

圧延線材の結晶粒は、圧延過程では繰り返して塑性変形され、かつその速度が速いため粒の成長はまずないであろうが、仕上げ圧延後は再結晶、結晶粒の成長が連続的に起り、これは温度、時間に依存するであろう。ついで変態を起し、その析出温度に応じたセメントタイトの分散様式を示すであろう。

Fe_3C の分散様式が線材の伸線加工性、以後の機械的性質に影響することはしばしば論ぜられている所であり、さらにこれが再加熱時のオーステナイト化にかなりの影響を与えていることが研究されている。

これらの圧延組織の調節は圧延線材の適切な冷却法にかかかっており、これを正確に知るには鋼材の連続冷却変態曲線を求め、これに基づき冷却法、捲き取り温度を決定し処理すべきものと思われる。

2, 3 の実用鋼種につき、捲き取り温度に対する引張り強さ、伸びの変化を Fig. 11 に示す。

この結果、高炭素鋼線材では 600~550°C 捲き取り温度でソルバイト線材が得られることがわかる。すなわちこれら実用鋼種につき求めた連続冷却変態曲線を基にし冷却法と捲き取り温度を適切にする一直接熱処理をすることが可能であることがわかる。またこのように直接熱処理をすると、同程度の鉛パテニングをしたものに比し、比較的細粒の組織が得られている。

IV. 結 言

線材の連続圧延に関し、連続圧延を行うための必要条件を述べ、その 1 因子として引張り圧延の影響、および孔型変形能について各種因子の影響および捲き取り温度の調節ならびにその材質におよぼす影響について論じた。

文 献

- 1) A. GELEJI: WALZWERKS-und Schmiedemaschinen. (1954), pp. 483~489

高合金鋼の熱間加工性の改善に関する研究*

中野 平**・高田 寿**・成田貴一***・浮橋一義**

Study on Improvement in the Hot Workability of High-Alloy Steels.

Taira NAKANO, Hisashi TAKADA, Kiichi NARITA and Kazuyoshi UKIHASHI

Synopsis:

Stainless steels which acquire $\gamma+\alpha$ mixed structure at high temperature tend to crack during hot working, because the deformation by working concentrates upon the ferrite parts that have a small flow stress. To improve the hot workability of stainless steels of ($\gamma+\alpha$) structure at high temperature, we have selected typical stainless steels of the duplex structure 20Cr-12Ni-2Mo, 20Cr-9Ni-0.9Nb and 24Cr-13Ni steel, and investigated the effect of high temperature homogenizing treatment, and addition of rare earth and nitrogen upon the hot workability of the ingot of these stainless steels by means of high temperature torsion test.

The results obtained are as follows:

(1) The high temperature homogenizing treatment is effective to improve the hot workability for all these steels tested, and above all, the effect upon 20Cr-12Ni-2Mo steel is remarkable. Homogenizing treatment at 1200°C for 50 h is the best to improve the hot workability of these steels.

(2) The effect of rare earth (misch metal and lantan alloy) addition on the hot workability of these steels is recognized and an addition of 0.25% is the most effective.

The difference of hot workability among the tested steels is almost negligible, and lantan alloy addition is a little less effective than misch metal addition.

(3) The effect of nitrogen addition upon the hot workability for these steels is remarkable except 20Cr-12Ni-2Mo steel that naturally has little δ ferrite. However the weldability of the steel containing nitrogen is not good, therefore it is not advisable to make nitrogen addition to improve the hot workability of these steels, if good weldability is required.

