

621.771.26.0/6.2 : 621.771.011 : 539.388.22
 プラステシンを用いた鋼の熱間孔型圧延の

変形過程に関する研究*

五 弓 勇 雄**・斎 藤 好 弘***

The Investigation of the Deformation Processes of Hot Caliber Rolling of Steel Using Plasticine as a Model Material

Isao GOKYU and Yoshihiro SAITO

Synopsis:

Three typical passes i. e. square-oval pass, square-dia. pass and box-pass for caliber rolling were designed which had concave-, convex- and normal shapes of projected contact surface respectively. Model billets built up of alternate layers of gray and white plasticine were prepared and part-rolled between smooth plaster cast rolls using CaCO_3 powder as lubricant whose condition was well known to give a good simulation of hot rolling of steel and the deformation patterns were analyzed so as to reveal the deformation process of caliber rolling.

The results were as follows:

(1) The deformations of equidistant lines perpendicular to the direction of rolling on the billet surface are characterized by the shape of contact surface, i. e. in square-oval pass of concave-shaped contact surface the lines bend backward. In square-dia. pass of convex-shaped contact surface, however, bending is forward instead of backward. There is no bending in box-pass of normal contact surface.

(2) The elastic wedge in the material at the entry side shortens its length or eventually vanishes if its location is near the middle of billet for square-oval pass or near the edge for square dia. pass. This effect means that there is such interaction between the parts of long contact-arc and short one that the deformation of the former facilitates the deformation of the latter. In other words, the deformation of the former is restrained by the latter.

(3) In all cases, adhesion of material to the rolls occurs over a wide area of contact surface except narrow zones near entry and exit.

(4) The neutral point for caliber rolling can be determined from normal strain distribution in the direction of rolling because at the neutral point the velocities of roll-surface and the material are equal, thus normal strains along the arc of contact and along the center line of material must be equal. This point approximately coincides with the point of maximum bending of line perpendicular to the direction of rolling in the plane normal to the roll axis. The neutral lines in both caliber rollings except box-pass are slightly bent backward.

(5) The normal strain in the direction of spreading along the horizontal center line of the cross-section of rolled billet is relatively small and uniform in square-dia. pass. In square-oval pass, however, it is extremely large near the edge and small in the middle.

(Received 10 Sept. 1966)

1. 緒 言

圧延の際の金属の変形はロールと材料の接触面に作用する摩擦力、楔形の弾塑性境界およびロール間隙の幾何学的な非対称性のために相当複雑なものである。しかしこの変形そのものは圧延後の材料断面形状や疵あるいは機械的性質に影響するばかりでなく、圧延の力学と密接な関係を有するので、今までにかなり多くの研究がなされてきた。しかしそれらの研究はほとんど板材あるいは角材の平圧延に関するものであり、孔型圧延に関するものは稀である。そして熱間圧延の際の材料の流れは、最

初は材料に貫入したネジや材料側面に罫書いた網目の変形過程を調べる方法^{1)~3)}がとられ、その後プラステシンによる模型実験も行なわれ⁴⁾最近ソ連で表面に正確に網目を罫書いた金属板を溶接によつて結合し圧延する方法⁵⁾が行なわれている。冷間圧延に関しても同様の研究⁵⁾⁶⁾¹¹⁾のほか、鋼の場合 Fry 試薬などによるエッチ

* 昭和41年9月10日受付

本論文は本会編集委員会よりの依頼論文であります。

** 東京大学工学部 工博

*** 東京大学工学部

ング法^{7)~9)}, 鏡面仕上げした側面の凹凸を光をあてて観察する方法¹⁰⁾¹¹⁾, 硬度分布法および再結晶法¹²⁾により弾性楔の形状が求められている。

孔型圧延の際の変形に関しては, 粗材の断面や孔型の形状が多様多様であるうえ, 変形が3次元的になってさらに複雑になるので研究の数も少なく, 貫入したネジの変形を調べたもの¹³⁾のほかに最近プラステシンを使つて各種の孔型圧延に対する圧延後の材料断面内の歪み状態を調べた研究¹⁴⁾があるだけである。したがつて孔型圧延の変形過程に関する研究は著者の知るかぎり全くない。そこで著者は孔型圧延における変形過程を調べるためプラステシンを用い, 著者が接触面の形状によつて3種に分類した孔型圧延の中からそれぞれ典型的な代表例として, ボックス圧延, 角→オーバル圧延および角→ダイヤ圧延を選び, それぞれの変形過程を調べ比較した。

2. 実験方法

2.1 実験用模型ビレット材料

プラステシンは英国 Harbutt's plasticine 社製の一種の油粘土で, 主成分は方解石粉末 (CaCO_3) と鉱物油である。その応力-歪関係は GREEN¹⁴⁾や栗野¹⁵⁾¹⁶⁾らにより, 鋼の熱間加工温度領域におけるそれと類似し, 普通の機械仕上げ面の鋼製工具で CaCO_3 または CaSO_4 粉末を潤滑剤として用いる時, 摩擦係数は 0.2~0.4 とな

り鋼の熱間加工時の模型実験として用いることができることが明らかにされている。なお, プラステシンの塑性はかなり温度に依存するので実験中室温は $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ の範囲内に維持した。

2.2 装置および模型ビレット

本実験において用いた孔型とビレットの寸法形状を Fig. 1 に示した。このパスデザインは United Steel 社出版の Roll Pass Design¹⁷⁾ を参考にして予備実験によりビレットの孔型への充填が完全になるように定めた。

ロールは直径 600 mm の鋼板製ロールにこれらの孔型を刻んだ石膏製の外径 677 mm の円弧状ロールブロック (ロールの一部分のみ) を取付けたものである。石膏型は十分乾燥させた後1000番のエメリー紙で仕上げた。模型ビレットは厚さ 4.0 mm の白色および灰色 (白+10%黒) のプラステシン板を圧延方向に垂直または平行に交互に圧着しつつ積み重ねたものである。

2.3 実験方法

実験に際しては石膏ロールおよびビレットに CaCO_3 粉末を塗付し, ビレットが孔型に対し対称的に咬み込むようガイドしつつ低速度で圧延し, 変形がほぼ定常状態になったと思われる位置で中止し, ただちにロールを逆転してビレットを取り出した。圧延されたビレットのロール間隙下に当たる部分をロール軸に垂直な平面で数カ所細いピアノ線を用いて切断し, その面内のflow-pattern

