

669.14.018.292 : 669.046.5 : 539.124.18
 : 539.55

第6会場 (高張力鋼・合金鋼・耐熱鋼・加工)

(138) 2, 3の超強力鋼の破壊靱性におよぼす電子ビーム溶解の影響

金属材料技術研究所

工博 荒木 透・○安中 嵩・谷地重男

The Effect of Electron Beam Melting on the Fracture Toughness of Some Ultra-High Strength Steels.

Dr. Tōru ARAKI, Takashi YASUNAKA and Shigeo YACHI.

1. 緒言

強度が大きくかつ十分な靱性をもつ超強力鋼の開発については、いろいろの試みがなされているが製造方法に対するものとして、できるだけ有害な内部欠陥が少ないような方法をとる必要性が考えられる。近年真空および電子技術の発達によりかなり容量の大きい電子ビーム溶解炉が製作され、種々の金属材料について電子ビーム溶解の影響が検討されているが、これは主として非鉄金属についてであつて、鉄鋼材料についてはまだ検討されていない。

ここに 20Ni マルエージング鋼と低合金超強力鋼の基本の1つとなつている Ni-Cr-Mo 鋼 (JIS-SNCM 8, AISI 4340 類似) を電子ビーム溶解して非金属介在物およびガス含有量の少ない鋼を溶製し、その靱性におよぼす電子ビーム溶解の影響について研究を行なつた結果を報告する。

2. 試料および実験方法

消耗電極真空アーク溶解炉により溶製した 20Ni マルエージング鋼 (M1) および JIS-SNCM 8 (N1) と、それを 50kW 電子ビーム溶解炉により再溶解 (電子銃を用いた滴下溶解) したもの (M2, N2) を試料とした。電子ビーム溶解中の真空度は $5 \sim 10 \times 10^{-5}$ mmHg であつた。またさらに JIS-SNCM 8 については電子ビーム溶解により化学成分が変化したので、それと比較するために 10kg 高周波真空溶解炉により溶製した Ni-Cr-Mo 鋼 3 種類 (N3, N4, N5) を用いた。

Table 1 に試料の化学成分を示す。電子ビーム溶解により 20Ni マルエージング鋼では、N35%, O73%, Ni-Cr-Mo 鋼では、N35%, O29% それぞれ減少している。また Mn が著しく減少し、さらに Ni-Cr-Mo 鋼では C が増加している。

試料の熱処理は 20Ni マルエージング鋼は 815°C×30 min 空冷, -196°C×20hr, 430°C~580°C×3hr 空冷, Ni-Cr-Mo 鋼は 850°C×15min 油冷, 150°C~350°C×1hr 空冷とした。これらの試料について点算法による非金属介在物の測定, シャルピー衝撃試験を室温で行なうとともに, G. R. IRWIN らによつて提唱されている破壊靱性試験 (Fracture Testing)¹⁾ を行ない靱性を比較した。なおシャルピー試験片は JIS3 号試験片を用い, また破壊靱性試験の切欠試験片はエッジノッチ試験片とし, 巾 25mm, 厚さ 1.5mm のもので, その切欠先端

Table 1. Chemical composition of specimens. (%)

Alloy No.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
M 1	0.012	0.10	0.031	0.005	0.011	18.68	—	—
M 2	0.012	0.10	N.D.	0.005	0.010	19.47	—	—
N 1	0.43	0.30	0.79	0.011	0.002	1.82	0.87	0.29
N 2	0.50	0.32	0.15	0.013	0.002	1.91	0.75	0.29
N 3	0.42	0.30	0.16	—	0.003	1.90	0.75	0.32
N 4	0.56	0.28	0.14	—	0.003	1.89	0.76	0.32
N 5	0.68	0.30	0.17	—	0.002	1.88	0.75	0.31

Alloy No.	Al	Nb	Ti	Zr	B	Cu	N	O
M 1	0.28	0.37	1.97	0.09	0.004	—	0.0040	0.0011
M 2	0.27	0.45	2.00	0.10	0.006	—	0.0026	0.0003
N 1	—	—	—	—	—	0.08	0.0066	0.0014
N 2	—	—	—	—	—	0.03	0.0043	0.0010
N 3	—	—	—	—	—	trace	0.0030	—
N 4	—	—	—	—	—	trace	0.0043	—
N 5	—	—	—	—	—	trace	0.0025	—

Table 2. Cleanliness of the specimens.

