

UDC 621.771.22.07 : 669.14.018.258.5 : 669.15'24'26'28'292-194 :
539.431 : 539.4.016.3 : 539.377

技術報告

強靱鑄鋼材による大型ロールの製造, 機械的性質 および使用成績について*

小平 博**・堀 正夫**・牟田 徹***
西 正***・鈴木 克己***

Manufacture, Mechanical Properties and Rolling Performance of Large Cast Steel Rolls with High Strength and Toughness

Hiroshi KOHIRA, Masao HORI, Toru MUTA,
Tadashi NISHI, and Katsumi SUZUKI

Synopsis:

This study is concerned with the manufacture and mechanical properties of large cast steel roll with new compositions (0.5C-1.25Cr-1.0Ni-0.5Mo-0.4V) which have been developed for prevention of roll breakage in service. The optimum heat treatment has been established to obtain high strength and good toughness. Four large cast steel rolls, two rolls for slabbing mill and two rolls for break down mill, have been manufactured by applying the results of the experiments. Mechanical properties of the rolls are superior to those of conventional cast steel rolls in characters of strength and toughness at both normal and elevated temperatures.

At present, about one hundred rolls made of the new material are under service and for a slabbing mill they show excellent rolling performance irrespective of very severe rolling condition.

1. 結 言

鉄鋼業の圧延部門において、分塊ロールや大形工場のブレークダウンロールは、その圧延条件が苛酷なためにしばしば胴部に深い円周方向の亀裂を生じ、寿命を全うせずに折損に到る。これはロール費の損失のみでなく圧延能率をも大きく阻害するため、その防止は重要な問題である。

著者らは、折損ロールの破面調査によりその破壊の特性をつかむ¹⁾とともに、従来から使用されている各種ロール材質の特性を調査し²⁾、ロールに生ずる圧延中の熱応力を計算して³⁾、折損防止に必要な材質特性につき検討した。その結果、耐折損性の大きいロールを得るためには中温および高温における疲れ強さを改善するとともに、特に 20~200°C の温度条件下での伸び、絞り、衝撃強さの向上を計ることが必要と考えられた。

さらに、著者らは、従来おもに使用されて来た Ni, Cr, Mo 鑄鋼材 (材質記号 SNI) をベースに Ni, Cr, Mo, V, Nb の添加量を変化させた合金元素の組み合わせ効果実験を 20 kg の鑄塊で行ない、いくつかの強度と靱性を兼ね備えた成分系を見出した⁴⁾。

以上の開発研究の締め括りとして、それらの強靱鋼成分の中から経済性も考慮した上で 0.5C-1.25Cr-1.0Ni-0.5Mo-0.4V の組み合わせを選び、従来の SNI に対し特殊 SNI の呼称で実体ロールの製造試験を進めることとした。

本報告は最初にロールの製造に当たつて必要な熱処理の条件決定のための諸試験結果と、それにもとづいて行なったロール製造結果の概要、およびその機械的性質などについて述べ、次にその後に製造した多くの特殊 SNI ロールの中、代表的な圧延条件の最も厳しい圧延機で使用されたものの圧延成績などにつき報告するものである。

* 昭和 48 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 49 年 5 月 9 日受付 (Received May 9, 1974)

** 新日本製鉄(株)エンジニアリング事業本部 (Engineering Divisions Group Nippon Steel Corp., 46-59Nakabaru Tobata-ku Kitakyushu-shi 804)

*** 新日本製鉄(株)研究開発本部 (Technical Research & Development Beuro)



Photo. 1. 1) Macro structure of 20 kg cast block after annealing at 950°C.

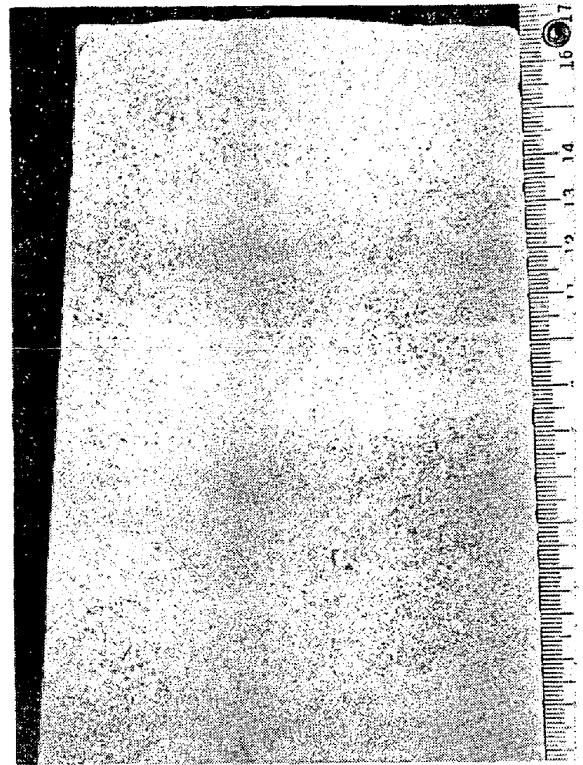


Photo. 1. 2) Macrostructure of 20 kg cast block after annealing at 1100°C.

2. ロールの製造と諸試験結果

試作の対象となる分塊ロールなどは，重量 20~50 t の大型ロールであるため，その製造においては鋳造後，常温まで冷却せず途中から熱処理過程に入る，いわゆる赤材処理を行なうことによって鋳造応力や熱応力による欠陥発生を防止することが常識である．したがって通常この種の低合金鋳鋼材に適用される熱処理の基本曲線中鋳造と連続して行なう一次熱処理（拡散・球状化処理：D・G 処理）曲線については事前に決定しておかねばならない．そこで鋳造前に類似成分の 20 kg 鋳塊で D・G 処理の簡単な基礎試験を行なった．

次に実体ロール 4 本を鋳造し一次熱処理終了後，粗加工を行ない，この際，ロール胴端から試験片素材を採取し，機械試験，顕微鏡試験を行ない，また，二次熱処理（焼準・焼もどし処理：A・An 処理）の基礎試験を行なった．

最後に実体ロールの二次熱処理終了後，仕上加工の際に再び胴端より試験片を採取しロールとしての最終特性を確認するとともに，従来の SNI との比較を試みた．

2.1 一次（D・G）熱処理試験

特殊 SNI の目標化学成分（0.5C-1.25Cr-1.0Ni-0.5Mo-0.4V）で 20 kg 鋳塊を鋳造し D・G 処理温度の影

響を調べる試験を行なった．

2.1.1 D 処理

2 個の鋳塊を 950°C と 1100°C でそれぞれ 3hr 加熱し空冷したものの断面マクロ組織を Photo. 1 に示す．950°C 処理の場合には未だ柱状組織が明瞭に残っているが，1100°C の場合は，ほとんど消滅している．したがって，少なくとも 1000°C 以上の D 処理温度は必要と考えられる．

2.1.2 G 処理

G 処理は，層状パーライトの発達している D 処理材をその温度から A_1 点以下に空冷し再加熱することによってパーライトを球状化させる処理である．20 kg 鋳塊から採取した試験片を 710°C から 830°C まで 30°C ごとに 5 水準の処理温度で 10hr 加熱し空冷した．それらの顕微鏡組織と硬さを Photo. 2 に示す．この中で 800°C で処理したものの硬さが高いことから， A_3 点は 770°C と 800°C の間にあると考えられる．この試験条件ではパーライトの球状化程度を直接判断はできないが，フェライトの粒状化と均一化の程度から判断すると，P 処理温度は 770°C が最もよいようである．

