

© 1990 ISIJ

//////////

論 文

//////////

サイアロンセラミックロールの特性と 冷間圧延性能

中川 師夫*・祖父江昌久*・田口 三夫*²

Characteristics of Sialon Ceramic Roll and Its Performance in Cold Rolling

Mitsuo NAKAGAWA, Masahisa SOBUE and Mitsuo TAGUCHI

Synopsis :

Steel rolls have been predominantly adopted for cold rolling of thin strip. They, however, appear to be approaching the limit of rolling performance.

To provide rolls with performance levels that steel can never attain, the use of ceramics has been studied, because ceramics generally possess higher hardness, larger Young's modulus than those of steel and a nonadhesion property to rolled strip, etc.

In this work, sialon ceramic was selected and its characteristics and performance in cold rolling were examined.

Results obtained were as follows :

- (1) The rolling fatigue strength was higher than 2.8 GPa.
- (2) 25% thinner gage under 9% lighter load was obtained in rolling mild steel.
- (3) 30% glossier rolled surface was obtained in rolling stainless steel.

Key words : ceramics ; sialon ; rolling mill rolls ; cold rolling ; rolling load ; wear resistance ; collapse strength ; rolling fatigue strength.

1. 緒 言

近年、工業製品の高級化はすべての分野で活発に展開され、それはますます加速される傾向にある。金属の冷間圧延の分野においても例外ではなく、製品の極薄化に伴い、板厚寸法や光沢度などに優れた高精度圧延へのニーズが強くなっている。それに対応して板の形状制御能力はハイテクミルの開発・普及により大幅に向上した。しかし、ロールは従来より鋼が主流で進歩に乏しく、圧延性や耐摩耗性の点でその限界近くにきている。従って高精度圧延へのニーズを充たすためには従来にない新技術、新材質による高性能ロールの開発が必要である。

本研究は、セラミックスが鋼に比較して一般に高硬度、高弾性、耐熱性、低熱膨張、緻密な組織及び金属との非凝着性に優れているという特長に着目し、高性能な冷間圧延用ロールの開発を目的として行ったものである。

本報告ではセラミックロールの材質選定、セラミックロールの製造と強度特性及び試験ミルによる二、三の圧

延実験結果について述べる。

2. セラミックロールの材質選定

一般に構造用セラミックスとして使われているものには、アルミナ、ジルコニア、炭化けい素、窒化けい素、サイアロンなどがある。これらの常圧焼結セラミックスについてデータブック¹⁾を参考にして諸特性をまとめ、Table 1 に示す。

一方、薄板の冷間圧延用ロールとして必要な主特性を列挙すると下記のごとくなる。

- (i) 弾性係数が大きく、ロールが変形しにくいこと。
- (ii) 強度や靱性が大きく、破壊しにくいこと。
- (iii) 硬度が高く、摩耗しにくいこと。
- (iv) 熱衝撃抵抗が大きく、耐事故性に優れていること。
- (v) 金属と凝着しにくく、表面光沢の優れた圧延製品が得られること。
- (vi) 焼結性に優れ、常圧焼結によっても緻密なロールが得られること。

平成元年 4 月本会講演大会にて発表 平成元年 6 月 28 日受付 (Received June 28, 1989)

* (株)日立製作所日立研究所 工博 (Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd., 832-2 Horiguchi Katsuta Ibaraki pref. 312)

*² (株)日立製作所日立研究所 (Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.)

Table 1. Comparative properties of typical engineering ceramics.

Items	Unit	Materials					Remarks
		Al ₂ O ₃	ZrO ₂	SiC	Si ₃ N ₄	Sialon	
Specific gravity	—	3.9	6.0	3.1	3.2	3.2	R. T. 3 point bending
Vickers hardness	GPa	16	12	24	16	18	
Flexural strength	MPa	390	1 150	570	740	920	
Fracture toughness	MPa√m	3.7	8.5	4.3	5.9	6.7	
Young's modulus	GPa	360	210	410	290	300	R. T. ~1 000°C Water quench : ΔT In general ditto
Poisson's ratio	—	0.21	0.33	0.16	0.26	0.25	
Thermal expansion coefficient	×10 ⁻⁶ /°C	7.9	9.5	4.2	3.2	3.0	
Thermal shock resistance	°C	210	310	450	700	710	
Adhesion to metal	—	Easy	Easy	Easy	Hard	Hard	
Degree of sintering	—	Good	Good	Bad	Fair	Good	

