加工面アラサの解析 (その 2)

— アラサ曲線の解析 (第 6 報) —

中 村 常 郎*

The Analysis of Roughness of Worked Surfaces (Part 2)
—The Analysis of Surface Roughness Curves (6th Report)—

Tsuneo NAKAMURA

In this report, the roughness curves of lathing surfaces are analysed. Especially, the cross-correlation curves of the surface roughness are measured, and the machining conditions are estimated quantitatively.

6. 加工面アラサの解析 (その 2)

6.1 緒 言

前報に引続き一般的な加工の中本報では旋削加工表面のアラサを自己及び相互相関曲線により解析する。旋削加工面は良好な加工条件では正確な周期性を持つ筈であるから、この周期成分に注目して入力波形と出力波形との相互相関函数から相互相関率 (γ') を求める。この γ' により旋削加工条件の定量的な評価を行うことができる。

6.2 旋削加工面の相関函数

旋削加工面は前の砥粒加工面と異り、切削条件が適切であればアラサ曲線は刃形が一定の周期(ピッチ)で加工面に転写され、規則正しい波形となる。

切削条件の不適当な場合には元のピッチと異なる波形やランダム成分が加わる。更に切削条件が悪くなると元の波形は認められずランダム成分が大部分となる。

このようなアラサ曲線を解析するには自己相関函数の他に、§ 2-2 (b) の模形実験からわかる様に相互相関函数が有力な手段を提供する。

いま切削加工の際の送りと回転速度からアラサ波形の周期が、バイトの刃先から波形の形状が明かとなり理想的なアラサ曲線即ち入力波形が求められる。

この入力波形と加工面のアラサ曲線 即ち出力波形を比

較して切削条件の良否が判定できる。その為に自己相関函数を用いてランダム成分の大小から加工条件を判定することも考えられるが、相互相関函数を用いて入力と出力波形の定量的な比較を行うこともできる。

上述のことを実例として大越博士、佐田両氏の切削仕上面粗さの実験結果²⁵⁾を拝借して考えてみる。

先づ切削速度による刃先切削面粗さの変化の様態を 図 6-1 (a) に示す。図 (a) の切削試料(1)は入力(理想)波

図 6-1

形、(2)から(6)迄は切削速度を 100m/min から 20m/min 迄 5 通りに低減した際のアラサ曲線を示す。これらアラサ曲線は文献 (25) 所載の儘を示すか (1)~(4)と(5), (6)とは縦倍率が異なる。

図 6-2 には理想入力波形(1)とこれらのアラサ曲線(2)~(6)との光学的相関計による相互相関曲線を示す。

図 6-3 は波形 (1), (4), (5) 及び (6) の各自己相関曲線を示す。この自己相関曲線の中で興味ある物を説明する。

* 北海道大学工学部 正会員

25) 大越, 佐田: 科学研究所報告, 33輯, 5号(昭32) 295頁

図 6-2

図 6-3

図 6-1 (a) で切削速度が 20m/min に低下した波形(6)の周期分は、アラサ曲線で見分けにくい、図 6-3 の (6)+(6) の自己相関曲線からはランダム成分の他に入力（ピッチ=0.1mm）と異なる周期成分（ピッチ=約0.16mm）の波形が見出される。切削速度 30m/min の(5)波形の自己相関曲線からはランダム成分の他に、振幅は小さいが入力波形と同一の周期成分が認められる。

切削速度 50m/min の波形(4)の自己相関曲線ではランダム成分は見られず、入力波形と同一周期の周期成分が、つねに大小の振幅の波としてあらわれている。これは、図 6-1 (a) の(4)のアラサ曲線からも注意すれば見出される。

次にすくい角による刃先切削面アラサの変化の様態を図 6-1 (b) に示す。これはすくい角 (α) を 20° から -10° 迄 4 種に変化したアラサ曲線である。試料(7), (8), (9)及び(10)は夫々 $\alpha=20^\circ, 10^\circ, 0^\circ$ 及び -10° の物である。

これらの試料(7)に対する相互及び(9), (10)の各自己相関曲線を図 6-4 に示す。

図 6-4

前の図 6-3 の自己相関曲線では加工条件の悪い二面 ($V=20$ 及び 30m/min) にランダム成分が認められたが、このすくい角の実験ではどの場合にもランダム成分は表われない。