2.2 ロールの鋳造と一次熱処理および試験片採取

試作ロールの対象品種は本研究の端緒となつた A 分塊工場ロールが望ましかつたが，需要期と合わなかつたため，それに準じて過去に折損の多かつた T 分塊工場の二

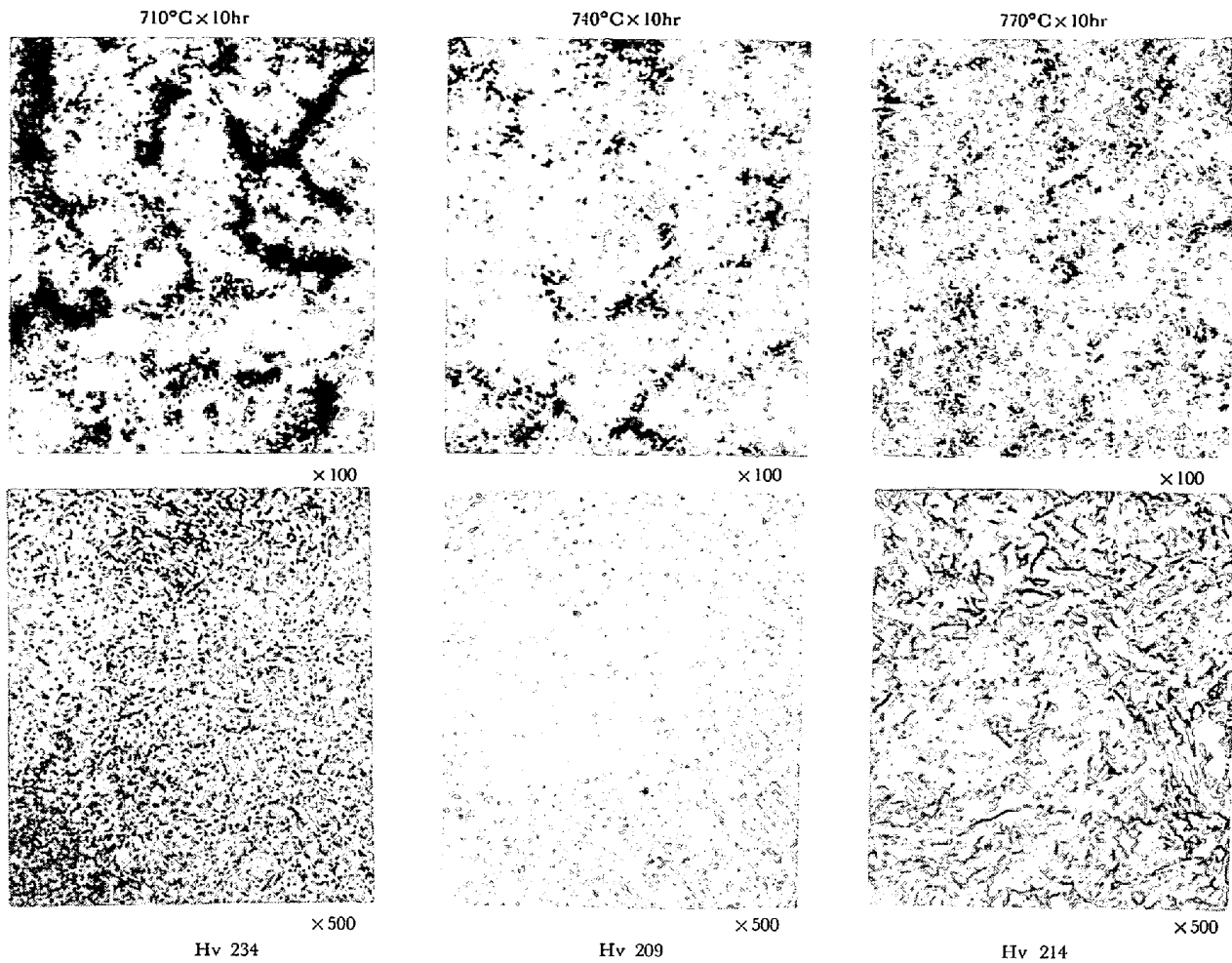


Photo. 2. 1) Micro structures of specimens after heat treatment for spheroidizing of pearlite at various temperatures.

Table 1. Results of production.

Cast No.		A		B	
		44SNI ¹ - 511	44SNI ¹ - 512	44SNI ¹ - 515	44SNI ¹ - 516
Chemical composition (%)	C	0.52	0.51	0.52	0.50
	Si	0.42	0.42	0.39	0.42
	Mn	0.88	0.91	0.90	0.90
	P	0.016	0.012	0.013	0.019
	S	0.017	0.013	0.017	0.011
	Mo	0.49	0.47	0.47	0.50
	Ni	1.00	0.97	0.99	0.97
	Cr	1.39	1.29	1.25	1.23
	V	0.41	0.39	0.38	0.32
Shore hardness (HS)	After 1st heat treatment	29~31	28~31	32~34	31~33
	After 2nd heat treatment	37~38	38~39	39~40	40~43
	After finishing	37	37	37	39

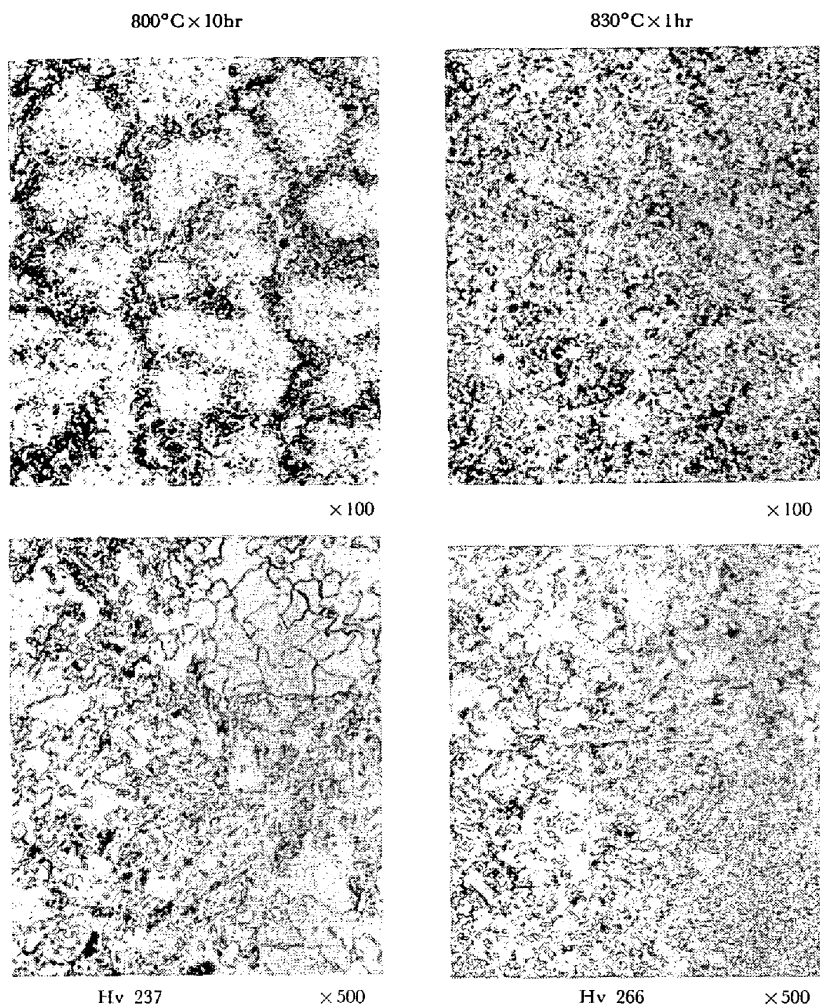


Photo. 2. 2) Micro structures of specimens after heat treatment for spheroidizing of pearlite at various temperatures.

Table 2. Tempering test condition of special SNI.