以上に列記したロールとして必要な主特性と Table 1 に示した各セラミックスの特性値を比較すると、アルミナは焼結性に優れているにもかかわらず強度や熱衝撃抵抗が低く、また、金属と凝着しやすいためロールとしては不適である。ジルコニアは強度は Table 1 に示したセラミックスのうち最も大きいですが、ヤング率が小さく、また、硬度も低いので冒頭で述べた開発目的に合わない。炭化けい素はヤング率が大きく、また、硬度も高く、薄板の高精度圧延には適した特性を有しているが、焼結しにくく、かつ脆いという欠点を有するため、これまでに開発された製造技術で冷間圧延のごとく苛酷な条件のもとで使用されるロールへの適用は難しい。窒化けい素とサイアロンは類似の特性を有し、冷間圧延用ロール材として目的に適した材料と思われる。しかし、総合的に見ると強度、靱性及び焼結性などでサイアロンが勝っており、Table 1 に示した材料のうち、サイアロンは冷間圧延用ロール材として最適なセラミックスであると判断し、サイアロンに絞って開発を進めることにした。

3. 実験方法

3.1 サイアロンロールの製作

Fig. 1 にサイアロンロールの製作工程を示す。以下にその詳細を述べる。

出発原料は、85 wt% Si₃N₄、7 wt% Y₂O₃、5 wt% Al₂O₃ 及び 3 wt% AlN である。これに原料粉に対して 1.4 wt% の PVB (ポリビニルブチラール) と 40 wt% の工業用メタノールを加えて、ポットミルで 4 h の湿式混合をしたのち、遠心噴霧式スプレードライヤーを用いて、平均粒径 65 μm の造粒粉を得た。成形は冷間静水圧プレスを用いて 100 MPa の圧力で行った。次に脱脂炉を用いて成形体中の樹脂分を除去した後、黒鉛誘導加熱式の焼成炉を用いて、0.9 MPa の加圧窒素ガス中で焼成を行った。焼成後のサイアロンは Si_{5.5}Al_{0.5}O_{0.5}N_{7.5} の化学式で示される組成を持つものである。最後に焼結体を機械加工して所定のロール寸法に仕上げた。

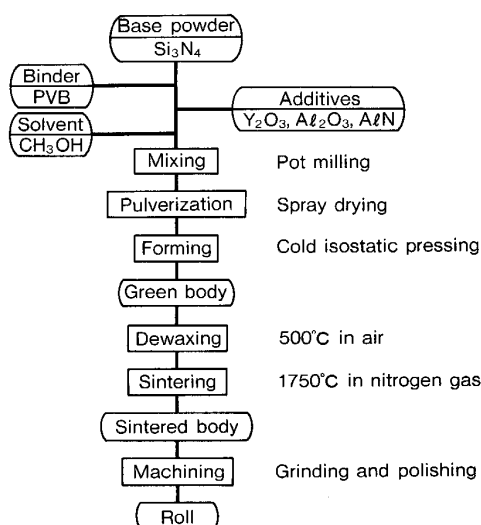


Fig. 1. Production process of sialon ceramic roll.

また、各試験片は Fig. 1 に示したロールと同じ工程で製作した。

3.2 強度特性試験

(1) 圧壊強度

供試材としては市販のアルミナ、炭化けい素、超硬合金、ダイス鋼、軸受鋼とサイアロンを選んだ。試験片として直径 40.0 mm、幅 5.0 mm のものを各 5 個製作した。試験方法としては、幅 5 mm の円板状試験片に半径方向から圧縮荷重を加える方法を採用した。試験機には 1 GN のアムスラー万能試験機を用いた。荷重速度は 10 mm/min とした。なお、荷重負荷用具との接触応力の局部集中を避けるため、治具と試験片の間にケント紙を挟んで試験をした。

(2) 転動疲労強度

試験片としては Fig. 1 の工程で製作したサイアロンとし、Fig. 2 (a) に示す寸法に仕上げた。また相手材としては市販の高速度鋼を選び、Fig. 2 (b) のごとく加工をした。試験機の最大荷重が 3 kN であり、相手材の幅を試験片と同じく 8 mm とした場合には所定の接触圧力

が得られないため、相手材の接触幅を 3.0, 3.5, 4.0 mm の 3 種類とした。また、相手材の硬さはピッカース硬さで 9 GPa 以上になるように熱処理を行った。試験機としては西原式転動摩耗試験機を用い、下側に試験片、上側に相手材をつけて下側のみを駆動し、上側の相手材は接触面内の摩擦力により従動させた。接触圧力の算出には HERTZ²⁾ の式を用いた。すなわち、HERTZ の理論によると、二つの円板が軸を平行にして接触した場合の最大接触圧力は次式により求められる。

$$P_{max} = \sqrt{\frac{P}{\pi W} \left[\frac{E_1 \cdot E_2}{E_1(1-\nu_2^2) + E_2(1-\nu_1^2)} \right] \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}}$$

..... (1)

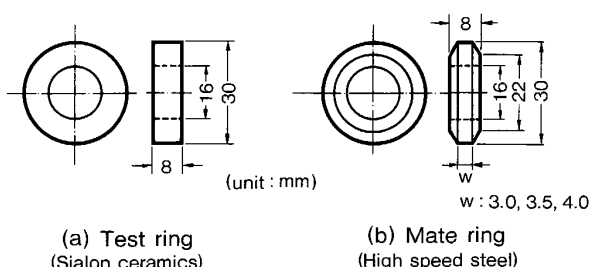


Fig. 2. Shape and dimension of test and mate rings in rolling fatigue test.