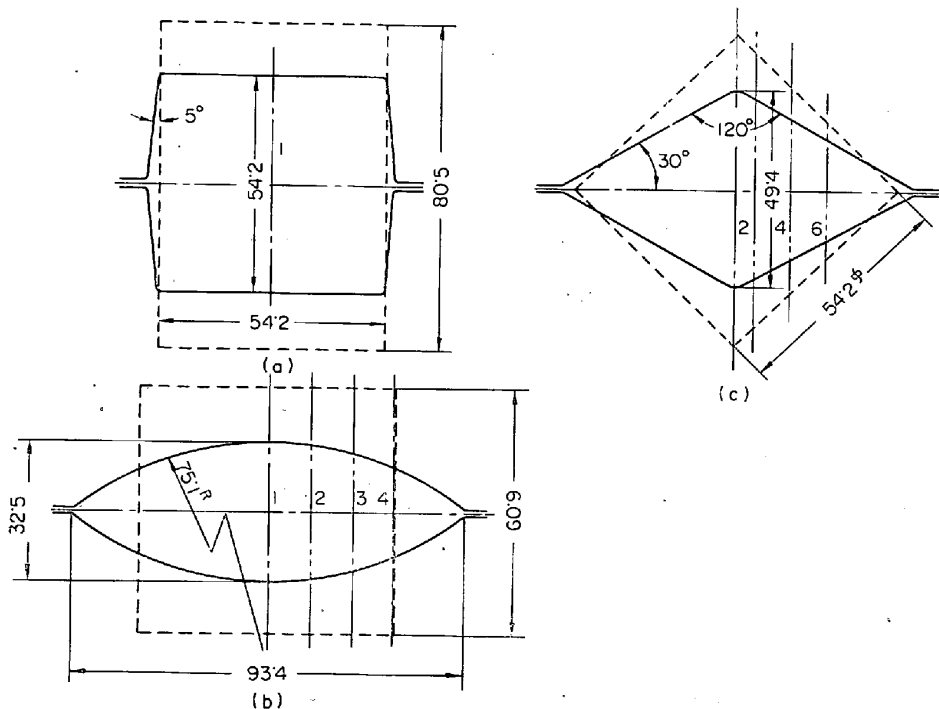


Fig. 1. The shape and dimension of roll-passes and billets: (a) box pass, (b) square-oval pass, (c) square-dia. pass.

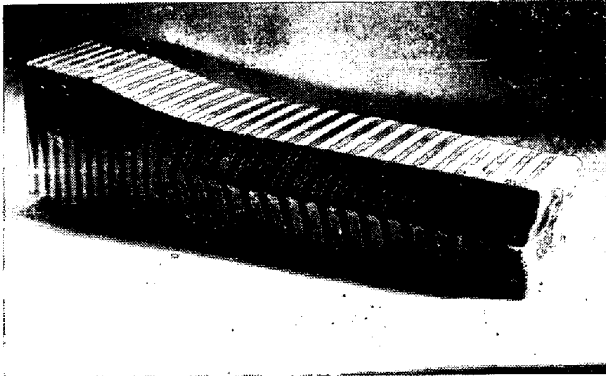


Photo. 1. Billet with transverse-vertical lamella after box-rolling.



Photo. 3. Billet with longitudinal-vertical lamella after box-rolling.



Photo. 2. Billet with horizontal-longitudinal lamella after box-rolling.

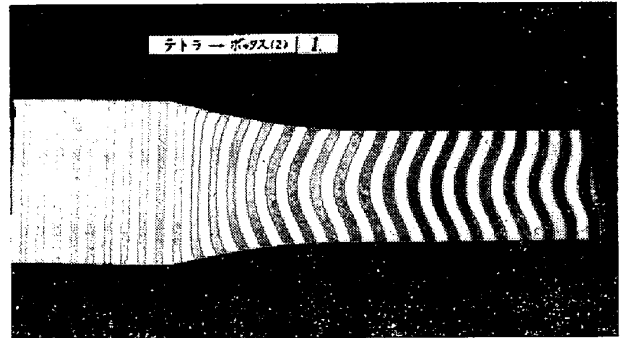


Photo. 4. Flow-pattern in the longitudinal-vertical plane of symmetry (refer to Photo.1).

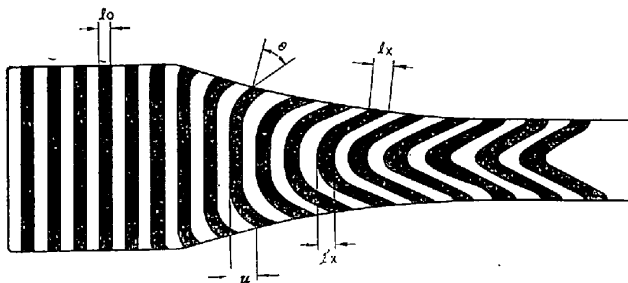


Fig. 2. Sketch illustrating analysis of flow-pattern: u : deflection of vertical line; $\epsilon_x = l_x/l - 1$: elongation strain; θ : shear angle on the contact surface.

を写真に撮り解析した。

3. 実験結果および検討

3-1 flow-pattern の解析法

Fig. 2 は flow-pattern の解析法を示したもので、① 圧延方向に垂直な縞の彎曲量 u 、② ビレットの表面および中心軸上での縞の間隔の変化率 (圧延方向の伸び歪み $\epsilon_x = l_x/l_0 - 1$)、③ ビレット表面上での縞の方向とロール表面の法線のなす角度 θ (剪断角度) などを測定した。

3-2 box 圧延

box 圧延はビレットの幅方向いずれの部分も圧下量が同じなので投影接触面は□形になっている。Photo. 1~3 は圧延後の各種ビレットの外観である。やや過充填になっている。Photo. 4 は Photo. 1 の中央断面における flow-pattern である。これを解析した結果を Fig. 3 にまとめて示した。

まず、縞の彎曲量 u (曲線 1) は咬込みと同時に生じてほぼ直線的に増加し、接触弧の約 2/3 進んだ位置で最大となり以後出口に進むにつれて減少している。すなわち出口側で若干曲げ戻されて出ていく。ビレット表面の圧延方向の伸び歪み ϵ_x (曲線 2) は咬込みの少し手前から生じ始め、接触弧の 1/5 の間に最終伸びの約 70% に到達し、接触弧の大部分の位置でそのまま変化せず出口近くでいつたんやや減少した後残りの約 30% の伸び変形を起こして出ていく。ここでビレット表面の伸びが停滞する範囲は明らかに固着 (adhesion) 領域である。これに対してビレットの水平中心面では (曲線 3) 咬込み点付近でまずいつたんやや縮んだ後、表面より約 20 mm 遅れて伸び始め、彎曲量の最大となる位置で表面の伸び歪みに追いついた後引き続き上昇して出口より少し手前で最終値に達する。この表面と中心面上の伸び歪みの一致する点は明らかにロール周速と材料の中心部の速度が一

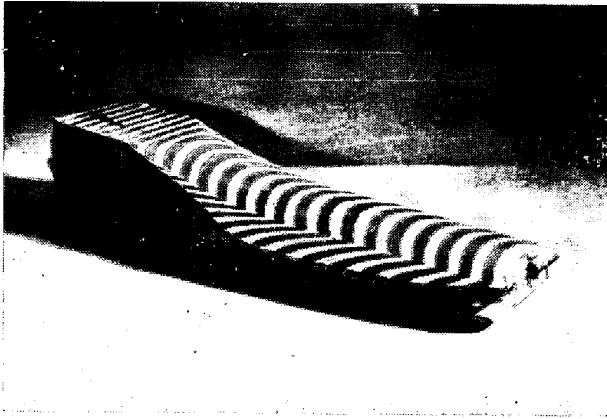


Photo. 5. Billet with transverse-vertical lamella after square-oval rolling.



Photo. 6. The same billet as photo 5. (view along normal direction of horizontal plane)



Photo. 7. Billet with horizontal-longitudinal lamella after square-oval rolling.



Photo. 8. Billet with longitudinal-vertical lamella after square-oval rolling.