(Received 21 Jun. 1963)

* 昭和37年10月本会講演大会にて発表 昭和38年1月21日受付

** 株式会社神戸製鋼所中央研究所 *** 株式会社神戸製鋼所中央研究所, 工博

I. 緒 言

高合金鋼のうち熱間加工温度において ($\gamma + \alpha$) の二相組織となる不銹鋼は、変形抵抗の小さいフェライト部に加工による変形が集中し熱間加工割れを生じやすい。二相組織の不銹鋼に対する熱間加工性の改善方法としては、化学成分的に C, Ni などのオーステナイト生成元素を増加し、Cr, Mo, Nb などのフェライト生成元素を減少させるのが最も効果的であるが、その鋼の特性を考えると、成分の変化量には限度がある。これまでにオーステナイト系不銹鋼の熱間加工性に関する研究はかなり多くみられるが、その大部分は熱間加工材の熱間加工性に関するものであり、鑄塊の熱間加工性に関する報告はきわめて少ない⁷⁾⁸⁾。本研究では20Cr-12Ni-2Mo鋼, 20Cr-9Ni-0.9Nb鋼, 24Cr-13Ni鋼の3鋼種の鑄塊について、高温捻回試験により、高温拡散焼鈍および稀土類元素、窒素添加の、これら鋼種の鑄塊の熱間加工性におよぼす定量的な効果を求め、総合的な見地から上記各鋼種に最適な熱間加工性の改善策を得ることを目的とし

た。

II. 実 験 方 法

1) 供試材

実験用鋼塊は 100 kVA 塩基性高周波電気炉により溶製した 40 kg 丸型鋼塊とした。溶鋼の脱酸は Fe-Mn, Fe-Si で予備脱酸をおこない、Ca-Si (添加量 0.1%) で仕上脱酸後稀土類元素 (ミッシュメタルおよびランタン合金) 添加材は、突込法により取鍋中で添加し添加量はそれぞれ 0.15, 0.25 および 0.35% とした。一方窒素溶加材は窒化フェロクロムにより窒素 0.10% 添加し、鑄込温度は何れも 1550°C を目標とした。

試験片採取要領はこれらの鋼塊を縦割し柱状晶部より鋼塊の縦方向に 30mm 角の試験材を切り出し、高温拡散焼鈍用鋼塊も同様に 30mm 角の試験材を切り出して 1150°C × 50 h, 1200°C × 25 h, 1200°C × 50 h の熱処理後、それぞれ機械加工により平行部の直径 10mm, 長さ 70mm の高温捻回試験片を製作し試験に供した。供試材の化学成分を Table 1 に示す。

Table 1. Chemical composition of test specimens (wt. %).

Steel	Addition amount	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo or Nb	Rare earth element	ΣN_2	
20Cr-12Ni-2Mo steel	Base material	0.016	0.44	1.77	0.006	0.034	0.07	12.82	19.38	Mo 2.35	—	0.0154	
	Soaking	0.016	0.41	1.70	0.009	0.020	0.06	12.84	19.83	2.23	—	0.0162	
	Misch metal	0.15%	0.011	0.42	1.84	0.014	0.026	0.07	12.70	19.90	2.36	Ce 0.064	0.0161
		0.25%	0.017	0.49	1.67	0.012	0.020	0.06	12.86	19.90	2.21	0.086	0.0186
		0.35%	0.016	0.38	1.81	0.006	0.013	0.06	12.87	19.65	2.33	0.092	0.0230
N ₂ 0.10%	0.019	0.43	1.75	0.008	0.028	0.07	12.87	19.74	2.36	—	—	0.1220	
20Cr-9Ni-0.9Nb steel	Base material	0.05	0.43	1.78	0.009	0.021	0.04	9.08	19.60	Nb 0.91	—	0.0152	
	Soaking	0.06	0.37	1.68	0.011	0.020	0.04	9.32	19.70	0.77	—	0.0110	
	Misch metal	0.15%	0.05	0.42	1.63	0.010	0.018	0.09	9.14	19.82	0.76	Ce 0.049	0.0170
		0.25%	0.04	0.47	1.79	0.006	0.015	0.05	9.39	20.00	0.79	0.060	0.0190
		0.35%	0.04	0.49	1.82	0.007	0.012	0.06	9.22	20.24	0.75	0.092	0.0220
N ₂ 0.10%	0.05	0.43	1.67	0.013	0.019	0.06	9.10	19.51	0.68	—	—	0.090	
24Cr-13Ni steel	Base material	0.05	0.39	1.79	0.014	0.019	0.04	13.26	23.72	—	—	0.0170	
	Soaking	0.06	0.49	1.90	0.019	0.016	0.04	13.33	24.68	—	—	0.0190	
	Misch metal	0.15%	0.05	0.44	1.90	0.017	0.019	0.04	13.39	24.95	—	Ce 0.023	0.0186
		0.25%	0.05	0.43	1.89	0.018	0.018	0.08	13.32	24.68	—	0.040	0.0170
		0.35%	0.06	0.42	1.90	0.017	0.010	0.04	13.14	24.35	—	0.055	0.020
	La-alloy	0.15%	0.06	0.41	1.89	0.020	0.018	0.05	13.12	24.60	—	La 0.11	0.0154
0.25%		0.06	0.44	1.70	0.015	0.019	0.05	13.11	23.90	—	0.17	0.0220	
0.35%		0.05	0.46	1.95	0.020	0.012	0.03	13.29	24.25	—	0.23	0.0250	
N ₂ 0.10%	0.07	0.48	1.85	0.017	0.012	0.03	13.07	24.95	—	—	—	0.122	

