

塑性加工における表面平滑化条件* (面圧と相対すべり量の影響)

中村 保*¹, 近藤 一義*², 西ヶ谷 知栄*³

Smoothing Conditions of Workmetal Surface in Metalworking Processes (Effects of Contact Pressure and Relative Slip Displacement)

Tamotsu NAKAMURA, Kazuyoshi KONDO and Tomoe NISHIGAYA

To examine the effects of contact pressure and relative slip displacement on smoothing conditions of surface asperities accompanied with no bulk plastic deformation of a workmetal, disk specimens were compressed by a punch in a closed die and rotated with the die. A little amount of the relative slip displacement under the contact pressure accelerated remarkably the smoothing of the surface asperities and thereby the workmetal surfaces were smoothed completely to the same surface roughness as the tool. The surface roughness change of the workmetal were approximated by the experimental equations which were expressed as a function of the contact pressure and relative slip displacement. On the basis of these results, smoothing conditions of surface asperities accompanied with bulk plastic deformation of a workmetal were investigated by a free upsetting of disk specimen and an upsetting of ring specimen in a closed die. Consequently, the smoothing conditions of the workmetal surface in these forming processes also could be approximated by the same equations as the above experimental equations.

Key Words: Plastic Forming, Tribology, Surface Roughness, Die, Smoothing Condition, Workmetal, Contact Pressure, Relative Slip Displacement, Bulk Plastic Deformation

1. 緒 言

塑性加工において、製品表面は全変形過程における工具と素材の接触状態の履歴として創成されるため、所望の平滑な表面仕上げを得ることは必ずしも容易ではない。しかし、例えばアルミニウム薄板の冷間圧延では、表面粗さ $R_{max} \approx 0.1 \mu\text{m}$ 程度の表面仕上げが十分得られており、他の塑性加工でも製品表面仕上げの改善の可能性は十分にあると考えられる。

塑性加工における工具-素材面間の接触機構は、トライボロジーの基礎的問題として、極めて多数の研究者により取り上げられている。例えば、工藤ら⁽¹⁾および Bay ら⁽²⁾は、くさび状突起の押しつぶしにおいて面圧 p_A と摩擦せん断応力 τ_f が大きいほど接触率 R_c が高まることを示している。また、母材が塑性変形を伴う場合には、接触率 R_c が異常に増加することが指摘され、Fogg⁽³⁾は、これを応力状態と塑性変形の累積効果として説明している。さらに、大矢根⁽⁴⁾は平面ひずみ

圧縮におけるくさび状突起の押しつぶしについて多孔質体の塑性変形理論を応用して解析し、ひずみ量と応力比が大きいほど接触率 R_c が増大することを示している。また、最近、牧野内ら⁽⁵⁾は同様の突起の押しつぶし過程について有限要素解析および実験によって検討を進めている。以上のような、数多くの研究により、製品表面の平滑化に及ぼす因子として、面圧、摩擦せん断応力、相対すべり量、初期表面凹凸の形状と寸法、潤滑膜厚さ、母材の応力またはひずみ状態などが指摘されている。その中で、島ら⁽⁶⁾は、無潤滑状態での円柱の据込みにおける接触率 R_c が、主として面圧 p_A と相対すべり量 L_s に依存することを示している。

本研究では、塑性加工における製品表面の平滑化条件の究明を目的とする。そのため、上述各因子の影響を定量的に把握する必要があるが、母材塑性変形による粗面化が抑制される程度の面圧以上で、潤滑剤の捕捉効果が生じない条件では、表面平滑化に重要な影響を及ぼす因子として、面圧、摩擦せん断応力、相対すべり量および母材塑性変形量を挙げることができると考えられる。そこで、本研究では、最初に母材塑性変形を拘束した状態において面圧 p_A と相対すべり量 L_s を独立に変更した場合の表面平滑化条件の確立を試みる。その結果に基づいて、母材塑性変形を伴う場合の

* 昭和62年5月16日 塑性加工春季講演会において講演、原稿受付 平成元年10月5日。

¹ 正員、静岡大学工学部 (〒432 浜松市城北3-5-1)。

² 正員、名古屋大学工学部 (〒464-01 名古屋市千種区不老町)。

³ 准員、三菱重工業(株) (〒485 小牧市東田中1200)。

表面平滑化過程が面圧 p_A と相対すべり量 L_s によってどの程度支配されるかについて検討を試みる。

2. 母材塑性変形を伴わない場合の表面平滑化特性

本章では、表面平滑化に及ぼす加工面圧 p_A および相対すべり量 L_s の影響を独立に分離して抽出することを目的として、図1に示すように、円板状試験片をダイス型穴内で拘束し、母材の巨視的塑性変形を許さない状態で表面凹凸の押しつぶしを行う。さらに、試験片に一定面圧 p_A を負荷した状態でダイスと試験片を一体として回転し、パンチと表材試験片の界面に積極的に相対すべりを与えることにより、平滑化がどの程度促進されるかについて検討する。これにより、母材塑性変形を伴わない場合の表面平滑化条件を明らかにする。