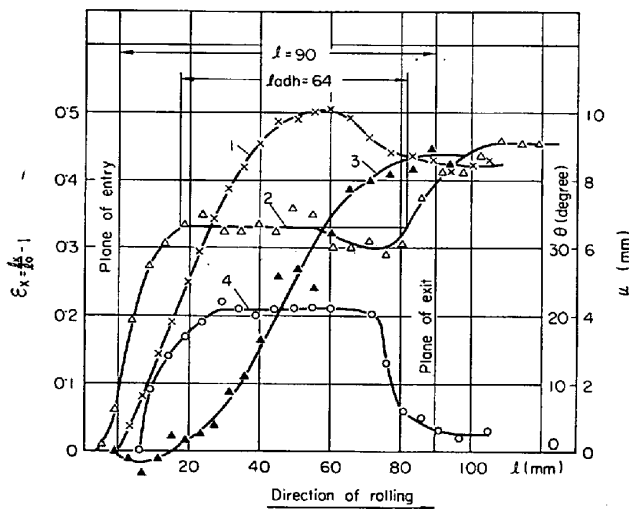


Fig. 3. Comparative graph of increasing deflection of vertical line u (1), elongation strain ϵ_x for elementary layers located on the contact surface (2) and in the horizontal plane of symmetry (3) and shear angle θ (4) all along the center of the width of the stock in the box pass.

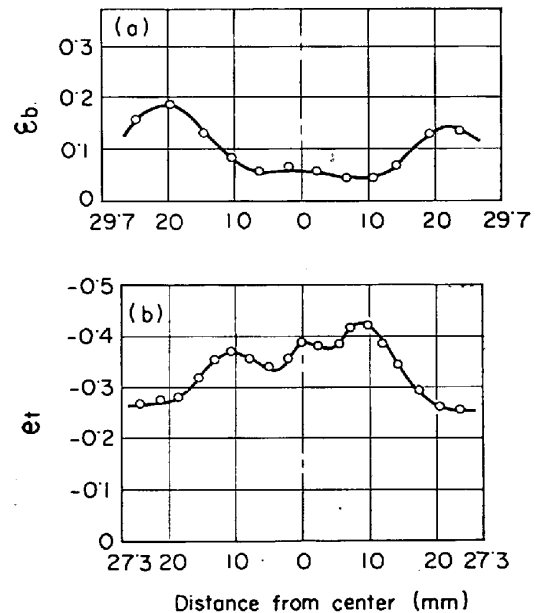


Fig. 4. The distributions of normal strain in the direction of spread ϵ_b along the horizontal axis of symmetry (a) and that in the direction of reduction ϵ_t along the vertical axis of symmetry (b) in the transverse-vertical cross-section of billet after box rolling.

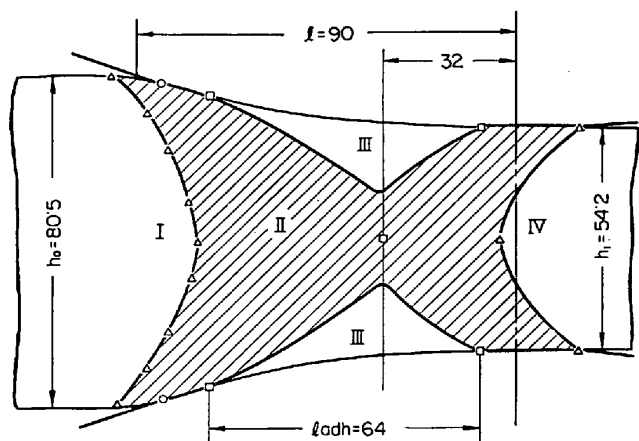


Fig. 5. Diagram of the deformation for box pass: I & IV : non plastic zone toward entry and exit side (elastic wedge), II : zone of plastic deformation with extension in the longitudinal direction, III : zones of restricted deformation.

致した点，すなわち中立点である。したがって縞の彎曲量もほぼ中立点で最大になることがわかる。ここで中心軸上伸び歪みが入口付近で負になることは実際の金属の熱間圧延においても存在することが報告されている¹⁾²⁾³⁾⁵⁾。

次に剪断角度 θ は咬込み点よりやや遅れて生じ急激に上昇し，接触弧の固着領域に相当する範囲でほぼ一定値を維持し，出口付近で急激に減少している。

Fig. 4 には圧延後のピレット横断面の水平対称軸上での幅方向の公称歪 ϵ_b および鉛直対称軸上の圧下方向の公称歪 ϵ_t の分布を示した。全体的にはほぼ均一な分布であるが， ϵ_b は端部近くで急に大きくなっている。 ϵ_t は中央部で大きく，ロールに接する部分では小さくなっている。

Fig. 5 は以上の解析結果より接触弧内での変形領域を推定した図である。図の斜線の部分は伸び歪みの上昇する領域すなわち塑性変形領域である。この結果は I. Ya. TARNOVSKII らの研究結果⁵⁾とよく似ている。

3.3 角一オーバル圧延

角一オーバル圧延はピレットの中央部より側端部に近い程圧下量が大きいので，接触弧の長さは端部に近いほど長い。したがって投影接触面の形状は凹形になっている。

Photo. 5~8 は各種の縞を持つピレットの圧延後の外観である。入口側の咬込み線が圧延方向（以後前方と呼ぶ）に彎曲しているのは凹型接触面であることを示している。Photo. 5~6 より圧延方向に垂直の縞は圧延方向と逆の方向（以後後方と呼ぶ）に彎曲していること，ロールと直接接触するピレットの上下の表面は圧延後もほ

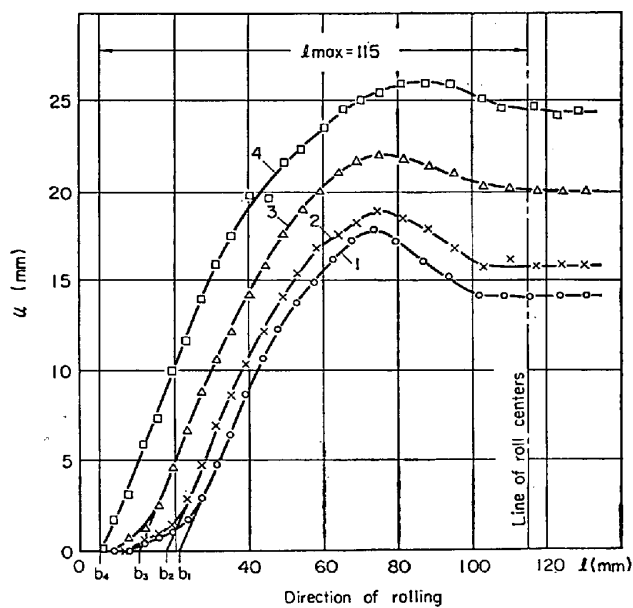


Fig. 6. Curves of the increasing deflection of vertical line u in the longitudinal-vertical cross-sections for square-oval pass:

1 : in the center of the width; 2 : at 10 mm from center; 3 : at 20 mm from center; 4 : at 30 mm from center and close to the edge of the width of the stock (refer to Fig. 1-b); b_1, b_2, b_3, b_4 : entry-point in each cross-section.