Table 2. Condition of rolling fatigue test.

Test No.	Load : P (kN)	Contact width : W (mm)	Maximum contact pressure : P _{max} (GPa)
1	1.5	4.0	1.47
2	2.0	4.0	1.70
3	2.5	4.0	1.90
4	3.0	4.0	2.09
5	3.0	3.5	2.38
6	3.0	3.0	2.77

ここに、 P_{max} は最大接触圧力、 P は荷重、 W は接触幅、 E_1 は円板 1 のヤング率、 E_2 は円板 2 のヤング率、 ν_1 は円板 1 のポアソン比、 ν_2 は円板 2 のポアソン比、 R_1 は円板 1 の半径、 R_2 は円板 2 の半径である。

試験は Table 2 に示すごとく、(1)式により計算される最大接触圧力を 6 段階に変えて行った。また、試験片の回転数は毎分 800 回とし、90 番のタービン油を滴下しながら試験をした。

(3) 曲げ強度

供試材は Fig. 1 の工程で製作したサイアロンとし、直径 40 mm の円柱の断面から軸方向に 22 本採取したのち、JIS-R1601 の曲げ強度測定方法及び JIS-B0621 の形状及び平行度に従って加工した。また、曲げ強度は JIS-R1601 の 4 点曲げ強さ試験方法に準拠し、室温で測定した。試験機としては島津製オートグラフ DSS-5000 を用い、クロスヘッドスピードは 0.5 mm/min とした。

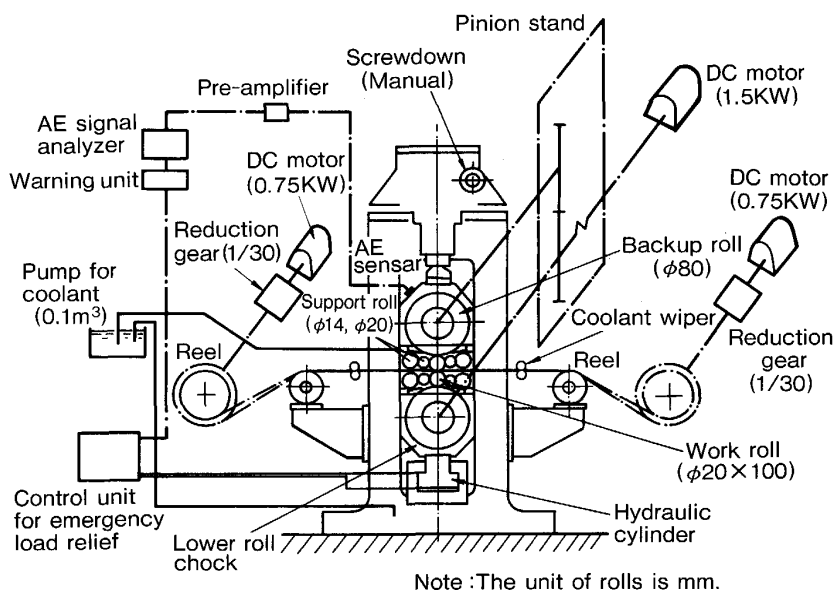
3.3 試験ミルによる圧延実験

(1) 試験ミルの概要

圧延実験に用いた試験ミルの構造を Fig. 3 に示す。

本試験ミルはセラミックロールの低強度、低靱性を考慮して設計したもので、構造上、次のような特徴を有している。

(i) 基本的には 1 対のワークロールと 1 対のバックアップロールからなる 4 段圧延機であるが、ワークロールは Fig. 4 に示すごとく単純な円柱状としている。従って、ワークロールは大きな剛性を有するバックアップロール上の梁と考えられ、圧延中に作用する曲げ応力は小さい。ワークロールの位置決めは圧延方向に対しては



Note :The unit of rolls is mm.

Fig. 3. Test mill for cold rolling.