Roll No Test piece No.	44-SNI 511	44-SNI 512	44-SNI 515	44-SNI 516	Remark
1	590°C	590°C	590°C	610°C	850°C × 5hr A. C. following each temperature × 20hr FC after DP treatment D : 1 000°C × 40hr FC G : 780°C × 40hr FC
2	610	630	610	630	
3	650	650	630	650	
4	670	670	650	670	
5	690	690	670	690	
6	710	710	690	710	

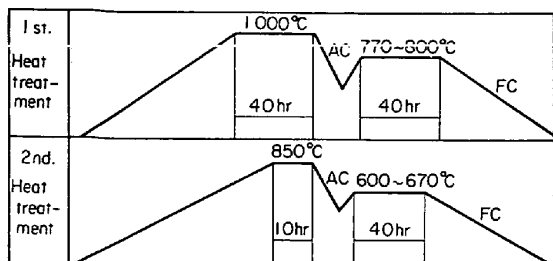


Fig. 1. Heat treatment program for special SNI roll.

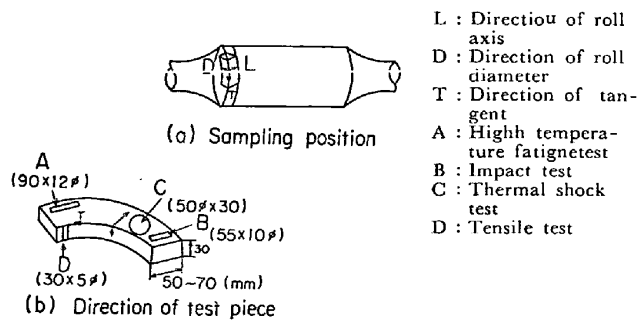
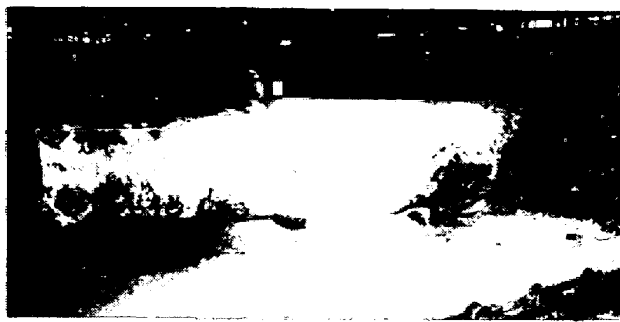


Fig. 2. Sampling position and direction of test piece.



(A) As cast



(B) After rough turning

Photo. 3. Appearances of slabbing and break-down rolls made of special SNI.

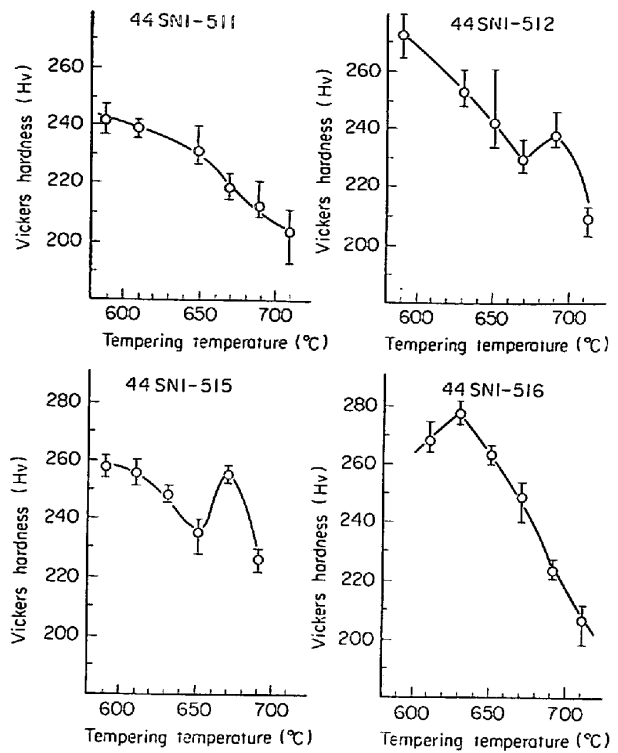


Fig. 3. Influence of tempering temperature on Vickers hardness. (average of 5 point, 20°C) of special SNI rolls 44SNI-511, 512, 515 and 516.

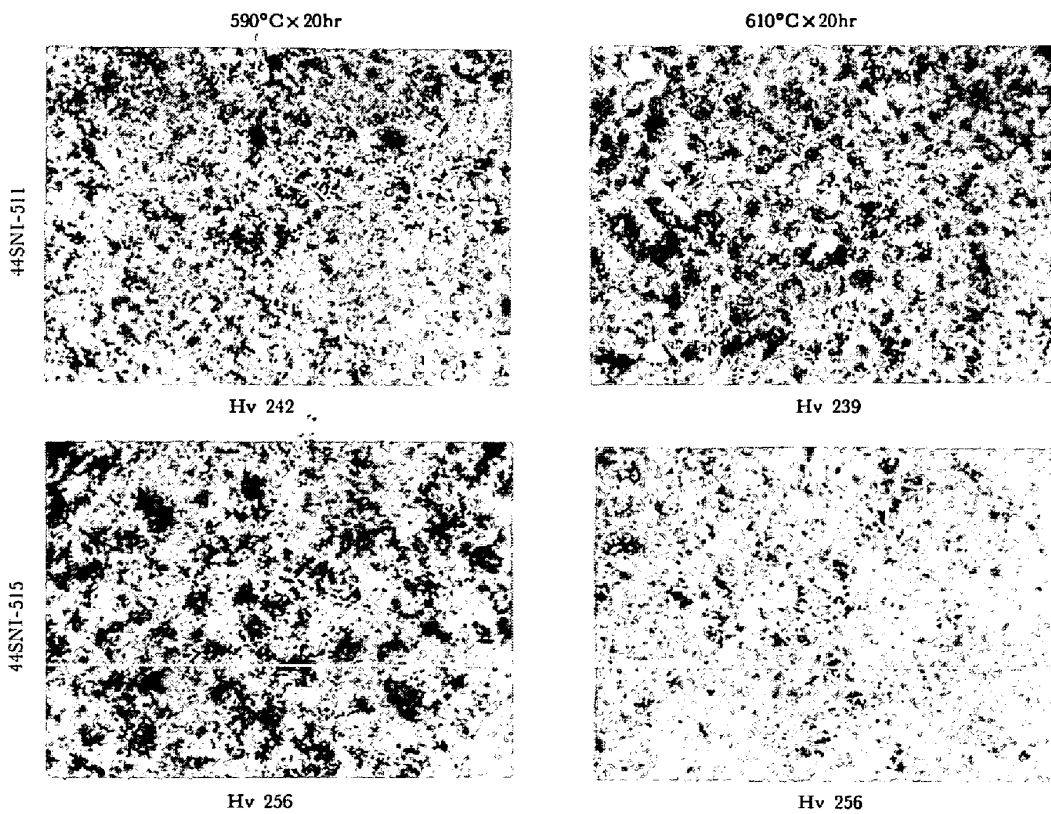


Photo. 4. 1) Micro structures of special SNI tempered at various temperatures after normalizing from 850°C. $\times 500$ (7/9)