次にこれらの相関曲線から加工条件の定量的な評価を試みる。

6.3 相互相関率について

前に示した様に刃先の摩耗 或は切削条件の不良により出力波形は入力（理想）波形から離れた形状となり、更にはランダム成分が表われる。この入力波形と同一周期の出力波形の周期成分或はランダム成分の大小によって切削加工条件の評価は可能となる。

初めに周期成分に注目して見よう。

入力波形（理想）を $g(x)$ 、出力波形即ち加工面のアラサを $f(x)$ とし、 $g(x)$ と $f(x)$ の相関函数を $\varphi_{fg}(\tau)$ 、 $g(x)$ の自己相関函数を $\varphi_{gg}(\tau)$ とする。夫々の波形の同一周期の周期成分の振幅を C_{fg} 、 C_{gg} とし、 η を次の如く定義する。

$$\eta = \frac{C_{fg}}{C_{gg}} \times 100 \quad (6-1)$$

図 2-6 から解る様にこの η から出力波形の中に含まれる入力波形の平均の強さを判定することができる。

バイトの刃先は種々の形状をとるので、 η の厳密な数学的意義を論ずることはできないが、式 (1-18), (1-19) から単純な衝撃或は正弦波形では η は伝送函数の自乗根に相当することが理解される。

複雑な波形ではパワースペクトラム Φ を考えれば簡単に式 (6-1) と伝送函数を結びつけることはできない。然し伝送函数に近似した η を実用上の意味から、加工条件の判定に使用することは便利である。

なお実用上相互相関を利用する目的は、入力(理想)波形と同一の波形が出力の中にどの程度含まれるかを知りたい。即ち主に波形に注目しアラサの絶対値(例えば $h_{\max}$)等の影響は出来るだけ消去したい。そこで η に近似した相互相関率 η' を考える。

今入力波形 $g(x)$ 及び出力波形 $f(x)$ の最大高さを夫々 h_g, h_f とする。また自己及び相互相関函数 $\varphi_{gg}(\tau), \varphi_{fg}(\tau)$ の同一周期の振幅 C_{gg}, C_{fg} は式 (6-1) と同じである。 η' を次の如くおく、

$$\eta' = \frac{C_{fg}/h_f}{C_{gg}/h_g} \times 100 \quad (6-2)$$

ここで h_g, h_f の最大高さは一応 JIS 規格の測定法に従い、相関函数を求める際にはアラサ波形の縦横の倍率を各試料同一にすることが望ましい。

さて相互相関率 η' により前例の旋削加工面の加工条件を判断する。初めに図 6-2 から切削速度の影響を見るため、夫々の相互相関曲線の各振幅の高さ及び図 6-3 の(1)+(1)の自己相関曲線の振幅の高さを求める。また図 6-1 (a) のアラサ曲線から最大高さを、これらを式 (6-2) に代入して理想曲線(1)を基準として即ち(1)+(1)の振幅を C_{gg} として η' を求める。各値を次の表 6-1 に示す。

表 6-1

試料番号	$V(\text{m/min})$	$h_{\max}(\mu)$	C_{fg}	C/h	$\eta'(\%)$
6	20	20	14	0.7	8.9
5	30	21	21	1.0	12.7
4	50	4.3	14	3.3	41
3	70	5.8	41	7.1	90
2	100	4.0	35	8.7	110
1	(入力)	2.4	19	7.9	(100)

(試料(1)を基準として η' を求めた)

この相互相関率 η' を縦軸に切削速度(V)を横軸にと

つた物(○印)が図 6-5 (a)である。同図に各波形の $h_{\max}$ と V の関係(×印)を示す。 $h_{\max}$ だけでは表わせない切削速度の加工面に及ぼす影響が η' により示される。

図 6-5

然し上の結果で切削速度の適切な 100m/min の試料(2)では、理想曲線を100%にとると $\eta' = 110\%$ となる。これは切削条件が極めて良好の時、出力波形が理想入力波形と同一ピッチで波形も近似しその上切込が予定切込より増大するため、 η' は110(%)をこえることになる。実際には切削により理想入力波形と全く同一の高さの出力波形がえられず、むしろ出力波形の波高値は大きくなるので極めて良好な切削条件の加工面を基準とし η' を求めることも考えられる。