ワークロール前後の各2対のサポートロールにより、また、軸方向に対してはボールプッシュで支持する機構としている。ワークロールは駆動せず、バックアップロール駆動による摩擦力でワークロールを回転し圧延する。

(ii) 圧延事故による絞り込みや、過負荷によるワークロールの損傷を想定し、その波及拡大を防止する機構を設けた。すなわち、上ロールチョックに AE センサーを取り付け、ワークロールにクラックや剝離が生ずると緊急遮断用油圧源制御装置が作動し、60 ms 以内に除荷し、ミルの運転を停止する。

(2) 供試ロール

圧延実験に使用するワークロールの形状、寸法を Fig. 4 に示す。ロール材としてはサイアロン、軸受鋼及びダイス鋼の3種類を選んだ。サイアロンロールは Fig. 1 に示した工程により製作した。仕上げ加工には #270~#5000 のダイヤモンド砥石及び 3 μm のダイヤモンドペーストを用いて、Fig. 4 の表面粗さを目標とした。軸受鋼及びダイス鋼ロールは市販のもので、Fig. 4 のごとく仕上げられ、ピッカース硬さは軸受鋼ロールが 8.5 GPa、ダイス鋼ロールが 9 GPa である。

(3) 圧延実験 (1)

被圧延材には軟鋼 (SPCC 材、板厚 0.4 mm、板幅 28 mm) を用いた。本実験は圧延性の評価を目的とし、圧下量 0.02 mm で圧延前後の板厚変化がなくなるまで繰り返し圧延を行い、各パスの板厚及び圧延荷重を測定した。圧延速度は 3 m/min、前後面張力は 0、クーラントは 10% ソルブル油、また、圧延にはサイアロンと軸受鋼ロールを用いた。

(4) 圧延実験 (2)

被圧延材にはステンレス鋼 (SUS 304 材、板厚 0.6 mm、板幅 20 mm) を用いた。実験は、同一スケジュールでロールを替えて圧延した場合の、圧延荷重と圧延品の光沢度の差を調べる目的で行った。圧延にはサイアロンとダイス鋼ロールを用いた。圧延は板厚が 0.60→0.45→0.35→0.28→0.23→0.195 mm となるように5パスで行った。また、平均張力として 450 MPa を与えた。圧延速度及びクーラントは圧延実験 (1) と同じである。圧延品の光沢度は、村上色彩技術研究所製の光沢度

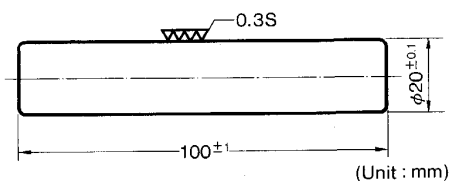


Fig. 4. Shape and dimension of test roll.

計 GM-26D 型を用いて、入・反射角 60° で鏡面光沢度を圧延方向とその直角方向について測定した。

4. 実験結果

4.1 強度特性

(1) 圧壊強度

圧壊強度は圧延ロールに要求される強度の中で最も基本的で重要なものである。一般に線圧 (ロールの単位胴長当たりの圧延荷重) という形で評価されているので、ここでも線圧でデータを整理した。試験結果を Fig. 5 に示す。これより圧壊強度はダイス鋼が最も高く、アルミナと炭化けい素は低い値を示し、サイアロンと超硬合金はその中間の値となっている。軸受鋼は線圧 20 MN/m でも破壊は生じなかったが、表面層のみ硬化しているために、塑性変形により楕円状の変形が認められた。

また、一般にワークロールの直径が 40 mm 程度の多段ミルではワークロールに作用する線圧は 2 MN/m 以下であるので、サイアロンロールは 8 倍以上のマージンを有する。更に、同じ圧壊強度レベルにある超硬ロールが実圧延に使用されているので、サイアロンロールは一般の使用条件での圧延に十分耐え得るものと考えられる。

(2) 転動疲労強度

圧延ロールとして圧壊強度に次いで必要な強度特性としては転動疲労強度がある。試験は最大接触圧力が 1.47 GPa から始め、転動数 1×10^7 回でもスポーリングやピッチングと呼ばれる剝離が生じなかったため、試験片、相手材ともに新しいものに取り替え、Table 2 に示した順序にしたがって試験を行った。しかし、最大接触圧力が 2.77 GPa までいっても剝離は生ぜず、サイアロンロールの転動疲労限は最大接触圧力で 2.77 GPa 以上であることがわかった。特殊な圧延を除いて、一般の

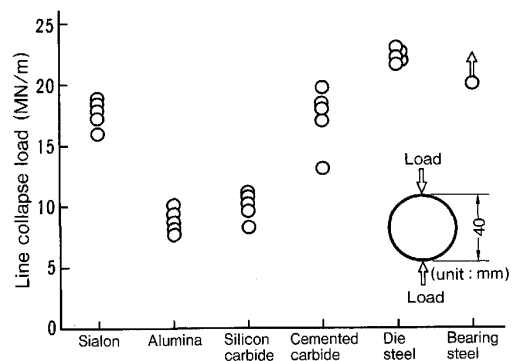


Fig. 5. Collapse strength of several materials.

