鋼に對する合金元素としての窒素 (第 20 報)
歪時効に及ぼす砒素および銅の影響

今 井 勇之進* 石 崎 哲 郎*

Yūnoshin Imai and Tetsurō Ishizaki: Nitrogen as the Alloying Element in Steel (20 th Report). The Effect of Arsenic and Copper on Strain-Aging in Steels.

In succession to our 18 th and 19 th Reports, the present investigation has been carried out to ascertain the effect of arsenic and copper on strain-aging in low carbon steels, and it was found that the solid solubility of nitrogen in α -Fe was reduced by addition of arsenic and copper : accordingly the strain-aging due to nitrogen decreased, but the strain-aging mainly due to carbon was increased by the addition of arsenic and copper.

(Received July 21, 1966)

* 東北大學金屬材料研究所

I. 緒 言

前報⁽¹⁾において歪時効は2段に起り、前段は主に窒素に支配され、後段は窒素と主として炭素に支配されること、および α -Feにおける固溶窒素量および固溶炭素量と密接な関係があり、Si, Mnなど窒素との親和力が比較的強い元素は前段の歪時効を小さくすると共に、後者をわずかではあるが大とすることを述べた。

本報では窒素との親和力の比較的少ないCuおよびAsの影響をしらべた結果を示す。

II. 実験方法

試料に砒素を添加するために、Fe-As合金(約30% As)および銅を添加するために電解銅を使用した以外は全く前報⁽¹⁾と同様である。試験方法はアムスラー試験機により試料に一定の伸びをあたえ(加工度)常温に放置後、再び同一試験機により抗張試験を行い、抗張力、降伏応力、伸び、絞りなどを測定したもので、詳細については前報⁽¹⁾を参照されたい。

III. 実験結果

1. 砒素の影響

本実験に使用した試料は電解鐵に砒素を添加し、Mn, Siにて脱酸したものおよびさらにAlにて脱酸、脱窒を行った試料でC=0.01%, N=0.003%, Mn 0.2%, Si 0.27%ぐらいである。

Fig 1は本試料(熱処理は950°より空冷, 550°×3hr 徐冷)の硬度(V.P.H.), 抗張力(σ_B), 降伏応力(この場合は

Fig 1 Effect of arsenic on mechanical properties of 0.01% C steel.

の影響としては同様であるが、Alにて窒素を固定しない試料との差は低砒素含有量のものほど大きい傾向にある。

Fig 2は本試料についての降伏応力増加量と時効時間の関係を示したもので、Fig 3は降伏応力増加量と砒素含有量

の関係を示したもので、砒素含有量の増加と共に約0.2% Asまでは降伏応力増加量は少くなり、時効速度はおそくなったことを示すが、それ以上As含有量が高くなると再び降伏応力増加量は大きくなり、時効速度は速くなったことが認められる。しかしAlにて窒素を固定した試料では砒素含有量の増加に従って時効量は大きくなっている。

すなわち窒素をAlにて固定した試料に認められる如く、As自体は時効速度を大とするが、これは主に前報に明ら

Fig 2 Relation between aging time and increased amount of yield strength.

Fig 3 Relation between increased amount of σ_s and percent of arsenic.

時効の減少を示すもので(短時間のものほどAsの影響が大きく現われていることより知られる), Asと窒素との親和力が少ないことより、 α -Feの窒素溶解度の減少にもとづくものと考えられる(これについては第17報を参照して戴きたい)。

すなわち、Asは窒素による前段の時効を小さくするが、As自体は後段の歪時効を大きくする作用をもち(Fig 2においてAs 0.6~1.2%の試料の最大時効量はAsを含まないN 0.006%で大体一定の時効量を示す窒素量の範囲にある試料の最大時効量より大であることより明らかであ

にした長時間側で認められる炭素+窒素に原因する時効である。また窒素をAlにて固定しない試料に見られる如く、砒素が約0.2% Asまで時効速度および時効量を減少することは、主に窒素に支配されている歪

Fig. 4 Effect of aging time on elongation.

Fig. 5 Effect of aging time on reduction of area

Fig. 6 Effect of aging time on reduction of area (ϕ) and elongation (δ).

る),これらの総合された影響が現われるといふことができる。なおAsの歪時効を大とする作用は、 α -FeにAsを固溶している場合の方が固溶していない場合より、常温加工のために発生する歪が大きいことによるものである(2)。

Fig. 4は伸びと時効時間, Fig. 5は絞りとき効時間, また Fig. 6はAlを添加した試料の伸びおよび絞りとき効時間の関係を示したものである。前報において述べた如く伸びおよび絞りとの関係では, 歪時効との関係は明らかには認め難い。しかし砒素の多いものほど, 短時間側での低下は少く, 長時間側での

Fig. 7 Effect of copper on mechanical properties.

低下は大きくなる傾向を示している。このことはAsが多いほど, 長時間側で炭素による歪時効が大きく現われることを示すものである。

2. Cu の影響

Cuを添加した場合においてもすでに第17報(2)で明らかにした如く, Asと同様の作用が期待される。本実験はこれを確かめるために行つたものである。

Fig 7は本試料の σ_B , σ_s , δ , ϕ とCu含有量の関係を示したもので, Cuは約0.5~0.6%までCu量の増加と共にわずかに σ_B , σ_s は上昇し, ϕ および δ は減少している。しかしCu0.6%以上では急激に σ_B , σ_s は上昇し, δ , ϕ は減少を示している。これは試料が950°より空冷, 550°に再加熱, 徐冷なる熱処理のために銅自體の析出硬化が生じているためである。

Fig. 8 Relation between aging time and increased amount of yield strength.

Fig. 9 Relation between increased amount of σ_s and percent of copper.

Fig. 10 Effect of aging time on elongation.

Fig. 8 は降伏応力増加量と時効時間, Fig. 9 は降伏応力増加量と銅含有量の関係を示したもので, 銅含有量の増加と共に降伏応力増加量は低下し, Cu 0.3% 附近より再び増加し, さらに銅自體の析出硬化の生じている試料では減少している。また Al にて窒素を固定した試料において, Cu 0.6% まで Cu 含有量の増加と共に降伏応力増加量はたと

Fig. 11 Effect of aging time on reduction of area.

なり, 試料不足ではあるが, As の場合と全く同じ結果と考えられる。

すなわち銅自體も砒素と同様, α -Fe に固溶して歪時効速度を速くすると共に α -Fe の窒素溶解度を減少し, 窒素による歪時効を減少させる元素ということが出来る。

なお Fig. 8 に示す如く銅自體の析出硬化の生じている試料で, 歪時効速度が小さくなっていることは注目し得る。

Fig. 10 は伸びと時効時間, Fig. 11 は絞りとき効時間の関係を示したもので, 銅量の増加と共に伸び, 絞りが減少している以外, 歪時効との関係ははつきり認められない。なおここで注目すべきことは Cu 0.2% または Cu 0.6% 添加後 Al にて窒素を固定した試料の 800~3000 hrs の絞りの値が特に高いことであるが, この原因はデータ不足のために不明である。

IV. 結 言

歪時効に及ぼす As および Cu の影響をしらべ, (1) As および Cu は α -Fe の窒素溶解度を減少して窒素による歪時効を小さくするが, 歪時効量を大きくする作用があること。(2) Cu 自體の析出硬化を生じている試料での歪時効速度は遅くなることを明らかにした。

終りに, 熱心に実験に協力された佐々木進君に感謝する。