2.1 実験方法 実際の塑性加工における素材表面凹凸は、前加工の方法によって種々の形状と寸法を有し、母材塑性変形に伴う表面荒れが生じている場合もある。本実験では、素材の初期表面あるいは塑性変形によって生じた粗面の凹凸をモデル的にシミュレートするため、図2に示すように厚さ5mmの円板状試験片の上端面に機械加工によりくさび状突起を設けた。突起形状としては、図2(a)のような直線状のもの、(b)に示すような同心円状のものを用いた。突起の寸法は、(1)頂角 $\theta_0 = 90^\circ$ 、高さ $h_0 = 0.1$ mm、ピッチ $w_0 = 0.2$ mm、(2)頂角 90° 、高さ 0.05 mm、ピッチ 0.1 mm、および(3)頂角 120° 、高さ 0.1 mm、ピッチ 0.35 mm のものを用いた。

供試素材には、厚さ5mmの工業用純アルミニウムA1050-O材を用いた。この素材の真応力-ひずみ曲線は次式によって近似された。

$$\sigma = 123\epsilon^{0.27} \text{ [MPa]} \dots\dots\dots (1)$$

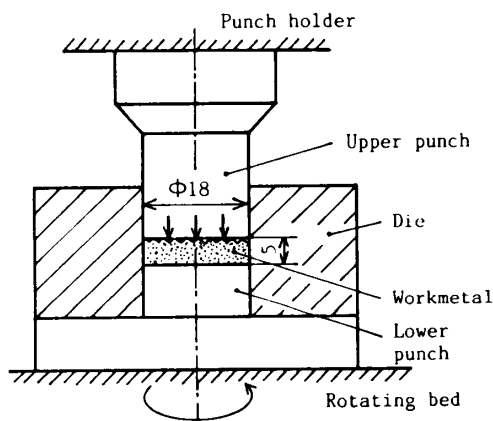


図1 円板の拘束圧縮・回転による表面平滑化試験

素材の供試摩擦面と接触するパンチ端面はラッピングにより中心線平均粗さ $R_a \approx 0.05 \mu\text{m}$ 程度に仕上げた。また、突起谷部への潤滑剤の捕捉により表面の平滑化が妨げられないようにするため、潤滑は工具面に低粘度鉱油 VG2 を極めて薄く塗布する程度にとどめた。

平滑化の程度を表す評価尺度としては、中心線平均粗さ R_a と接触率 R_c を用いた。表面粗さ R_a は、触針式粗さ計により、数個の試験片について各位置で測定し、それらの平均値を測定値とした。接触率 R_c は、表面のみかけの接触面積に対する真実接触面積の割合であるが、ここでは突起のピッチ w_0 に対する突起頂部の接触幅 w の比として、次式のように定義する。

$$R_c = (w/w_0) \times 100 \text{ [%]} \dots\dots\dots (2)$$

2.2 円板上端面における表面平滑化条件 突起の高さおよび頂角を変更した場合の平滑化の程度を標準化するため、初期表面粗さ R_{a0} に対するその時々表面粗さ R_a の比を表面粗さ比 R_r として次式のように定義した。

$$R_r = R_a/R_{a0} \dots\dots\dots (3)$$

本実験範囲内では表面粗さ比 R_r は突起の高さあるいは頂角にほとんど依存しないことが確認されている。

図3は、図2(a)の直線状の突起を有する試験片を用いた場合の結果であり、突起に対するすべり方向が直角の位置において測定した表面粗さ比 R_r を、見かけの平均面圧 p_A に対して示したものである。突起に対するすべり方向が平行の場合、および図2(b)の同心円状突起を有する試験片を用いた場合にも、これとほとんど同様の結果が得られることが確認されている。図において、相対すべり量 L_s が零の場合には、面圧 p_A が 400 MPa 以上に高まっても表面粗さ比 R_r は約 0.05 以下に低下せず、平滑化がそれ以上進まない

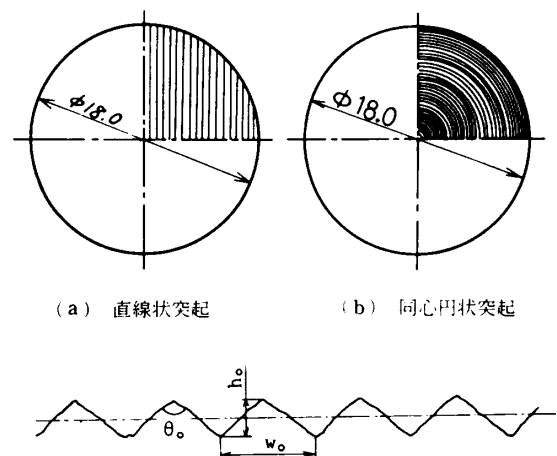


図2 円板試験片表面のくさび形突起形状

ことがわかる。これに対し、相対すべり量をわずか $L_s = 0.25 \text{ mm}$ 程度付加するだけで平滑化が著しく促進され、 $p_A = 200 \text{ MPa}$ 程度の面圧で工具表面粗さ $R_a = 0.05 \mu\text{m}$ 程度のほぼ完全な平滑化が達成されている。Bayら⁽²⁾は摩擦せん断応力 τ_r を変更して、面圧 p_A による表面粗さ比 R_r の変化を計算しているが、本実験結果はほぼその結果の範囲内にあることが確認されている。

