ろう.

IV. 結　　言

(1) 低炭素リムド鋼板において,焼鈍温度が高くなるにつれて析出するセンンタイト粒子は大きくなり, A_{C1} 点をこえると塊状セメンタイトとなる.

(2) セメンタイト粒子が大きくなるにつれて粒子の数が少なくなるので,セメンタイト粒子間の平均距離 (d) は増大する.

(3) セメンタイト粒子間の平均距離 (d) と固溶C量との間には相関関係があつて,本実験では d が約 10μ のとき固溶C量は約 0·0001%となり, d が 30μ に増加すると固溶C量は約 0·001%に増大した.

文　献

1) P. Stark, B. L. Averbach & M. cohen: Acta Met **6** (1958) p. 149～155

2) G. Lagerberg. and A. Joseffsson: Acta. Met. **3** (1955) p. 236

3) 周藤: 鉄と鋼, **49** (1963) 3, p. 509～511

4) J. F. Butler: Trans. Met. Soc. Amer. Inst. Min. Met. & Pet. Eng., **224** (1962) p. 89～96

---

(127) Cr-Mn バネ鋼の高温機械的性質におよぼす熱処理および添加元素の影響

金属材料技術研究所　○星　野　明　彦

The Influence of Alloying Elements and of Heat-Treatment on the Elevated Temperature Mechanical Properties of Cr-Mn Spring Steel.

Akihiko Hoshino.

I. 緒　　言

鉄鋼材料中 400°C までの昇温域において実用に供されている例はかなり多いにもかかわらず,このような温度域における鋼の機械的性質に関する報告は比較的に少ないようである.著者は以前に JIS バネ鋼より主な6鋼種について高温引張試験を行なつたが,今回は Cr-Mn 鋼の熱処理方法を変えた場合およびこの鋼に各種合金元素を添加した場合における高温機械的性質の挙動を調べるために 500°C までの各温度において高温引張試験を実施して得られた結果について報告する.

II. 実 験 方 法

2.1 供試材　この実験に使用した Cr-Mn 鋼 (SUP 9) の化学組成をまず Table 1 に示す.

他方この Cr-Mn 鋼の高温機械的性質におよぼす添加元素の影響を調べるために上記組成の鋼材を再溶解して Si, Ni, V, Mo および Al をそれぞれ添加して Table 2 に示すような試料の溶製を行なつた.この場合 6kg 鋼塊を大気中にて溶製し,熱間圧延によつて 20mm∮ 丸棒を得て後に試験片を作成した.

2.2 高温引張試験,引張試験片は 20mm∮ 棒鋼から直経 8mm∮, 標点 (凸起部) 間距離 50mm の高温用引張試験片の作成を行なつた.再溶解せぬ試験片に対する熱処理による変化を調べるために870°C×30min 油焼入後 450°, 500°, 550°C×1hr の焼戻を行なつた外に 870°C×30min のオーステナイト化後 340° および 380°C で 30min 恒温変態処理も行なつた.なお再溶解して合金元素を添加した場合には 870°C 油焼入後の焼戻はすべて 500°C で行なつた.

このように処理した試験片については 0·2%降伏点を測定するために高温用伸検出器を取付けるとともに試験片の温度測定のために A-C 熱電対を2カ所に取付けた.そして所定温度に到達後 20min 保持してから 1mm/min の速度で実験を行なつた.

III. 実験結果および考察

Table 1 に示す Cr-Mn 鋼について焼戻温度を変えて得られた結果を Fig. 1 に示す.焼戻温度が変化することによつて硬度や引張強さが異なるために試験温度が上昇してもその関係は保たれている.全般的な傾向としては試験温度の上昇にともなつて引張強さは低下する

Table 1. Chemical composition of Cr-Mn steel used.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
0·54	0·32	0·76	0·020	0·012	0·77	0·08	0·21

Table 2. Chemical composition of Cr-Mn steel after remelting.