とんど幅拡がりを起こさず，幅拡がり側面の膨れ出しによつて起こり，その側面が倒れてロール表面に接するようになること，そのため側面の縞模様がロール表面に現われて圧延前の角材の菱線が圧延後も模様の不連続線として残ること，ピレットの上下面の縞模様が咬込み線を境に不連続的にぼけていることなどの特徴が明りようである。

Photo. 9~12 はロール軸に垂直な 4 個の面 (Fig. 1 の面 1~4) の flow-pattern である。Photo. 13~14 は圧延後のピレットの横断面の flow-pattern である。

Fig. 6 は各面内の彎曲量 u の変化するようすを示す。いずれも Fig. 1 の box 圧延の場合と類似の経過をたどつて接触弧の真中より出口側に最大点を有する。ここで彎曲量は圧下量の大きいピレット側端に近いほど大きいこと，最大点は側端に近いほど出口側に移行していること，ピレット中央では咬込みのかなり前から彎曲が始まっていることなどの特徴が明らかである。

Fig. 7 はピレット表面および水平中心面での圧延方向伸び歪み ϵ_x を各断面について測定した結果である。やはり Fig. 1 の box 圧延の場合と類似の経過をたどるけれども，ピレット表面ではすべての断面で第一段階の伸び歪みが最終歪の約 70% であること，入口側では接触面の形状にしたがつて伸びの始まる位置がずれている

が出口側の第2段階の伸びはほとんど同時に起こっていることなどの特徴がある。また、ビレット中心部の伸び歪みは咬込み点直下付近でいったん圧縮された後各断面でほとんど同時に伸び出し、側端に近いところでは途中小さな段を経て、出口の手前で伸びは最大となり出口付近では圧縮されている。これらの曲線の交点から求めた中立点はやはり Fig. 6 の彎曲量の最大点とだいたい一致している。

Fig. 8 は剪断角度で、ビレットの中央より側端に近いほど大きく、圧延後の剪断角度は中央では負値になり、側端に近いところでは正値になっている。また Fig. 7 より求められる固着領域と剪断角度がほぼ一定になる範囲はおおむね一致している。

Fig. 9 は圧延後のビレット横断面 (Photo. 13~14) の水平対称軸にそつての幅方向歪 ϵ_b と鉛直対称軸にそつての圧下方向歪 ϵ_t の分布である。 ϵ_b が著しく不均一分布を示し、側端の歪が非常に大きくなっている。これは側端では圧下率が最も大きい上、ロールに拘束されない自由表面が広いため端面近くの材料の幅方向への流れが特に大きいことによるものである。 ϵ_t の分布はロール表面に接するところは摩擦のため幅方向に流れにくいのに対し、中心部の流れが容易であることを示している。

Fig. 10は以上の解析結果より求めた角一オーバル圧延に対するロール間隙内での変形構造を示している。図中の曲線はすべて空間的な位置に存在するけれども、それらを圧延面 (水平面) に投影したものである。ビレットは図の左から右へ流れ、凹形の b 曲線より咬込まれる。ビレット表面は咬込み前の a の位置から伸び変形を開始するので、a はビレット表面の弾塑性境界である。c は剪断角度の生ずる位置で、ビレットはこの位置からロールと完全に接触していることを示している。d はビレットの水平中心面における伸び歪みの始まる位置で、これより手前で若干圧縮された後この位置より伸び出している。したがって a-d 間の距離は表面と中心との伸びの開始のずれを示し、弾性楔に相当する。ビレット中央の接触面の凹部は側端の凸部によつて特にビレット内部の伸び変形開始が早められていることがよくわかる。その結果凹部の弾性楔の長さが端の凸部のそれよりかなり短縮されている。これは接触面の凸部と凹部の相互作用が相当に著しいことを暗示している。すなわち凸部は凹部によつて変形を拘束され、凹部は凸部によつて促進されていることを示している。f は中立線であり、圧延方向の伸び歪みより求めた点 (黒丸) と彎曲量曲線より求めた点 (白角) とがおおむね一致しており、側端に近

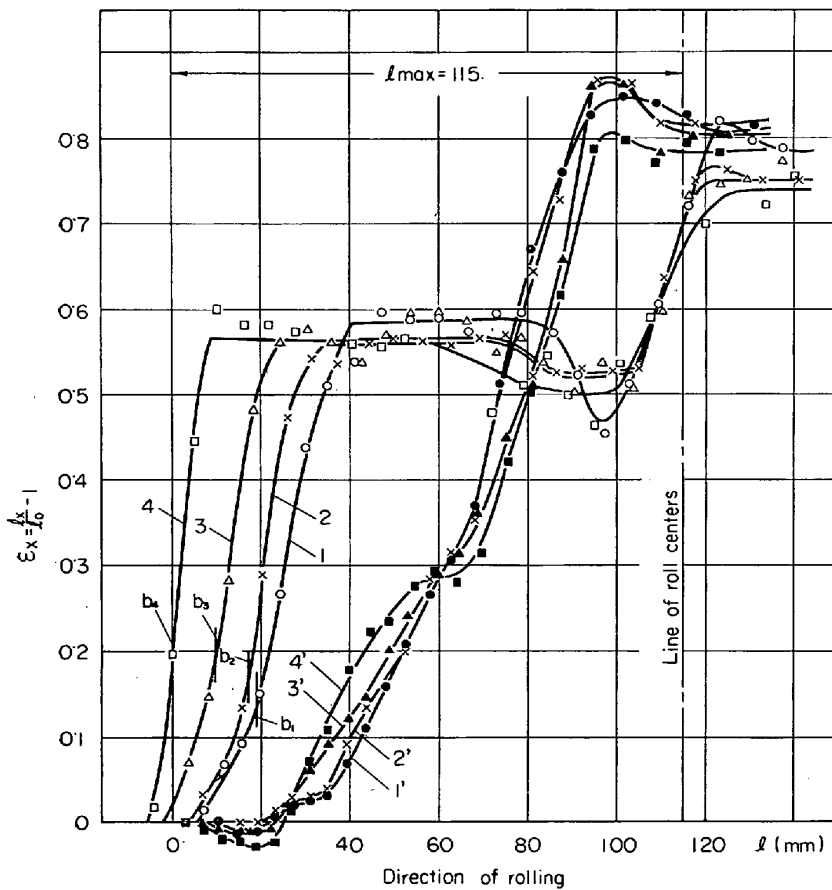


Fig. 7. Curves of the increasing elongation strain ϵ_x for the elementary layers located on the contact surface (1-4) and in the horizontal plane of symmetry (1'-4') for square-oval pass:
 1 & 1' : in the center of the width;
 2 & 2' : at 10 mm from center;
 3 & 3' : at 20 mm from center;
 4 & 4' : at 30 mm from center and close to the edge of the width of the stock.

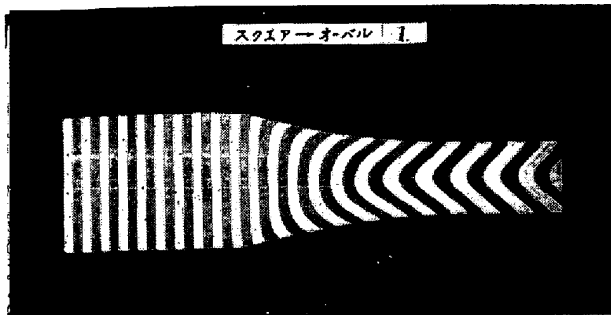


Photo. 9. Flow-pattern in the plane 1 of Fig. 1-b for square-oval pass.