図4は、図3と同じ実験の結果を、接触率 R_c で整理したものである。相対すべり量 L_s が零の場合には、面圧 p_A が約 300 MPa 以上に高まって接触率 R_c は 80% 程度以上には高まらず、平滑化が進まないことを示している。これに対し、相対すべりが与えられると急激に接触率 R_c が増加し、 $L_s = 0.25 \text{ mm}$ でも $p_A =$

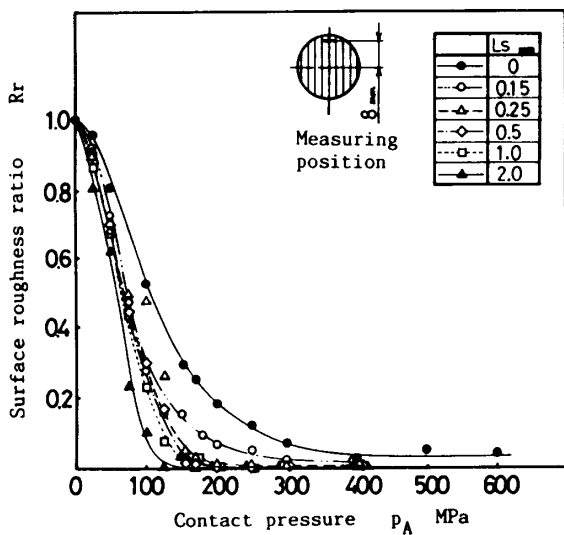


図3 圧縮・回転試験における面圧 p_A と表面粗さ比 R_r の関係

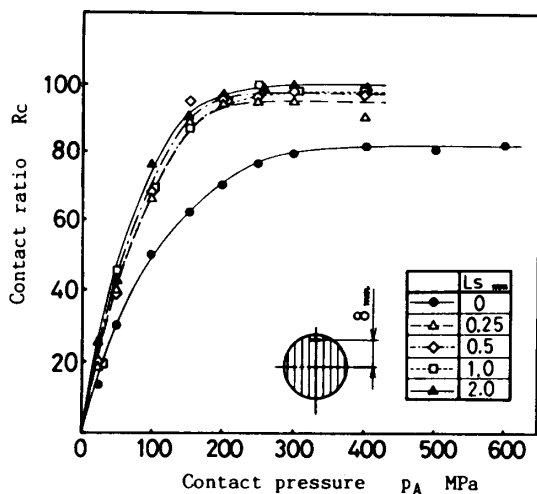


図4 圧縮・回転試験における面圧 p_A と接触率 R_c の関係

200 MPa 程度の面圧で、 $R_c = 100\%$ に近づくことがわかる。これらの結果は図3の表面粗さ比 R_r による平滑化の特性とよく一致している。

Bayら⁽²⁾は接触率 R_c と表面粗さ比 R_r との関係突起の幾何形状から求め、次の関係式を得ている。

$$R_r = (\tan \gamma / \tan \gamma_0) (1 - R_c^2)^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 γ_0 および γ は変形前後の突起の迎え角である。変形によって突起の頂角が変わらなるとすれば、

$$R_r = (1 - R_c^2)^2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。

図5の実線はこの式(5)を図示したものである。この図には、図3および4の実験結果をプロットしてあるが、試験条件の違いにもかかわらず、すべての実験点の実線にかなり近く、表面粗さ比 R_r と接触率 R_c の間には一義的な対応関係が成り立つことがわかる。そこで本研究では、以後主として表面平滑化の程度を表面粗さ比 R_r で評価することにする。

図6は面圧 p_A をパラメータにして相対すべり量 L_s に対する表面粗さ比 R_r の変化を示したものである。いずれの面圧 p_A においても $L_s = 0.5 \text{ mm}$ 以下で R_r

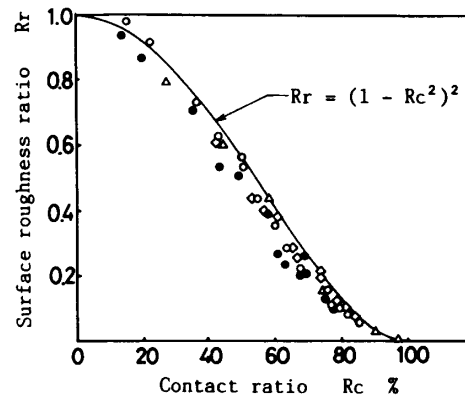


図5 接触率 R_c と表面粗さ比 R_r の関係

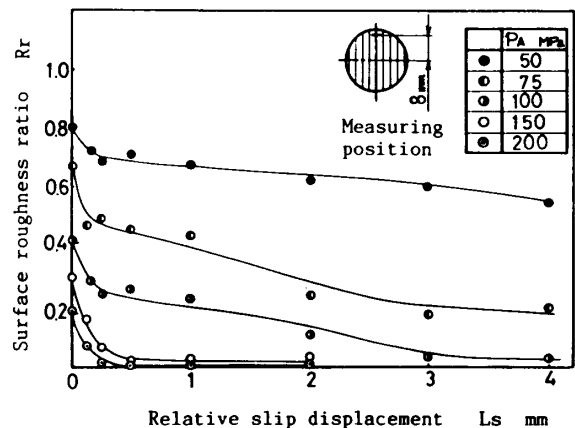


図6 圧縮・回転試験における相対すべり量 L_s と表面粗さ比 R_r の関係

が急減し、その後はほぼ一定か、漸減の傾向を示す。特に、 $p_A=200$ MPaの線では、 $L_s=0.5$ mmで平滑化がほぼ完了している。これは、相対すべりの付加によって生じる摩擦せん断応力の作用により突起部の降伏面圧が低下するため、 $L_s=0.5$ mm程度で突起部の変形がほぼ定常化するためと考えられる。ただし、相対すべり量が増加し過ぎると焼付きによる表面荒れが生じることが確認されているため、相対すべり量は必要最小限にとどめるのが望ましい。