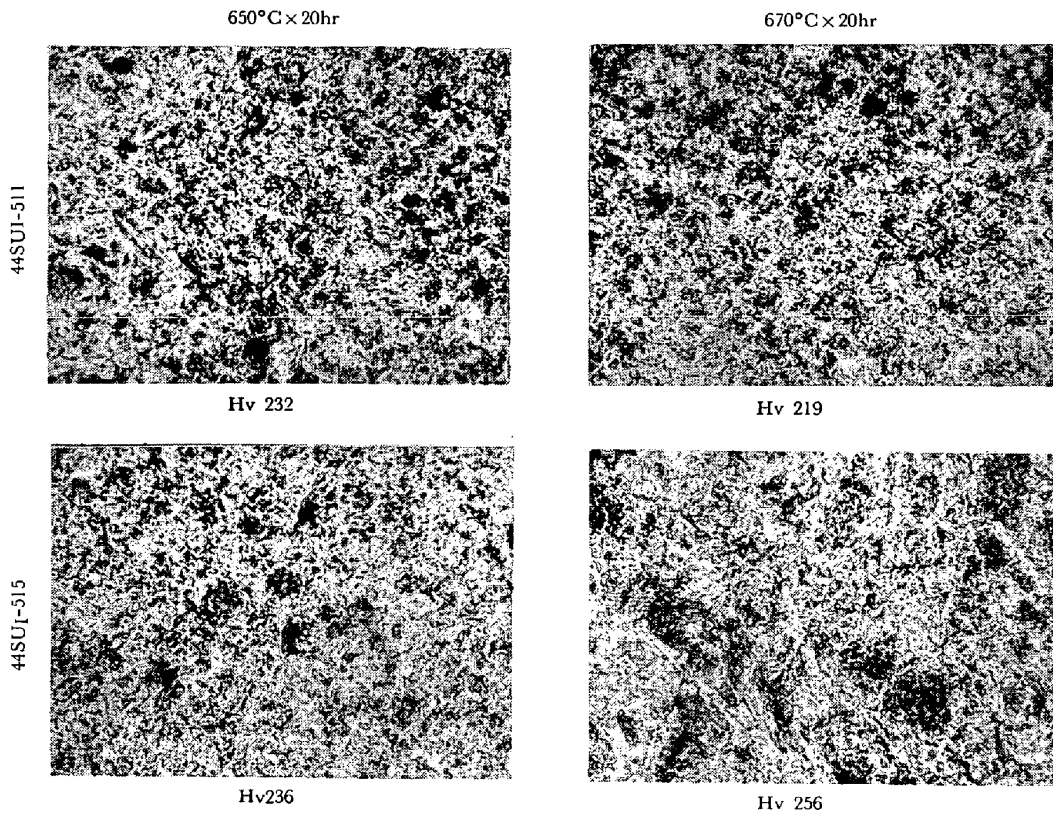


Photo. 4. 2) Micro structures of special SNI tempered at various temperatures after normalizing from 850°C. × 500 (7/9)

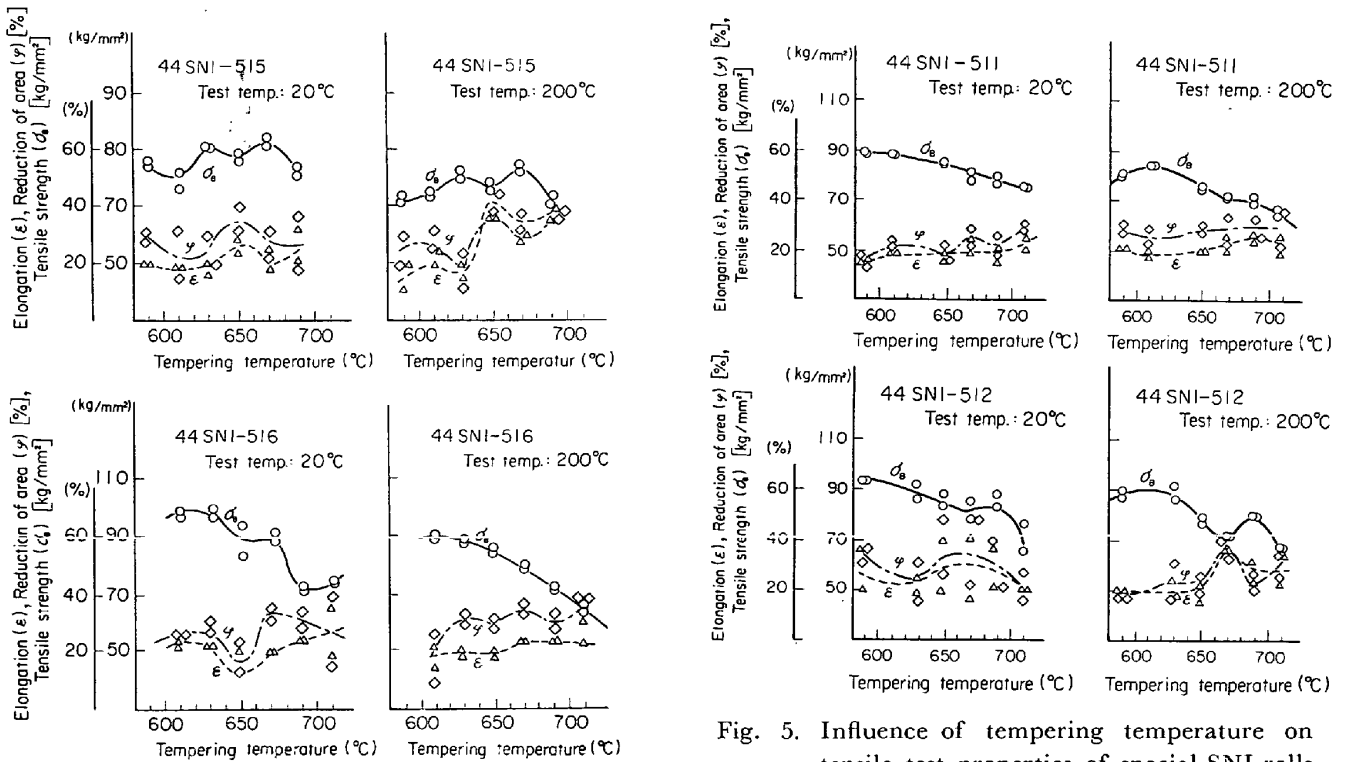


Fig. 4. Influence of tempering temperature on tensile test properties of special SNI rolls 44SNI 511 and 512.

Fig. 5. Influence of tempering temperature on tensile test properties of special SNI rolls 44SNI-515 and 516.