Alloy No.	$d_{A+B+C200 \times 400}$	Alloy No.	$d_{A+B+C200 \times 400}$
M 1	0.010	N 3	0.032
M 2	0.003	N 4	0.036
N 1	0.009	N 5	0.032
N 2	0.004		

は電子ビーム加工によりシャープノッチ (切欠半径 25~85 μ m) とした。切欠試験片の引張速度は 1mm/min である。

3. 実験結果および考察

3.1 非金属介在物

非金属介在物の測定結果を Table 2 に示す。電子ビーム溶解により非金属介在物は清浄度として 0.00x のオーダーの低い値を示した。

3.2 衝撃値

20Ni マルエージング鋼と Ni-Cr-Mo 鋼のシャルピー衝撃値と硬度との関係をそれぞれ Fig. 1 および Fig. 2 に示す。20Ni マルエージング鋼では真空溶解したものは衝撃値のバラツキが大きい。これを電子ビーム溶解することによりバラツキは小さくなつている。なお 540°C 過時効処理のものは 430°C の時効不完全のものと同程度の衝撃値と硬度を示し、480°C の正規の時効処理を行なつたものより衝撃値は高い。

Ni-Cr-Mo 鋼の 300°C 焼もどしのもは 500°F 脆性のために、200°C 焼もどしのものより衝撃値は低下するが、特に電子ビーム溶解の影響は認められない。

3.3 破壊靱性

軸に対称に両端より鋭い切欠を入れた切欠板引張試験片を破断する場合、その破壊靱性 (Fracture Tough-

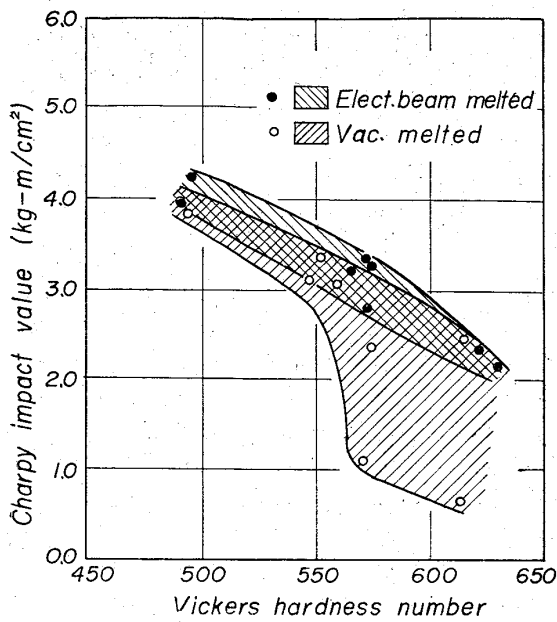


Fig. 1. Hardness-impact strength curve of 20 Ni maraging steels aged at various temperature.

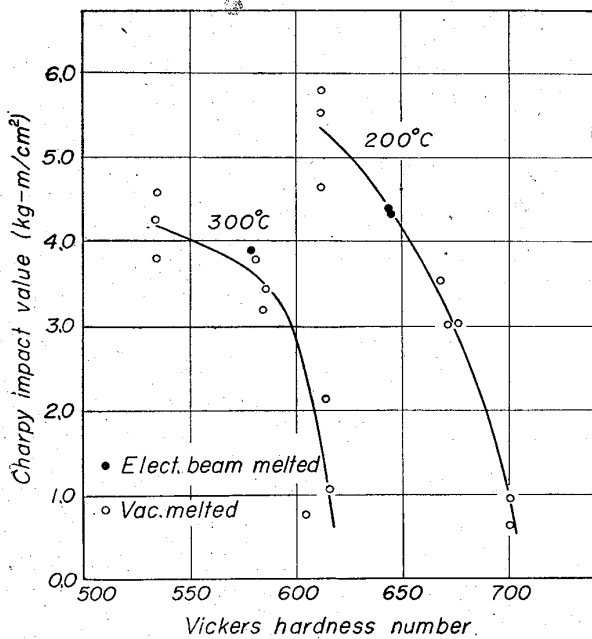


Fig. 2. Hardness-impact strength curve of Ni-Cr-Mo steels tempered at 200°C and 300°C, 1hr.

ness) K_c 値は次式で表わされる。

$$K_c^2 = \sigma^2 W \{ \tan(\pi a_1 / W) + 0.1 \sin(2\pi a_1 / W) \}$$

ただし,

$$a_1 = a + K_c^2 / (2\pi \sigma_{YS}^2)$$

ここに,

σ : 破断時の総断面応力

W : 試験片巾

a : スロークラック長さ

σ_{YS} : 0.2% 耐力

本実験では a は ink staining 法によつて測定した。

Table 3. K_c -value and percent shear of 20 Ni maraging steels.