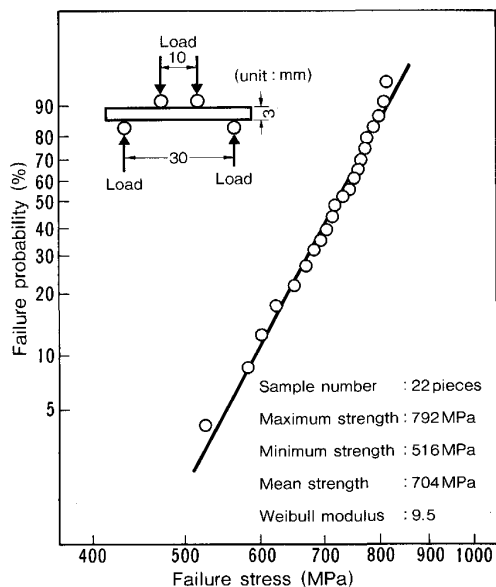


Fig. 6. Weibull plots of 4-point flexural strength of sintered sialon ceramics.

多段ミルでワークロールに作用する最大接触圧力は 2.2 GPa 以下であるので、圧延ロールとして使用できるものと考えられる。

(3) 曲げ強度

サイアロンの4点曲げ強度をワイブル確率紙にプロットした結果を Fig. 6 に示す。22本の試験片での最高値は 792 MPa、最低値は 516 MPa で、平均曲げ強度は 704 MPa である。また、ワイブル係数を求めると 9.5 となり、曲げ強度、ワイブル係数ともスチールロールの3分の1程度である。従って、サイアロンロールは曲げ応力の小さな多段ミルへの適用が望ましい。

4.2 軟鋼の圧延

板厚 0.4 mm、板幅 28 mm の軟鋼板 (SPCC 材) を圧下量 0.02 mm で板厚減少が得られなくなるまで繰り返し圧延し、圧下量と板厚及び圧延荷重の関係を求めた。その結果を Fig. 7 に示す。圧下量が小さい領域ではミルの見掛け上の剛性が小さいため、圧下量に対する板厚の減少が小さい。引き続き、圧下量を増していくと、圧下量に比例して板厚は減少するが、更に圧下量を増しても板厚がほとんど減少せず、遂には板厚減少が得られなくなる。この限界が圧延可能な最小板厚と呼ばれているもので、サイアロンロールを使用した場合には 15 μm、軸受鋼ロールで 20 μm となり、サイアロンロールを使用することにより、軸受鋼ロールでの圧延に比較して 25% 薄板が得られた。また、同一圧下量に対する圧延荷重は、サイアロンロールを使用した場合、軸受鋼ロールに比較して約 9% 低下した。

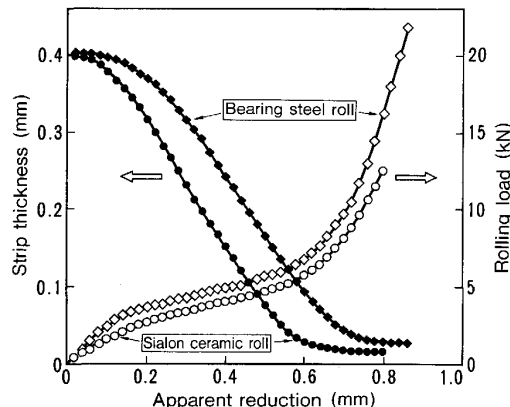


Fig. 7. Strip thickness and rolling load obtained under repeated rolling of mild steel with ceramic and steel rolls.

Table 3. Rolling load experienced under scheduled rolling of stainless steel with ceramic and steel rolls.

Pass number		0	1	2	3	4	5
Thickness (mm)		0.60	0.45	0.35	0.28	0.23	0.195
Rolling load (kN)	Sialon ceramics	—	24.9	27.5	27.2	25.3	22.7
	Die steel	—	25.8	29.8	30.0	27.6	27.9

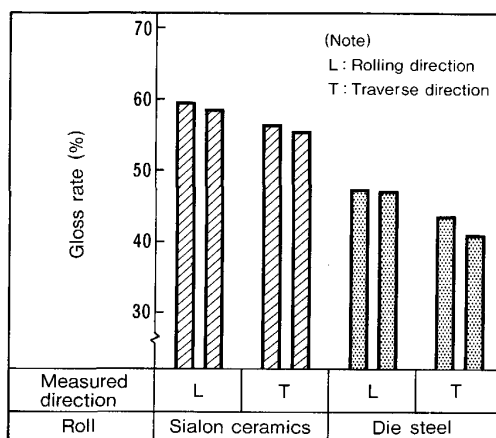


Fig. 8. Gloss rate of stainless steel rolled with ceramic and steel rolls.