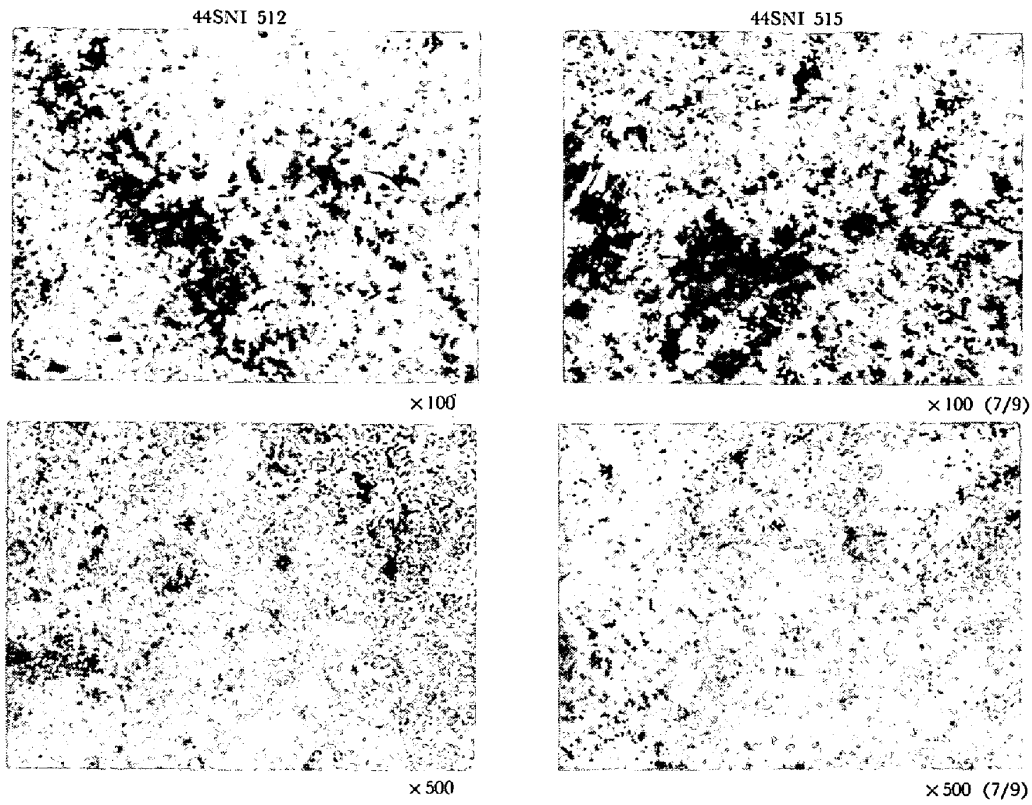


Photo. 5. 1) Micro structures of special SNI roll after first heat treatment (D-G).

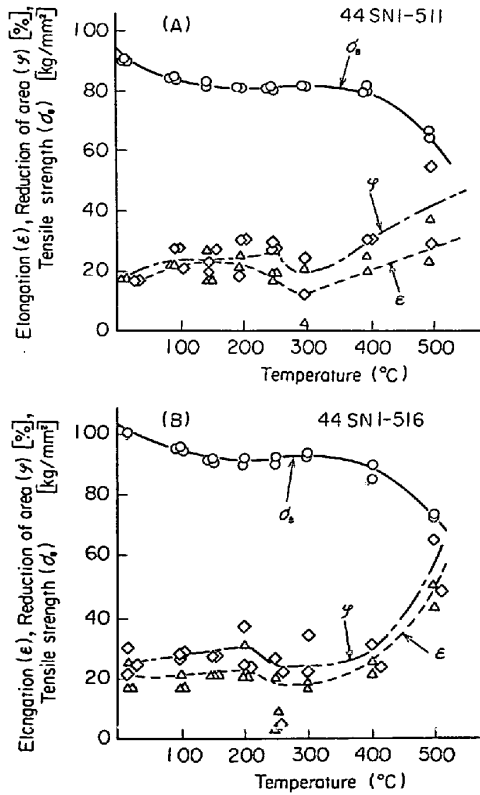


Fig. 6. 1) Tensile properties at various temperatures of specimens taken from the rolls 44SNI 511 and 516 after first and second heat treatment.

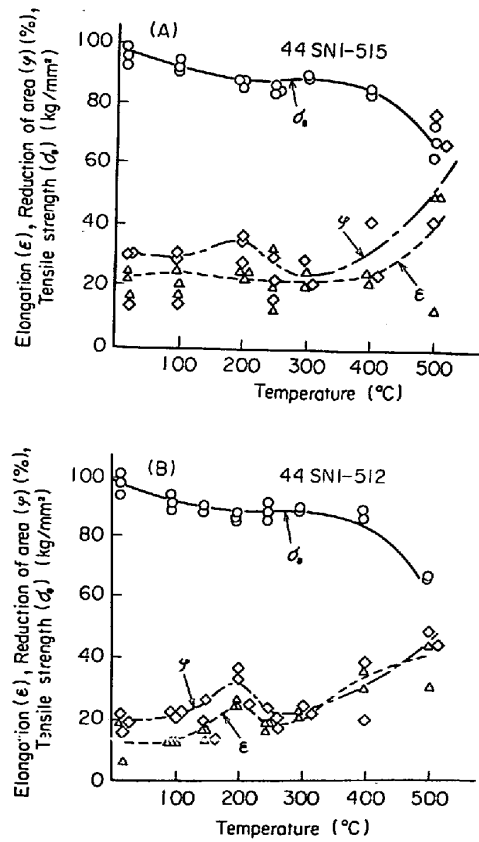


Fig. 6. 2) Tensile properties at various temperatures of specimens taken from the rolls 44SNI 515 and 512 after first and second heat treatment.

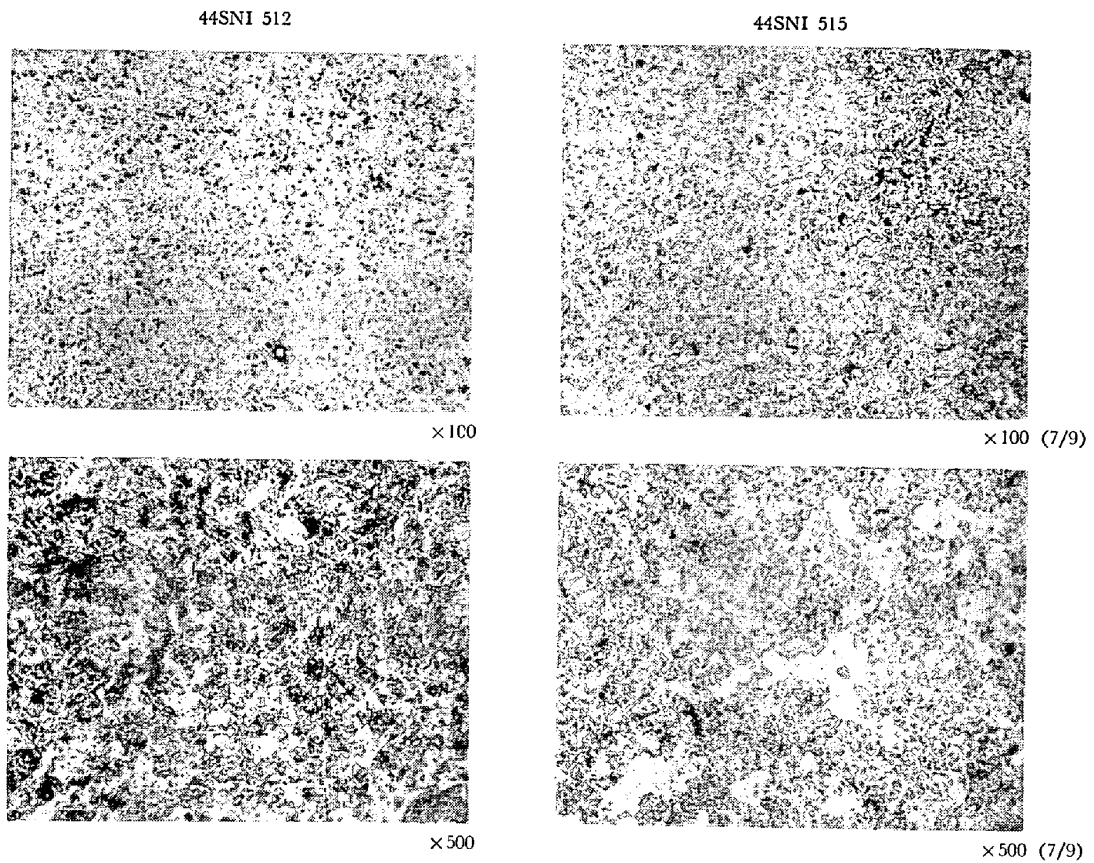


Photo. 5. 2) Micro structures of special SNI roll after all heat treatment (D·G+A·An).