Alloy No.	Aging temperature (°C)	K_c -value (kg/mm ² ·√mm)	% shear	Vickers hardness
M 1	480	359	28	608
M 1	540	334	55	549
M 2	480	451	28	622
M 2	540	369	44	568

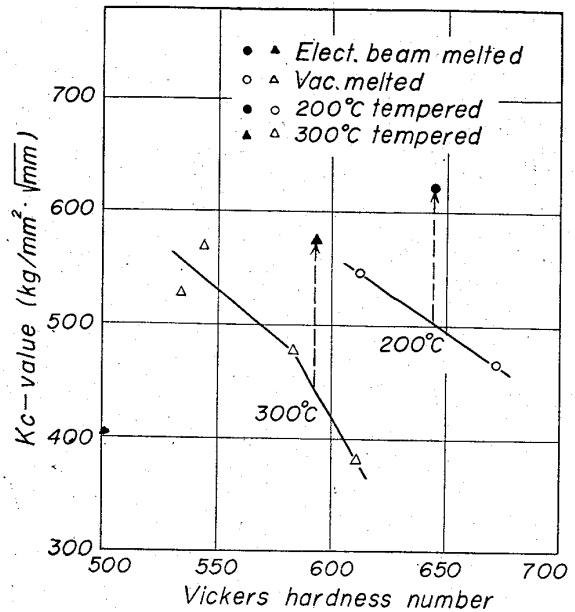


Fig. 3. Relationship of K_c -value and Vickers hardness number for Ni-Cr-Mo steels tempered at 200°C and 300°C, 1hr.

K_c 値と硬度との関係を Table 3 および Fig. 3 に示す。20Ni マルエージング鋼の K_c 値は電子ビーム溶解により増加し、破壊靱性は改善される結果をえた。また 540°C の過時効処理を行なったものは、480°C の正規の時効処理を行なったものより硬度は低いにもかかわらず K_c 値は小さく、衝撃試験の結果とは逆になっている。

Ni-Cr-Mo 鋼についても Fig. 3 に示されるように電子ビーム溶解したものは、真空溶解したものより K_c 値は大きい。また 300°C で焼もどしを行なったものは、200°C で焼もどしを行なったものより K_c 値は低下し、衝撃値と同様に 500°F 脆性を示す。破壊靱性試験はシャルピー衝撃試験にくらべて組織感性があることがわかる。

次に破壊靱性 K_c 値と同様の傾向を示す靱性のパラメータとして切欠強度比および延性破面率 (Percent shear) が報告されている¹²⁾。Fig. は K_c 値と切欠強度比との関係を示したもので、図中の数字は焼もどし温度または時効温度および硬度 (H_v) である。図からわかるように、 K_c 値と切欠強度比の間には狭い条件の範囲では、相関関係がみられるが、鋼種、熱処理条件、溶解条件によりそれぞれ異なった挙動を示す。延性破面率については Ni-Cr-Mo 鋼の場合はいずれも 100% であ

669. 14. 018. 8 : 669. 15. 24. 25 - 194 ; 621. 785. 363
 : 669. 112. 227. 346

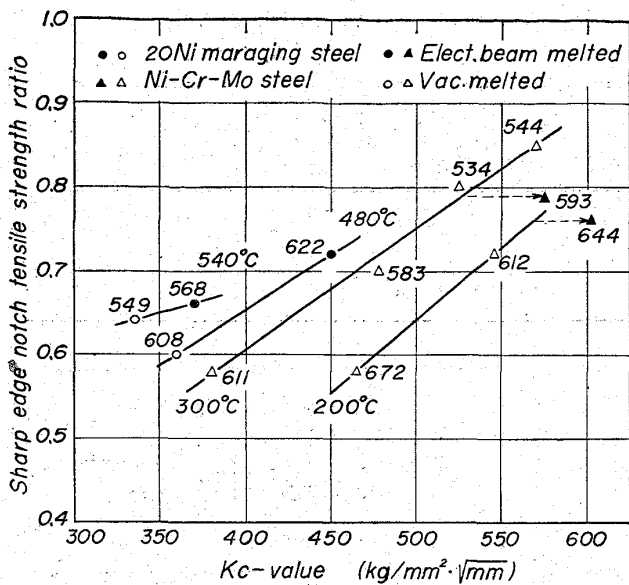


Fig. 4. Relationship of K_c -value and sharp edge notch tensile strength ratio for 20Ni maraging steels and Ni-Cr-Mo steels.