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Mo	Al
A 1	0·58	0·15	0·72	0·020	0·012	0·78	0·090	0·18	—	—	0·032
A 2	0·55	0·15	0·78	0·023	0·011	0·83	0·085	0·20	—	—	0·054
A 3	0·56	0·16	0·76	0·020	0·011	0·78	0·085	0·21	—	—	0·095
S 1	0·55	0·46	0·66	0·018	0·013	0·71	0·085	0·15	—	—	—
S 2	0·54	1·07	0·83	0·018	0·012	0·76	0·085	0·20	—	—	—
S 3	0·55	2·08	0·81	0·020	0·012	0·78	0·080	0·19	—	—	—
N 1	0·61	0·15	0·73	0·020	0·011	0·80	0·52	0·20	—	—	—
N 2	0·56	0·14	0·74	0·024	0·011	0·88	1·00	0·20	—	—	—
N 3	0·56	0·13	0·65	0·026	0·011	0·81	2·10	0·21	—	—	—
V 1	0·58	0·14	0·73	0·020	0·012	0·80	0·085	0·20	0·20	—	—
V 2	0·57	0·15	0·75	0·029	0·012	0·79	0·085	0·19	0·29	—	—
V 3	0·58	0·15	0·70	0·021	0·009	0·80	0·085	0·19	0·57	—	—
D 1	0·55	0·10	0·60	0·023	0·012	0·79	0·095	0·20	—	0·29	—
D 2	0·56	0·18	0·72	0·021	0·011	0·72	0·080	0·20	—	0·46	—
D 3	0·57	0·17	0·73	0·027	0·012	0·80	0·090	0·21	—	0·96	—

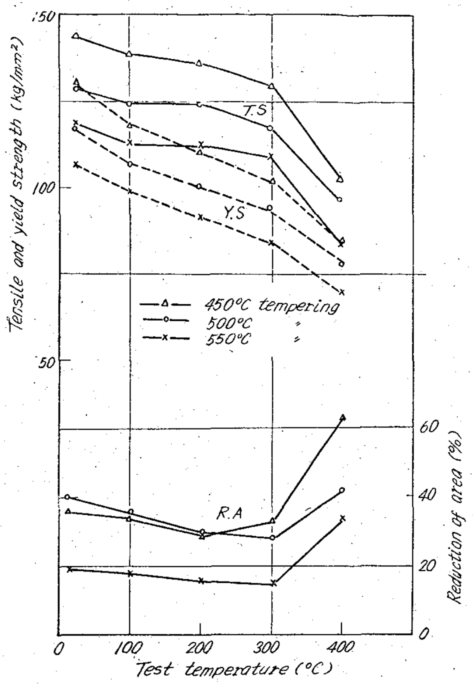

Fig. 1. Effect of tempering temperature.

が，その後 200°C まではあまり強さの低下は認められない．しかしながら 300°C 以上に加熱されることによつて著しく低下し始める．降伏点は S-S 曲線上より求めたのであるが，Fig. 1 からも明らかなように温度上昇とともに直線的に減少している．高温引張を行なつた場合に 200°C 付近で引張強さが増大するのは主として歪時効現象に基因するものであつて，この現象が降伏点にあまり現れていないことから考えれば塑性流動域における転位の固着および増殖によるものと思われる．

したがつて破断絞りの場合には逆にこの温度域で低下しており，400°C では靱性は回復する．

より高温で焼戻処理した材料は熱的に安定であろうと一般に考えられるが，この Fig. 1 によると，550°C 焼戻材の 400°C までの引張強さは他の材料と同じように低下しており，また降伏点も連続的に低下している．さらに注目すべきことはこの 550°C 焼戻材の絞りが 450°C および 500°C 焼戻材のそれに比して著しく低いことである．この原因としては粒子の大きさの問題にあるのではなく，むしろ焼戻温度が焼戻脆化温度に近かつたためであると考えられ，したがつてこの温度域での焼戻はあまり好結果をもたらさない．

