

サテライトミルによるU形およびH形異形線の圧延

河本 達也*・宇都宮 裕*²・齋藤 好弘*²

Rolling of U-shaped and H-shaped Wires by the Satellite Mill

Tatsuya KAWAMOTO, Hiroshi UTSUNOMIYA and Yoshihiro SAITO

Synopsis : The round circular wires are mainly net-shaped into various profiled wires by rolling or drawing, to be further worked for electronic parts, springs, piston rings and rails. These processes require a large number of mill stands, roll passes or dies. Authors have developed a new type of compact continuous mill named the satellite mill. In this satellite mill rolling, longitudinal compressive stress significantly decreases the elongation and promotes transverse metal flow. This elongation-constrained effect of the satellite mill was confirmed in the previous study for rolling of flat and T-shaped profiled wires using open passes. In this study, the satellite mill with closed passes is applied to production of U-shaped and H-shaped profiled wires. The obtained rolling characteristics and hardness are compared with those by a conventional rolling method. It is shown that the satellite-mill rolling is able to form much higher ribs in products than a conventional rolling method and has advantage in the ability to fill the metal into the roll grooves. The elongation-constrained effect is more enhanced in using closed passes than open passes. This type of mill is considered to be suitable for production of profiled wires with complex cross sections.

Key words : wire rolling ; satellite mill ; caliber rolling ; closed pass ; profiled wire ; U-shaped wire ; H-shaped wire ; deformation characteristics.

1. 緒言

異形線は各種電子部品、ばね、ピストンリング、レールなどの素材として用いられる。その製造法は主として素材丸線からのユニバーサルミルによる圧延およびローラーダイスやタークスヘッドによる引抜き加工であり、十数パスの加工を必要とする。

著者らは、サテライトミルと称する小型の連続圧延機を開発している¹⁻³⁾。この圧延機は材料の延伸が抑制され、断面内のメタルフローが促進されることを特徴とする。すなわちサテライトミル圧延では、断面を成形するのに必要な延伸は通常の圧延に比べてかなり小さい。

前報⁴⁾では、開式孔型を用いたサテライトミル圧延により平線およびT形異形線を成形し、通常圧延法に比べて極めて大きな幅広がりとりブ高さが得られることを報告した。またその延伸抑制効果はリブの幅が狭いほど顕著であった。

これに対して閉式孔型を用いる場合は、断面内の幅方向流動が孔型によって拘束されるため、サテライトミルによる延伸抑制効果がどれほどであるのかはまた興味深いところである。くわえてサテライトミル圧延では5つの圧延箇所が1つの中心ロールを共用するため、中心ロールに溝型を加工すれば、大きな圧縮力が作用しても蛇行を生じることがなく、安定な圧延が期待できる。そこで本報では閉式

孔型を用いてU形およびH形異形線の成形を試み、圧延特性、製品特性を調査したので報告する。

2. 実験装置および実験方法

2.1 供試材

まず直径5mmの市販の電気用軟銅線(JIS C3102)のコイルから長さ1mの試料を切り出し、引張塑性ひずみを約1%与えることにより矯正した。矯正後の試料径は4.97mmであった。

つぎにその試料をロール径100mmの平ロールで1パス圧延して平線形状のプリフォームに成形した。これは、試料の幅が孔型の溝幅より小さい場合に発生する蛇行やパスラインの中心からのずれ、すなわちオフセンターを防止するためである。厚さは3.24mm、全幅は5.9mmのプリフォーム材に成形し、サテライトミルに供した。

2.2 サテライトミル

実験に使用した圧延機は前報と同一であるので本論文では概略のみ記す。サテライトミルでは、1本の中心ロール(直径350mm)の外周上に5本の衛星ロール(直径76mm)が等間隔に配置されている(Fig. 1)。材料は中心ロールと衛星ロールの間をガイドシューによって案内されながら5段の連続圧延を受ける。中心ロールと各衛星ロールを同じロー

平成9年8月20日受付 平成9年11月26日受理 (Received on Aug. 20, 1997; Accepted on Nov. 26, 1997)