り、また 20Ni マルエージング鋼の場合は Table 3 に示すように明確な関係は得られなかつた。

前に述べたように、電子ビーム溶解したものは真空溶解したものにくらべて K_c 値が大きい。また Fig. 4 について硬度と切欠強度比を検討してみると、同一硬度の場合電子ビーム溶解したものは切欠強度比が大きい。このことは電子ビーム溶解したものは切欠先端近傍の初期塑性変形が容易で塑性域が大きく、高い K_c 値を示すことを示唆しているように思われる。

なお本実験では 20Ni マルエージング鋼の K_c 値は Ni-Cr-Mo 鋼 (N1~N4) の K_c 値より小さいが、これは靱性に有害な Ti 含有量が規格値 (1.3~1.6%) より高いためによるものとも考えられる。

4. 結 言

真空溶解した 20Ni マルエージング鋼および Ni-Cr-Mo 鋼 (JIS-SNCM8) を電子ビーム溶解し、その靱性におよぼす電子ビーム溶解の影響を検討した結果、次の結論を得た。

(1) 20Ni マルエージング鋼の場合バラツキが減少するほかは、シャルピー衝撃値については電子ビーム溶解の影響は認められない。

(2) 破壊靱性 K_c 値は各鋼とも電子ビーム溶解により増加する。破壊靱性は衝撃値にくらべて組織敏感性があり、超強力鋼の靱性の評価には適当であると思われる。

(3) 切欠強度比、延性破面率は必ずしも K_c 値と同じ傾向は示さない。

文 献

- 1) A Report of a Special ASTM Committee, ASTM Bulletin, (1960)243, Jan., p. 29; 224, Feb., p. 18
- 2) J. L. SHANNON, JR., G. B. ESPEY, A. J. REPKO, W. F. BROWN, JR.: Proc. Amer. Soc. Test. Mat., 60 (1960), p. 761

(139) Co を含むマルエージング型ステンレス鋼の熱処理と機械的性質について

(マルエージング型ステンレス鋼に関する研究—I)

日本冶金工業, 川崎製造所

工博 横田 孝三・○江波戸 和男

On the Heat Treatment and Mechanical Properties of Maraging Stainless Steel Containing Cobalt.

(Study on maraging stainless steel—I)

Dr. Kozo YOKOTA and Kazuo EBATO.

1. 結 言

著者らはかねてよりステンレス鋼の耐食性、耐熱性および耐酸化性を失うことなく高力で靱性に富むステンレス鋼の開発を続けてきた。その結果、低炭素 Fe-Cr-Co-Ni-Mo 系マルテンサイトで時効硬化させることにより、約 180kg/mm² の引張強さと優れた靱性の得られることを知った。この合金系で耐食性または硬化性を増すためには Cr および Mo が効果的であり、靱性を保持するためには Ni が必要である。また合金の組織は均一なマルテンサイト組織であることが望ましく、Cr や Mo による δ フェライトの生成を抑制しかつ残留オーステナイトを少なくするためには Co は非常に有用であることを増告したり。

本報告はこれら一連の研究から得られた高力で靱性に富む新しいマルエージング型ステンレス鋼の熱処理特性と、機械的性質について検討し、本鋼種に対する適正熱処理とその特性を追求した結果である。また先に報告した低炭素 Fe-Ni-Co-Mo 系マルエージング鋼の特性との比較検討も行なう。

2. 供試材および試験方法

12%Cr-Fe 合金に 12.5Co, 5.0Mo, 4.5Ni を添加し Ms 点を約 130°C とし δ フェライトを共存せず、かつ時効硬化能を有する Table 1 に示す鋼を溶製した。溶製に当つては消耗式電極真空アーク炉を使用し、得られた 500kg 鋼塊を熱間鍛造および熱間圧延により 25. mm ϕ 棒材および 2mm 板として各種試験に供した。焼鈍および時効処理温度が機械的性質におよぼす影響を知るために、焼鈍温度を 800~1050°C、時効温度を 400~800°C と変化させた。なお焼鈍時間は 1hr 時効時間は 1min~300hr とした。これら処理によつて得られた試片について Ms 点の測定、顕微鏡組織、マルエージング処理による析出硬化および低温、常温、高温での

Table 1. Chemical composition of steel tested.

C	Si	Mn	P	S	Ni
0.026	0.07	0.13	0.004	0.014	4.47
Cr	Co	Mo	N	B	Zr
12.22	12.43	5.00	0.023	0.005	0.002