

討11 低合金鋼におけるV炭化物の析出挙動と高温強度の関連について

(株)日本製鋼所室蘭製作所 理博 前川静弥 工博 徳田 昭
 ○ 熊田有宏 土屋勝弘

1. 緒言 Vは鋼中においてはきわめて微細な炭化物として析出し、しかも、この炭化物はCr炭化物あるいはMo炭化物などと異なり高温で長時間曝されても容易に凝集せず、また、炭化物反応を起し難いことから多くの高温用低合金鋼に結んで添加されている。すなわち、これら高温用低合金鋼の高温強度はV炭化物の析出に依存しているともいえる。しかし、このV炭化物も熱処理によってはその析出状態が変わることが考えられ、これが材料の高温における強度にも影響することが予想されるが、この点に關してはまだ充分な知見は得られていない。本研究においては単純V処理鋼およびCrあるいはMoを含有した低合金鋼におけるV炭化物の熱処理と析出挙動との関係、および、これと高温強度との関連を明らかにすることを目的としている。

2. 試験材料 および試験方法 表1に供試材の化学成分を示す。これらの鋼を高周波炉により溶製し、16mm中に鍛伸後、1200℃・2hrs - 炉冷の焼鈍を施した。このような試験材について焼もどし硬さ、室温および高温引張強さ、および、クリープ破断強度におよぼす焼入温度(850℃~1200℃)、焼入冷却速度(水冷および60℃/min.および20℃/min.の炉冷)およびオーステナイト域におけるる段処理の影響を調べた。

表1 供試材の化学成分

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	V
V	0.30	0.52	0.54	0.019	0.027	0.10	0.12	0.17	0.02	0.24
Cr-V	0.28	0.54	0.62	0.020	0.027	0.11	0.96	0.16	0.02	0.24
Mo-V	0.30	0.53	0.51	0.020	0.025	0.10	0.13	0.17	0.87	0.25
Cr-Mo-V	0.30	0.54	0.53	0.021	0.027	0.11	0.93	0.17	0.90	0.25

室温および高温引張試験、および、クリープ破断試験に供した試料に与えた熱処理は各鋼種とも表2に示す5種類である。引張試験は室温、450、500、550℃の4温度、クリープ破断試験はVおよびCr-V鋼については500℃および550℃、Mo-VおよびCr-Mo-V鋼については550℃で実施した。

表2 引張試験片およびクリープ破断試験片の熱処理

記号	V 鋼		Cr-V, Mo-V, Cr-Mo-V 鋼	
A	850℃・20hrs.→水冷,	700℃・20hrs.→炉冷	950℃・20hrs.→水冷,	700℃・20hrs.→炉冷
B	950℃・20hrs.→水冷,	— " —	1000℃・20hrs.→水冷,	— " —
C	950℃・20hrs.→炉冷(60℃/min.),	— " —	1000℃・20hrs.→炉冷(60℃/min.),	— " —
D	950℃・20hrs.→炉冷(20℃/min.),	— " —	1000℃・20hrs.→炉冷(20℃/min.),	— " —
E	950℃・20hrs.→850℃・1hr.→水冷,	— " —	1000℃・20hrs.→950℃・1hr.→水冷,	— " —

3. 試験結果

3.1. 硬さにおよぼす熱処理条件およびV, Cr, Mo 添加の影響 図1に焼入硬さおよび700℃焼もどし後の硬さにおよぼす焼入温度の影響を示す。焼入硬さは1000℃で一度低くなりその後焼入温度の上昇とともに増加する傾向がみられる。この傾向はMo-V、および、Cr-Mo-V鋼で比較的大きいが、V、および、Cr-V鋼では1000℃以上の焼入れでは硬さはほとんど増加しない。単純V処理鋼とこれにCr, Moを添加した鋼では焼入硬さに非常に大きな差がある。また、Cr-V, Mo-V、および、Cr-Mo-V鋼では焼入温度が低い場合には焼入硬さにほとんど差がないが、焼入温度が高くなるにつれてMoとVの同時添加の効果が顕著になる。焼もどし軟化抵抗の尺度として700℃焼もどし後の硬さをみると(図1-b)いずれも焼入温度の上昇とともに増加するが、この増加量はMoを添加したMo-V, Cr-Mo-V鋼が大で