* 大阪大学大学院生 (Graduate Student, Osaka University, 2-1 Yamadaoka Suita 565-0871)

* 2 大阪大学大学院工学研究科 (Graduate School of Engineering, Osaka University)

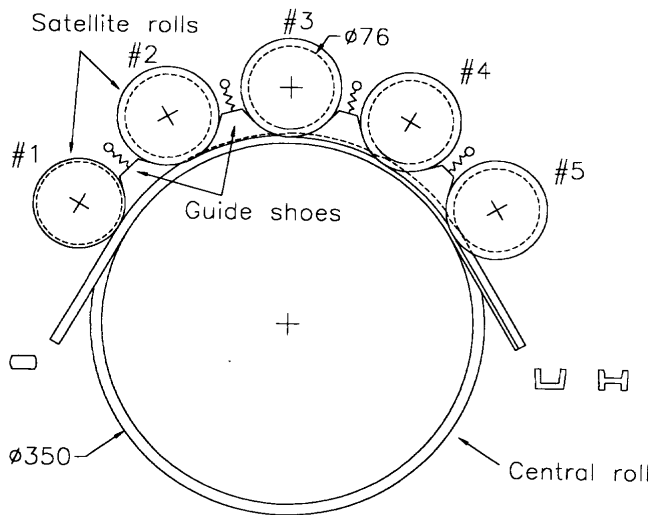


Fig. 1. Diagrammatic representation of the satellite mill.

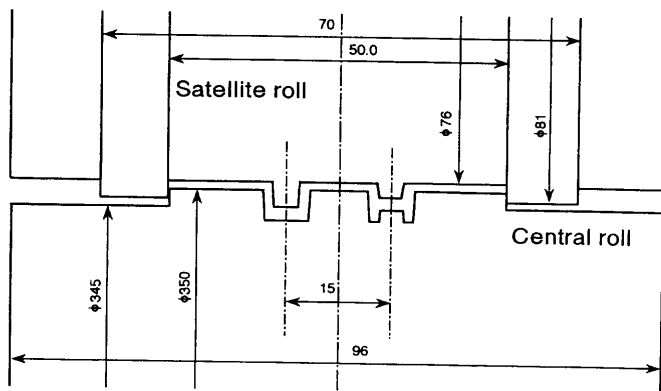


Fig. 2. Rolls and roll passes used.

