

討16 加工熱処理した25%Niマルエージ鋼の強度と遅れ破壊性

(株)豊田中央研究所 ○加藤義雄

工博 小田鋭一 工博 小松 登

1 まえがき

マルエージ鋼は冷間加工性を有し、切削加工が可能な強靱材料として注目され、また、これに加工熱処理を施すことにより更に強化すること試みられている。

本報告では、Ms点が室温付近になるように調整した25%Ni-9%Co-5%Mo-0.6%Be-0.3%Ti-0.3%Al合金を用いて、加工と熱処理の組み合わせによる強化と、このような処理によって得られたオーステナイト・マルテンサイト混合組織鋼の水素雰囲気下での遅れ破壊性を調べた結果を報告する。

2 供試材および実験方法

合金は電解鉄、電解ニッケル、電解コバルト、低炭素フェロモリブデン、フェロベリリウム、フェロチタン、純アルミニウムを配合して高周波溶解炉で真空溶解で作製し、1100℃16時間均質化焼鈍したのち鍛造およびスエージ加工により直径6～20mmの丸棒とした。合金は図1に示した(a)時効処理、(b)歪時効処理、および(c)加工誘起変態後時効処理をして供試材とした。時効材は試料を1180℃1時間溶体化処理後50℃～-196℃の種々の焼入浴温度に急冷したのち時効処理をおこなった。この際のマルテンサイトとオーステナイトの量比は焼入浴の温度を選ぶことによって0～100%まで変化させた。歪時効材は、溶体化処理後50℃～-196℃の種々の焼入浴温度に焼入したものを室温でロータリースエージにより断面減少率64%の加工を与えてのち時効処理した。加工誘起変態後時効材は、溶体化加熱後50℃の油中に急冷し、その温度で1時間保持してオーステナイト組織とした試料を室温でスエージ加工を与えてマルテンサイトを生成させた後時効処理した。この場合のマルテンサイト量は加工度を変えることによって0～94%まで変化させた。

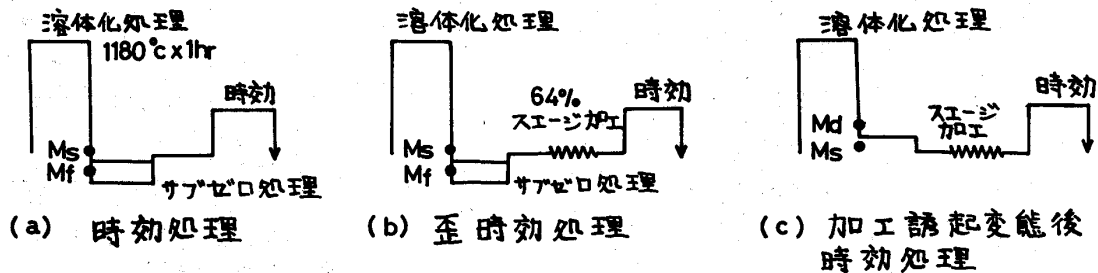


図1 加工熱処理法

引張試験は、平行部が直径3mm、長さ11mmの試験片を用い、10トンスラー型引張試験機によりクロスヘッドの移動速度0.1～0.2mm/min、室温で実施した。

遅れ破壊試験は、レバー比を1:5にした白製の定荷重型引張方式の装置を用いて、図2に示す陰極水素チャージ法で実施した。水素チャージは試験片を陰極、鉛板を陽極とし、電解液は25% H₂SO₄ 溶液を用い、これにAs₂O₃を100mg/l加えて試験片に水素添加を容易にした。電流密度は0.1A/cm²とし、電解液は10～15cc/minで循環して液の温度上昇を防いだ。