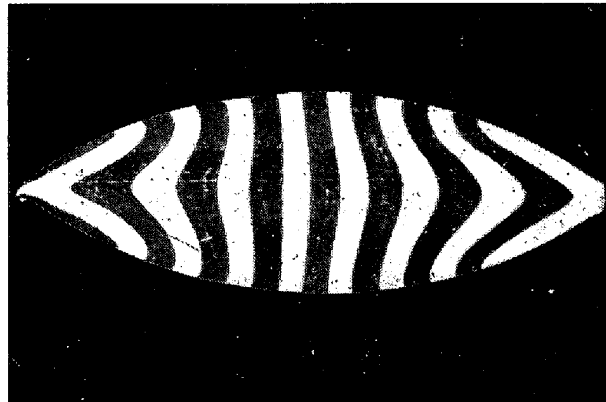


Photo. 13. Flow-pattern in the cross-section of billet after square-oval rolling. (refer to Photo. 8)

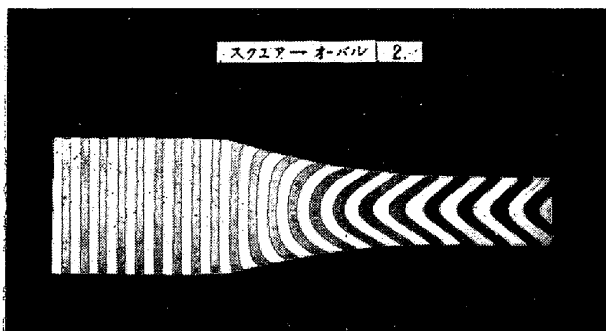


Photo. 10. Flow-pattern in the plane 2 of Fig. 1-b for square-oval pass.

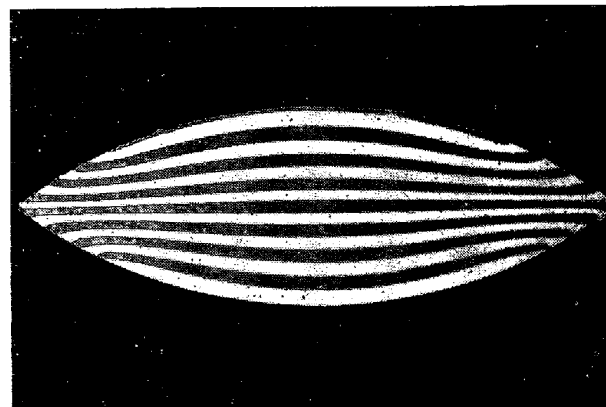


Photo. 14. Flow pattern in the cross-section of billet after square-oval rolling. (refer to Photo. 7)

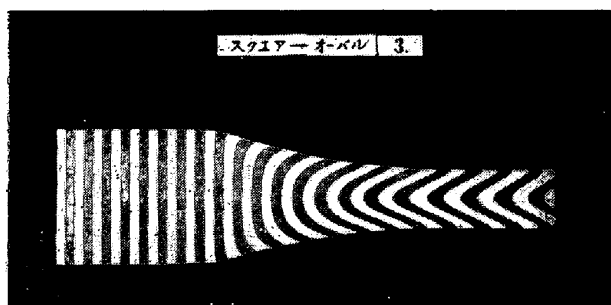


Photo. 11. Flow-pattern in the plane 3 of Fig. 1-b for square-oval pass.

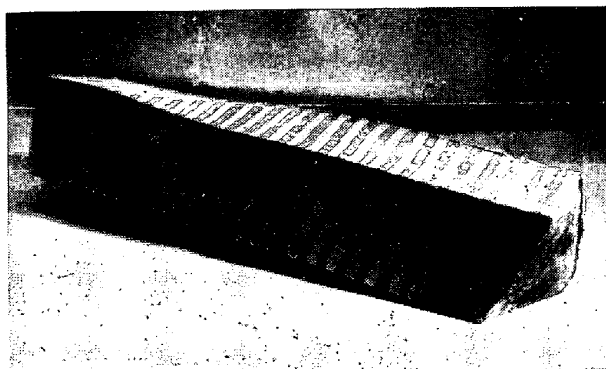


Photo. 15. Billet with transverse-vertical lamella after square-diamond rolling.

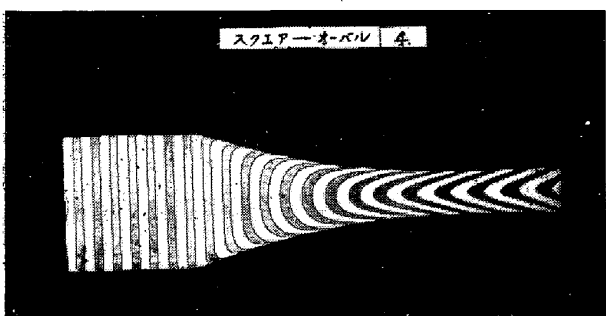


Photo. 12. Flow-pattern in the plane 4 of Fig. 1-b for square-oval pass.



Photo. 16. The same billet as Photo. 15 (view along normal direction of horizontal plane).

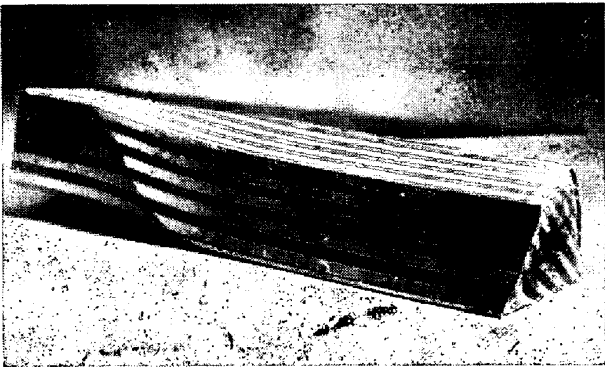


Photo. 17. Billet with longitudinal-vertical lamella after square-diamond rolling.

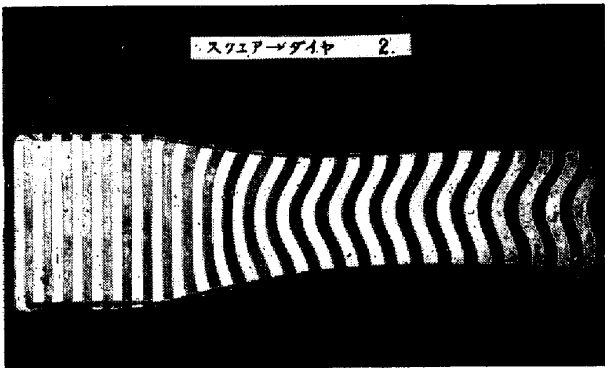


Photo. 18. Flow-pattern in the plane 2 of Fig. 1-c for square-diamond pass.