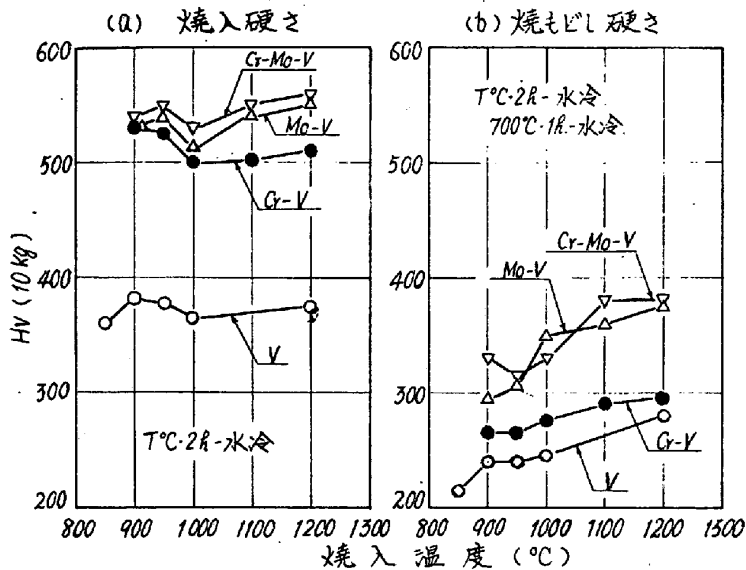


図1 - 焼入硬さおよび700°C焼もどし硬さにおよぼす焼入温度の影響

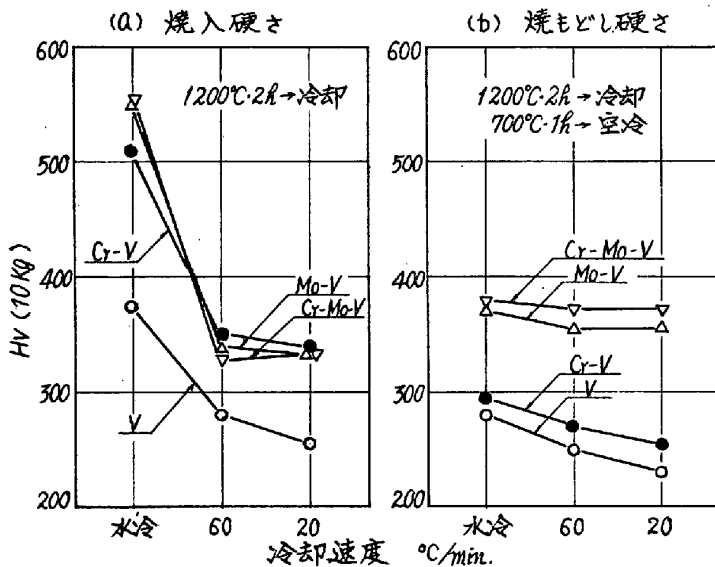


図2 - 焼入冷却速度と焼入硬さおよび焼もどし硬さ

図3にオーステナイト化温度域で2段処理を行なった場合の焼入硬さおよび最高焼もどし硬さを示す。オーステナイト化後900°Cまで冷却してから焼入れたときの硬さを図3-aに示してあるが、前述の図1-aと異なりオーステナイト化温度の高い程硬さの低下する傾向がみられている。また、最高焼もどし硬さもオーステナイト化温度から直接焼入れた図1-bとは逆にオーステナイト化温度の高い程硬さの低下を示している(図3-b)。しかし、図3-cに示すようにオーステナイト化後900°Cまで冷却してからさらに20°C/min.の速度で室温まで冷却した場合には、むしろ図1-bと同様にオーステナイト化温度とともに最高焼もどし硬さも増加する傾向が認められる。

ある。Cr-V鋼は焼入ままの状態ではMo-V, Cr-Mo-V鋼に近い硬さを示していたにもかかわらず(図1-a), 700°C焼もどし後の硬さはむしろV鋼に近づいている。このことは0.25%のVが存在しているも1% Moの添加によって焼もどし軟化抵抗が著しく大になることを示している。また, CrとMoを同時に添加したCr-Mo-V鋼の焼もどし硬さがMo-V鋼と同等であることから, この場合Crの添加は焼もどし軟化抵抗に対してほとんど効果のないことが明らかである。

図2に焼入冷却速度の影響を示す。焼入冷却速度が60°C/min., および, 20°C/min. となると焼入ままの硬さは著しく低下するが, この傾向はV鋼に比してCr-V, Mo-V, およびCr-Mo-V鋼が大である。図1におけると同様に, 焼入ままの硬さではV鋼を除いた他の鋼種の硬さには差はみられないが, 700°C焼もどし後においてはCr-V鋼の硬さ低下が著しくV鋼に近い焼もどし硬さとなっている。V鋼およびCr-V鋼の700°C焼もどし硬さは焼入冷却速度が遅くなるにともなって低下する傾向を示しているが, Mo-V鋼およびCr-Mo-V鋼においては700°C焼もどし後の硬さは冷却速度に関係なくほぼ一定の硬さを示している。