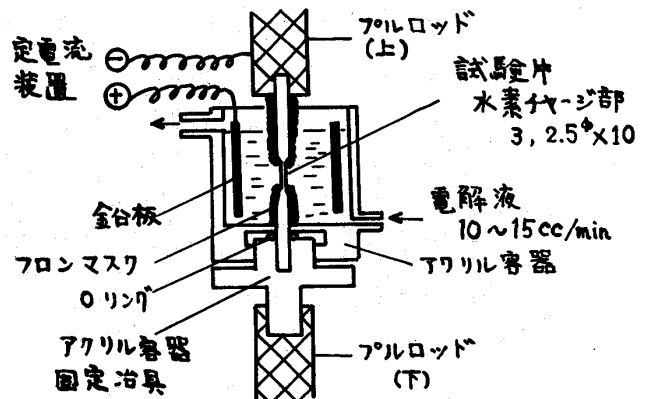


図2 遅れ破壊試験の水素チャージ法

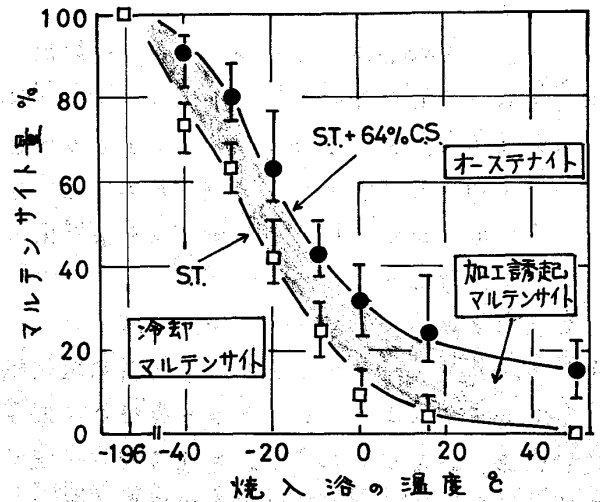
試験はあらかじめ試験片をプルロッドにセットし2時間無負荷で水素チヤージしたのち所定の荷重を負荷し、負荷後も電解を続けながら最高100時間まで実施した。試験片の伸びの検出は差動トランスでレバーの変位量から求めた。遅れ破壊性の評価は、応力を負荷してから10時間以上破断しない最大応力(以下下限界応力と呼ぶ)で評価した。

3 実験結果

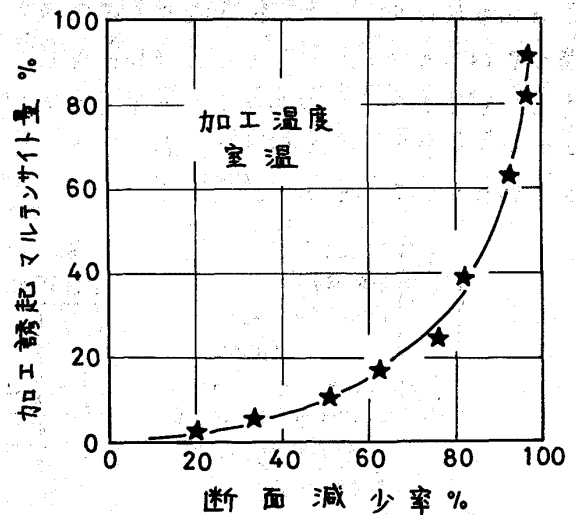
3.1. マルテンサイト-オーステナイトの割合

図3は各処理材のマルテンサイトとオーステナイトの割合を示したもので、(a)は1180℃1時間溶体化処理後50℃-196℃に焼入した時のマルテンサイトとオーステナイトの面積割合と、これらを室温で断面減少率64%スエージ加工した時の加工誘起マルテンサイト量の関係である。試料を溶体化処理後50℃に油焼入した場合はオーステナイト相で、15℃に水冷するとレンズ状マルテンサイトの生成が認められ、-20℃に冷却した場合には写真1(a)に示したマルテンサイトとオーステナイトの混合組織が得られ、-196℃ではほぼ均一なマルテンサイト組織が得られた。写真1(b)は-10℃にサブゼロ処理後断面減少率64%スエージ加工した場合の組織で、冷却マルテンサイトの他に加工誘起で生成したと思われるマルテンサイトが認められた。図3(b)は、直径14mmの丸棒を溶体化加熱後50℃の油中に急冷のちその温度に1時間保持してオーステナイトを安定化させ、その後常温でスエージ、圧延、および線引により加工を与えた時の断面減少率と加工誘起変態でできたマルテンサイト量の関係を示したもので、加工度が大きいほどマルテンサイト量は増加した。写真1(c)は断面減少率77%加工したものの組織で、オーステナイト相に一方向のマルテンサイトが生成しマルテンサイトとオーステナイトの層状組織が得られた。