4.3 ステンレス鋼の圧延

板厚 0.6 mm、板幅 20 mm のステンレス鋼板 (SUS 304 材) を所定のスケジュールで圧延し、圧延荷重を測定した。その結果を Table 3 に示す。各パス共にサイアロンロールを使用した場合、軸受鋼ロールに比較して圧延荷重が低く、平均圧延荷重を求めるとサイアロンロールで 25.5 kN、軸受鋼ロールで 28.2 kN となり、サイアロンロールを使用することによる荷重低減率は 9.6% であった。

次に圧延後の板の光沢度の測定結果を Fig. 8 に示す。すなわち、いずれのロールを使用した場合でも圧延方向では直角方向より光沢性が良いが、その差は少ない。また、サイアロンロールを使用した場合にはダイス鋼ロールに比べて優れた光沢性を示し、平均するとサイアロンロールで 57%、ダイス鋼ロールで 45% であり、約 30% 光沢度の良いものが得られた。

5. 考 察

5.1 圧延性

一般に圧延性とは被圧延材の伸び方、圧延の難易の度合いを表すものであり、同一条件で圧延を行った場合であってもロールの特性により圧延性が異なる³⁾。圧延性の良いロールを使用すると、同一スケジュールで圧延する場合には圧延荷重や消費電力が少なくなる。また、圧延の難易はロール径の影響をうけ、ロール径が細くなるほど被圧延材の伸びが良くなることは理論的にも実験的にも確かめられている。すなわち、ロールと被圧延材間の接触幅が小さいほど伸びは良い。従って、同一径のロールを用いた場合の圧延性の良否は圧延時におけるロールの扁平変形量によって決まり、圧延性の良いロールは扁平変形が少ないと考えて良い。例えば、ロールが剛体であり、変形が生じなければ、理論的には被圧延材の板厚が 0 になるまで圧延が可能である。しかし、ロールにいかなる材料を使用しても弾性体であり変形するため、作業条件を一定とすれば圧延性はロールの特性により決まる。圧延時におけるロールの扁平変形に関し、Hitchcock の式から次式が得られる⁴⁾。

$$\left(\frac{\mu L}{h}\right) = \sqrt{\left(\frac{\mu l}{h}\right)^2 + \left(\frac{\mu a}{h}\right)^2} Pm^2 + \frac{\mu a}{h} Pm \quad \dots (2)$$

ここに L はロールが扁平変形した時の投影接触長さ、 l はロールを剛体とした時の投影接触長さ、 h は出入り口の平均板厚、 μ は摩擦係数、 Pm は平均圧延圧力である。また、 D をロールの直径、 E をロールのヤング率、 ν をロールのポアソン比とすれば、 a は $4D(1-\nu^2)/\pi E$ で表せる。

更に STONE は、彼の圧延理論に基づき、圧延しても板厚が減少しなくなる条件は (2) 式において $\mu l/h = 0$ と考え、これにより圧延可能な最小板厚 ($h \min$) を次式で与えている⁵⁾。

$$h \min = 3.58 \frac{D\mu(S_0 - S)}{E} \quad \dots (3)$$

ここに S_0 は被圧延材の変形抵抗、 S は前後面の平均張力である。すなわち、(3) 式で D 及び $(S_0 - S)$ は作業条件によって決まるので、 $3.58 D (S_0 - S) = K$ とお

けば (3) 式は次式のごとく書き表せる。

$$h \min = K \frac{\mu}{E} \quad \dots (4)$$

すなわち、圧延可能な最小板厚はロールと被圧延材間の摩擦係数に比例し、ロールのヤング率に反比例する。ロールのヤング率は各種の文献及び実測により容易に得られるが、ロールと被圧延材間の摩擦係数を実測することは難しいので、ここでは試験ミルでの圧延実験により得られるデータから理論式を用いて算出し、サイアロンロールと軸受鋼及びダイス鋼ロールの圧延性の評価を行ってみた。Fig. 7 と (3) 式から容易に軟鋼の圧延結果の整理はできるが、ステンレス鋼の圧延については $h \min$ を求めていないので STONE の圧延理論式を用いて算出した。すなわち、彼はロールの扁平変形によるロールと被圧延材の接触を平行平板による 2 次元圧縮変形と近似的に見なして、圧延荷重 (P) を次式で与えた。

$$P = b \cdot L \cdot (S_0 - S) \cdot \left[\frac{e^{\frac{\mu L}{h}} - 1}{\frac{\mu L}{h}} \right] \quad \dots (5)$$