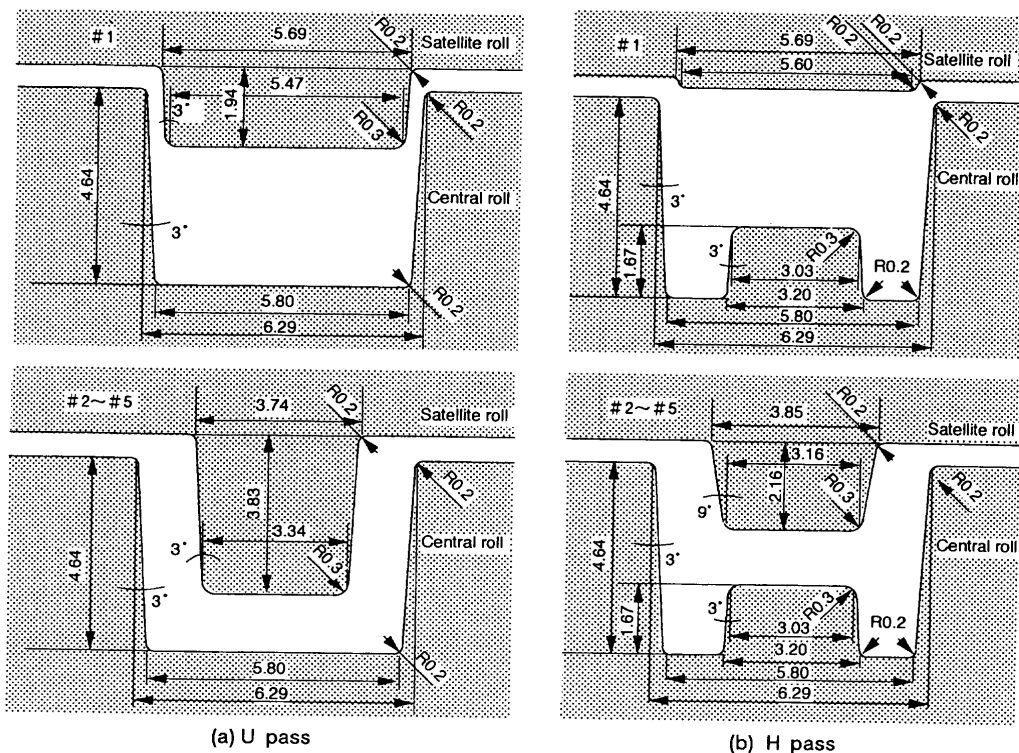


Fig. 3. Roll passes used.

ル周速で駆動することにより材料の圧延方向の延伸が抑制される。なお各衛星ロール間にはサイドガイドが設けられているが、本研究では、閉式孔型を用いるため、サイドガイドは使用しなかった。

2・3 ロール孔型形状

Fig. 2に示すように2本の溝を加工した中心ロールと突起を加工した衛星ロールの間で閉式孔型を構成した。中心ロールは胴長の中心から操作側、駆動側にそれぞれ7.5mm離れた位置にU形異形線用とH形異形線用の溝を加工し、衛星ロールはそれぞれに対応する突起を設けた。したがってH形の孔型では、中心ロール側にデッドホール(袋孔)、衛星ロール側にリブホール(開き孔)を有することになる。本研究では中心ロールの周速と衛星ロールの周速はピッチライン(中心ロールφ350、衛星ロールφ76)で同一になるようにした。

孔型の詳細図をFig. 3に示す。U形、H形ともに中心ロールの孔型の溝は幅5.80mm、深さ4.64mmとした。U形、H形ともに1段目はピンチロールとして用いて、スキンプラス圧延を行う。成形が行われる2段目から5段目までの4段の孔型はそれぞれ同一の孔型形状とし、ロールギャップを下流ほど減少するように設定することにより、中央部の板厚を減少させ所望の異形線に成形する。中心ロール、衛星ロールともに3°もしくは9°の抜き勾配を設け、突起および溝のコーナー部にはR0.2およびR0.3の角丸みを設けた。以後、U形およびH形断面の中央の部分を「ウェブ」、両端の部分を「リブ(フランジ)」と称することとする。

2・4 圧延方法

各段圧下率を、各段におけるウェブ部(薄肉部)の板厚減少率と定義する。圧下率配分については、U形、H形ともに、1段目はピンチロールとして用いるため圧下率は0%とし、2段目以降の各段圧下率はすべて20%とした。この場合、全圧下率は59%すなわち製品のウェブ部厚さは1.33mmとなる。ロール周速は1.3m/minとし、潤滑には鉱油ベース圧延油(出光 CU-50)を用いた。

定常圧延に達した後、圧延を中断して噛み止め材を採取し、各段通過後の横断面プロフィールを測定した。またプリフォーム材からの延伸率、リブ高さなどの変形特性を求めた。さらに各段通過後の材料速度、各衛星ロールの圧下力を測定した。加えて製品特性として横断面内の硬さ分布を測定し、マクロ組織を観察した。

なお比較実験として、同一のロールによる通常圧延の実験も行った。この場合、サテライトミルの1段のみを用いて同一のパススケジュールで5パスの圧延を行った。したがってこの場合は異径同周速圧延である。

3. 実験結果

3・1 変形特性

サテライトミル圧延(s.r.)および通常圧延(c.r.)の断面プロフィールの推移をFig. 4に示す。いずれの断面形状についてもサテライトミル圧延では通常圧延に比べて、横断面の面積が大きく、リブの高さはかなり高い。この違いは3段目以降で顕著に見られる。しかしながらU形およびH形ともにリブの先端は孔型に完全には充満していない。U形異形線の場合、リブ下部の角部はサテライトミル圧延材では充満しているが、通常圧延材では未充満である。H形異形線の場合、サテライトミル圧延材においても通常圧延材と同様に上部リブは下部リブに比べて高く、材料はリブ下部のデッドホ

