みぞつきコンタクトホイールにおける研摩ベルト の張力変化の解析結果とその応用例*

——ベルト研削に関する研究(第2報)——

中 島 基 雄** 井 戸 守***

The Strain Measurement of Belt Contacting with Serrated Contact
Wheel and its Application

——Study on the Belt Grinding (2nd Report)——

Motoo NAKASHIMA, Mamoru Ido

The strain acting upon the belt was measured by means of detecting the electrical signal from the strain gauge, contacting with the serrated contact wheel, pasted on the inside belt as mentioned in the 1st report. It was found that as the gauge located on the land of serrated contact wheel, the strain values had been able to evaluate the grinding ability caused by the different surface velocity and the hardness of the serrated contact wheel. In this paper, the ratio of the effective depth of cut to setting depth of cut Z is used to explain the relation between belt tension P acting in grinding as an example. The main results are as follows.

(1) In the various surface profiles and the surface velocities of the serrated contact wheels, P is nearly increased in linear proportion to Z but each tendency is different quantitatively.

(2) The relation between P and Z is affected very much with the spring constant because of the relation between the belt tension P' assumed having same spring constant considered various rubber hardnesses and surface profiles of the serrated contact wheels and Z has nearly one proportion.

1. 緒 言

ベルト研削ではベルト支持体が弾性の大きいゴムを使用しているため、研削中におけるコンタクトホイールおよびこれと一体化された研摩ベルトの弾性挙動および被削材との弾性接触の解明は非常に困難であり、特にみぞつきコンタクトホイールのような表面形状が異なる場合はなおさらである。それゆえこれらのことに対する若干の解析も行われているが¹⁾、まだ十分な結果が得られていないように思われる。それゆえ本実験では第1報²⁾で報告したように研摩ベルトの裏面に直接ストレンゲージを貼付して、研摩ベルトに作用する張力の変化を測定する方法を開発し、それによって研摩ベルト上のある一点がコンタクトホイールと接触回転する場合、研摩ベルト上に作用する力の測定結果の解析から、種々の現象の解明が可能になったことがわかった。この測定方法をみぞつきコ

ンタクトホイールの場合に適用し、研削過程中的ストレンゲージに作用する力の変化を実験的に解析し、かたさ、表面形状、周速度および設定切込みを変化した場合、これらの結果と切込み率との間にどのような相関があるかを検討したが、この方法による測定結果が、みぞつきコンタクトホイールにおいても有効であることがわかった。

2. 測定装置と測定結果の定性的解析

2.1 測定装置

測定装置は第1報と同様なものを用いた。

2.2 測定結果の定性的解析

図1は初張力16 kg、コンタクトホイールの表面形状10×15×10、かたさ(デュロ)70、設定切込み0.4 mmで周速度が360 m/min(640 rpm)の場合に研摩ベルトの1か所に貼付したストレンゲージに作用するひずみ(オシログラフの読み)を示している。図において横軸は研摩ベルトの経過時間(s)を示し、縦軸は研摩ベルト裏面に貼付したストレンゲージに生ずる圧縮ひずみあるいは引張りひずみ量を示す。すなわち圧縮力が働いたときは上方に、引張力が作用したときは下方に変化する。また横

* 原稿受付 昭和48年12月28日。昭和48年度精機学会春季大会学術講演会(昭和48年4月7日)にて発表。

** 正 会 員 大阪府立工業高等専門学校(寝屋川市幸町26番12号)

*** 正 会 員 大阪府立大学工学部(堺市百舌鳥梅町4丁408)

図1 オシログラフの読み

図2 研削時における経過時間と圧縮ひずみとの関係

軸 $X-X$ はひずみがゼロの位置である。図中の①はストレンゲージがアイドルブリーに接したときのひずみで、②および③はみぞつきコンタクトホイールのセレーションに接した場合を示す。このうち②は被削材を研削しているときの状態で、③は被削材が送られてみぞつきコンタクトホイールから外れたときのものである。また圧縮ひずみの高さはストレンゲージとセレーションの接触位置が第1報で示したように移動するために順次変化し、初張力、みぞつきコンタクトホイールの表面形状および周速度などによって異なるピッチをもったうねりを示す。そのひずみが最大値になるのは、ランド部の中央にストレンゲージが位置した場合で、最小値は谷部の中央にストレンゲージが位置した場合である。

図2(a)は研削している場合(図1の②)のストレンゲージに作用する圧縮ひずみについての解析のための模型図で、同図(b)は圧縮ひずみの変化を示す。また図2(a)における符号(I), (II), (III), ……は同図(b)における符号(1), (2), (3), ……に対応している。図2(b)において(A)

