名誉会員からのメッセージ

研究は実験と執念

東京大学　大学院名誉教授　藤田利夫

筆者は大学を卒業してから56年になるが、その間一貫してフェライト系9-12Cr耐熱鋼の研究を行ってきた。

この耐熱鋼は最近火力発電プラントの熱効率を高めるために、欧州でCOST501，522，536の国際共同研究を15カ国の参加を得て、20数年間実施されたが、650℃で使用できる火力プラント用ボイラ鋼を得ることができなかった。

これらの原因は種々あると考えられるが、

(1) 構造材料の研究者が世界的に見て少なくなった。
(2) 研究者自身があまり実験をやらなくなり実力をなくした。
(3) 研究者があまりにミクロ的な研究に走りすぎ、マクロ的な研究を軽視した。

などが考えられる。

従って、欧州では現在、構造材料の研究開発力を高めるためと700℃火力発電プラントの実用化を目指したプロジェクト研究（Thermie AD700℃）を行っている。700℃ではNi基合金を使用せざるを得ないが高価な材料であるため、低温部分で使用する耐熱鋼の性能向上を目指した研究開発も同時に進めている。高価なNi基合金を使用した700℃の火力発電プラントと比べて、Fe基材料が使用できる650℃のプラントの方が経済性は高いため、これらの研究により優れた研究開発力が得られれば、再度650℃用ボイラ鋼の開発研究を行うと言われている。

筆者らはこのフェライト系9-12Cr耐熱鋼を研究し、現在世界で最も強度かつ靱性の優れたASME 92鋼を開発し、欧州ではすでに鋼管として2万t（金額約200億円）以上生産され、610℃，320kg／cm^{2}の温度・圧力に耐えるものとして高く評価されている。今後火力発電プラントの高温・高圧化の要求がさらに一段と高まるものと考えられる。またASMEP92鋼は鍛造品・鋳造品としても多量に使用されるだろう。

しかしこのフェライト系9-12Cr耐熱鋼は非常にデリケートな鋼で、合金元素の種類および量は勿論のこと、溶解のとき屑鉄、炉壁、取鍋などから混入してくる微量の不純物が、最もボイラ鋼として重要な10^5hクリープ破断強度に著しく影響をあたえることを筆者は10数年前にやっと気がついた。

筆者が微量のAl，Niなどに注目したのは、Al，Ni量の異なったロータ鋼が得られ、その650℃の長時間クリープ破断強度を調べると、0.007％Al，0.51％Ni含有鋼は7000h付近から急激に強度が低下し、0.002％Al，0.25％Ni含有鋼は2万h付近から急激に強度が低下する現象に遭遇し、さらにAl，Niを低下させれば、10万hまで急激にクリープ破断強度が低下しない鋼が得られるものと考え実験を行うと、650℃1万～3万h付近でクリープがストップする珍しい現象を発見した[1)]。

これは9-12Cr耐熱鋼中のAl，Niなどが650℃で1万h程度加熱されると、析出物［$M_{23}C_6$，M_6C，Fe_2（W,Mo）など］の周囲に拡散してきて、これが析出物の凝集粗大化を促進し強度を低下させていると考えられる。

さらに析出物の凝集粗大化がおさえられると、鋼中に固溶しているCr,W,Mo量が多くなりマトリックスを固溶強化すると共に、鋼中に固溶していたV,Nbなどを微細な析出物［(V,Nb)（C,N)］として析出することを促進する。そのMX型炭窒化物は非常に安定で所謂分散強化鋼になり、650℃でクリープをストップさせたと考えられる。

現在3.0～3.5万h程度のクリープ破断試験を続行中であるが、さらに数万hのクリープ破断試験を行いこの現象を確認する予定である。

さらに筆者が従来の9-12Cr耐熱鋼の不純物に注目してデータを整理すると、Al,Ni,Pなどを現在の通常含有量（0.008％Al, 0.1％Ni, 0.010％P）の1／10～1／5程度に減少させれば、650℃，10^5hクリープ破断強度が著しく改善でき、ボイラ鋼として100～120 MPaを得ることが夢ではなくなった。