ールよりリブ上部のリブホールの方に流れやすいことがわかる。

各段(サテライトミル圧延)または各パス(通常圧延)通過後のプリフォームからの延伸率をFig. 5に示す。通常圧延では圧延の進行とともにほぼ直線的に延伸率が増加しているのに対して、サテライトミル圧延では3段目、4段目で延伸は全く生じない。さらにH形異形線の場合、5段目においても延伸は生じないことがわかる。

つぎに各段または各パス通過後のウェブ厚さ h_w およびリブ高さ h_r 、(H形の場合は上下のリブ高さの和 $h_t + h_b$)の推移をFig. 6に示す。通常圧延ではパスとともにほぼ直線的にリブ高さは増加するが、サテライトミル圧延ではU形では3段目と4段目で、H形では3段目から5段目でリブ高さが特に増加している。これは、Fig. 5の延伸率の推移と対応しており、延伸が抑制される段でリブ高さが増加している。

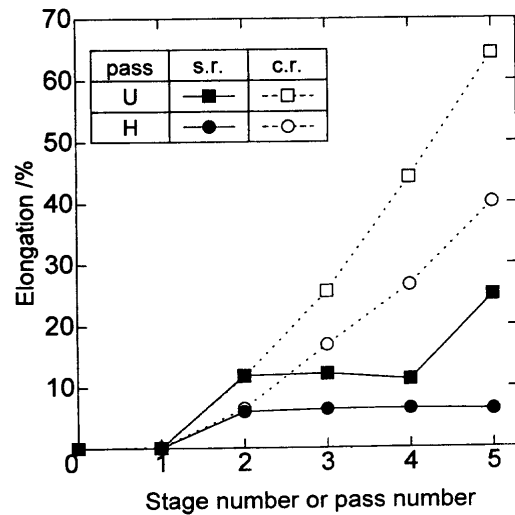
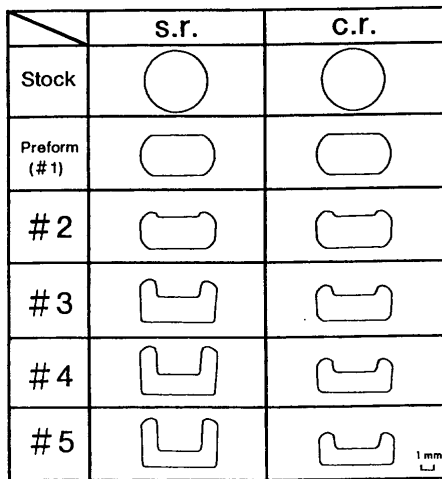
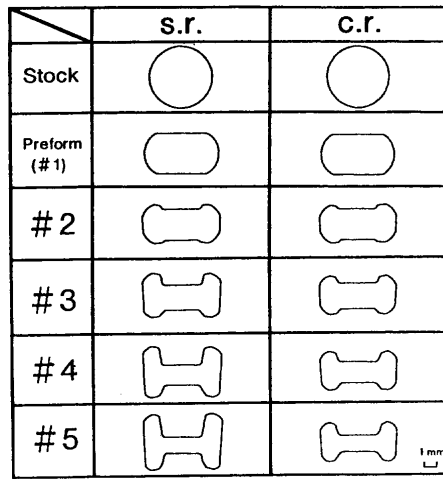


Fig. 5. Variations of elongation during satellite rolling (s.r.) and five-pass conventional rolling (c.r.) with U pass and H pass.



(a) U pass



(b) H pass

Fig. 4. Successive changes in cross section during satellite rolling (s.r.) and those during five-pass conventional rolling (c.r.).

