべてベルトを用いる。

T: 試験面, L_1L_2 : コリメータレンズ, S: 光源,
C: コンデンサレンズ, F: フィルタ, Sl: スリット,
Sc: 写真乾板

図 1 回折スペクトル観測装置

ができる。レンズ L_2 には回折角の大きい光束をも取込むことのできるよう開口の大きい望遠カメラ用レンズ（焦点距離 700 mm, F1:5）を用いた。

回折スペクトル写真は必要に応じてマイクロフォトメータを用いて濃度曲線として記録し、また虹光を見たいときは光源を白色光源（タングステン電球）に変えて観察し、カラー写真として記録した。

一方、加工面の表面あらさ曲線は超あらさメータ（三豊製作所製）により、測定し、また数例についてはそのあらさ曲線のパワースペクトルを求めて回折スペクトルと対照させた。

3. 実験結果とその検討

3.1 工具送りの影響

もっとも良い切削加工面が得られるような条件、すなわち精密旋盤を用い、刃先欠損のないダイヤモンドバイトによって快削黄銅を送り 0.11 mm/rev および 0.023 mm/rev で切削したときの加工面による回折スペクトルの写真を図 2 に示し、この写真の濃度曲線を図 3 に示す。また表面のあらさ曲線を図 4 に示す。回折スペクトルは正反射方向を中心として両側にはほぼ等間隔で並ぶ線スペクトルとして現われ、その間隔は送りから前報の理論によって予期される値と一致し、送りの小なるほど広がってくることがわかる。図 4 から見られるようにあらさ曲線はきわめて規則正しい送りマークの山からなり、波形の乱れが少なく、その結果回折スペクトルが明るく現われ、その間に生ずるノイズに相当する副スペク

(a) 送り $t=0.023 \text{ mm/rev}$

(b) $t=0.11 \text{ mm/rev}$

図 2 回折スペクトル写真, 精密旋盤, ダイヤモンド工具による

(a)

(b)

図 3 回折スペクトル写真(図 2)の濃度曲線

図 4 あらさ曲線

トルは小さい。このことは面を反射光でみる時虹光が鮮明に見られることを裏付けている。

ここで用いた精密旋盤は振動を避けるため歯車を一切使わず、工具送りにもプーリとロープベルトを使用した。そのため調整が適切でないときにはベルトがすべて工具送りにむらを生ずることがあるが、その場合には図 5 のあらさ曲線からわかるようにあらさの最大高さはほとんど変わらないが回折スペクトルは図 6 に示すように線スペクトルがまったく消え、全体にノイズ分が広がったものになる。これは送りむらによってあらさ曲線の周期性が乱れたことによる。この例から工具の送りむ

精密旋盤, ダイヤモンド工具 $t=0.028 \text{ mm/rev}$

図 5 送りむらのあるあらさ曲線

図 6 送りむらのある面による回折スペクトル写真と濃度曲線

らはきわめてわずかであっても虹面製作には有害であることがわかる。

3.2 工具材質, 工具切れ刃の影響

巨視的に同じような形状をしていても, 工具材質が異なれば切れ刃のたち方, すなわち切れ刃の微細な凹凸が違ふ。また工具材質が異なると被削材との溶着性, 切削時の被削材の変形も異なるので, 切削加工面のあらさが違ってくる。

実験では刃先端半径 0.5 mm に研磨したセラミックス, 高速度鋼, 超硬合金工具を用い他の条件は, 前述のダイヤモンド工具の場合とまったく同一にして快削黄銅の切削を行なった。このとき得られた加工面による反射回折スペクトル写真およびその濃度曲線を図 7 および図 8 にそれぞれの面のあらさ曲線を図 9 に示す。図 9 をダイヤモンド工具で切削した表面のあらさ, (図 4 (a)) と比較するとダイヤモンド工具の場合が最も規則的な送りマークからなり, あらさの最大高さも比較的小さいのに対し, セラミック工具では切削中の送りマークの山のもり上りが大きく, あらさの最大高さが大になっている。またセラミック, 高速度鋼, 超硬合金工具によるものは送りマークの山に乱れが目立つ。一方図 7, 図 8 からわかるように反射回折スペクトルはダイヤモンド以外では高速度鋼によるものがわずかに線スペクトルが強く出ている外, すべてノイズとなる主スペクトル間のゴーストの量が非常に大きく, 主スペクトルはほとんどこの中に埋もれている。この対応は前報の結論を裏書きするもので, ダイヤモンド工具以外の工具では切れ刃のたちが悪く, また被削材との溶着性も大きい表面あらさに送りマーク以外の乱れの成分が多く入り, そのため拡散性

(a) セラミックス

(b) 高速度鋼

(c) 超硬合金

精密旋盤, 送り $t=0.023 \text{ mm/rev}$

図 7 種々の工具を用いた仕上面からの回折スペクトル写真

(a)

(b)

(c)