2.3 面圧と相対すべり量による表面平滑化条件の

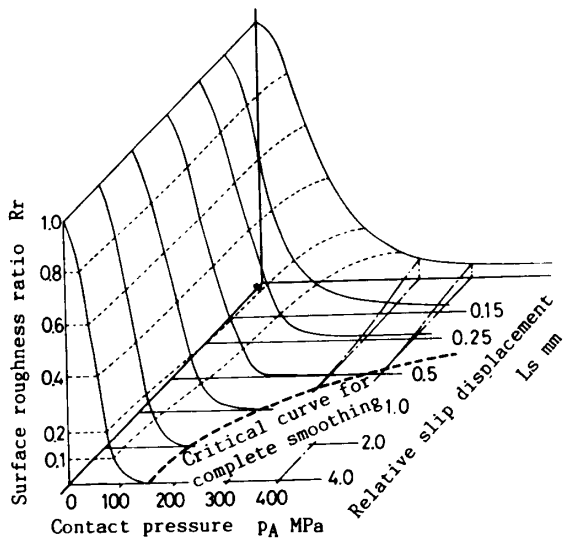


図7 圧縮・回転試験における表面粗さ比 R_r に及ぼす面圧 p_A と相対すべり量 L_s の影響

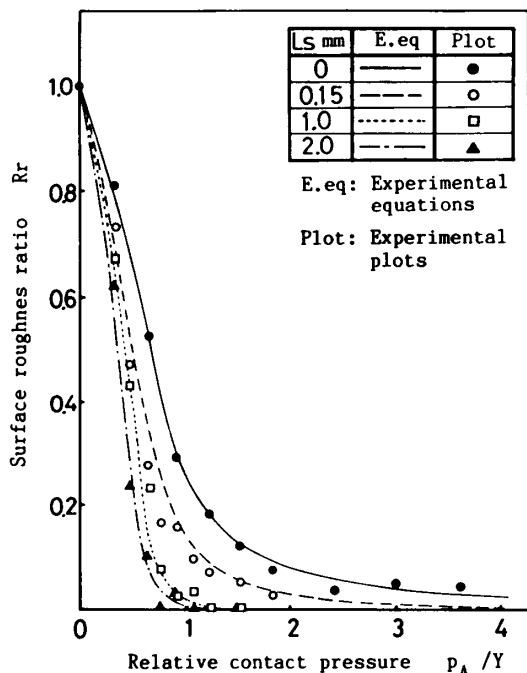


図8 圧縮・回転試験における表面平滑化条件

定式化 図7は表面粗さ比 R_r に及ぼす面圧 p_A と相対すべり量 L_s の影響を三次元表示によって示したものである。相対すべり量 L_s は対数表示で示され、点線は等表面粗さ比曲線を表す。表面粗さ比 R_r が零となる p_A-L_s 平面上の太い破線は工具表面粗さと同程度の平滑面に達する表面平滑化限界線を表している。図から、およそ面圧が $p_A=150$ MPa以上、相対すべり量が $L_s=0.25$ mm以上ではほぼ完全な平滑化が達成されることがわかる。

さらに、この表面粗さ比線図の定式化を試みる。面圧 p_A を相当応力 Y で標準化するため、突起部の押しつぶしが生じた状態での相当応力 Y として、マイクロピッカース硬さ試験により得られた硬さ $H_v=450$ MPaより、 $Y=H_v/2.7$ の関係⁽⁷⁾を用いて $Y=160$ MPaを仮定した。図8は、この相当応力 Y で標準化した相対面圧 p_A/Y に対する表面粗さ比 R_r の関係を示したものである。図中の各実験点を近似するための実験式は次のように表される。

$$(p_A/Y) \geq 0.6 \text{ のとき} \\ R_r = C_1 (p_A/Y)^{-C_2} \dots\dots\dots (6)$$

$$(p_A/Y) \leq 0.6 \text{ のとき} \\ R_r = 1 - C_3 (p_A/Y)^{C_4} \dots\dots\dots (7)$$