ここに

$$\left(\frac{\mu L}{h}\right)^2 = (e^{\frac{\mu L}{h}} - 1) 2a \frac{\mu}{h} (S_0 - S) + \left(\frac{\mu l}{h}\right)^2$$

b は被圧延材の板幅、 h は平均板厚である。

Table 3 と (5) 式を用いてステンレス鋼圧延におけるロールと被圧延材間の摩擦係数が求められる。ただし、被圧延材の変形抵抗は文献⁶⁾をもとに推定した値を用い、摩擦係数は 5 パスの平均値を求めた。以上の結果を整理して Table 4 に示す。

すなわち、ロールの表面粗さを最大高さ粗さ (R_{max}) で約 $0.3 \mu\text{m}$ に仕上げ、10% のソルブル油をクーラントとして 3 m/min の速度で圧延した場合の摩擦係数は、実験に用いた範囲の被圧延材及びロール材では大差は認められず、 $0.069 \sim 0.076$ である。また、圧延可能な最

Table 4. Effect of Young's modulus and friction coefficient of rolls on minimum gage of rolled material.

Rolled material	Property of roll			Minimum gage : $h \min$		
	Material	Young's modulus : E (GPa)	Estimated friction coefficient : μ	μ/E ($K \times 10^{-3}$ mm)	Experimental data ($\times 10^{-3}$ mm)	Estimated value ($\times 10^{-3}$ mm)
Mild steel	Sialon ceramics	310	0.076	24.5	15	—
	Bearing steel	210	0.069	32.9	20	—
Stainless steel	Sialon ceramics	310	0.072	23.2	—	22.8
	Die steel	220	0.075	34.1	—	33.4

小板厚はサイアロンロールでは鋼ロールに比較して26~32%薄くなる。更に、実験的に圧延荷重は9~10%低下しており、サイアロンロールの圧延性は鋼ロールより優れているものと考えられる。

5.2 光沢度

冷間圧延を行ったステンレス鋼板は、光沢度の特に要求されるみがき鋼板と、光沢度を極端に低くした艶消し鋼板に大別される。サイアロンロールはその特性を利用して、光沢度の要求される製品への適用を狙ったものである。

現在、光沢度の管理は経験者が鋼板表面を眺めたときに目に映った感じの視感で一般的になされているが、一方では鋼板表面の光学的反射特性を調べることにより、視感との対応を得るといった努力もはらわれている⁷⁾。ここでは触針法による表面粗さと光沢度計を用いた反射率による鏡面光沢度により、光沢性について考察してみる。

ロール及び圧延品の表面粗さをTaylor-Hobson社製のTALYSURF-6を用いて測定した。Table 5はロールの表面粗さを最大高さ粗さ(R_{max})と中心線平均粗さ(R_a)で示した。 R_{max} をみるとサイアロンロールよりダイス鋼ロールがやや低いにもかかわらず、ダイス鋼ロールの R_a はサイアロンロールの約2倍となっており、 R_{max}/R_a をみると明らかに差が認められる。すなわち、

Table 5. Surface roughness of sialon ceramic and die steel rolls.

Roll	Surface roughness (μm)		R_{max}/R_a
	Maximum height : R_{max}	Center line average height : R_a	
Sialon ceramics	0.22	0.026	8.5
	0.34	0.042	8.1
Die steel	0.20	0.054	3.7
	0.30	0.076	3.9

R_{max} で管理した粗さが同じであっても、サイアロンロールとダイス鋼ロールでの表面形状は異っている。これは $R_{max} \approx 0.3 \mu\text{m}$ の粗さを得るにはサイアロンの場合は研磨が必要であるのに対して、ダイス鋼ロールでは研削で仕上がるため、加工法の差に起因しているものと思われる。

圧延品について R_{max}/R_a の関係を求めるとロールと同様であった。表面の平均的性質を反映すると思われる光沢度には R_{max} よりも R_a の影響が大きいと考えられるため、 R_a を用いて光沢度と粗さの関係を整理するとFig. 9のごとくなる。すなわち、圧延品の表面粗さはロールと同様で、サイアロンロールを使用した場合は細かく、平均すると $R_a = 0.043 \mu\text{m}$ 、ダイス鋼ロールを使用した