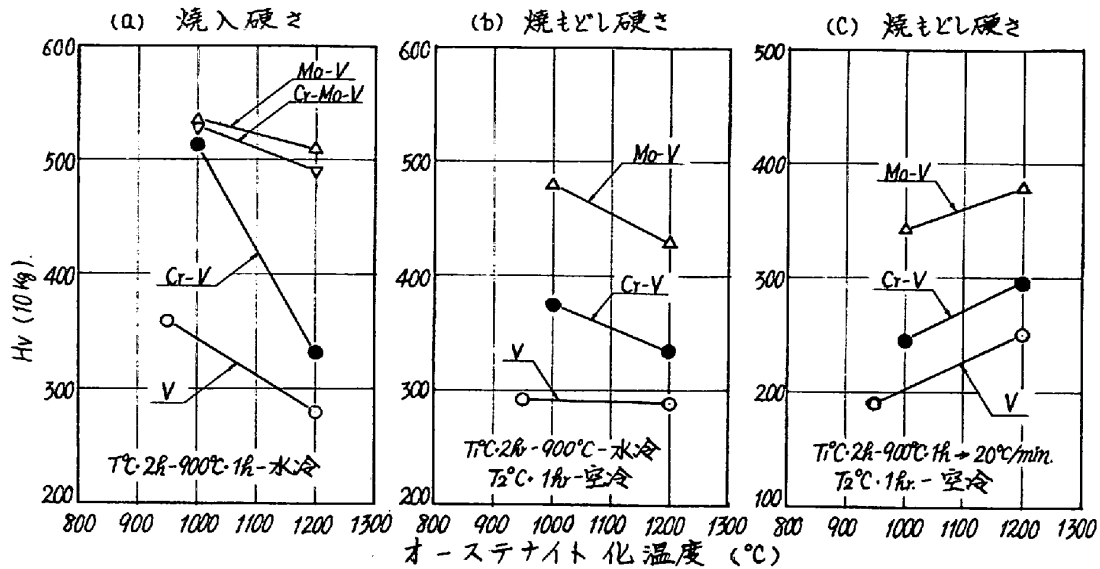


図3 - 焼入硬さおよび最高焼もどし硬さにおよぼすオーステナイト化処理の影響

3.2 室温および高温引張試験およびクリーブ破断試験結果 図4および図5に引張強さおよびクリーブ破断強度におよぼすオーステナイト化処理の方法および焼入冷却速度の影響を示す。図4から室温引張強さ、高温引張強さおよびクリーブ破断強度はオーステナイト化温度の上昇により増加するが、その程度はV鋼を除いてはきわめて僅かである。オーステナイト化後一旦低い温度に保持して熱処理する場合の影響については明確な結果は得られなかったが、Cr-Mo-V鋼の場合には強度の低下が僅かに認められる。焼入冷却速度の影響については、図5から冷却速度が遅くなるにつれてV鋼およびCr-V鋼の室温および550°Cの引張強さは低下するがクリーブ破断強度にはあまり大きな変化が認められない。