ここで、 C_1, C_2, C_3 および C_4 は相対すべり量 L_s によって定まる係数である。

以上のようにして、母材塑性変形を伴わない場合の面圧と相対すべり量による表面平滑化条件式が得られることがわかる。

3. 母材塑性変形を伴う場合の表面平滑化特性

本章では、実際の塑性加工のように母材塑性変形を伴う場合の表面平滑化過程が、前章で明らかにされた

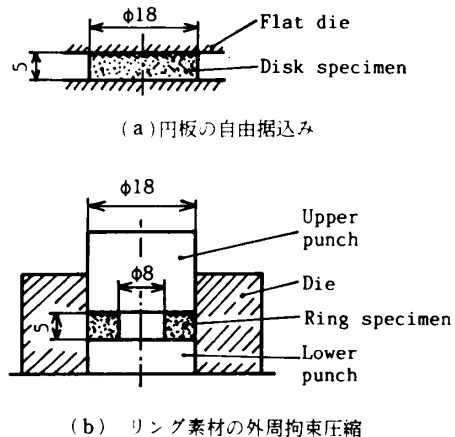


図9 円板試験片の自由掘込みとリング試験片の外周拘束圧縮による表面平滑化試験

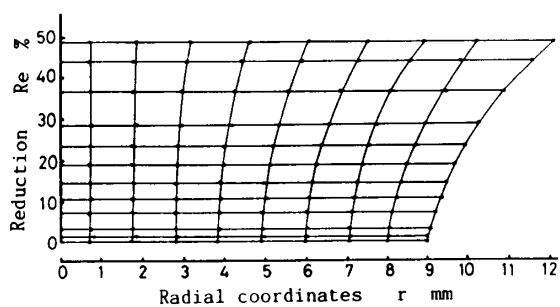
面圧と相対すべり量による平滑化条件によってどの程度整理できるか、あるいは母材塑性変形の影響がどの程度現れるかについて検討する。

3・1 実験方法 図9(a)および(b)に示すように、円板状試験片の自由据込みにおける上端面、およびリング状試験片の外周拘束圧縮における上端面の表面平滑化過程について検討する。

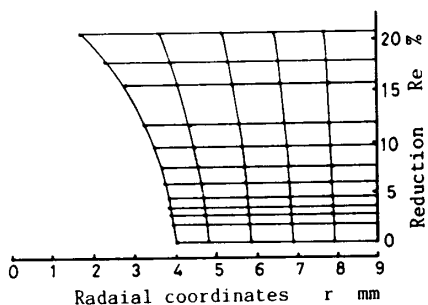
自由据込みの試験片は図2(b)と同一のもので、表面突起として、同心円形状のものを用いた。実験は圧下率 R_e を数%ずつ逐次圧下し、その都度、上端面の中心線平均粗さ R_a を測定した。潤滑には低粘度油 VG2 を工具面に薄く塗布して用いた。

外周拘束圧縮の試験片としては、図9(b)に示すように上端面に同心円形状の突起を設けたリング状試験片、すなわち板厚5mm、外形18mmで、内径8mmのものを用いた。この試験片を外周がダイス型穴内に拘束された状態で圧縮し、その上端面の中心線平均粗さ R_a の変化を調べた。この実験では逐次圧縮して、その都度試験片を取り出すことが困難であるため、圧下率約20%までを数段階に分け、それぞれ別個の試験片を用いて圧下した。潤滑は自由据込みの場合と同様である。

3・2 相対すべり量の測定方法 塑性変形を伴う素材試験片と工具面間の相対すべり量 L_s を求めるため、図10(a)および(b)に示すように、試験片上端面の半径 r 方向の変位分布を実測した。これらの変位線



(a) 円板の自由据込み



(b) リング素材の外周拘束圧縮

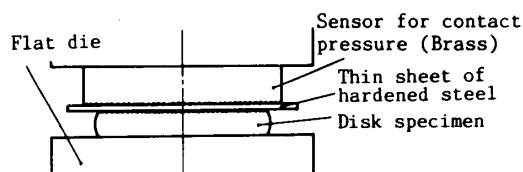
図10 試験片上端面の半径方向変位分布

図から、各半径位置 r の相対すべり量 L_s が得られる。(a)自由据込みの場合には L_s は中心で零、外周で最大となるのに対して、(b)外周拘束リング圧縮の場合には外周で零、内周で最大となる。

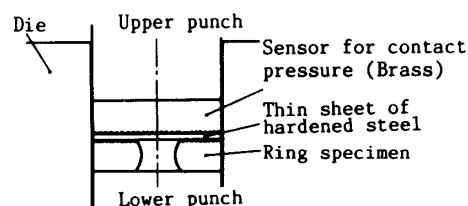
3・3 面圧分布の測定方法 塑性変形を伴う素材試験片と工具面間の面圧分布を実測するため、図11(a)および(b)に示すような工藤ら⁸⁾が提案した感圧素子を用いた。感圧素子として厚さ5mmの黄銅(C3604)の板面に、頂角90°、山高さ0.1mm、ピッチ0.2mmの同心円くさび状突起を設けたものを用い、薄鋼板(高速度工具鋼SKH焼入れ製、厚さ0.2mm)を介して逐次圧縮した。その感圧素子のくさび状突起の頂部つぶれ幅とピッチの比 w/w_0 を測定し、あらかじめ用意しておいた検定曲線から面圧 p_A の分布を求めた。図12(a)および(b)は、このようにして得られた円板の自由据込み、およびリングの外周拘束圧縮の場合の面圧分布の一例である。(a)の場合には曲線的な摩擦丘の分布を示す。(b)の場合は外周が拘束されているため、外周に向かって面圧が急激に増加する分布となっている。

