



Photo. 1. Quench aging of low-carbon steel QC (N 0.004%), 100°C × 10 mn., × 10,000 (1/2).



Photo. 2. Quench aging of low-carbon steel QN (N 0.032%), 100°C × 2 h., × 10,000 (1/2).

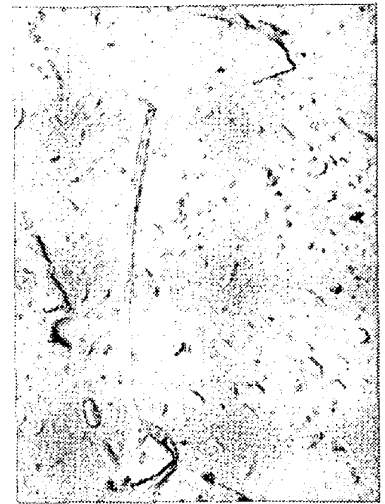


Photo. 3. Quench aging of steel QC, 200°C × 5 h., × 10,000 (1/2).



Photo. 4. Quench aging of steel QN, 200°C × 5 h., × 10,000 (1/2).

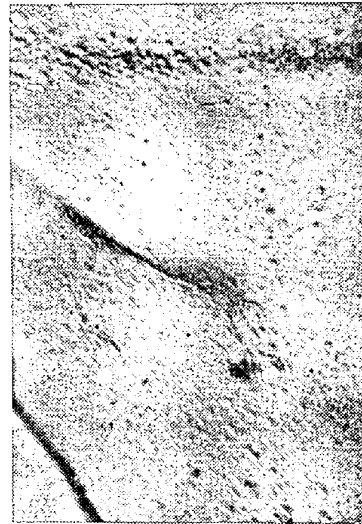


Photo. 5. Strain aging of low carbon steel SN (N 0.036%), 200°C × 5 mn., × 10,000 (1/2).

においては、転位の数が増加してNの移動は容易となるが、固溶しているCおよびNが少量のため、CとNは転位部に集積するだけで析出はわずかしかおこりえない。

(97) Si-Mn系構造用高抗張力鋼におよぼすVおよび2, 3の元素の影響

Effect of V and Other Elements on Si-Mn High-Strength Structural Steel

E. Asano, et alius.

東都製鋼, 技術部

工博○浅野栄一郎・須関 昭二

I. 緒言

構造用高抗張力鋼は最近数年間に広く普及し、構造物の軽量化への要求と相俟つて種々の用途に用いられ始めている。本邦においても数社が高抗張力鋼を製造しそれぞれの商品名をつけて市販しているがいずれも Si-Mn 系の高抗張力鋼に属しており引張り強さも一般構造用圧延鋼材 SS41 にくらべ約3割増加した 50~60 kg/mm² 程度の範囲にとどまつている。しかして最近一段と産業の機械化が進展するにともなつてさらに高い強度を有す鋼製造の要望が強くなりつつあるので、まず現在用いられている Si-Mn 系をベースにして、Vその他の元素を加えその影響につき実験調査した。

II. 試料および実験方法

Table 1. Chemical compositions of samples.

Mark	C	Si	Mn	P	S	V	Other elements
V 0	0.16	0.386	1.22	0.018	0.042	0.00	—
1	0.16	0.400	1.53	0.010	0.038	0.07	—
2	0.15	0.446	1.31	0.012	0.032	0.14	—
3	0.16	0.436	1.09	0.012	0.037	0.39	—
4	0.15	0.398	1.15	0.010	0.042	0.48	—
V Zr	0.15	0.357	1.31	—	—	0.12	Zr 0.14
V Cr	0.14	0.390	0.99	—	—	0.12	Cr 0.83
V Ti	0.18	0.712	1.24	—	—	0.11	Ti 0.25
V HC	0.20	0.406	1.21	—	—	0.07	—
Si V 1	0.10	0.648	1.54	—	—	0.13	—
2	0.09	0.650	1.35	—	—	0.20	—
3	0.10	0.662	1.23	—	—	0.27	—
Si V Z	0.10	0.640	1.67	—	—	0.15	Zr 0.24

本試験に使用した試料は Table 1 のごとき成分のもので、いずれも高周波電気炉で溶製し約 5kg の鋼塊を作り熱間圧延にて 9mm 径の丸棒に圧延した。なお、V の添加は Fe-V 合金 (V 35%), Zr は Fe-Zr 合金 (Zr 41%, Si 41%), Ti は Fe-Ti 合金 (Ti 25%) を使用した。