将来この鋼の諸特性をよく調査して使用すれば650℃，350kg／cm^{3}の火力発電プラントの実現が可能になるものと考える。

欧米の著名な研究者らは、今回の筆者らの研究成果を火力発電プラント用耐熱鋼としては50～60年に一度の大発見であると賞賛している。

ASMEP91，P92，P122鋼などと、Al，Ni，P量を従来鋼の1／10程度に減少させたBH鋼とのクリープ破断強度を比

較するとFig.1のごとくになる。Table.1にその化学成分を示す。

BH鋼の長時間クリープ破断強度が優れていることがわかる。

最後に研究を行う上での心構えおよび留意点を述べたい。

研究は正確な実験データをできるだけ多く出し、よく現象を観察し、執念深く必死でくいさがって行けば、必ず画期的な新しい材料を発見することができると考える。

またこれからの鉄鋼材料は微量元素に注目して研究する必要があると考える。20世紀は合金元素によって鉄鋼の特性を向上させたが、21世紀は微量元素をコントロールして鉄鋼の特性を向上させることができるものと考える。

さらに鉄鋼材料は製造技術により、その特性を異にするため、鉄鋼材料研究者といえども十分製造技術について勉強して実力をつけておく必要がある。

現在日本の鉄鋼技術力は世界で最も優れているが、これは戦後の昭和20～30年代の鉄鋼技術者・研究者が非常に優秀で、日夜をわかたずすばらしい努力をして築きあげた成果であると考える。

若い鉄鋼技術者・研究者は、このすぐれた技術開発力を今度とも維持し続け、世界の先端科学技術に貢献されんことを強く念願してやまない。

参考文献

1） 藤田私信，(2006)

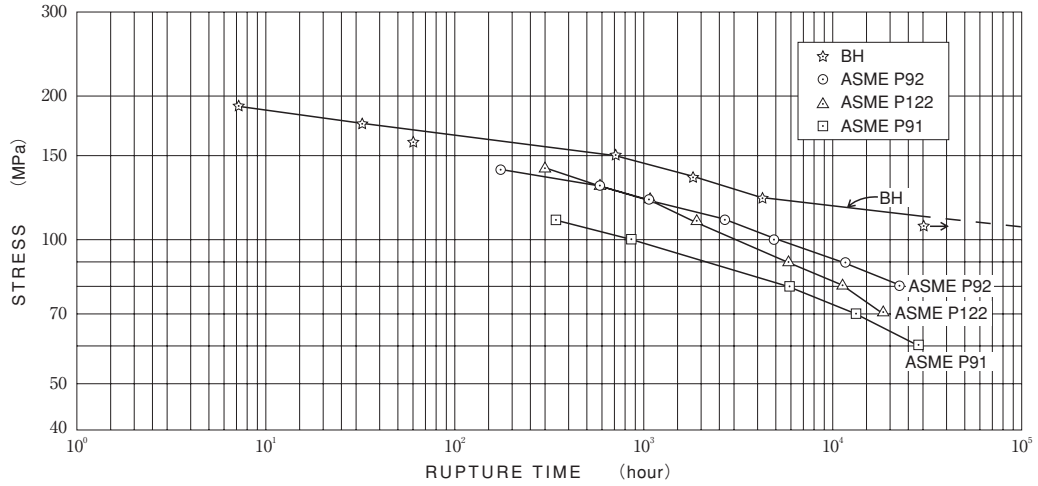

Fig.1 Creep rupture strength of representative steels

Table.1 Chemical composition, deoxidation process and heat treatment

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	W	V	Nb	Al	B	N	Co	Deoxidation process	Heat treatment
T91	0.09	0.34	0.45	0.014	0.001	0.20	8.51	0.90	0.026	—	0.205	0.076	0.020	—	0.042	—	Al killed	1050℃A.C.. 770℃A.C.
T92	0.098	0.29	0.42	0.007	0.001	0.13	9.5	0.36	—	1.74	0.19	0.062	0.009	0.002	0.046	—	Al killed	1050℃A.C.. 770℃A.C.
T122	0.13	0.31	0.60	0.015	0.002	0.36	10.65	0.33	0.86	1.87	0.19	0.05	0.007	0.0024	0.057	—	Si-Al killed	1050℃A.C.. 770℃A.C.
BH steel	0.03	0.36	0.49	0.001	0.001	0.01	9.12	0.15	—	2.40	0.20	0.05	0.001	0.006	0.050	1.8	Si killed	1050℃A.C.. 780℃A.C.

（2007年9月7日受付）