3.2. 等時時効による硬さ変化 図4は、各処理によって得られたマルテンサイトとオーステナイトを

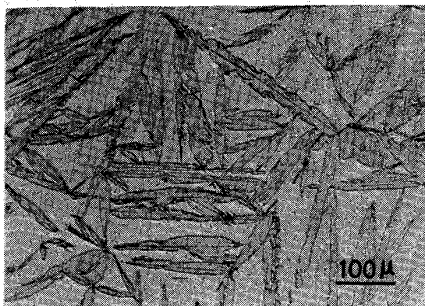


(a) 時効材と至時効材

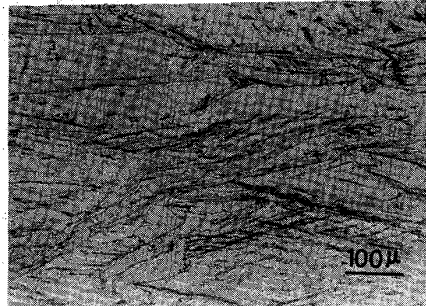


(b) 加工誘起変態処理材

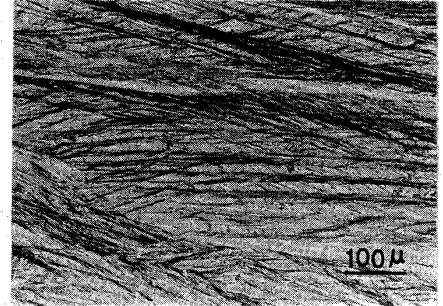
図3 加工熱処理後のマルテンサイト-オーステナイトの割合



(a) 時効処理



(b) 至時効処理



(c) 加工誘起変態後時効処理

写真1 加工熱処理後の顕微鏡組織

それぞれ300~800℃で1時間時効した時の硬さ変化である。溶体化処理後時効したものはマルテンサイト部は500℃、1時間時効で最高硬さHv710、オーステナイト部では600℃1時間時効でHv385を示した。溶体化処理後断面減少率64%の予歪を加えた試料では冷却マルテンサイト部は475℃1時間時効で最高硬さHv780、オーステナイト部は600℃1時間時効でHv450を示した。また、加工誘起変態したものは94%加工誘起マルテンサイトを含む試料で450℃1時間時効すると最高硬さHv790が得られた。冷却マルテンサイトを時効したものよりも、これを歪時効あるいは加工誘起で生成したマルテンサイトを時効した場合の方が、時効硬化が促進され硬さもHv70~80高い値が得られた。

3.3. マルテンサイト量と機械的性質 時効材は500℃、歪時効材と加工誘起変態後時効材は450℃でそれぞれ1時間時効した時の引張試験結果をマルテンサイト量で整理して図5を得た。時効材では

60%マルテンサイトで引張強さが162 kg/mm²となり、それ以上マルテンサイト量を増加すると不安定破壊を生じた。歪時効材ではこのような不安定破壊はみられず100%マルテンサイトで最大強度311 kg/mm²が得られた。加工誘起変態したものでも不安定破壊はみられず、マルテンサイト量の増加とともに強度は増加し94%マルテンサイトで370 kg/mm²の強度が得られた。同一マルテンサイト量での各処理材の引張強さは、加工誘起変態後時効材が最も高く、ついで歪時効材、時効材の順であった。