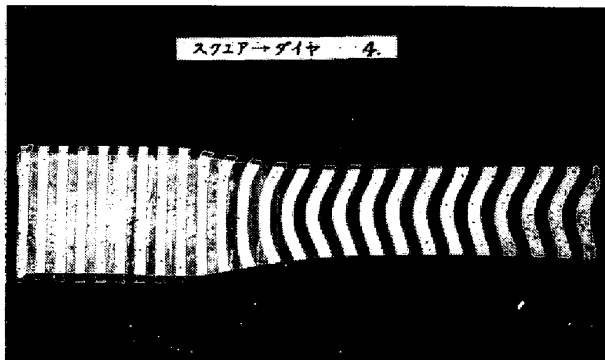


Photo. 19. Flow-pattern in the plane 4 of Fig. 1-c for square-diamond pass.

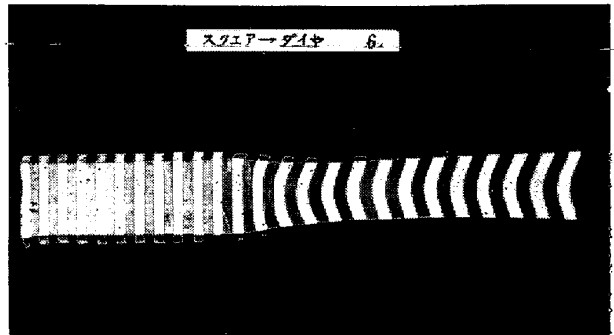


Photo. 20. Flow-pattern in the plane 6 of Fig. 1-c for square-diamond pass.

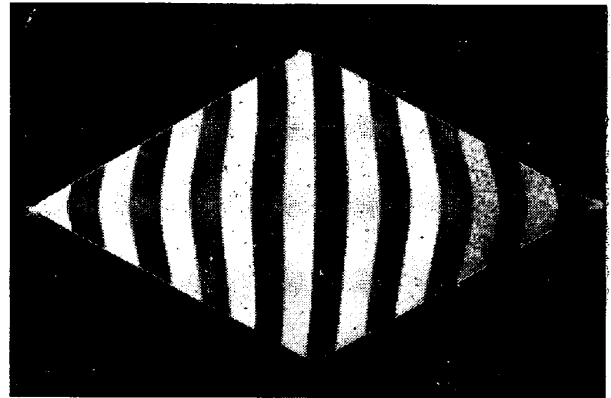


Photo. 21. Flow-pattern in the cross section of billet after square-diamond rolling. (refer to Photo. 17)

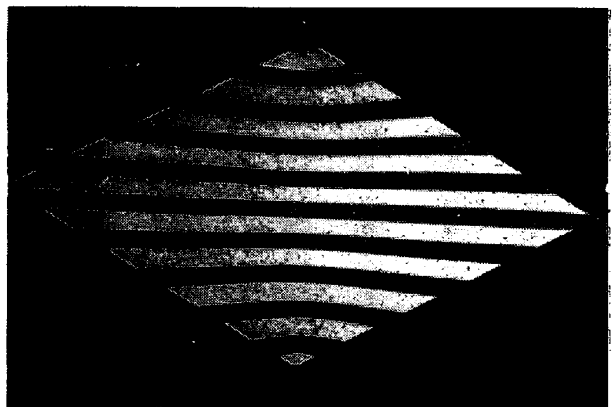


Photo. 22. Flow-pattern in the cross-section of billet after square-diamond rolling.

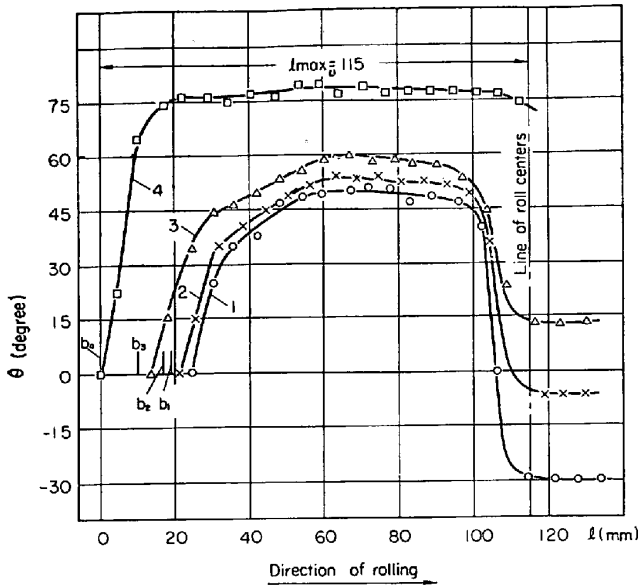


Fig. 8. Variation of shear angle θ along the arc of contact in each longitudinal-vertical plane for square-oval pass:
1, 2, 3, 4 : traverse location (refer to Fig. 6 or 7).

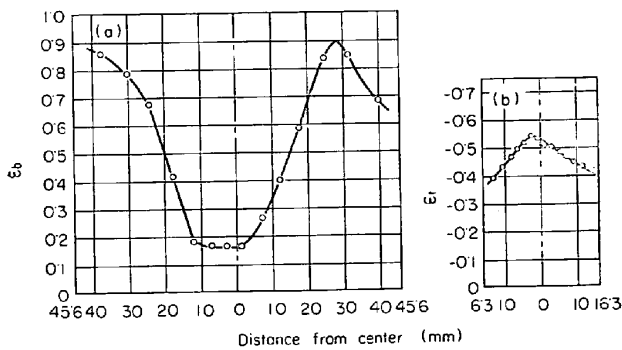


Fig. 9. The distributions of normal strain in the direction of spread ϵ_b along the horizontal axis of symmetry (a) and that in the direction of reduction ϵ_t along the vertical axis of symmetry (b) in the transverse-vertical cross-section of billet after square-oval rolling.

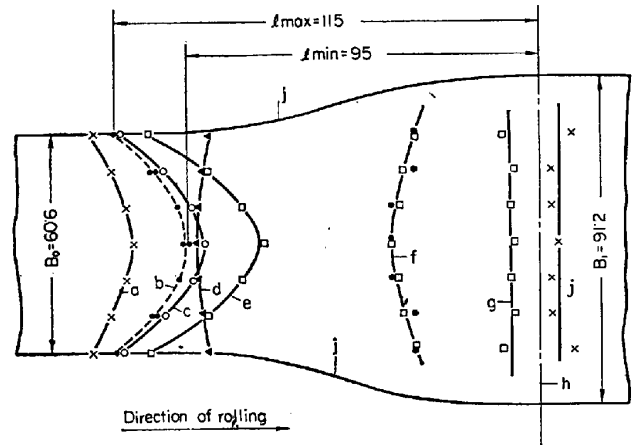


Fig. 10. Diagram of the deformation for square-oval pass (view along normal direction of horizontal plane): a & i : elasto-plastic boundary on the surface of the stock; b : boundary of contact surface; c : boundary across which shear strain arises on the contact surface; d : elasto-plastic boundary in the horizontal plane of symmetry; e & g : limiting lines between which adhesion occurs; f : neutral line; h : line of roll centers; j : contour of the stock.