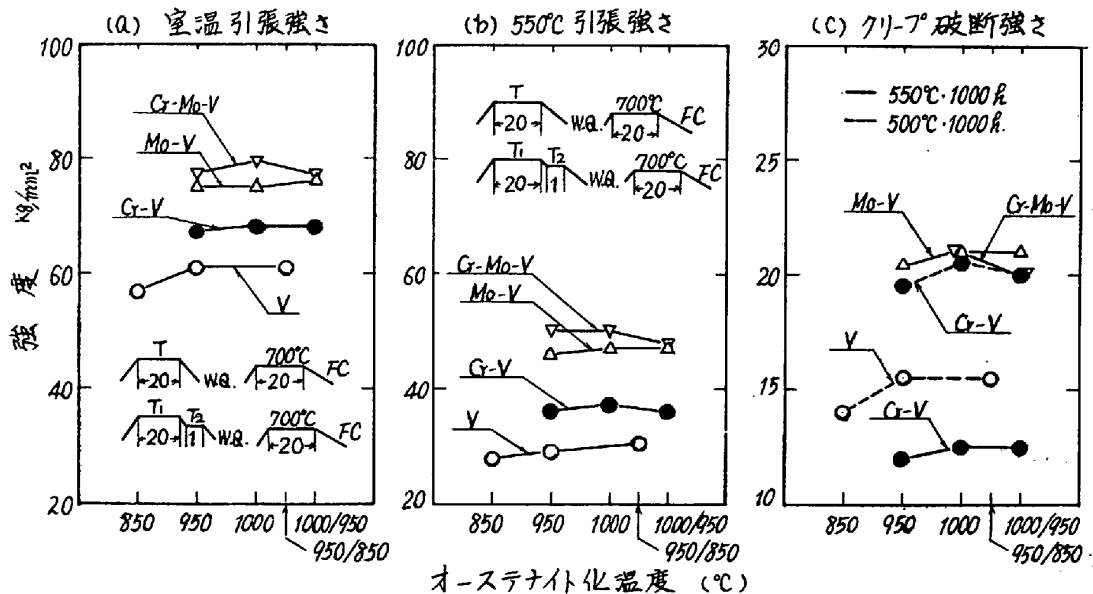


図4 - 室温および550°Cにおける引張強さおよびクリーブ破断強さにおよぼすオーステナイト化処理方法の影響

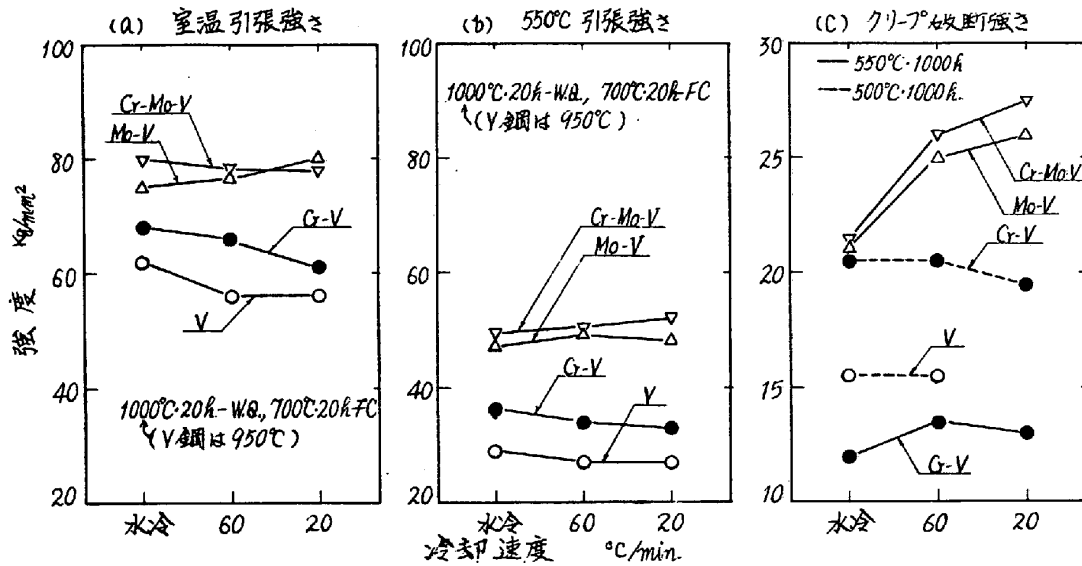


図5 - 室温および550°C 引張強さおよびクリープ破断強さと焼入冷却速度

これに対して、Mo-V鋼およびCr-Mo-V鋼は冷却速度が遅くなるに伴って室温および高温引張強さが僅かに増加し、クリープ破断強度が大巾に増加している。各種熱処理を通じて単純V鋼に対する1%Crの添加は室温で7~10 kg/mm²、550°Cで約6 kg/mm²の引張強さの増加をもたらすに過ぎないが、1%Moの添加は室温で15~20 kg/mm²、550°Cで17~22 kg/mm²という大巾な引張強さの増加をもたらす。Moの添加による強度の増加は焼入冷却速度の遅い程大きくなる傾向がある。1%Crおよび1%Moの複合添加は強度の点からはMoの単独添加の場合との差がみられない。

4. 結言

以上の結果を要約すると、

- (1) 単純オーステナイト化処理の場合、焼入硬さは焼入温度の上昇に伴って僅かに増加するが、オーステナイト化処理を2段階にすると逆に低下する傾向がある。
- (2) 2段階のオーステナイト化処理の場合、焼入冷却速度が水冷では最初のオーステナイト化温度の低い程焼もどし硬さが低下するが、冷却速度が遅い場合には逆に増加する傾向が認められた。
- (3) 室温、高温における引張強さ、および、クリープ破断強度に対してはオーステナイト化処理の方法はとくに顕著な影響を示さないが、焼入冷却速度の影響は大きく、とくにMo-V鋼、Cr-Mo-V鋼においては冷却速度の遅い場合にはクリープ破断強度が著しく増加する。
- (4) 各種熱処理を通じてCrの添加は強度に対して効果が少ないが、Moの添加によって各種強度が著しく増加する。また、CrとMoの同時添加はMoの単独添加とはほぼ同等の効果しかない。