Fig. 2 には恒温変態処理を行なつた場合の結果を示されており，870°C×30min のオーステナイト化後 340°C および 380°C において 30min 恒温変態させ組織としては下部ベイナイトとなつている．恒温変態した場合は焼戻したものに比較して熱的安定性が高いように思われるが，200°C で歪時効によつて引張強さがやはり上昇している．380°C 変態試料ではその影響は少ないように思われる．降伏点に関しては常温降伏比が焼戻材に比して低いために温度上昇にともなう降伏点低下は比較的に少ない．また靱性値については一般に秀れているのがこの処理の特長であり，高温引張においても同様な結果が得られた．

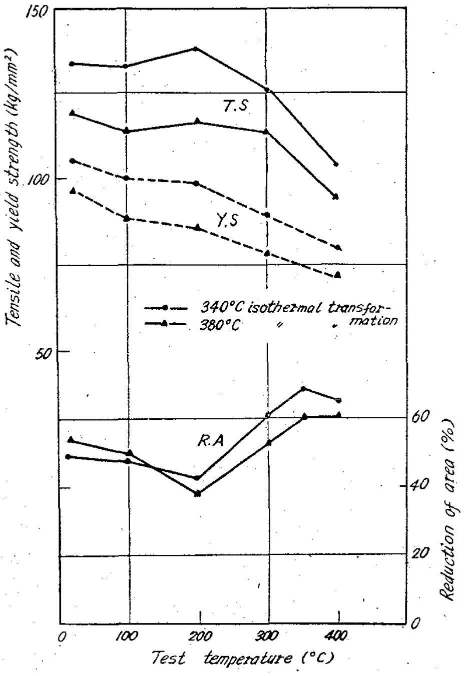

Fig. 2. Effect of isothermal transformation temperature.

次に Cr-Mn 鋼を再溶解し，各種添加元素の量を変えて高温引張強さにおよぼす影響を調べた．Table 2 における A 系列の試料は Al 添加材を示しているが，Al は多くなるにしたがつて強さはやや減じたが靱性値はあまり異ならないという結果が得られた．この場合 Fig. 1 の 500°C 焼戻試料と同じように変化し，再溶解による Al 添加の著しい影響は認められなかつた．

フェライト強化による高温引張強さの増大を目的として，Si および Ni を Table 2 に示すように 2% まで添加した．Fig. 3 に Si の効果を示すように，Si 含有量に比例して強さは増大しており，300°C までは歪時効によりその強さの低下は少ない．しかし，500°C で引張を行なつた場合にはこのような Si の効果は最早現れず

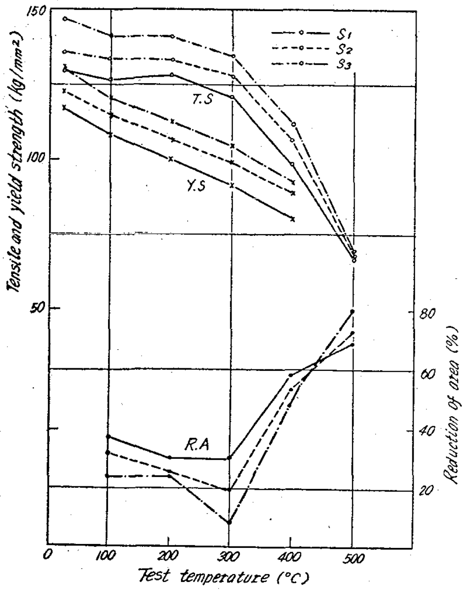

Fig. 3. Effect of Si content.

著しい低下が起こる．降伏点はやはり温度にしたがつて直線的に低下している．

高温引張試験における S-S 曲線をみると，常温引張による場合には弾性限は高く，しかも塑性域への転換は顕著であるが，温度上昇にしたがつて転換は不明瞭となる．したがつて 0.2%降伏点を求めた場合，図のような関係を示しているが，今，比例限について考えたような場合は試験温度上昇による減少は著しくなつている．例えば，500°C で引張試験を行なつた場合には比例限は非常に低く，そのために，0.2% 降伏点の測定さえも困難であるために，これらの図中に 500°C における降伏点は示されなかつた．要するにこのような温度においては負荷によつてクリープ現象を生じるためである．破断絞りは 300°C における歪時効により最小となり，Si 含有量の多いほどこの傾向は顕著となる．しかし Si 含有量が引張強さに対して最早影響をおよぼさないような 500 °C においては逆に Si 量の多いほど靱性値は大きくなる．