点は研摩ベルトの回転に伴う増張力の開始点である。そしてストレンゲージがコンタクトホイールに接触すると、その曲げの影響を受けて圧縮ひずみは(1)点まで上昇する。本実験条件ではコンタクトホイールの同時研削歯数はほぼ1である(図3(a)参照)。いま同図(a)のようにコンタクトホイールの研摩ベルトと接触する部分を便宜上直線状に展開し、これが静止しているものとして、被削材が矢印の方向に相対的に移動している状態を想定して、歯のランド部に位置するときのストレンゲージに作用する力の状態を考える。これは2.3項で述べるように主としてランド部に接触する研摩ベルトが研削にあずかるためである。この場合、研摩ベルトと接触するコンタクトホイールは常時11歯であるから、ストレンゲージに作用するひずみ変化を考える場合はストレンゲージより約5歯前の歯と接触する研摩ベルトが被削材を研削し始める状態から、ストレンゲージの約5歯後の歯と接触する研摩ベルトが被削材を研削し終わる範囲内の状態を考えればよい。

被削材が(I), (II)の領域にあるときは、研削における接線力 T は矢印の方向にかかっているためストレンゲージには圧縮力が次第に増加して、同図(b)のように(1)→(2)に変化する。このひずみ増加量は一般に研削速度が大きいほど多くなる傾向である。次に(III)の領域に被削材がくると、ストレンゲージに大きな引張力が加わり、同図(b)(3)のようになる。このときの(II)と(III)の境界位置は被削材がストレンゲージの中央を少しすぎた位置である。そのことは次のことから確認された。すなわちオシログラフのペーパー送りを100 cm/sに早めて行った場合に、同図(b)(3)の位置は(1)と(6)の中央より約1/2000 sだけ(6)の方に片寄っている。(IV)の位置に被削材がくると、ストレンゲージに対する引張力はストレンゲージと被削材間のコンタクトホイールの歯の変形抵抗が新しく加わるために同図(b)(4)のように減少し、圧縮ひずみが(1)よりも若干大きくなる。これは後述のように研摩ベルトのたるみ現象の影響と思われる。被削材が(V)の位置以後ではストレンゲージと被削材間の歯の変形抵抗のためほぼ(1)の状態にもどるが、コンタクトホイールと研削速度によりこの状態が若干異なり、研削速度が低い(360 m/min)ときはゴムかたさが軟らかい場合および研削速度が高い(450 m/min)ときは点(1)よりも圧縮ひずみは低くなる。それらの原因については研摩ベルトとコンタクトホイールの接触圧力の相違によるものと思われるが、詳細については不明である。以上の現象は高速度カメラによる撮影結果からも推察できた。

(a)

(b)

図3 高速度カメラによる撮影写真

図3(a),(b)は高速度カメラによる撮影写真の一例である。図3(a)の実験条件は10000こま/s, 初張力20kg, 表面形状10×15×10, かたさ(デュロ)30, 設定切込み1.0mmの場合における周速度70m/minのものである。図3(b)は初張力16kg, 表面形状10×10×10で他の条件は図3(a)と同じである。初張力の小さい図3(b)においてはコンタクトホイールと研摩ベルトが被削材に接触する約1歯前の位置ではたっていることが認められ⁴⁾, 図2(b)の点(4)の圧縮ひずみが点(1)よりも若干大きな原因であろう。

また, このようなオシログラフの読み(図1)および記録結果の定性的な解析(図2)によりコンタクトホイールのかたさ, 表面形状, 周速度および設定切込みを変化することにより, 研摩ベルトに作用する力の解明が可能である。

2.3 研削時のストレングージに作用する力の変化

図1に示すようにコンタクトホイールとストレングージの接触位置が順次変わるので, オシログラフによる記録はあるピッチをもったうねりを生じる(第1報参照)。その1ピッチ中の最大圧縮ひずみ値を示している場合が, 前述²⁾のようにストレングージがランドの中央に位置している場合であり, ベルト研削においてはコンタクトホイールのランド上の砥粒切れ刃のみが強い研削作用にあずかるので⁴⁾, この場合の記録結果と切込み率との

表1 実験条件

研摩ベルト	寸法	1525×50×0.6mm(長さ×幅×厚さ)
	粒度	CC#50
被削材	材質	エポキシ樹脂
	寸法	100×30×10mm(長さ×幅×厚さ)
実験条件	研削方式	乾式
	みぞつきコンタクトホイールのrpm	640rpm, 800rpm
	みぞつきコンタクトホイールの周速度	360m/min, 450m/min
	初張力	16kg

表2 みぞつきコンタクトホイールの仕様

寸法	180φ×50mm(外径×幅)
かたさ(デュロメータ)	H _S : 50, 70
心金材質	アルミニウム
表面形状	10×5×10mm(谷幅×ランド高さ×ランド長さ)
(みぞつきコンタクトホイール)	10×10×10mm(同 上)
	10×15×10mm(同 上)
	セレーションアングル 45°