試験方法としては、上記試料を圧延のまま、再加熱処理後空冷、炉冷、および焼入焼戻処理して引張り試験をおこない、引張り強さ、降伏点、伸び、断面収縮率を測定し、さらに硬度、金属組織、低温 V ノッチシャルピー試験をおこなった。そしてこれらの結果にもとずきもつとも実用性があると思われる成分を選定し高周波電気炉で

350kg 鋼塊を溶製し山形および 2.3mm 板に圧延し各種材質試験を実施した。

III. 実験結果

(1) Si-Mn 系高抗張力鋼におよぼす V の影響
V を 0 ないし 0.6% の範囲で添加すると V% の増加にともなつて Fig. 1 にしめすごとく順次引張り強さ、降伏点は高くなり伸び、断面収縮率は減少する。また V ノッチ低温衝撃値はかなりいちぢるしく低下する。組織にとくに目立つた変化はないが V の増加により結晶粒が微細化する傾向をしめす。以上は圧延のままの性質であるが 680°C, 750°C,

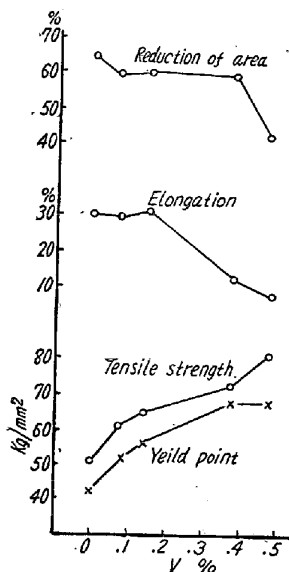


Fig. 1. Effect of vanadium content on mechanical properties of Si-Mn high-tensile steel (as-rolled condition).

930°C の各温度に 15 分加熱して炉冷、または空冷した場合も Fig. 2 にしめすごとくこの傾向はかわらないが 930°C の加熱の場合は成分による機械的性質の差は少なくなる。V 含有量の多い V3, V4 になると A1 変態による硬化作用も顕著となる。また 680°C. 再加熱で空冷、炉冷にかかわらず、引張り強さが圧延のままの場合より増加している。この傾向は焼入焼戻処理した試料にもあらわれ、V2, V3, V4 の試料を 600°~650°C に焼戻した場合 500°~550°C に戻した場合よりも引張り強さは高くなる。これは V と C の特殊炭化物による二次硬化作用と考えられる。しかし、これらの現象による硬化域では、断面収縮率は悪くなるが伸びは 450°~500°C にくらべ顕著な差は認められない。

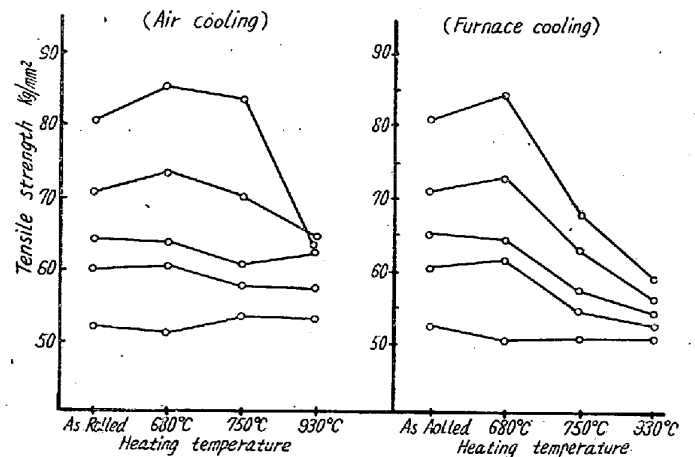


Fig. 2. Effect of heat treatment on tensile properties of Si-Mn-V high-tensile steel.

(2) Si-Mn 系高抗張力鋼におよぼす V+Zr, V+Cr, V+Ti および V+C の影響。

V を 0.2% 添加した Si-Mn 系高抗張力鋼に Zr, Cr, Ti を合せ添加したもの、および C を 0.20% にした試料につき試験した。圧延のままでは Fig. 3 にしめ

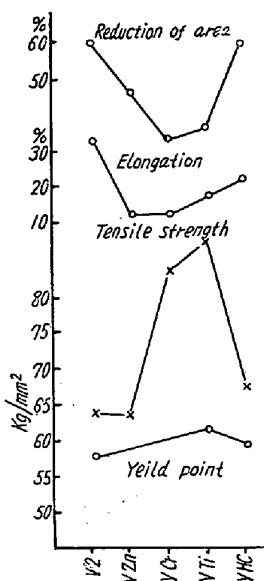


Fig. 3. Effect of Zn, Cr, Ti and C content on mechanical properties of Si-Mn-V high-tensile steel (as-rolled condition).