2) 実験要領

高温における変形能を知る方法としては、高温引張り、高温圧縮、高温曲げ、高温振りなどの各種の方法があるが、本実験では変形能の良否をよく示すと言われている高温振り試験法により高温変形能を測定し熱間加工性の検討を行なった。前述のような形状の試験片を採用し、振りモーメントと破断までの振り回数は電磁ピックアップと歪計により電磁オシロに自記させ、試験温度は実際の圧延開始温度を考慮し 1150, 1200, 1250°C の3種類の温度を選定した。試験中試験片の酸化を防止するためアルゴンをエレマ炉内に流し約 10mn で試験温度に上昇せしめ、30mn 保持後、回転速度を 50 rpm に一定して実験を行なった。

III. 実験結果および考察

1) 高温拡散焼鈍処理の効果

銑塊のままこの処理による熱間加工性の比較を Fig. 1 に示す。高温拡散焼鈍による熱間加工性の向上は各鋼種とも認められるが、20Cr-12Ni-2Mo 鋼の場合特に顕著な向上を示す。また処理条件としては 1200°C × 50 h の処理が各鋼種とも最も高い捻回値を示しており、特に 20Cr-12Ni-2Mo 鋼では試験温度 1200°C において約 7 回の捻回数を示し、試験温度 1250°C では逆に捻回値は低下している。

このように Mo 入り鋼が特に顕著な向上を示す原因を調べるために、各鋼種の基準材から 15mm 角×10mm の熱処理用試験片を切り出し、1200°C × 5, 10, 20, 30, 40, 50 h AC の高温拡散焼鈍処理を行ない、 δ フェライト量の変化状況を調査した。その結果を Fig. 2 に示す。Mo 入り鋼のみ 20 h の加熱時間で δ フェライト量が 1% 前後に低下する。これは δ フェライトが凝固時のマイクロ偏析によりその割合が多くなっていたものが、高

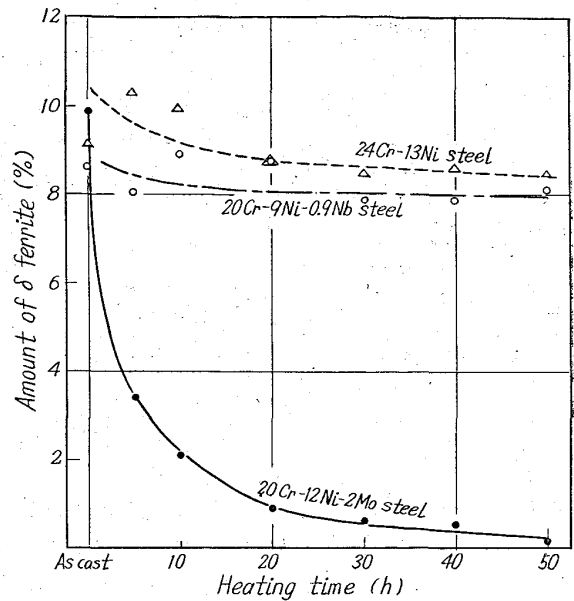


Fig. 2. Relation between heating time of homogenizing treatment at 1200°C and amount of δ ferrite by means of point counting.