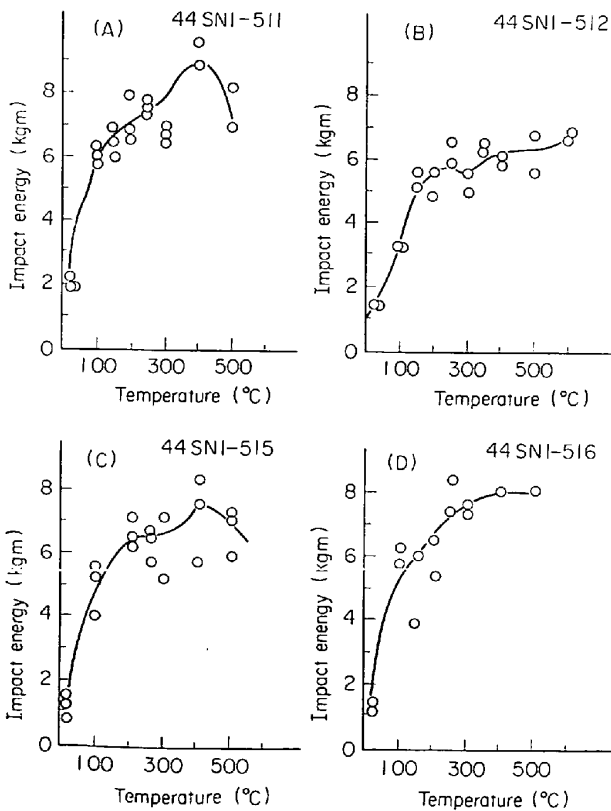


Fig. 7. Impact properties at various temperatures of specimens taken from the rolls 44SNI 511, 512, 515 and 516 after first and second heat treatment.

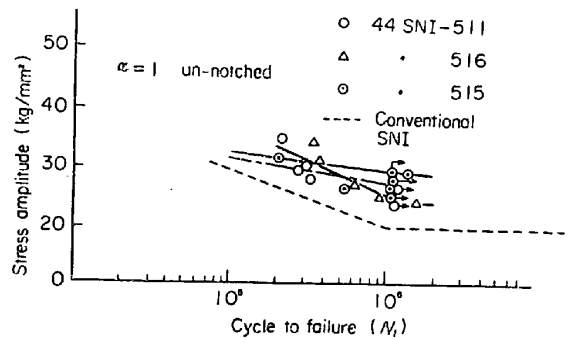


Fig. 8. S-N diagram of rotating bending fatigue test at 100°C after DPNT treatment.

Table 3. Number of special SNI roll manufactured during 1969~1973.

Type of roll	Roll weight	Number of roll produced
Slabbing	28 t ~ 46 t	36
Blooming (Rough shaping)	19 t ~ 37 t	17
Break-down	24 t ~ 28 t	23
Large section Roughing	6 t ~ 12 t	22
Others	20 t ~ 26 t	4
Total		102



Photo. 6. 1) Surface appearance of special SNI roll for A slabbing mill after rolling 51 503 t of steel (total rolling tonvago : 346 899 t).

Table 4. Rolling performance in A slabbing mill before June 1967.

Material	Roll maker	Number of rolls	Average rolling performance						Cause of discard			
			Number of dressing	Dressing (mm)	Total tonnage rolled	mm per dressing	Tonnage per dressing	Tonnage per dressing (mm)	Small dia	Body break	Under use	Convert to other roll
Forged steel	West Germany	4	5.8	87.8	226 309	15.1	39 019	2 578	1	3	—	—
SCR	A	12	5.5	79.5	225 863	14.5	41 066	2 841	1	11	—	—
SNI	B	10	5.0	80.2	196 233	16.0	39 247	2 447	3	7	—	—
SNI	C	9	7.1	97.7	246 071	13.8	34 658	2 519	3	3	—	3

重式ハイリフトスラブ圧延機用と、S大形工場のブレークダウン圧延機用、各2本とした。

溶鋼は転炉で溶製し鑄造方案は従来のSNIと同様とした。鑄造上、または鑄造後の内部性状などは特にSNIと異なる傾向はないが、その後の製造を通じて凝固時の

亀裂感受性がやや大きいように見受けられた。

4本のロールの鑄造番号、化学成分、一次熱処理後の硬さをTable 1に、適用した一次熱処理曲線をFig. 1に示す。またPhoto. 3に一次熱処理後の分塊ロールとカリバー粗削後のブレークダウンロールの外観を示す。

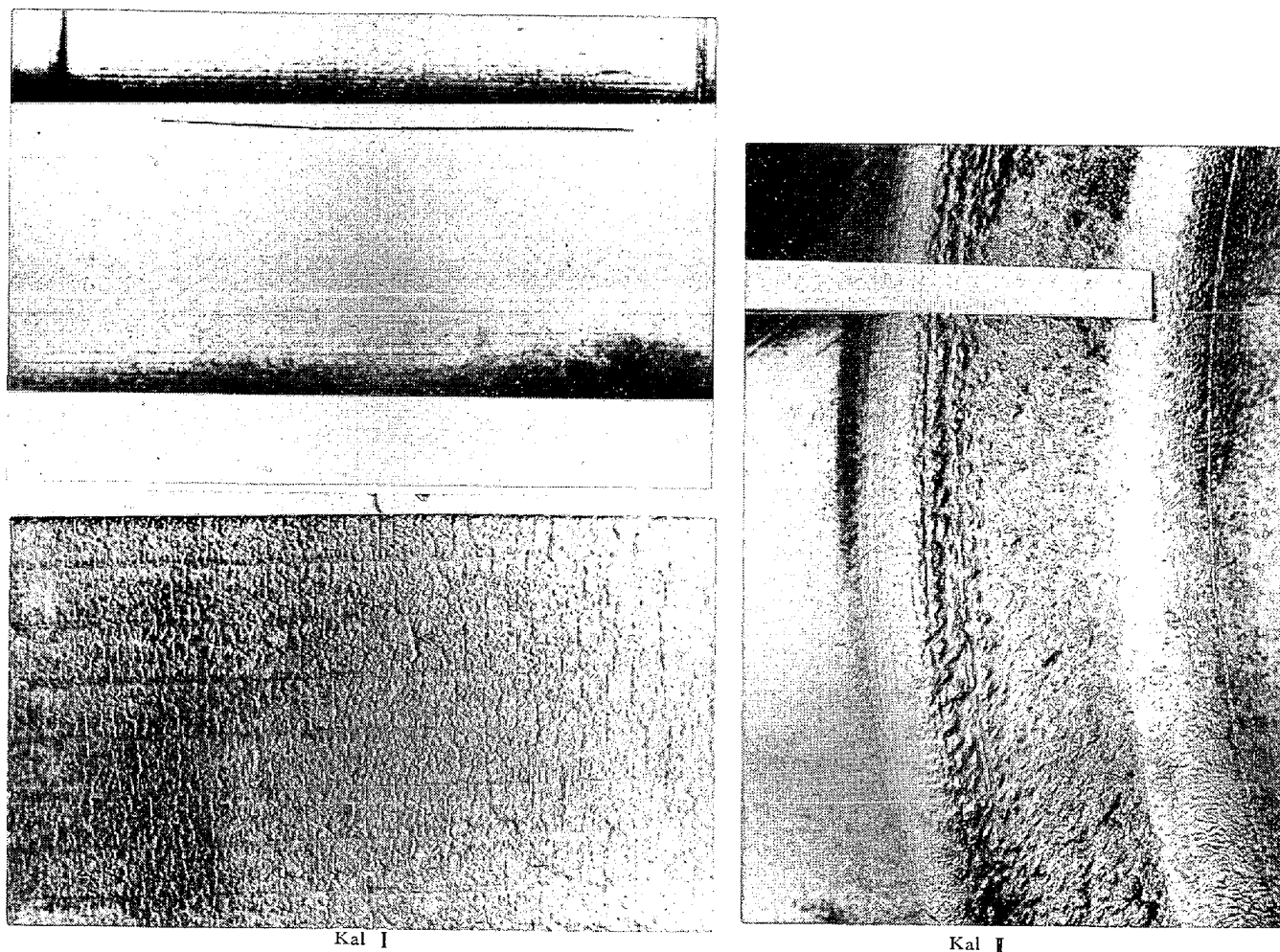


Photo. 6. 2) Surface appearance of special SNI roll for A slabbing mill after rolling 80 201 t of steel (total rolling tonnage : 878 210 t).