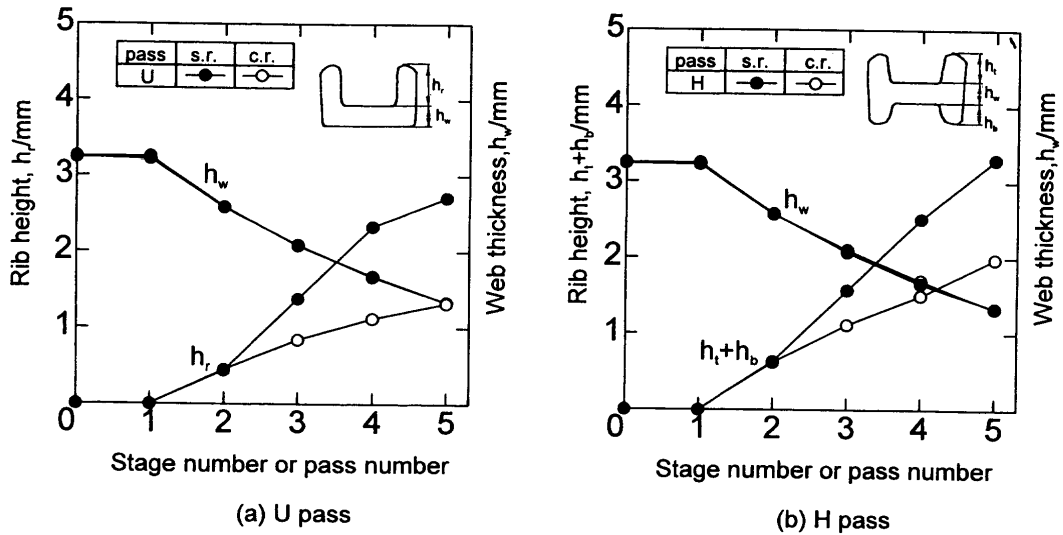


Fig. 6. Variations of rib height and that of web thickness during satellite rolling (s.r.) and five-pass conventional rolling (c.r.).