関係について考察した。図2(a)に示したように, 研削時に研摩ベルトに作用する引張力 P は2.2項で説明したように接線抵抗に比例する。したがってこの引張力は有効切込みに比例していると考えられる^{5), 6)}。このときの引張力の値は, 図2(b)における P である。これは同図において点(1)は前述のようにストレングージがコンタクトホイールに接触したときの曲げの影響による圧縮ひずみで, 研削時および非研削時においても同値である。また同図における点(2)は高速度カメラの撮影の結果によると, コンタクトホイールと研摩ベルトが離れてたるとみ(図3(b)参照), そのための圧縮ひずみが加わっているので, 引張力の基点としては疑問があるため点(1)を初張力の基点とした。

3. 研摩ベルトに作用する引張力と切込み率との関係

3.1 実験条件および実験方法

使用した実験条件およびみぞつきコンタクトホイールの仕様を表1および表2に示す。なお被削材としては被削性のよいエポキシ樹脂を使用した。

実験方法としては, オシログラフの読みを取る場合は, できるだけ銅管および銅板における不確定な接触抵抗を少なくし, また研摩ベルトを十分定常状態にするためにならし運転をしたのち所定の条件に従って実験を行

図4 設定切込みと切込み率の関係

った。また設定切込みに対する有効切込みは1目盛1/1000 mmのダイヤルゲージで測定した。

3.2 実験結果と考察

図4(a), (b)は設定切込みを変化した場合、コンタクトホイールのかたさ(デュロ)、表面形状(ランド高さ)および周速度によって切込み率 Z がどのように変化するかを示している。また切込み率 Z は一定の設定切込みで1パ

表3 平均ばね定数値

表面形状	かたさ (デュロ)	平均ばね定数 (kg/mm)
10×5×10	50	14.2
10×5×10	70	22.0
10×10×10	50	13.5
10×10×10	70	21.4
10×15×10	50	11.7
10×15×10	70	15.4

ス(送り5 m/min, コンタクトホイールの周速度は360 m/minと450 m/min)の研削結果から $Z=Z_u$ (有効切込み)/ Z_s (設定切込み) $\times 100\%$ として求めた¹⁾。なお、この場合に全実験を通じて砥粒切れ刃の変化はほとんど認められなかった。同図から設定切込みに対してコンタクトホイールのかたさ、表面形状および周速度の違いによる切込み率 Z の変化の状態は次のようである。

- (1) 設定切込みと切込み率 Z の関係はほぼ比例関係をなし、周速度が大きいくほど設定切込みが小さい範囲内で切込み率 Z は大きく、設定切込みが大きくなるほど切込み率 Z の増加割合は小さい。
- (2) 切込み率はコンタクトホイールの表面形状とかたさの違いによって変化し、コンタクトホイールの平均ばね定数の大きなものほど大きくなる傾向をもっている。

表3に各種コンタクトホイールの平均ばね定数の測定結果を示す。この平均ばね定数の測定は、コンタクトホイールから研摩ベルトをはずした状態で、テーブルに装置した研削動力計⁶⁾の上端面がコンタクトホイールに接触するまで上昇させ、ストレンメータの指針の振れ始めをゼロ点として、負荷重と変位の関係から求めた。この関係はいずれの表面形状、かたさのコンタクトホイールにおいても直線的である。

次に引張力 P と切込み率 Z の関係を図5(a), (b)に示す。これらの図よりコンタクトホイールの表面形状およびかたさが変わっても、この範囲内では引張力 P は切込み率 Z はほぼ比例していると見てよく、周速度が一定であればほぼ同じ比例定数をもっている。しかし同一切込み率に対する引張力は異なっている。また周速度が大きいくと、切込み率に対する引張力の絶対値は大きい。本実験の範囲内では、接線抵抗は法線抵抗に比例するので⁶⁾、引張力は接線抵抗あるいは法線抵抗に比例していると考えられる。Hahn⁷⁾によれば rubbing や ploughing がないときの研削における法線抵抗と金属除去量は比例していると言われている。図5(a), (b)では同一の設定切込みでも表面形状あるいはかたさが変化すれば法線抵抗は変化していることがわかる。これは平均ばね定数の違いに

図5 引張力と切込み率との関係

図6 引張力 (換算) と切込み率との関係

よるものであると思われるので、同一ばね定数と仮定したときの関係を見るために、その値の最小であるコンタクトホイール、すなわち表面形状 10×5×10、かたさ 50 デュロに他のコンタクトホイールの引張力を、引張力がばね定数に比例する (図5(a), (b) 参照) として、表3を使用し換算した。それらの値と切込み率の関係を示したのが図6(a), (b)である。この図より次のことがわかる。