温拡散焼鈍処理によつて平衡状態図に相当する二相の割合になるためと考えられる。この δ フェライト量の顕著な減少が、高温拡散焼鈍処理により Mo 入り鋼が特に熱間加工性の向上を示す原因である。

2) 稀土類元素添加の効果

各鋼種にミッシュメタルおよびランタン合金 (ランタン合金添加は 24Cr-13Ni 鋼のみ) を、それぞれ 0.15, 0.25, 0.35% 添加した場合の高温捻回試験結果を Fig. 3 に示す。いずれの鋼種も稀土類元素添加により熱間加工性の向上が認められ、0.25% 添加が最も良好な結果を示しており、0.35% 添加ではそれほど向上が認められない。一方ランタン合金とミッシュメタル添加の差異は、前者の方が若干効果が大きい。このように稀土類元素の適量添加が熱間加工性を向上させる原因は、脱硫、脱ガスおよび鑄造組織の微細化、非金属介在物の減少、形状および組成の変化などの相乗積によるものと考えられる。

3) 窒素添加の効果

高温で二相組織となる不銹鋼に窒素を添加することは窒素が強力なオーステナイト生成元素であることから δ フェライトが減少し、かつ結晶粒が微細化するために熱間加工性の向上が期待できる。そこで各鋼種に窒素を 0.1% 添加し高温捻回試験を実施した。その結果を Fig. 4 に示す。20Cr-12Ni-2Mo 鋼は各試験温度とも基準材に比較して向上は認められない。これは元来 δ フェライトの少ないことに起因するものと考えられる。一方他の

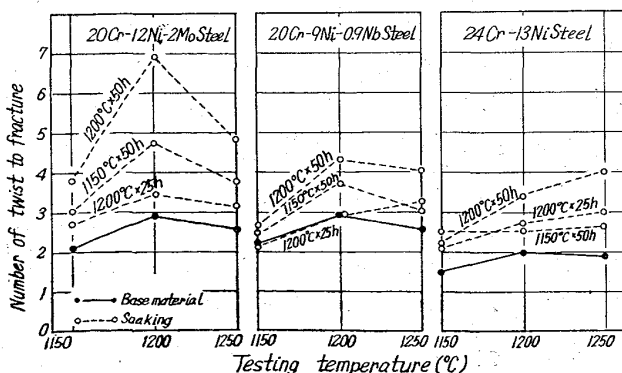


Fig. 1. Effect of high temperature homogenizing treatment on the hot workability of testing materials.

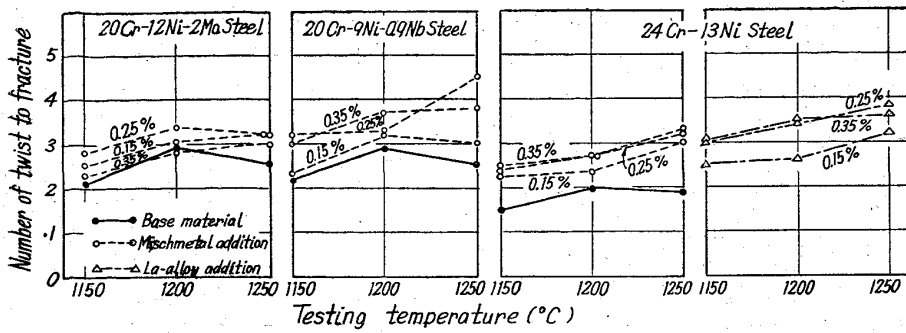


Fig. 3. Effect of rare earth addition on the hot workability of testing materials.

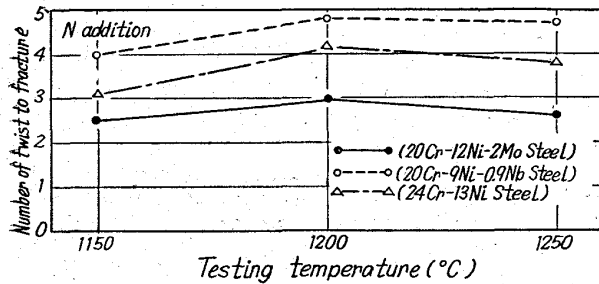


Fig. 4. Effect of nitrogen addition on the hot workability of testing materials.