3・4 円板の自由据込みにおける表面平滑化特性

図13は圧下率 R_e に対する表面粗さ比 R_r の変化を示す。半径位置により平滑化過程に若干の差異が生じ、とくに中心では平滑化が遅れている。この図を基に各半径位置 r における表面粗さ比 R_r の分布を示すと図14のようになる。圧下率 R_e が5%以下では半径方向の不均一分布はほとんど認められないが、 $R_e=9.4\%$ 以上では、中心において極大値をとる分布を示す。とくに $R_e=48.6\%$ では中心以外はほぼ完全に平滑化されているのに対し、中心では依然として粗さが残って



(a) 円板の自由据込み



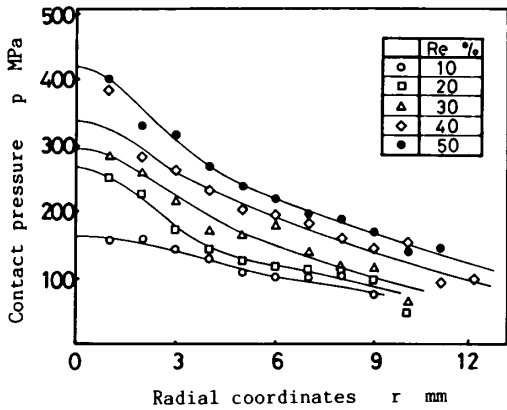
(b) リング素材の外周拘束圧縮

図11 面圧分布の測定方法

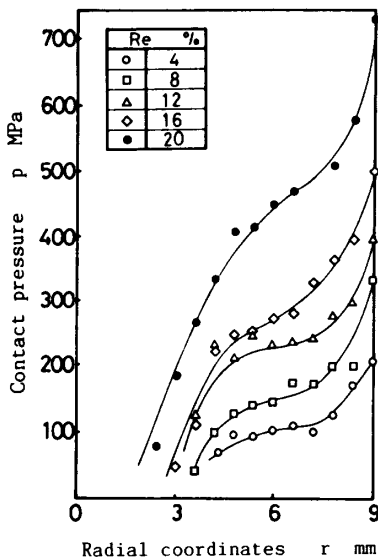
いることがわかる。このように不均一分布が現れる原因として、図10(a)に示されるように、自由掘込みでは圧下の進行に伴い外周に近づくほど相対すべり量

L_s が大きくなるのに対して、図12(a)に示されるような摩擦丘による面圧分布は中心ほど高くなり、両者の影響が複合して現れるためであると考えられる。

前章の図7において、表面粗さ比 R_r に対する面圧 p_A と相対すべり量 L_s の影響を三次元表示によって示したが、この図に自由掘込みの場合の図10(a)、12(a)および13の結果を整理して併示すると、図15のようになる。白抜き印の記号が自由掘込みの実験点であり、黒丸印の点は同じ p_A と L_s に対応する曲面上の点である。白抜き印の各点は、多少のバラツキは認められるが、ほぼ曲面上に位置している。とくに、表面粗