- (1) 周速度が異なっても、コンタクトホイールの表面形状も考慮した平均ばね定数は、切込み率と引張力の関係において、ゴムかたさが同じである場合は直

線的な相関があり、大きな影響があることがわかる。

- (2) ゴムかたさが異なれば、切込み率と引張力との関係は異なった相関を示す。これは研削時の法線抵抗と接線抵抗の合力の方向が異なっていることに起因すると思われる。例えばゴムかたさが 50 デュロと 70 デュロの法線抵抗と接線抵抗の比は、いずれのコンタクトホイールの表面形状でも、70 デュロの方が大きく、その比は約 1.2~1.8 になる。

4. 結 論

- (1) 研摩ベルトの裏面にストレンゲージを貼付して、みぞつきコンタクトホイールの研削中における圧縮ひずみあるいは引張りひずみの変化を測定することは可能である。
- (2) 引張力 P と切込み率 Z の関係においては、コンタクトホイールの表面形状およびかたさが変わっても、この実験範囲内では引張力 P は切込み率 Z にほぼ比例している。
- (3) コンタクトホイールの周速度が異なっても、表面形状を考慮した平均ばね定数は、引張力 P と切込み率 Z の関係において一次的相関があり、大きな影響があることがわかる。

文 献

- 1) 北島弘一, 田中行雄: 表面形状の異なるコンタクトホイールの研削作用について——ベルト研削に関する研究 (第1報), 精密機械, 37, 9 (1971) 652.

- 2) 中島基雄, 井戸 守: 研摩ベルトの張力変化の測定法とその応用例について——ベルト研削に関する研究 (第1報), 精密機械, 39, 6 (1973) 563.
- 3) P. C. Галаджев: 抵抗線ひずみ計を使ったVベルトの変形についての研究, 機械の研究, 18, 12 (1966) 1531.
- 4) 田中行雄, 北島弘一: コンタクトホイールのセレーション効果, 研摩布紙加工, 10, 4 (1973) 25.
- 5) 中島基雄: ベルト研削の研究 (第1報), 研摩布紙加工, 6, 4 (1969) 5.
- 6) 中島基雄ほか: ベルト研削に関する研究 (第2報), 主としてセレーションに対する研削性について, 昭和44年度精機学会秋季大会学術講演会前刷 (1969) 151.
- 7) R. S. Hahn: Mechanics of Grinding Process under Plunge Cut Condition, Trans. ASME, Ser. B, 88, 1 (1966) 72.

情 報

プレス加工品分類方式案成る

機械振興協会 (会長・土光敏夫氏) はプレス加工分野へGT (グループテクノロジー) 手法を導入するため「プレス加工品分類方式案」を完成した。これは機能やプランク形状, 作業工程などを基準にプレス加工品を分類し段取りや待ち時間の節約に役立てようとするものである。機振協はこれを各企業で実施した結果をもとに最終案をまとめる計画だが, プレス加工品のGT化は世界でも初めてのものと機振協ではいっている。

完成した分類方式案は10進16けたからなっており, 部品のせん断加工をはじめ, 曲げ加工品, 絞りなどの成形品を含んでいる。分類の構成は機能形状, フランク形状 (外形, 内形分類表), その主寸法 (フランク寸法の分類表), 材料 (主要材料をマトリクス表示で分類), 作業工程 (採用頻度の高い組合せをマトリクス表示), 型 (主要な構造の要素を示す) からなっている。

これを利用すると, 多種中少量生産のプレス加工品を形状, 寸法, 材質, 加工精度, 加工工程などによって類似のものをグループ化し類似品は共通のプレス機械と付属設備, 共通の金型や補助工具で加工, 段取りなどの時

間や費用, 工程間の運搬や加工待ち時間を節約できる。

また設計にあたっては図面寸法の整理, 類似形状部品に対する図面数の整理縮減, 図面検索の簡素化が可能になる。この結果, 自動機械導入がスムーズに進み, プレス工場の生産性向上に役立つものと期待される。

機振協は金属加工に伴うGT手法確立のため, 工業技術院機械技術研究所長の窪田雅男氏を委員長とするGT研究会を設け, 調査研究を進めてきた。プレス加工分野への導入については, さる48年から関心が高まり, 前田禎三東大教授を主査とするプレス加工品分科会を設け, 約1年半にわたって検討を重ねた。今回, 完成した分類方式案は世界でも初めてのものと機振協ではいっている。

機振協としては, これによってプレス加工部品分類のシステム作成の手がかりは得られたものとみており, 今後約1年にわたって各企業で応用し, さらにきめ細かなものにする意向である。

その場合, さらに必要な構成要素は追加するなどして現場に合ったものに修正し, 最終案にするとしている。

(服部 敏夫)