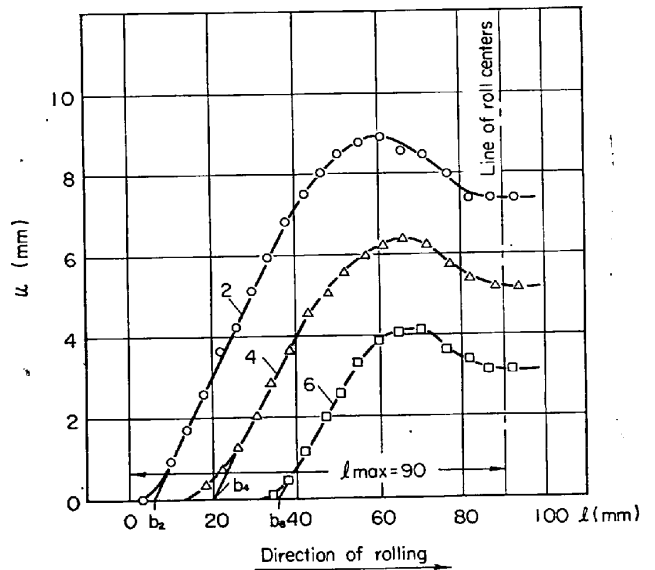


Fig. 11. Curves of the increasing deflection of vertical line u in the longitudinal-vertical cross-sections for square-dia. pass:
2 : at 4.5 mm from center of the width; 4 : at 13 mm from center; 6 : at 21.5 mm from center (refer to Fig. 1-c); b_2, b_4, b_6 : entry point in each cross-section

いところほど出口側に近づいている。これはロール周速が側端に近いほど大きいことが主な原因と考えられる。e と g によつて挟まれる領域は固着領域である。i はロール表面の出口側の弾塑性境界である。j はビレットの水平中心面における輪郭線であり、幅拡がりの大部分は d から f の間で起こっている。

3.4 角一ダイヤ圧延

角一ダイヤ圧延は角一オーバル圧延と対照的にビレットの中央部の方が圧下量が大きいので投影接触面の形状は凸形になっている。

Photo. 15~17 は各種の縞を持つビレットの圧延後の外観である。入口の咬込み線は鋭く後方に向かつて突出している。Photo. 15~16 より、圧延前に圧延方向に垂直な縞は接触面上では角一オーバル圧延と対照的に前方に彎曲していること、巾拡がりが非常に少ないこと、全体的に縞の変形が均一であることなどの特徴が明らかである。

Photo. 18~20 は Fig. 1 の 2 点鎖線 2, 4, 6 に対応する面内の flow-pattern である。すべて圧延に固有の pattern を示している。Photo. 21~22 は圧延後のビレットの横断面内の flow-pattern である。

Fig. 11 は各面内の彎曲量 u の変化するようすを示す。いずれも Fig. 1 の box 圧延の場合と類似している。この場合彎曲量は圧下量の大きいビレット中央部に近いほど大きいこと、角一オーバルの場合と同様に最大

点は側端に近いほど出口側に移行していることなどの特徴が明らかである。しかし彎曲量は角一オーバルに比較して非常に小さい。

Fig. 12 はビレット表面および水平中心面上の圧延方向の伸び歪み ϵ_x を各断面について測定した結果である。表面ではすべての面について 2 段階に伸びが起こり第 1 段階の伸びは最終伸びの約 70% になっていることは box 圧延、角一オーバル圧延と同様である。また、表面では咬込み点の位置にしたがつて伸びの開始点もずれているが、中心部の伸びがほとんど同時に始まることも角一オーバルと類似している。

Fig. 13 は各断面の剪断角度を示しているが、角一オーバルの場合より非常に小さい。しかし Fig. 11 の彎曲量とは逆に端に近いほど大きいのはやはりロール周速が端に近いほど大きいことと対応していると考えられる。なお、剪断角度がだいたい一定の領域は Fig. 12 の伸び歪みにより求められる固着領域とほぼ一致している。

Fig. 14 は圧延後のビレットの横断面内の幅方向歪 ϵ_b 、圧下方向歪 ϵ_t の対称軸上の分布である。角一オーバルの場合と異なつて幅方向歪 ϵ_b はビレットの中心と両端に低い山を持つ比較的均一な分布を示している。中心の山はここで圧下率が大きい為現われたものであり、端部は自由表面部の幅拡がりによるものである。 ϵ_t の分布は角一オーバルの場合と類似している。

Fig. 15 は以上の解析結果より求めた角一ダイヤ圧延

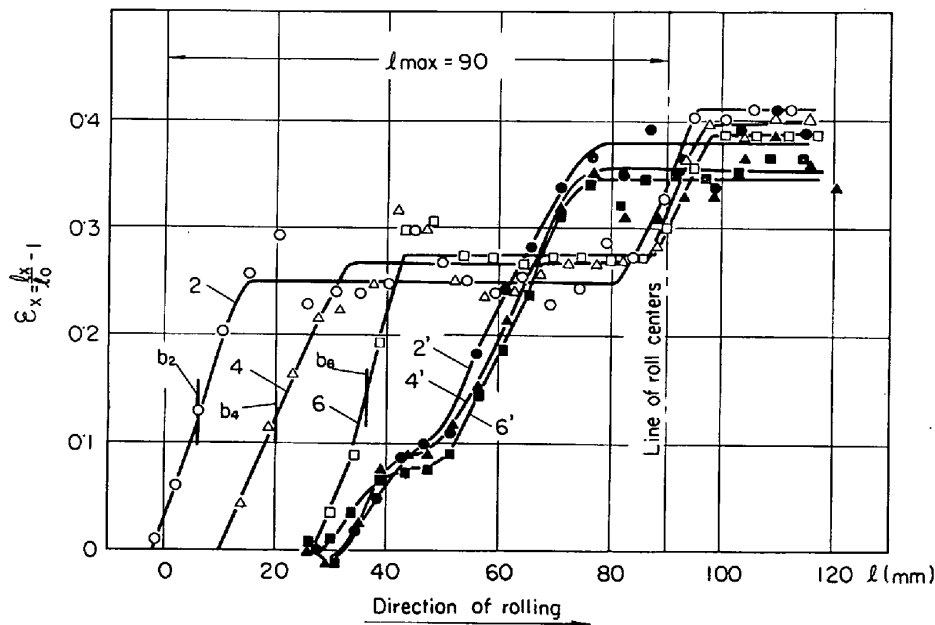


Fig. 12. Curves of the increasing elongation strain ϵ_x for the elementary layers located on the contact surface (2-6) and in the horizontal plane of symmetry (2'-6') for square-dia. pass: 2 & 2' : at 4.5 mm from center of the width; 4 & 4' : at 13 mm from center; 6 & 6' : at 21.5 mm from center.

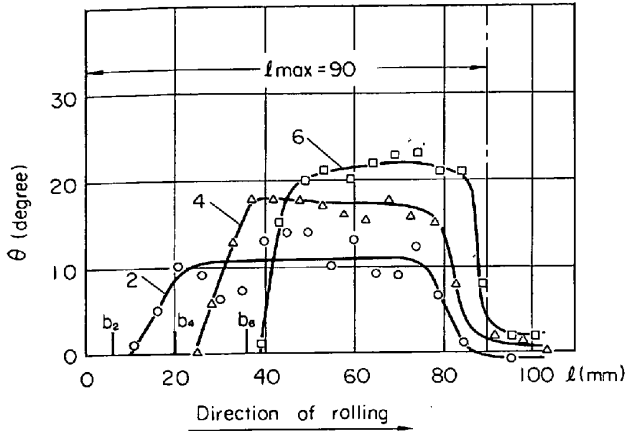


Fig. 13. Variation of shear angle θ along the arc of contact in each longitudinal-vertical plane for square-dia. pass:
2, 4, 6 : traverse location (refer to Fig. 11 or 12).