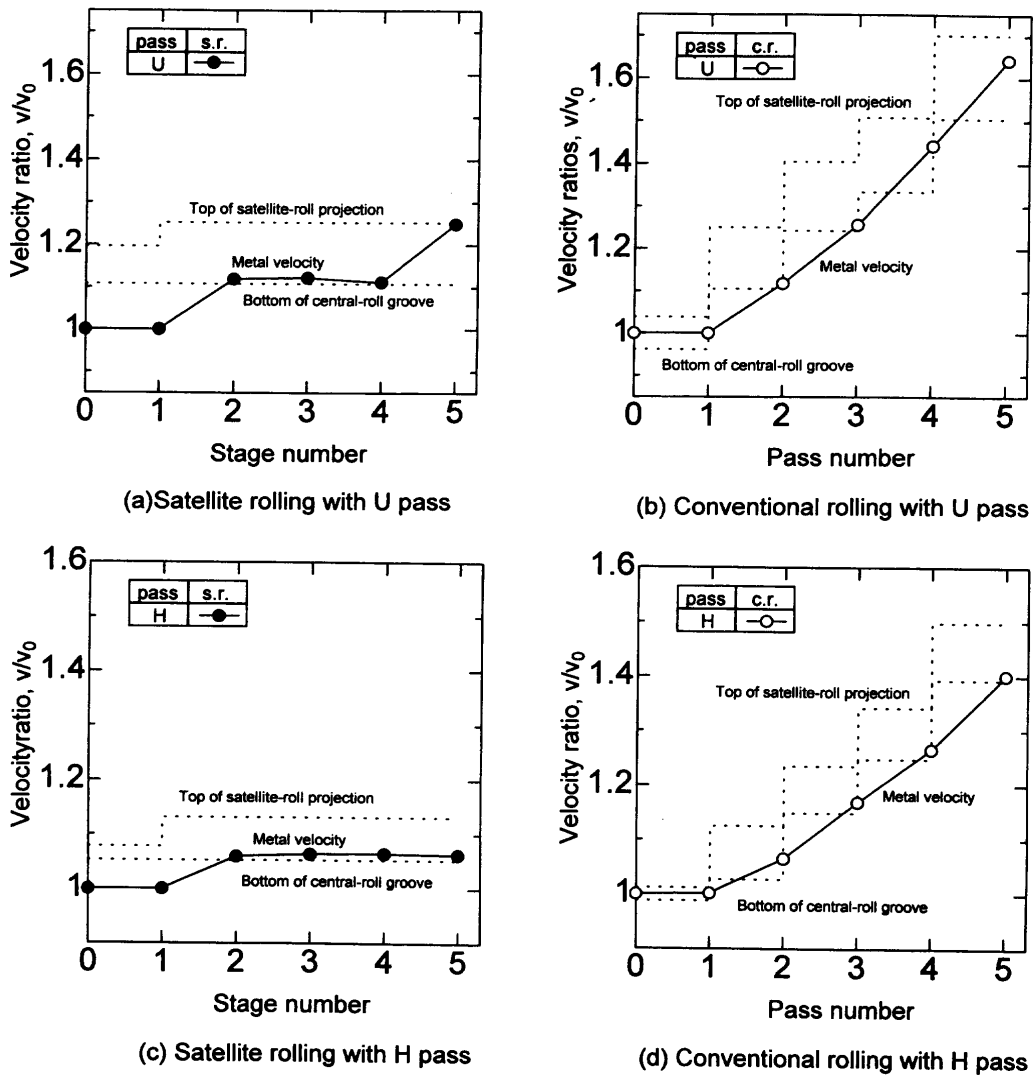


Fig. 7. Variations of velocity ratios during satellite rolling (s.r.) and five-pass conventional rolling (c.r.).

3・2 先進特性

各段または各パス通過後の材料の速度とロール周速との関係をFig. 7に示す。ここで速度は圧延機の入口における材

料速度によって無次元化して示した。実線は材料の速度を、破線は中心ロールの溝底および衛星ロールの突起先端におけるロール周速を示している。通常圧延では、材料の速度

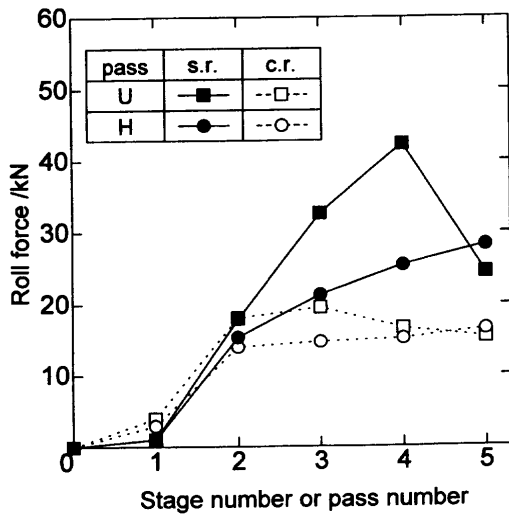


Fig. 8. Roll force on each stage in satellite rolling (s.r.) and that on each pass in five-pass conventional rolling (c.r.).

はすべてのパスで中心ロールの溝底のロール周速に対して中立点を有するが、衛星ロールの突起先端のロール周速より遅い。一方、サテライトミル圧延では衛星ロールの突起先端のロール周速に対しては、材料の速度はすべての段でロール周速より遅い。また中流段の材料の速度は中心ロールの溝底のロール周速とほぼ同じである。

3.3 負荷特性

サテライトミル圧延における各段の衛星ロールの圧下力と通常圧延の対応する各パスの圧下力をFig. 8に示す。通常圧延ではピンチロールとして用いた1段目を除いて、圧下力はほぼ一定である。サテライトミル圧延の圧下力はU形の場合、4段目をピークとする分布を示し、H形の場合は下流段ほど圧下力は高い。またサテライトミル圧延の圧下力は、通常圧延の圧下力より高く、その比は、U形で最大約2.5倍、H形で最大約1.7倍である。