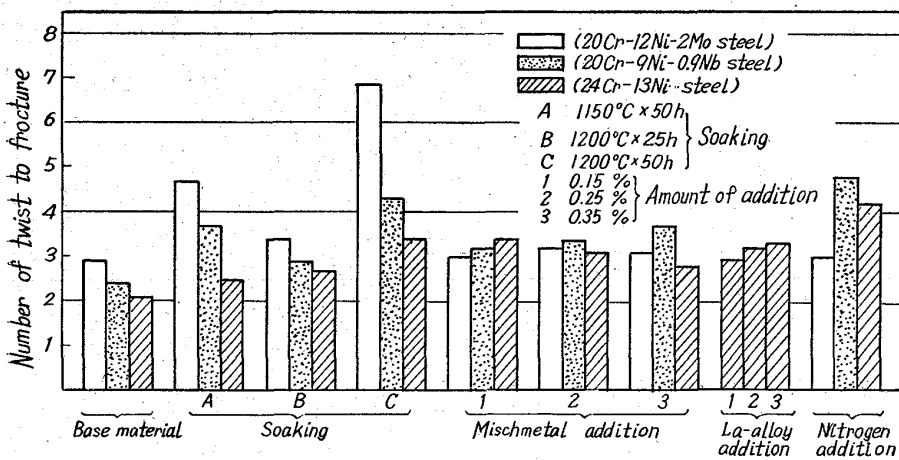


Fig. 5. Effects of high temperature homogenizing treatment and addition of misch metal, La-alloy or nitrogen upon the hot workability of testing materials (testing temperature: 1200°C).

2鋼種は、例えば試験温度 1200°C において、基準材の約2倍の捻回数を示し、窒素添加によりいちじるしく熱間加工性の向上することを示している。これは窒素が強力なオーステナイト生成元素であることからδフェライトが減少しγ相に近づくためである。

以上本試験鋼種の熱間加工性におよぼす上記3処理の効果をとらまとめ、試験温度 1200°C における各処理による捻回数を Fig. 5 に示す。20Cr-12Ni-2Mo 鋼の場合は、1200°C × 50h 高温拡散焼鈍処理が最大の効果を示す。一方 20Cr-9Ni-0.9Nb, 24Cr-13Ni 鋼の2鋼

種は窒素 0.1% 添加が最大の効果を有する。

ただこの場合、窒素添加により熱間加工性は顕著に改善されるが、窒素添加により溶接性あるいは耐食性が劣化するおそれがあるので、20Cr-9Ni-0.9Nb, 24Cr-13Ni 鋼の2鋼種について溶接性、耐食性試験を行なった。その結果を以下に述べる。

4) 窒素の溶接性におよぼす影響

基準材、窒素添加材の 40 kg 鋼塊の残材を 10mm φ に鍛伸後、ドローベンチにより 6.6mm φ とし、金紅石および石灰石を主成分としたチタニヤ型フラックスを塗装後溶接性試験を実施した。

(i) 全溶着金属の引張りおよびシャルピー衝撃試験
AISI 304 の 6.5mm 厚の板を使用して、予熱および層間温度を約 150°C とし、適正電流範囲の条件で2層肉盛をおこない直径 6.5mm, 平行部長さ 25mm の引

張試験片 (JIS-Z 3221) および V 2mm ノッチの衝撃試験片を採取し溶接のまま試験した。その結果を Table 2 に示す。引張強さ、絞りは基準材に比べて窒素添加材はかなり高く、伸び、衝撃値はほとんど変わらない。

(ii) 曲げ試験

AISI 304 型の 12mm 鋼板を 60°, V開先 (R間隔4mm) にして基準材、窒素入り供試棒で溶接し、表曲げ、裏曲げ試験片を各1本ずつ採取して、それぞれポンチ半径 19mm で 180° まで曲げ、

溶着金属の曲げ延性を調査した結果、両鋼種の何れの供試棒を使用しても欠陥は認められない。

(iii) フィスコ割れ試験

溶接の際溶着金属と母材間における熱間割れ感受性が特に重要視されている。熱間割れ試験法としては、分割型円溝割れ試験、リーハイ型拘束割れ試験およびフィスコ割れ試験などがあるが、本試験では最近広く用いられ始めているフィスコ割れ試験法により、304 型の 12mm 鋼板を 45° Y開先とし、R間隔 3mm にしてビードを4本ずつ5枚、計 20 ビードについて熱間割れの傾向を

Table 2. Results of tension and Charpy impact test on all deposit metals.