Table 5. Rolling performance in A slabbing mill after September 1967.

Material	Roll maker	Number of rolls	Average rolling performance						Cause of discard			
			Number of dressing	Dressing (mm)	Total tonnage rolled	mm per dressing	Tonnage per dressing	Tonnage per dressing (mm)	Small dia	Body break	Under use	Convert to other roll
SNI	D	7	15.1	98.7	564 189	6.5	37 364	5 716	—	5	—	2
	E	8	10.4	97.0	362 712	9.3	34 876	3 739	1	5	2	—
	F	8	11.9	98.4	489 627	8.3	41 145	4 976	—	5	—	3
Special SNI		5	12.4	149.0	661 542	12.0	53 350	4 440	—	—	5	—

試験片素材および各種機械試験片は Fig. 2 に示す要領で採取, 加工し熱処理試験と諸確性試験に供した.

2.3 二次 (A-An) 熱処理試験

最終的にロールの製品特性, 特に圧延結果に影響する胴部表面~中間層の性質を決定するのは二次熱処理である. この内, A処理はG処理試験の結果などから温度を

850°Cとしたが, An処理は最終の決め手で耐折損性, 耐摩耗性のいずれに重点を置くかによつて適正焼もどし温度が異なって来るため, この試験を行なった.

一次熱処理後に採取した4本のロールの試験片素材より各6個の試験片を取り Table 2 に示すごとく 590°C ~710°Cの間で6水準の温度を選び, それぞれ 20hr 加

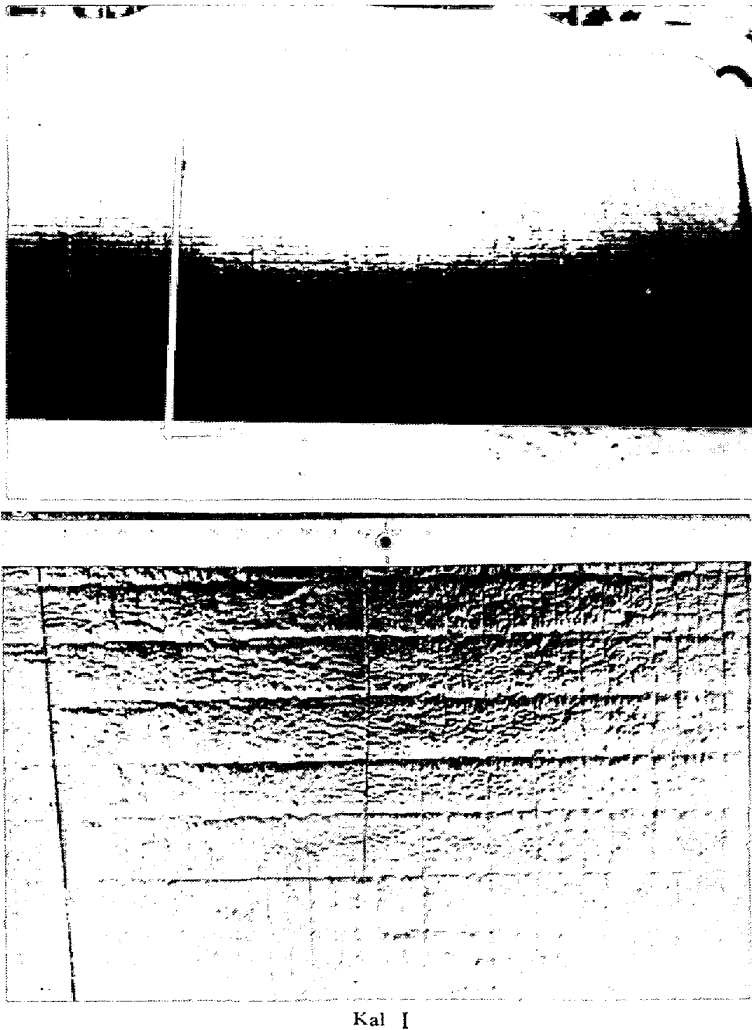


Photo. 6. 3) Surface appearance of conventional SNI roll for A slabbing mill after rolling 80 201t of steel (total rolling tonnage : 697 418t).

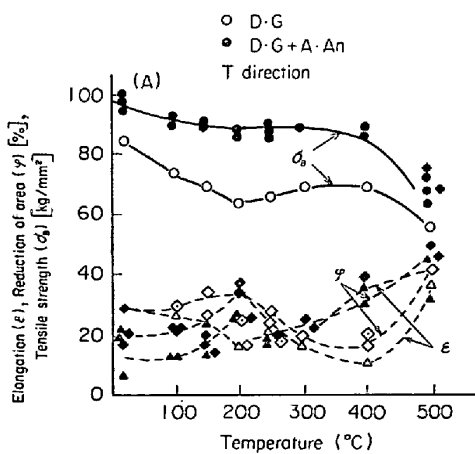


Fig. 9. Tensile properties of specimen taken from the roll 44SNI 512 after D·G or D·G+A·An treatment.

熱した後、炉冷する An 処理試験を行ない、それらにつき硬さ試験、顕微鏡試験、20°C と 200°C の引張試験を行なった。

2.3.1 硬さ試験と顕微鏡組織

各ロールの焼もどし温度と硬さの関係を Fig. 3 に示す。図は5点の平均値とそのばらつきの範囲で示した。ロールにより、その値と傾向にかなり差があり、原因は成分、局所的な加熱、冷却の温度、速度などの製造条件によるものと思われるが、明確ではない。

これらの顕微鏡組織の一例を Photo. 4.1~4.2 に示す。例示以外のロールを含めても、あまり明確な組織変化は見られないが、温度が高くなるとフェライト粒や炭化物の粗大化傾向が見られ、均一性の点からも590~610°C 附近が適当なように見える。

2.3.2 20°C と 200°C の引張試験結果

Fig. 4, Fig. 5 は試験温度をパラメーターとした機械的性質と焼もどし温度の関係を示すもので、焼もどし温度 590°C, 670°C 近くに伸び、絞りの最大値が見られる。これらの温度で引張強さはかならずしも極小値になっていないので、強靱性の点から見る時、最適焼もどし

Element	Chemical composition, %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	
SNI-A	0.68	0.36	1.06	0.003	0.029	0.57	0.54	0.46		
SNI-B	0.52	0.33	0.83	0.001	0.006	0.48	0.93	0.42		
Special SNI	0.52	0.39	0.90	0.017	0.017	1.25	0.99	0.47	0.36	(44 SNI-515)

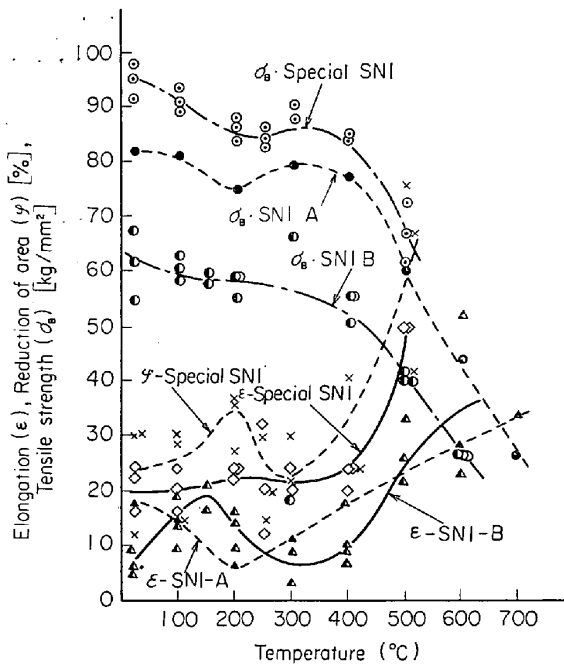


Fig. 10. Comparison of mechanical properties of various SNI at elevated temperature.