訂正: 図中, Zn とあるは Zr の誤り

すごとく V のみを添加した場合 (V2) よりも引張り強さ, 降伏点は増加し, 伸び, 断面収縮率は減少しているが, Zr の場合はあまり顕著でない。この傾向は 680°C, 750°C に加熱し炉冷, 空冷してもかわらないが, 930°C に加熱すると Ti の入った試料以外はこの差はほとんど認めがたくなる。ただし Ti の入った試料は Si の含有量が高いため Ti のみによる影響とはいいがたい。Ti, Cr, Zr および C の少量を添加した試料においても V の二次硬化作用はとくに促進されることがわかった。

(3) 高 Si-Mn 系高抗張力鋼におよぼす V および V+Zr の影響。

構造用高抗張力鋼としては C% ができるだけ低いことが望ましい点を考慮に入れて C 0.10% とし, Si を若干増加して 0.6%~0.7% をベースにした Si-Mn 系高抗張力鋼についても試験した。V 0.1~0.3%, および V 0.2%+Zr 0.3% 添加した試料につき引張り試験をおこなったところ, Fig. 4 にしめすごとく V の増加により, 引張り強さは増加し, 伸び, 断面収縮率は低下した。V+Zr の入った試料は高 Si の場合は低 Si にくらべ, 引張り強さにも相当の増加が認められ伸びの低下は少ないが, 断面収縮率の低下はいちじるしい。630°C, 750°C, 950°C に加熱し炉冷または空冷した場合も同様の傾向をしめすが, 二次硬化作用と思える現象はみられなかつ

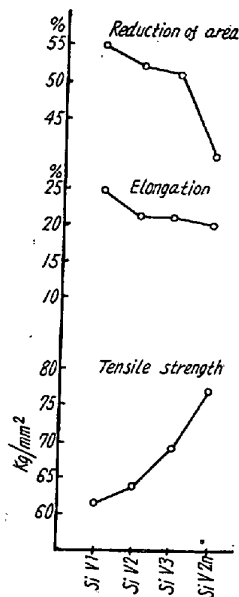


Fig. 4. Effect of Vanadium content on mechanical properties of low carbon Si-Mn high-tensile steel (as-rolled condition).

た。

(4) Si-Mn-V 系成分による高抗張力鋼山形鋼の試作。

上記試験の結果, 最も有望と考えられる V 0.3% 添加せる Si-Mn 系高抗張力鋼を再度熔解し, 81×87 角ビレット, 13×75 山形鋼, および 2.3mm 鋼板を試作し, 引張り試験, 金属組織試験の他, 曲げ試験, 低温および常温における V ノッチャルピー試験, 熔接部最高硬さ試験, 熔接部硬度分布試験を行い熔接性についても検討した。なお試作鋼の分析成分は, C 0.16%, Si 0.322%, Mn 1.12%, V 0.18% で L 13×75 材の強度は引張り強さ, 75.8 kg/mm², 伸び 17.3%, 曲げは R=1.5 t ともに完全に屈曲した。

IV. 総 括

以上のごとく Si-Mn 系高抗張力鋼に V およびその他の元素を併用添加した試料につき試験をおこなった。その結果によると, V の添加により引張り強さ, 降伏点を高めることは容易にでき, 熔接などの再加熱による強度の低下も少なく, V の添加量を適当に選べば, 伸びもあまり低下しないが, 低温衝撃値の低下はいちじるしい。この現象は Zr, Ti, Cr および C の一部を Si に置換することによつても防止できず, 逆に助長する傾向がある。このため V の添加量は 0.2~0.3% が限度で引張り強さも 60~70 kg/mm² 程度のものしか期待できないことがわかった。さらに V 0.3% を添加した Si-Mn 高抗張力山形鋼および 2.3mm 鋼板を熔製試圧し, 強度試験の他, 熔接部最高硬さ試験, 熔接部硬度分布, V ノッチ低温衝撃試験を行つたところ, 機械的な性質では構造用高抗張力鋼としてほぼ満足な成績をしめしたが, 熔接性の点ではあまり良好な結果はえられなかつた。

上記の事項の他 V を 0.3~0.6% 添加すると 550°C~600°C で焼戻し二次硬化作用があらわれ引張り強さが増加する割合に, 伸びの低下が少ない点より調質用高抗張加鋼への添加元素としては今後さらに検討する必要があることがわかった。