Steel	Kinds of test specimen	Tension test			Impact test	
		Ts(kg/mm ²)	El (%)	R.A. (%)	Tested temperature (°C)	Impact value (kg m/cm ²)
20Cr-9Ni-0.9Nb steel	Base material	69.0	36	48	0 -75	9.3 6.4
	N ₂ 0.10% addition	76.3	35	54	0 -75	8.3 4.0
24Cr-13Ni steel	Base material	61.5	39	49	0 -75	8.9 5.3
	N ₂ 0.10% addition	67.2	39	60	0 -75	9.3 6.8

Note: Number is the mean value of four test pieces.

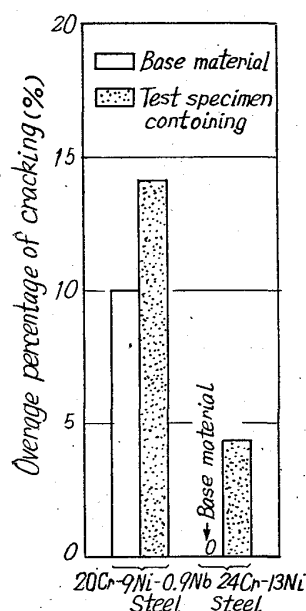


Fig. 6. Effect of nitrogen upon hot cracking by means of Fisco cracking test.

調べた。その結果をFig. 6に示す。両鋼種とも窒素添加材は基準材に比べて熱間割れ感受性は大きくなる。これはおそらく窒素添加による δ フェライトの減少が原因と思われる。

5) 窒素の耐食性におよぼす影響

両鋼種の基準材、窒素添加材の40kg鋼塊の底部側残材を35mm角に鍛伸し、1100°C×2h W.Q.、および1100°C×2h W.Q.→650°C×2h A.C.の熱処理後、機械加工により32×25×5mmの板状試験片を採取し、全面500#エメリー紙まで研摩仕上後、65%硝酸

沸騰試験(Huey試験)をおこなった。その結果をTable 3に示す。両鋼種とも、窒素添加材と基準材間にほとんど差異は認められず、すぐれた耐食性を示している。

以上の溶接性、耐食性試験結果から、窒素添加が熱間加工性に最大の効果を与える20Cr-9Ni-0.9Nb、24Cr-13Ni鋼の2鋼種は、窒素添加にともなう不銹鋼本来の使命である耐食性の点では全く心配ないが、溶接性(熱間割れ感受性)が劣化するので、溶接を必要とするような製品の場合には熱間加工性を改善するために窒素を添加することはできない。したがってこの場合、あまり効果は大きくないが、ほかの方法すなわち稀土類元素の添

Table 3. Results of huey test*1).

Steel	Kinds of test specimen	Heat treatment condition	Corrosion*2) quantities (i.p.m.)
20Cr-9Ni-0.9Nb steel	Base material	1100°C×2h W.Q.	0.00058
	N ₂ 0.10% addition		0.00046
24Cr-13Ni steel	Base material	1100°C×2h W.Q. →650°C×2h A.C.	0.00078
	N ₂ 0.10% addition		0.00060
24Cr-13Ni steel	Base material	1100°C×2h W.Q.	0.00028
	N ₂ 0.10% addition		0.00028

Note: *1) 65% HNO₃, 48h boiling, 3 times
*2) Corrosion quantities is the mean value of two test specimens.