次のすくい角の影響を見る為の試料では、適切な加工条件の試料を基準として η' を考える。

図 6-1 (b) からすくい角に対する各アラサ曲線の最大高さ(h_f)を求め、図 6-4 から夫々の相関曲線の各振幅の高さ(C_{fg})を試料(7)を基準としてその振幅を C_{gg} として式 (6-2) により計算した η' の値を次の表 6-2 に示す。

表 6-2

試料番号	α (度)	$h_{\max}(\mu)$	C_{fg}	C/h	$\eta'(\%)$
10	-10	12	32*	2.7	58
9	0	13	45*	3.5	78
8	10	13	58	4.5	98
7	20	14	64	4.6	100

(試料(7)を基準として)

* 縦倍率(アラサ曲線)の違いを補正し相関曲線よりの値を $2/3$ 倍する。

表 6-2 の η' とすくい角(α°)の関係(○印)を、また同時に $h_{\max}$ と α の関係(×印)を示したのが図 6-5

(b)である。この結果もまた最大高さでは表示できないすくい角の切削性に及ぼす効果を定量的に示している。

次に切削加工に限らず ランダム成分が表われるアラサ曲線の自己相関曲線をと、このランダム分の大きさから加工条件の良否を判断することも可能である。その一方法としてランダム成分と周期成分とのパワーの比により判断することができる⁶⁾。

前報にのべた如く自己相関曲線から周期成分とランダム成分を分離し、 $\tau=0$ 即ち原点の各縦軸の値から夫々周期成分の高さ(パワー $|C_P|^2$)及びランダム分の高さ(パワー $|C_R|^2$)を求め、その比を η'' とする。

$$\eta'' = \frac{|C_R|^2}{|C_P|^2} \times 100 \quad (6-3)$$

但し $|C_P|^2$ 、 $|C_R|^2$ は周期及びランダム分のアラサ振幅の自乗比。

この η'' によつて即ち周期分を基としたランダム成分の大きさで、前と同じ旋削面の試料を評価して見る。切削速度に関係した図 6-3 を見ると試料(6)及び(5)のみにランダム成分が表われ、すくい角に関係した図 6-4 からはランダム成分のある試料がないことがわかる。

切削速度 $V=20\text{m/min}$ の試料(6)の自己相関曲線を図 6-3 で見ると、周期分は入力波形と異なる物しか含まれない。即ちこの際 η'' の分母は零であり、 η'' は無限大となる。 $V=30\text{m/min}$ の(5)の自己相関曲線では実測より

$$\eta'' = (C_R^2 / C_P^2) \times 100 = (34 - 4) \times 100 / 4 = 7.50$$

$V=50\text{m/min}$ 以上の試料或はすくい角を変化した試料ではランダム分 $|C_R|^2=0$ であり、 $\eta''=0$ となる。

η'' により切削加工条件を判定することは、上の例では加工条件を著しく悪くしない限り効果は少い。

然し前報のランダム分の多く表われる砥粒加工面については、ランダム或は周期分の大きさにより加工性の良否を判定することは余り意味がない。従つてこの方法は砥粒加工面にも有用でない。

結 論

本報においては旋削加工面のアラサ曲線の自己及び相互相関曲線を求め、これらを検討して特に加工面の自己相関曲線から検出される周期分と入力波形の周期分とを比較し、定性的な興味ある結果をえた。

更に相互相関率 η' によつて切削加工条件の定量的な評価を行うことができた。

前及び本報においては機械加工の代表的なラッピング、研削及び旋削加工面について、相関函数より加工面と加工条件の関係を検討したのであるが、前二者の砥粒加工面については主に周期成分の検出を後の切削加工面については相互相関率による加工性の良否を定量的に評価しえた。

かくて加工面のアラサ曲線の性質が、周波数概念による或は波形伝送論的な解析によつて従来よりも明確にされることを確めた。

(1959, 11月13日 受付)