(a) 円板の自由掘込み



(b) リング素材の外周拘束圧縮

図12 面圧分布の実測例

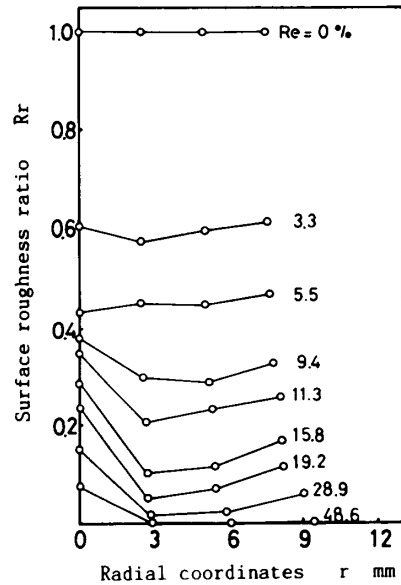


図14 円板の自由掘込みにおける表面粗さ比 R_r の半径 r 方向分布

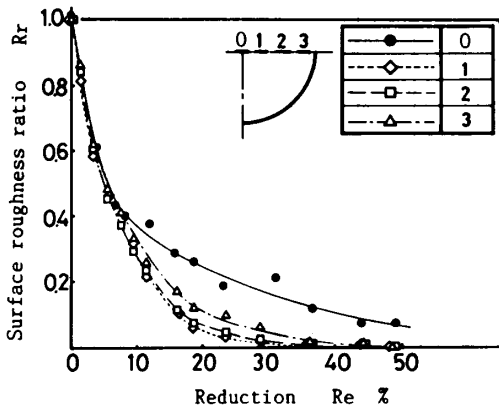


図13 円板の自由掘込みにおける圧下率 R_e と表面粗さ比 R_r の関係

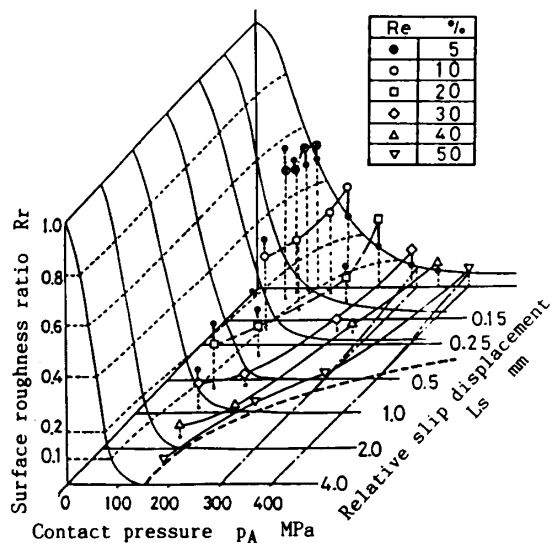


図15 円板の自由掘込みにおける表面粗さ比 R_r に及ぼす面圧 p_A と相対すべり量 L_s の影響

さ比 R_r がほぼ零に漸近する辺りでは良く一致し、完全な平滑化に達する限界条件は、母材の塑性変形を拘束した状態での表面平滑化限界条件（太い破線）にほぼ一致するものと考えられる。

自由据込みにおける表面平滑化過程が面圧 p_A と相対すべり量 L_s にどの程度依存するかをさらに定量的に評価することを試みる。塑性変形を伴わない条件での表面平滑化条件を表す実験式(6)および(7)を用いて、自由据込みにおける面圧 p_A と相対すべり量 L_s をこれらの式に代入して得られる表面粗さ比 $(R_r)_x$ と、それに対応する実測値 $(R_r)_y$ の関係を図16に示す。図において、各プロット点は多少のバラツキは認められるものの、両者の相関係数は $C_r=0.981$ となり、かなり良好な相関性を示す。したがって、母材の塑性変形を伴う自由据込みの場合にも、表面平滑化過程は面圧 p_A と相対すべり量 L_s によって支配的影響を受けることがわかる。

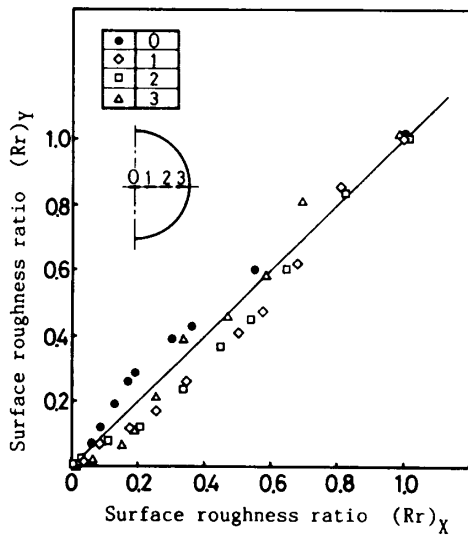


図16 円板の自由据込みにおける実験式による表面粗さ比 $(R_r)_x$ と実測値 $(R_r)_y$ の関係

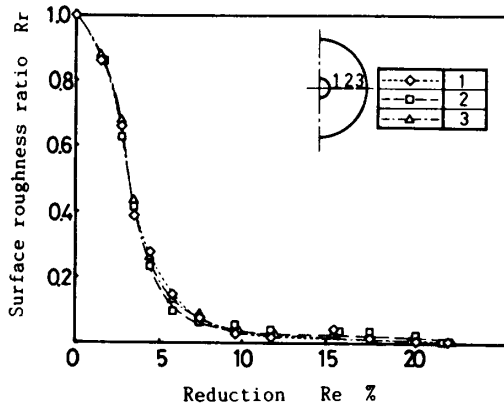


図17 リングの外周拘束圧縮における圧下率 R_e と表面粗さ比 R_r の関係

3.5 リングの外周拘束圧縮における表面平滑化特性 図9(b)に示すように、内径8mmのリング試験片を拘束型内で圧縮し、その上面に設けた突起の平滑化過程を試験片半径位置数箇所について調べた。図17は圧下率 R_e に対する表面粗さ比 R_r の変化を示す。半径位置によらずほぼ同様な平滑化過程をたどり、 $R_e \approx 20\%$ 程度で $R_r \approx 0$ に達することがわかる。

図10(b)に示した相対すべり量 L_s の分布、および図12(b)に示した面圧 p_A の分布を用いて、自由据込みの場合と同様に、三次元表示によって、表面粗さ比 R_r に対する相対すべり量 L_s と面圧 p_A の関係を示すと図18のようになる。圧下率 R_e が数%の段階では、プロット点が三次元曲面より下側に位置し、リング圧