温度は 590°C, 670°C であるように考えられる。

2.4 ロールの二次熱処理と諸試験結果

前項の試験結果とロールの所要特性を考慮して二次熱処理を行ない, 仕上げ加工時に 2.2 節と同要領で試験片を採取, 加工し, 常温・高温の機械試験, 顕微鏡試験を行なった。

2.4.1 ロールの二次熱処理

粗削後のロールを比較試験の意味を含めて一部焼もどし温度を変え, 二次熱処理を行ない, 終了後と仕上げ加工完了時に実体の硬さを測定した。硬さを Table 1 の, 適用した二次熱処理曲線を Fig. 1 の下部に示す。また Photo. 5.1, Photo. 5.2 に実体ロールの一次熱処理後と熱処理完了後の顕鏡組織を比較して示す。このような超大型ロールでは一次熱処理後も, かなりの組織むらがあるが, 二次熱処理により微細化均一化されていることが判る。

2.4.2 常温・高温の機械的性質

Fig. 6.1, 6.2 に 4 本のロールの常温・高温の引張試験結果を示す。これよりロールによつて各試験値に多少の差はあるが全体の傾向は類似しており, 特に伸び, 絞り, 200°C 付近で, ゆるやかなピークを示し, かつ青熱脆性範囲でもあまり低下しない特性を持つようである。Fig. 7 に衝撃試験結果を示す。衝撃エネルギーは常温で

は 1~2 kgm/cm² であるが, 100°C では約 6 kgm/cm² と高い値を示している。

Fig. 8 に 100°C における回転曲げ疲れ試験の結果を示す。疲労限は 25~30 kg/mm² と従来の SNI の 20 kg/mm² に比べ大幅に高くなっている。

2.5 機械的性質に関する検討

以上のごとき特殊 SNI ロール実体の性質を把握することができたが最後に機械的性質に関し熱処理の効果および SNI を改良する目的を達したかにつき検討した。

2.5.1 二次熱処理の効果

顕微鏡的には 2.4.1 項で述べたが, ここでは 44SNI-512 を例として一次熱処理と完全熱処理の常温・高温引張試験値を Fig. 9 に比較して示す。A-An 処理を施すことにより強さはかなり上り, 伸び, 絞りは低温では低いが, 400°C 付近での谷がなくなっている。

2.5.2 従来の SNI ロールとの比較

特殊 SNI は SNI の改良を目的としたものであるから, その結果確認のため代表として 44SNI-515 を選別に調査した SNI ロール A・B の機械的性質と比較して Fig. 10 に示した。A は SNI の中でも高 C-Mn-Mo 型であり, B は高 Ni 型である。これより特殊 SNI は SNI に比べ引張強さが高く, かつ伸びもよく, 特に SNI A, B 両方に見られる 200°C または 300°C での落ちこみがほとんどない。このことから目的は達せられたということができよう。

3. ロールの使用成績

前章で述べたごとく新しく開発した特殊 SNI ロール材は優れた強靱性を示したので, 試作した 4 本の大型ロールに続いて昭和 48 年 12 月末までに合計 102 本の中型, 大型ロールを製造した。その品種別製造本数, 重量を Table 3 に示す。これらはいずれも昭和 49 年 2 月末までに 1 本の折損事故もなく使用中である。その成績評価については, 大半が条鋼用ロールであるため使用実績が少なく, 現時点で結論を出し難い。しかし, これらの中で特に本研究着手の直接の動機となつた A 分塊工場のロールは, すでに径小廃棄直前に到つており, 代表例として過去のロールと最近の特殊 SNI を中心としたロールの比較という形で, 以下に述べてみたい。

3.1 圧延成績の比較

A 分塊工場は, おもに厚板用スラブ圧延を主目的としてスタートした工場であり, 当初ミル付きの西独製鍛鋼ロールのほか, 国産の A 社の SCR (Cr-Mo 鋳鋼), B 社および C 社の SNI ロールが使用された。これらの成績を Table 4 に示す。この表が示すように昭和 34 年~

42年の間に廃棄となつたロール 35 本中 24 本が胴部に深い亀裂を生じて使用不能となるか、または折損しており、新工場の操業開始時で圧延の不馴れがあつたとしても、いかに使用条件が厳しく、かつロール材質に問題があつたかがよく判る。これに対し工場側では永年にわたつて圧延条件の改善をはかつて来たが、同時にロール製造側もいろいろな材質改善を試みて来た。その結果、昭和 42 年以後に主に使用されたロールの成績は、Table 5 に示すごとく、圧延屯数では 1 本当たり、1 mm 当たりとも大幅に向上した。しかしながら、廃棄原因の欄に見られるごとく SNI で合計 15 本の折損が生じている。これに対し特殊 SNI は 5 本使用して 5 本とも目下使用中であり、その平均圧延 t 数は 1 本当たりで約 66 万 t と過去の最高を示している。

3.2 圧延後のロール肌状況

前節に述べた圧延成績に対し、実際に圧延した後のロール肌状況を Photo. 6.1~6.3 に示す。Photo. 6.1 は 7 回使用し累計圧延 t 数約 35 万 t (7 回目の圧延数 51 500 t) の特殊 SNI を示し、Photo. 6.2 は 17 回使用し累計圧延 t 数約 88 万 t (17 回目の圧延 t 数 80 201 t) の特殊 SNI (径小廃棄直前) を示す。これと比較のため SNI の肌状況を Photo. 6.3) に示した。本ロールは 15 回使用し累計圧延 t 数約 70 万 t (15 回目の圧延 t 数 80 201 t) で、途中から Photo. 6.1) の特殊 SNI とペアで使用されたもので、同様に径小廃棄直前である。

これらから見ても判るように、SNI は Kal 1, Kal 2 とともに円周方向に直線状の深い亀裂が数多く発生しており、また Kal 2 の側壁の摩耗も凹凸が極めて烈しいのに対し、特殊 SNI は円周状の深い亀裂は全く見られずかつ亀裂は細く分散しており、また側壁の摩耗もかなり軽微である。

4. 結 言

分塊ロールなどの折損対策として研究し発見した強さと靱性を兼ね備えた新材質、特殊 SNI で大型ロールを 4 本製造するに際し、鑄造前に小鑄塊より、鑄造後にロール実体より採取した試験片で熱処理試験を行なつて実体ロールの熱処理条件を決定した。そのようにして製造したロールの一次熱処理後とロール完成時に実体より採取した試験片により機械試験、顕微鏡試験を行ない、特殊 SNI ロールは二次熱処理により強さが増し、中温での延性が改良され、その結果、従来の SNI に比べ、強さ延性ともに非常に優れていることが判つた。最後に、すでに製造した多くの特殊 SNI ロールの内、代表的品種の使用成績を調査し、圧延 t 数圧延後の肌状況ともに SNI に比べて非常に優れており、本研究が実用的にも十分その目的を達していることを確認した。

文 献

- 1) 鈴木, ほか: 鉄と鋼, 61(1975)2, p. 266
- 2) 鈴木, ほか: 鉄と鋼, 61(1975)3, p. 371
- 3) 鈴木, ほか: 鉄と鋼, 61(1975)9, p. 2214
- 4) 鈴木, ほか: 鉄と鋼, 61(1975)7, p. 1028