Ni については，含有量の影響はほとんどなく，全く Ni を含まぬ試料 (A_1) とほとんど同じ挙動をする．

炭化物形成元素としては Mo および V 添加を行なつたが，V の効果は Fig. 4 に示しているように 0.2～0.5% の範囲では引張強さに対してはあまり効果は認められぬようであるが，降伏点について見ると V 系列の試料間では差はなくとも V を含まぬ試料に比較すると著しく V の添加によつて降伏点が増加していることが明らかとなる．

Mo (Fig. 5) は Si の場合と同じく含有量に比して引張強さおよび降伏点を上昇させており，300°C 以上における低下は著しくなるけれども，Mo を含まぬ試料と比較すると，500°C においても依然として Mo の効果がみられ，また高温での強さの低下度合も少ないようである．

IV. 総　　括

Cr-Mn バネ鋼の高温機械的性質におよぼす熱処理および添加元素の影響を調べ次の結果を得た．

(1) Cr-Mn 鋼の焼戻温度については，450°～500 °C での焼戻が有利で，550°C では強さは低く，また靱性も焼戻脆化温度に近いので低い．

(2) 恒温変態を行なつた場合には歪時効の生じる 200°C においても靱性低下は少ない．

(3) Cr-Mn 鋼に Al, Ni (2%まで) を添加しても高温強さおよび靱性におよぼす影響は少ない．

(4) V (0.2～0.5%) を添加した場合，高温引張強さには余り効果をおよぼさないが，際伏点は著しく向上する．

(5) Si および Mo は添加量により強さを増大し，Si の影響は 400°C 以上では消失するが，Mo は高温でも強さが大である．Si 添加量に比して 300°C で歪時効による靱性低下が起こる．

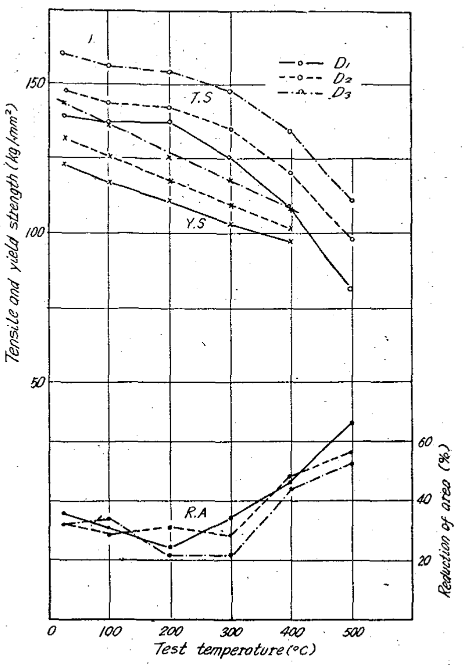

Fig. 5. Effect of Mo content.

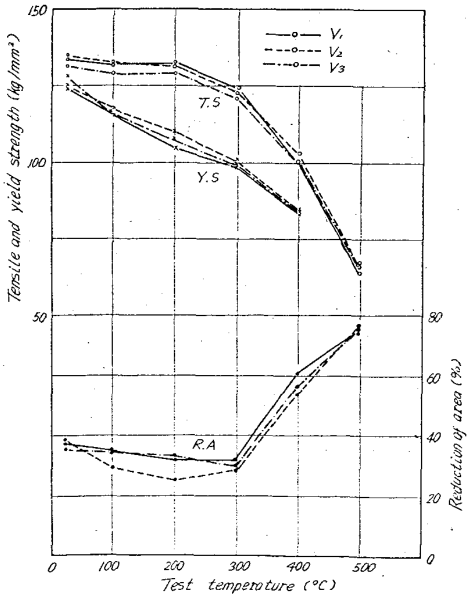

Fig. 4. Effect of V content.