3.4. 遅れ破壊試験 時効材は500℃、歪時効材と加工誘起変態後時効材は450℃でそれぞれ1時間時効したものを遅れ破壊試験した結果を図6に示した。図6(a)はマルテンサイトとオーステナイトの割合を変化させることによって引張強さをかえた時効材の結果である。引張強さが高くなるほど水素雰囲気下では低い負荷応力で試験片は破断し、たとえば、引張強さ112 kg/mm²、162 kg/mm²を有するものの下限界応力はそれぞれ53 kg/mm²、32 kg/mm²であり、伸びはそれぞれ55%、10%であった。-196℃にサブゼロ処理して100%マルテンサイトにしたものでは、引張強さ194 kg/mm²で下限界応力は8 kg/mm²と非常に小さく、また、負荷中試験片の伸びはほとんどみられなかった。破断した試験片の縦断面を顕微鏡観察した結果マルテンサイト部に割れが多数見られ、オーステナイト部にはほとんどみられなかった。図6(b)は歪時効した結果で、(a)の時効材の場合と同様高強度の試験片ほど低い負荷応力で破断した。たとえば引張強さ151 kg/mm²では下限界応力は128 kg/mm²、引張強さ220 kg/mm²では61 kg/mm²、100%マルテンサイトとして引張強さ311 kg/mm²としたものでは12 kg/mm²であった。図6(c)は加工誘起変態後時効したもので、溶体化加熱後断面減少率89%と

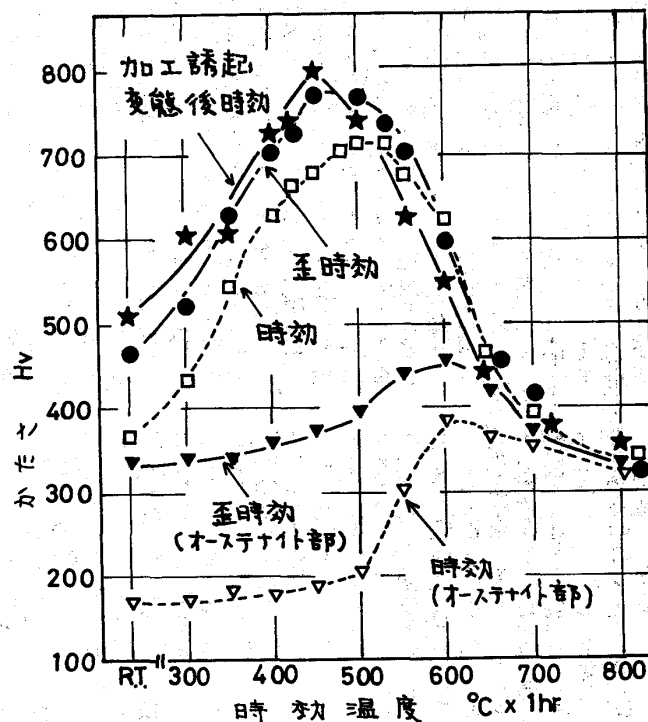


図4 時効硬化曲線

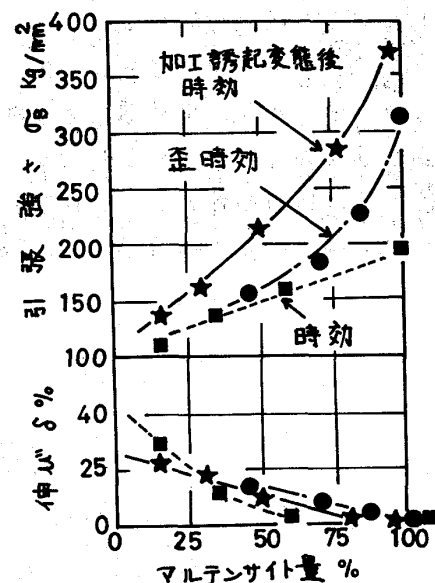


図5 マルテンサイト量と機械的性質

95% スエー ジ加工したのも時効したもので、それぞれ引張強さ 213 kg/mm^2 , 280 kg/mm^2 で下限界応力は 146 kg/mm^2 , 119 kg/mm^2 である。破面近傍の断面組織では割れが多数みとられるが、これらの割れはいずれもマルテンサイト部にみられ、写真1(c)に示したようにマルテンサイトと層状にみられるオーステナイト部で止まっているのが認められた。