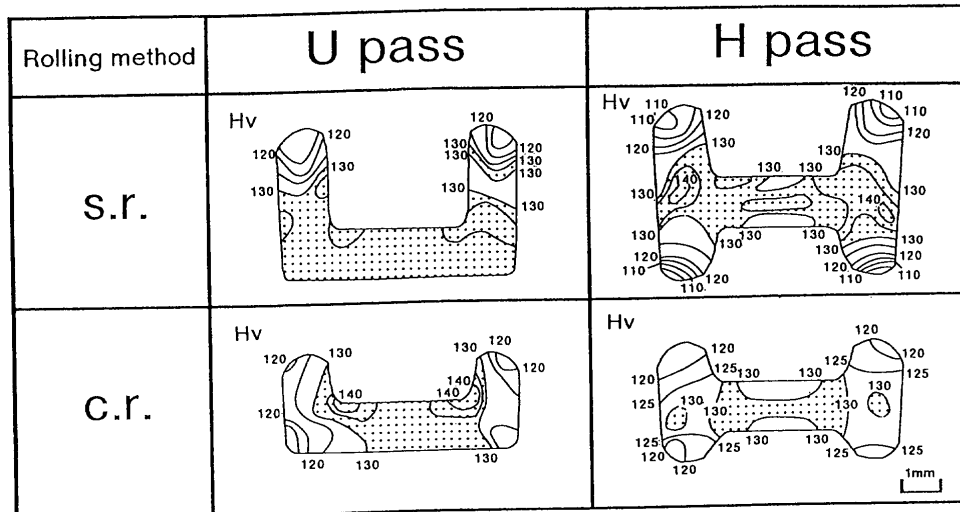


Fig. 9. Micro Vickers hardness distribution in cross sections of products by satellite rolling (s.r.) and those by five-pass conventional rolling (c.r.).

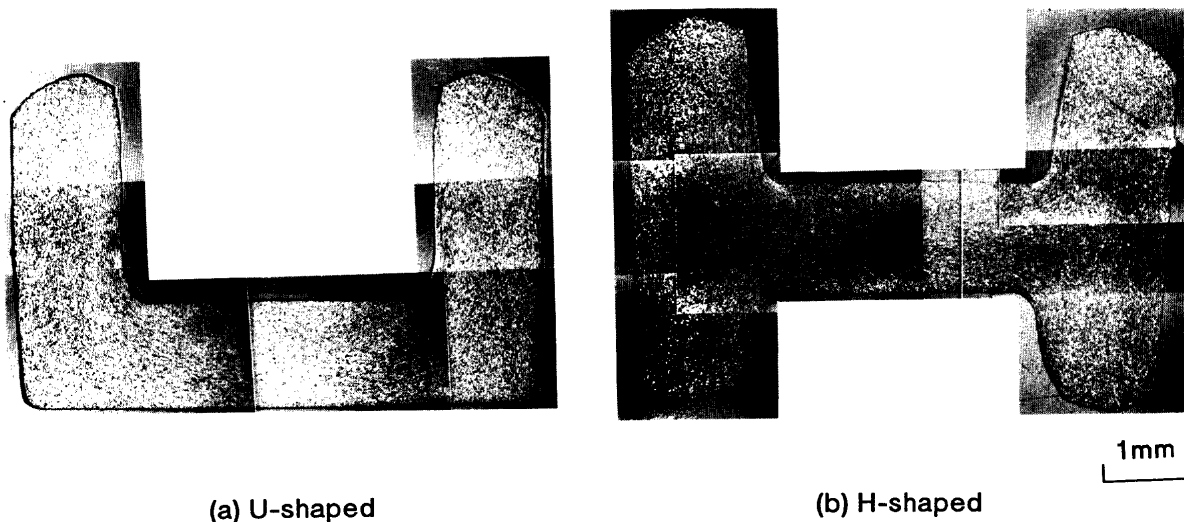


Fig. 10. Macrostructure of products by satellite rolling (s.r.) with U pass and with H pass.