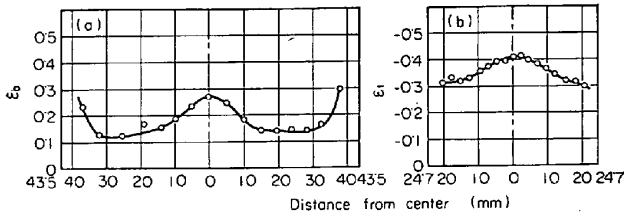


Fig. 14. The distributions of normal strain in the direction of spread ϵ_b along the horizontal axis of symmetry (a) and that in the direction of reduction ϵ_t along the vertical axis of symmetry (b) in the transverse-vertical cross-section of billet after square-dia. rolling.

に対するロール間隙内での変形構造である。ロール表面の伸び開始線 a および水平中心面での伸び開始線 d の形状より、ビレット中央の接触面の凸部の変形によつて側端に近いところの塑性変形が著しく促進されていることがわかる。したがつて凸部の変形はその両側の弾性材料によつて著しく拘束されていることが想像できる。f の中立線の形状が側端に近いほど出口側に寄つているのは角一オーバル圧延と類似しており、ロール周速が端に近いほど速いことによると考えられる。j の巾拡がりやはり a から f の間でほとんど起こつている。

4. 総 括

プラスチックを用いて鋼材の熱間孔型圧延の模型実験を行ない、孔型圧延の中で接触面の形状によつて分類した凹形接触面を持つ角一オーバル圧延、凸形接触面を持つ角一ダイヤ圧延および両者の中間的な□形接触面を持

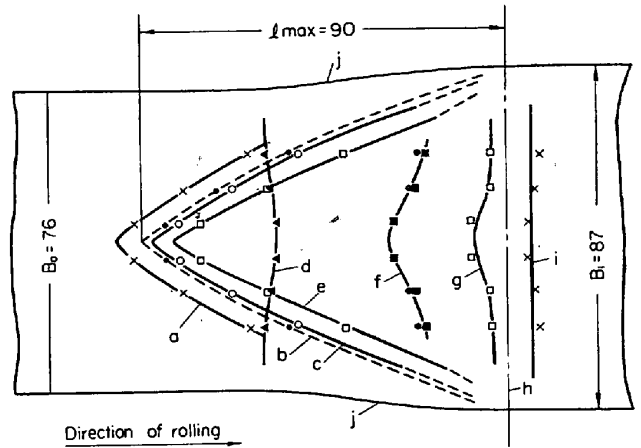


Fig. 15. Diagram of the deformation for square-dia. pass (view along normal direction of horizontal plane): a & i : elasto-plastic boundary on the surface of the stock; b : boundary of contact surface; c : boundary across which shear strain arises on the contact surface; d : elasto-plastic boundary in the horizontal plane of symmetry; e & g : limiting lines between which adhesion occurs; f : neutral line; h : line of roll centers; j : contour of the stock.

つ box 圧延について、ロール間隙内における材料の変形過程を明らかにした。その結果を要約すると次のとおりである。

(1) 圧延方向に垂直な縞のビレット表面における変形は接触面の形状によつて著しく異なり、凹形接触面の角一オーバル圧延では圧延方向と逆の方向に彎曲し、かつ圧延前のビレット側面が幅拡がりによつて膨れ出し、表面に現われるため複雑な形になる。それに対し角一ダイヤ圧延では圧延方向に彎曲するが、全体的に均一な変形である。box 圧延では彎曲は起こらない。

(2) 接触面に凹凸がある場合、凹形接触面の凹部や凸形接触面の端に近いところ、すなわち遅れて変形を受ける部分は凸部すなわち早く変形される部分との相互作用によつて変形が促進され、特にビレット内部の弾塑性境界が後方に移動し、したがつて弾性楔の長さが短縮される。この効果は逆に凸部の変形がその隣接する凹部の弾性部分により拘束されていることを示している。したがつてこの相互作用は凸形接触面では特に著しいと考えられる。

(3) 中立点はビレットの表面と水平中心面での圧延方向の伸び歪みの等しい位置から求められたが、この位置は圧延方向に垂直の縞の彎曲量が最大となる位置と常によく一致していた。このようにして求めた中立線の形

状は、接触面とは無関係に圧延方向と逆の方向に彎曲していた。これは中立線の形は主としてロール周速の巾方向の分布によつて決まることを暗示している。

(4) 熱間圧延では接触面のいかにかわらず、接触面のうち入口および出口付近の狭い帯状の部分以外では固着が起こっている。

(5) 幅拡がりは入口側でピレットの水平中心面が塑性変形を始める位置から中立線までの領域でほとんど起こる。

(6) 圧延後のピレット横断面内の幅方向の歪分布は凸形接触面を持つ圧延では比較的均一であるが、凹形接触面を持つ圧延の場合、端部の幅拡がりによつて端部で非常に大きくなり不均一分布になる。

本研究の遂行に当たつてピレットの作製および圧延作業の大部分を担当された千野達吉氏に謝意を表す。

文 献

- 1) N. METZ: Arch. Eisenhüttenw., (1927)
- 2) S. EKELEND: Steel, 93 (1933)
- 3) L. WEISS: Z. Metallkunde, 20 (1928)
- 4) E. OROWAN: Proc. I. Mech. E., 150 (1943), 4
- 5) I. Ya. TARNOVSKII, A. A. POZDEYEV and V. B.

LYASHKOV: Deformation of Metals during Rolling, (First English Edition 1965), [Pergamon Press]

- 6) C. W. MACGREGOR and L. F. COFFIN, JR.: J. of Appl. Mech., (1943), March
- 7) H. MEYER and F. NEHL: Stahl u. Eisen, 45 (1925)
- 8) E. COTEL: Über die Begleiterscheinung des Walzuorganges, (1924) 636, [Montan Rdsch.]
- 9) B. B. HUNDY: J. Iron & Steel Inst. (U.K.)
- 10) C. W. MACGREGOR: T. P. No. 1036, Metals Technology, (1938) April
- 11) J. M. CAPUS and M. G. COCKCROFT: J. Inst. Metals, 90 (1961-62)
- 12) 五弓勇雄, 斎藤好弘: 日本金属学会誌, 29 (1965) 10
- 13) 柳本左門: 塑性と加工, 2 (1961) 9
- 14) A. P. GREEN: Phil. Mag., 42 (1951) 327, April
- 15) 栗野泰吉, 落合正男: 名古屋工業技術試験所報告 6-1 (1957)
- 16) 栗野泰吉: 塑性と加工, 1 (1960), 3
- 17) United Steel Co. Ltd.: Roll Pass Design, (1960), Percy Lund. Humpheries & Co. Ltd.