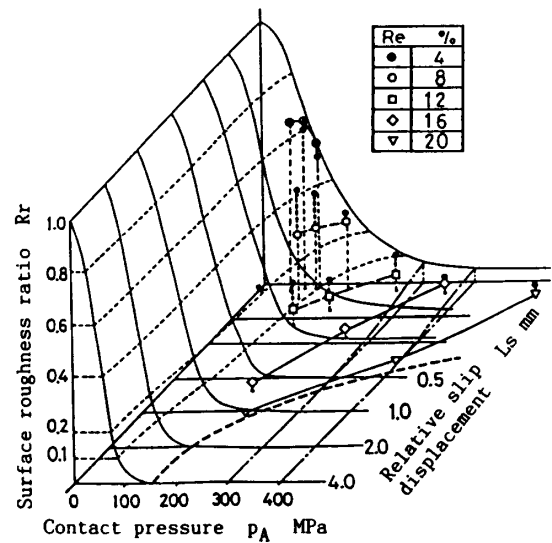


図18 リングの外周拘束圧縮における表面粗さ比 R_r に及ぼす面圧 p_A と相対すべり量 L_s の影響

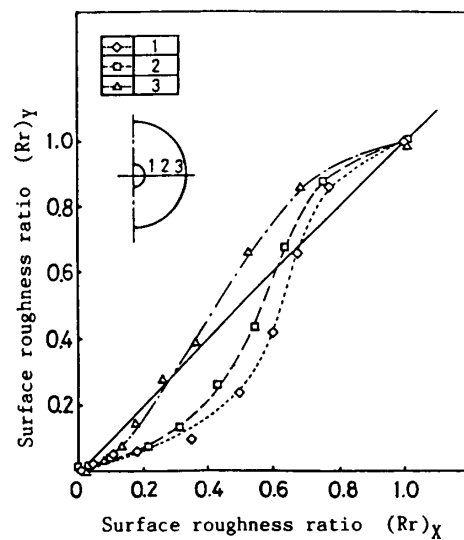


図19 リングの外周拘束圧縮における実験式による表面粗さ比 $(R_r)_x$ と実測値 $(R_r)_y$ の関係

縮のほうが平滑化が促進されているようである。しかし、平滑化が進むほど三次元曲面に近づき、完全な平滑化が達成される限界条件は、破線で示した母材塑性変形を伴わない場合の平滑化限界条件に一致することがわかる。

図 19 は、図 16 と同様に、平滑化条件式 (6) および (7) にリング圧縮における面圧 p_A と相対すべり量 L_s を代入して得られる表面粗さ比 $(R_r)_x$ と、それらに対応する実測値 $(R_r)_y$ の関係を示したものである。半径位置により特性が異なり、外周付近では 45° 線より全体的に上側にあるが、内周位置に近づくほど 45° 線より下側になる。すなわち、外周付近では母材塑性変形のない場合より平滑化がやや遅れるのに対し、内周付近ではリング圧縮のほうが平滑化が促進されることがわかる。このように、半径位置によって特性が多少異なるが、両者の相関係数は $C_r=0.957$ となり、比較的良好な相関性があることがわかる。

図 16 および 19 を比較すると、リング圧縮のほうが 45° 線より下側に実験点が多く、円板の自由圧縮の場合より若干平滑化が促進されやすい傾向にあることがわかる。しかし、いずれの場合にも、母材塑性変形を伴うにもかかわらず、表面平滑化過程は、第一近似的には、各変形段階において工具に接触する各点の面圧 p_A と、それまでに変位した素材の相対すべり量 L_s によって支配されていると考えられる。

4. 結 言

塑性加工における製品表面の平滑化条件の究明を目的として、最初に塑性変形を拘束した状態で面圧と相対すべり量を独立に変更した場合の表面平滑化条件の確立を試みた。その結果に基づいて、母材塑性変形を伴う場合の表面平滑化過程が面圧と相対すべり量によってどの程度支配されるか検討した。その結果次のような結論が得られた。

(1) 円板状試験片を密閉型穴内で拘束した状態で

圧縮し、面圧を一定に保ったまま相対すべり量を与えることにより、母材塑性変形を拘束した状態における表面凹凸の平滑化過程が面圧と相対すべり量によってどの程度影響されるかについて検討した。面圧負荷のみにより表面凹凸の完全な平滑化を達成するのは極めて困難であるが、わずかな相対すべり量を付加することにより平滑化は顕著に改善されることが示された。

このような母材塑性変形を伴わない状態における表面平滑化条件を定式化することを試みた結果、表面粗さ比 R_r に対する面圧 p_A と相対すべり量 L_s の関係を表す実験式を得ることができた。また、工具表面粗さに匹敵するようなほぼ完全な平滑化を達成するための平滑化限界条件を提案することができた。

(2) 円板状試験片の自由据込みおよびリング状試験片の外周拘束圧縮における表面粗さ比 R_r の変化を調べることで、母材塑性変形を伴う場合の表面平滑化特性を検討した。面圧 p_A の分布と相対すべり量 L_s の分布を実測し、それらの値に基づいて表面粗さ比 R_r の変化を整理した結果、第一近似的には前項の母材塑性変形を伴わない状態での表面平滑化条件によって近似でき、母材塑性変形を伴う場合の表面平滑化過程も、第一近似的には、面圧 p_A と相対すべり量 L_s によって支配されていることが明らかになった。

文 献

- (1) 例えば、工藤・ほか 5 名、昭和 56 年度塑加春講論、(1981-5)、95.
- (2) Bay, N., Wanheim, T. and Peterson, A. S., *Wear*, **34** (1975), 77.
- (3) Fogg, B., *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, 182-Pt 3K (1967), 152.
- (4) 大矢根、塑性と加工、18-193 (1977)、144.
- (5) Makinouchi, A., Ike, H., Murakawa, M. and Koga, N., *Wear*, **128-2** (1988), 109.
- (6) 島・上田、第 32 回塑加連講論、(1981-11)、511.
- (7) 中村・戸沢、塑性と加工、16-175 (1975)、668.
- (8) 松原・吉村・工藤、第 24 回塑加連講論、(1973-11)、397.