3・4 製品特性

横断面内のピッカース硬さ分布をFig. 9に示す。U形では、サテライトミル圧延材と通常圧延材のどちらもウェブの隅部が最も高く、リブの先端や通常圧延材では未充填であるウェブの角部が低い分布を呈する。H形については、いずれの圧延材ともにウェブの両端部が最も高く、リブ先端が小さい。またサテライトミル圧延材の方が通常圧延材より硬さ分布は、おおむね不均一である。

サテライトミル圧延材および通常圧延材の横断面内マクロ組織写真をFig.10に示す。U形およびH形ともにリブの内側、ウェブの隅部、両端部、板厚中心部といった広範囲にわたって顕著なグレインフロー(フローライン)が観察される。

4. 考察

サテライトミル圧延ではすべての段の衛星ロールが中心ロールとピッチラインにおいて等周速となるように駆動されているため、圧延時に材料の圧延方向に大きな圧縮力が作用し、通常の圧延と比較してかなり延伸が抑制される。上述の結果はこの延伸抑制効果が閉式孔型を用いた場合、より顕著に現れることを示している。これは閉式孔型を用いる場合、サテライトミル圧延では材料が孔型により充填する結果、長手方向の流れが中心ロールによって大きく拘束されるためである。そのため、サテライトミル圧延では中流段での材料速度は中心ロール溝底のロール周速とほぼ同じとなる(Fig. 7)。延伸抑制効果は孔型の形状にも影響される。サテライトミル圧延と通常圧延の全延伸率の比は、U形では39%、H形では16%となり、延伸抑制効果はU形よりH形の方が大きいことがわかる。この孔型形状による違いは特に5段目で顕著に見られる。これはU形の場合には、5段目では前方に衛星ロールがないため拘束が小さくなるのに対して、H形の場合には、材料のリブが中心ロールのデッドホールに深く食い込んでいるため5段目でも前方に強く拘束されるためと考えられる。

製品断面内の硬さ分布はサテライトミル圧延材の方が通常圧延材に比べておおむね不均一であった。これはサテライトミル圧延の方が延伸が小さいため、付加的ひずみの少ないリブの先端では結果的に相当ひずみ(有効ひずみ)が小さくなり、横断面内に大きな相当ひずみの分布が生じるためと考えられる。硬さ分布の高い部分とグレインフローの顕著な部分はほぼ一致している。これに対して通常圧延材

では延伸が大きく、断面内でのひずみ分布も小さいため、比較的均一な分布を示す。

以上のことより、閉式孔型を用いる場合、サテライトミル圧延では、通常圧延と比較して延伸が特に大きく抑制され、横断面内のメタルフローが促進されることが明らかになった。したがってサテライトミル圧延の適用により、素材断面積を小さくすることができ、少ないパス回数で製品の形状を得ることができる。特にサテライトミル圧延の効果は、デッドホールを有する複雑な断面形状の異形線を成形する場合に有効であると考えられる。

5. 結言

閉式孔型を用いたサテライトミル圧延によりU形およびH形異形線を成形する場合の圧延特性、製品特性について調査した結果、以下の結論を得た。

(1)サテライトミル圧延では、延伸が著しく抑制され、横断面内のメタルフローが促進されるため、通常圧延に比べてU形およびH形異形線とともに断面のリブ高さは著しく高い。

(2)サテライトミル圧延ではU形およびH形異形線とともに材料の速度は、中心ロールの溝底の周速に支配され、中流段(3, 4段)では中心ロールの溝底の周速とほぼ同じ速度である。

(3)U形およびH形異形線の横断面内の硬さのピークはウェブの隅部、両端部に存在し、リブの先端部の硬さは低い。また、硬さの高い領域ではメタルフローが大きく顕著なグレインフローが観察される。一般にサテライトミル圧延材の硬さ分布は、通常圧延のそれと比べておおむね不均一である。

最後に、本研究を遂行するにあたり、日本鉄鋼協会より平成7年度石原・浅田研究助成金を、また、住友電気工業(株)特殊線事業部より材料のご提供をいただいたことを付記し謝意を表します。

文 献

- 1) 宇都宮裕, 齋藤好弘: 鉄と鋼, 80 (1994), N613.
- 2) 宇都宮裕, 齋藤好弘, 森田耕成: 塑性と加工, 36 (1995), 68.
- 3) H.Utsunomiya, Y.Saito, T.Hayashi and T.Sakai: J.Mater. Eng. Perform., 6 (1997), 319.
- 4) 齋藤好弘, 宇都宮裕, 平田健二, 岡 景則: 鉄と鋼, 83 (1997), 431.