図 8 回折スペクトル写真 (図 7) の濃度曲線

図 9 面のあらさ曲線

のゴーストスペクトルの成分の中に主スペクトルが隠れてしまう結果, 鮮明な虹光を見ることができない。

ダイヤモンド工具を使用した場合には, たとえその刃先部分に欠損があっても送りマークが規則的な三角波形でなくとも, 一定のくずれた波形が周期的に繰返えされるならば, 回折スペクトルでは主スペクトルが強く現れる。この例としてあげたのが図 10 である。面あらさは (a) に示すように大きな波形の谷の部分に小さな山が二つ含まれる形であるが, 周期性は保たれる。このときのスペクトルは (b), (c) に見られるように, 各主スペクトルへの光の配分は, 単純な波形の場合と異なってくるが, ゴースト分は少なく, 鮮明な虹光が見られる。

工具刃先の形状, とくに刃先角が変わると周期が同じでも送りマークの山の高さが変わってくる。ダイヤモンド工具で刃先角の異なる二例を実験を行なってみた。その場合のあらさ曲線は図 11 のようであるが, この程度の山の高さの違いでは中心部の回折スペクトルが多少強度が変わる程度で, 虹光の鮮明さにはほとんど影響は認められなかった。

(a) あらさ曲線

(b) 回折スペクトル写真

(c) 濃度曲線

図 10 ダイヤモンド工具の刃先に欠損のある場合

図 11 刃先角の違う場合の仕上面あらさ曲線

図 12 旋盤の違いによるあらさ曲線の例

図 13 面あらさのパワースペクトル

3.3 使用工作機械の精度の影響

工作機械の精度によって, 虹光がどのように異なるかを調べるため, 二種の旋盤を用いて切削実験を行なった。すなわち精密すべり軸受を主軸受とする精密旋盤とテーパローラベアリングを主軸受とする高速旋盤を用いて, ダイヤモンド工具で条件を同じにして快削黄銅を切削した。図 12 は得られたそれぞれの面に対するあらさ曲線である。両者を比較すると, 精密旋盤では主軸の回転精度が良いので, 表面あらさ曲線の送りマークは規則的であるが, 高速旋盤では主軸の軸ぶれのため送りマークに乱れが現れていることがわかる。乱れの様子はあらさ曲線のパワースペクトル²⁾を求めることにより, あらさの構成成分が一層明りようになる。図 13 はそれぞれの

図 14 回折スペクトル写真, 高速旋盤, ダイヤモンド工具による

パワースペクトルの測定結果を示すが, 精密旋盤では表面あらさのスペクトル成分は, 送りマーク成分のみでその他のじょう乱は非常に小さいが, 高速旋盤の場合には送りマーク成分以外に低い周波数成分すなわち周期が送り週期の約 2.2 倍程度のところにもう一つの大きな山すなわち周期成分がある。これは軸受の軸ぶれが主軸の 2.2 回転ごとに起こっていたことを示す。さらにこのじょう乱成分の山の幅が大きいことは, その周期が変動していることを示している。解析の結果によれば表面に独立な周期成分が二つ以上あるときには回折スペクトルはそれぞれの周期成分による回折線スペクトル群の convolution 積分になることが示されている。今の場合送りマーク以外による乱れの周期成分が大きいため, 送りマークによる線スペクトルの強度は低下し, より密に並ぶ乱れによるゴーストスペクトルと同じ程度となり, さらにそれぞれを中心とする多数の周期成分による回折スペクトルとの convolution 積分の結果, 明りょうな主スペクトルが現れず, 回折スペクトルは一様に拡散したものになるであろう。回折スペクトルの実際の観察は以上を裏付けており精密旋盤によるもの(図 2)は虹光を鮮かに見ることができるが, 図 14 に示す高速旋盤のものは全

体に一様に拡散したスペクトルとなって, 虹光が見られない。

4. 結 論

実験的に作られた切削面のあらさ曲線と回折スペクトルとの比較検討から, 前報の虹面による光の回折理論から得られた結論が確かめられた。したがって鮮明な虹光を示す切削加工面を作り出すためには, 次の条件が必要であると結論される。

- (1) 鮮明な虹光, すなわちよく分離した回折スペクトルを得るためには, 規則正しい送りマークよりなる表面あらさであって, かつ送りが小さいことが望ましい。
- (2) そのためには主軸軸ぶれおよび振動の少ない精密旋盤を使用して切削しなければならない。
- (3) 工具の送りむらは線スペクトルをぼけさせ, 良い虹面を得るのに特に有害である。
- (4) 工具はダイヤモンド工具が最も望ましく, その他の, セラミックス工具, 超硬合金工具, 高速度鋼工具などはダイヤモンド工具に比べて切れ刃の刃立ちが悪く, また被削材との間の溶着性が大いため, 切削加工面に送りマーク以外のじょう乱成分を多く作り, 鮮明な虹光が得られない。
- (5) ダイヤモンド工具の刃先に多少欠損があっても, それが規則的な周期性表面あらさを作っているかぎり, 虹光の鮮明さに悪影響を及ぼさない。

参 考 文 献

- 1) 斎藤弘義, 鴨川昭夫, 佐田登志夫: 切削加工面による光の回折, 精密機械, **35**, 7 (1969) 452.
- 2) 佐田登志夫, 久保盛唯: 精密加工における表面あらさの形成過程, 精密機械, **32**, 2 (1966) 118.