各処理材の引張強さと下限界応力の関係は図7に示したように、同一引張強さで下限界応力は加工誘起変態後時効材が最も高く、ついで至時効材、時効材の順であった。

4 まとめ

加工熱処理した 25% Ni - 9% Co - 5% Mo - 0.6% Be - 0.3% Ti - 0.3% Al 合金の強度と遅れ破壊性を調べた結果、

(1) 溶体化処理でできたマルテンサイトと時効したものよりも、これを至時効あるいは加工誘起で生成したマルテンサイトを時効した場合の方が、時効硬化が促進され強度も H_{70} ~ 80 高い値が得られた。

(2) 同一マルテンサイト量での引張強さは、加工誘起変態後時効材が最も高く、ついで至時効材、時効材の順であった。例えば加工誘起で94% マルテンサイトを生成させた試料では 370 kg/mm^2 の引張強さが得られた。

(3) 強度と耐遅れ破壊性は、加工誘起変態後時効材が最もすぐれており、ついで至時効材、時効材の順であった。加工誘起変態後時効材では、引張強さ 213 kg/mm^2 , 280 kg/mm^2 でそれぞれ下限界応力 146 kg/mm^2 , 119 kg/mm^2 が得られた。

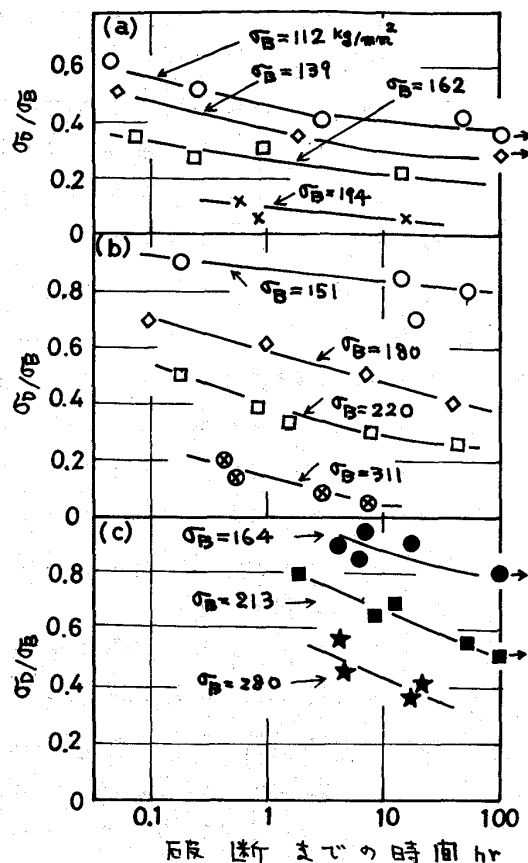


図6 負荷応力(σ_y)/引張強さ(σ_t)と破断までの時間との関係。(a):時効材 (b):至時効材, (c):加工誘起変態後時効材

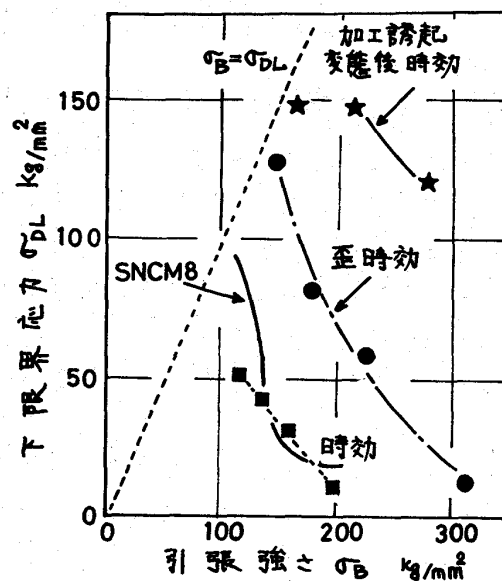


図7 下限界応力と引張強さとの関係