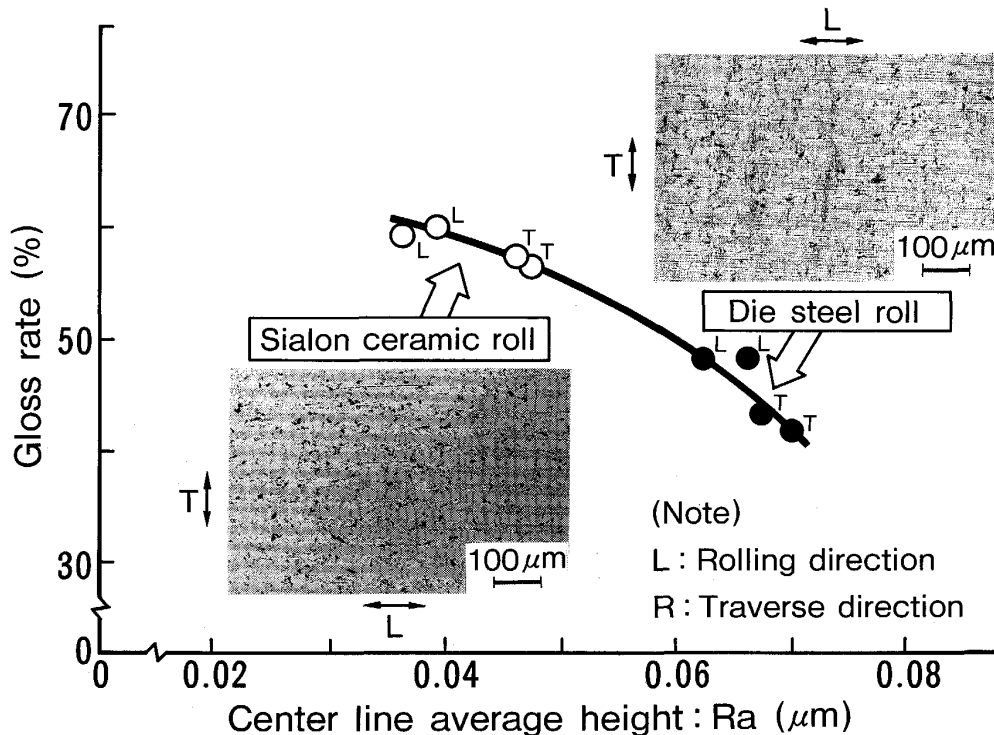


Fig. 9. Relation between surface roughness and gloss rate of stainless steel rolled with ceramic and steel rolls.

場合には $R_a = 0.067 \mu\text{m}$ で約 35% 粗くなっている。 R_a と光沢度の関係を見ると、 R_a の小さなサイアロンロールで圧延したものの光沢度が高く、 R_a と光沢度には実線で示したように一義的な関係が認められる。 また、圧延方向とそれに直角方向について R_a をみると、圧延方向に比較し、それに直角方向ではいずれも粗くなっている。 また、光沢度の方向による差はサイアロンロールを使用した場合には小さく、ダイス鋼ロールを使用した場合で大きい。これは表面の形状が影響しているものと考えられる。すなわち、Fig. 9 中に載せた圧延品の顕微鏡写真より、サイアロンロールで圧延したものには方向による差異がほとんど認められないのに対して、ダイス鋼ロールを使用した場合には圧延方向に伸びた筋が見られる。これはロールの仕上げ面に起因するもので、光沢度に影響すると考えられる。従って、光沢度には表面の傾斜角情報など、表面のミクロな形状も重要な因子となるものと思われる。

6. 結 言

高精度圧延に適した冷間圧延用ロールとしてセラミックロールの開発を行い、以下の結論を得た。

(1) サイアロンは冷間圧延用ロールとして優れた特性を有するセラミックスである。

(2) サイアロンロールは冷間圧延に耐え得る圧壊強度、転動疲労強度を有する。

(3) サイアロンロールの曲げ強度は鋼ロールの約 3 分の 1 であり、曲げ応力の小さい多段式ミルに使用することが望ましい。

(4) 軟鋼圧延の結果、サイアロンロールでは軸受鋼ロールに比較して、25% の薄板化と約 9% の圧延荷重の低下が得られた。

(5) ステンレス鋼圧延の結果、サイアロンロールではダイス鋼ロールに比較して、約 10% の圧延荷重の低下と約 30% の光沢度の良い圧延品が得られた。

文 献

- 1) 前田良平: 工業材料別冊ファインセラミックスデータブック, **37** (1989) 5, p. 156 [日刊工業新聞社]
- 2) H. HERTZ: *Gesammelte Werke*, **1** (1895), p. 155
- 3) 安藤卓雄, 後閑敬也, 荒瀬健一: 鉄と鋼, **43** (1957), p. 127, p. 451
- 4) 井上勝郎: 圧延理論と変形抵抗 (鉄鋼技術共同研究会編) (1960), p. 77 [誠文堂新光社]
- 5) M. D. STONE: *Iron and steel Engr.*, **12** (1956), p. 55
- 6) 長谷川正義: ステンレス鋼便覧 (1973), p. 118 [日刊工業新聞社]
- 7) 浅野有一郎, 塩住基仁, 虎尾 彰, 柳本隆之, 栗田邦夫, 八角忠明: 川崎製鉄技報, **18** (1986) 2, p. 114