加あるいは高温拡散焼鈍によらざるをえない。

IV. 総 括

以上の試験結果をとりまとめると

(i) 高温拡散焼鈍の熱間加工性におよぼす効果は各鋼種とも認められるが、20Cr-12Ni-2Mo鋼に対しては特に効果がいちじるしい。高温拡散焼鈍処理条件としては、1200°C×50hが最も適当である。

(ii) 稀土類元素(ミッシュメタルおよびランタン合金)添加の効果は各鋼種とも認められ、添加量0.25%が最も良好な熱間加工性を示し、各鋼種間の差異はあまり認められない。またランタン合金はミッシュメタルより若干効果が大である。

(iii) 窒素添加が熱間加工性改善におよぼす効果は元来 δ フェライトの少ない20Cr-12Ni-2Mo鋼において

は少ないが、20Cr-9Ni-0.9Nb および 24Cr-13Ni 鋼には効果が大である。しかしながら窒素添加はδフェライトの減少にともなう溶接性の劣化を来すので、溶接を必要とするような製品の場合には問題があるが、不銹鋼本来の使命である耐食性には、なんら悪影響をおよぼさない。

文 献

- 1) F. K. BLOAM, W. C. CLARK & P. A. TENINGS: Metal Progress, 59 (1951) 2, p. 250
- 2) R. H. HENKE & R. A. LULA: Journal of Metals, 6 (1954) 8, p. 883
- 3) 森島: 鉄と鋼, 44 (1958) 6, p. 661
- 4) 塚本, 鈴木: 鉄と鋼, 47 (1961) 3, p. 559
- 5) 長谷川, 三沢, 田辺: 鉄と鋼, 48 (1962), p. 638
- 6) 飛沢, 谷, 大沢, 本間: 鉄と鋼, 48 (1962) 11, p. 1484
- 7) R. A. PERKINS and W. O. BINDER: AIME. Electric Furnace Steel Proceeding (1956), p. 123
- 8) 加藤, 金井, 阿部: 製鉄研究, 231 (1960), p. 54

鋼におよぼすウランの影響*

(鋼中の特殊元素に関する研究—I)

成田貴一・**宮本 醇**・高橋栄治**

Effect of Uranium on the Properties of Steel.

(Studies on special elements in steel—I)

Kiichi NARITA, Atsusi MIYAMOTO and Eiji TAKAHASHI

Synopsis:

The authors show that, up to approx. 0.2% addition, Uranium as an alloying element has little improving effect on the properties of carbon steel.

Uranium, however, can be used as a great effective deoxidizer or refiner of molten steel, improving the final deoxidation and the steel ingot-making procedures properly, because it has great affinities with oxygen and sulphur, and the specific gravities of its oxides and sulphides are greater than that of molten steel.

For the practical application of uranium in steel making, the authors point out that it is necessary (1) to establish the detailed regulations for handling radioactive substances from the standpoint of practical operation, (2) to develop the method of uranium addition, (3) to clarify the chemical reaction between refractories and uranium, (4) to investigate the deoxidizing and desulphurizing reactions with uranium in molten steel and (5) to establish the manual on disposal and treatment of the refractories worn out, slag and steel scraps.

(Received 21 Jan. 1963)

I. 緒 言

Uは週期律表上第二希土類元素群に属し、O、N、C、Sなどの元素に対する親和力が非常に大きく、製鋼上興味ある元素の一つである。カナダにおけるU鋼に関する特許によれば、Uを少量添加することにより、炭素鋼の疲労強度、応力腐食抵抗、高温における種々の性質がかなり向上するといわれている^{1)~3)}。一方第二次世界大戦以来、一切のU物質について使用制限および機密令が施行せられ、原子力関係以外には使用することができな

つたが1958年6月にUの非核的利用の禁止が解除され、減損Uが容易に入手できるようになった。

原子力以外の分野において利用できる減損U量は年間10,000~20,000 t程度であると推定されており、将来を見越して現在その利用を考えるべき時期に当面している。そこで鋼におよぼす特殊元素の影響に関する研究の一環として、また減損Uの冶金学的利用の一つとしてU

* 昭和37年4月本会講演大会にて発表

昭和38年1月21日受付

** 株式会社神戸製鋼所中央研究所