

船舶用低合金鋼の強度に及ぼす添加元素の影響

輸送高度化研究領域 *高橋 千織、村上 健児
研究統括主幹 千田 哲也
神戸製鋼所 深谷 荘吾、藤網 宣之

1. はじめに

ディーゼル機関用のクランク軸は船舶用部材の中でも非常に重要かつ主要な部品と考えられている。ディーゼル機関のロングストローク化やコンパクト化など経済性向上のための対策が進められるのにもとない、クランク軸材に用いられる低合金鋼についても高強度化、高靱性化が求められている。材料の研究開発においては近年、コンピュータシミュレーションによる材料設計なども試みられているものの、経験的知識や試行錯誤に依るところが大きい。実用多元系合金鋼では、個々の添加元素の影響に加えて添加元素間の相互作用が複雑に関係しあい、それぞれの役割、効果について未だ不明の点が多いためである。

本研究では、実用材に近い低合金鋼においていくつかの添加元素を系統的に変えて試作し、それぞれの添加元素が材料の組織や強度特性に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

40kg 大気溶解炉を用いて Table 1 に示す試料を作製した。母材組成は表中の Steel A を基本組成とし、Ni, Cr を大きく変えつつ、Al, V の微量添加元素の影響を検討するため、基本組成に添加した。Table 1 には各合金鋼の Ni, Cr 量と、それ以外の添加元素について Steel A に対して加えた元素を示している。これらの作製した鑄塊は 1230 に加熱後、鍛錬比 7S の鍛造を加え、室温に放冷した。鍛造材は切断後に焼入れ温度 870 で焼入れし、600 で焼戻し処理を施して引張、シャルピー衝撃試験に供した。また、鍛造方向に平行な面において組織観察を行い、粒径測定を行った。観察には光学顕微鏡および高分解能走査電子顕微鏡 (FE-SEM) を用いた。

Table 1 Type of low alloy steels

Steel	Alloy Type	
A	-0.2Ni-3Cr	0.35C-0.2Si-1Mn-0.5Mo-0.1V
B		(+0.02Al)
C		(+0.05V)
D		(+0.05V, +0.02Al)
E	-0.75Ni-3Cr	(+0.05V, +0.02Al)
F	-1.6Ni-1.6Cr	(+0.02Al)
G		(+0.05V, +0.02Al)
H	-3Ni-1.6Cr	(+0.02Al)
I	-3Ni-0.2Cr	(+0.02Al)

3. 実験結果および考察

Table 2 に各試験片の強度試験結果と組織観察による粒径測定の結果を示す。光学顕微鏡による粒径測定は ASTM の粒度測定法に則った。表中で【GS:EBSP】として示されている粒径は FE-SEM に付属した結晶方位解析装置 (EBSP) を用いて計測したものである。EBSP では隣接する解析点の結晶方位が 15° 以上異なると別の結晶であると識別する。結晶粒の大きさは個々の結晶粒の面積で表している。Table 2 の結果より、Steel A, C および Steel F, G を比較するとこの範囲では V 添加による機械特性改善の効果が著しいことがわかる。これらの試料の結晶粒度と EBSP 粒径をみると V 添加により結晶粒度は小さく (すなわち粒径は大きく) なっているのに対し、EBSP 粒径は小さくなっている。これは結晶粒度が旧オーステナイト粒径を測定しているのに対し、EBSP では粒内のブロックあるいはポケットといった下部組織を測定しているためと考えられる。すなわち、結晶粒そのものは粗大化しても下部組織が微細化し

ていることが、靱性の向上に関係しているのではないかと考えられる。Ni および Cr 量の機械的性質への影響については 0.2Cr の steel I で靱性が著しく低下していることがわかる。これは F 及び H との比較からもわかるように結晶粒径の影響が大きいと考えられる。これらの関係を更に詳しく調

べるために EBSP による結晶粒方位解析の結果を Fig.1 に示す。それぞれ方位差 15° を基準に粒界を示すとともに、各粒のアスペクト比をグレースケールで表している。アスペクト比が小さい（真円に近い）粒ほど白く表示されている。これらの結果から、Steel D, I では旧オーステナイト粒内の下部組織もアスペクト比が比較的小さいのに対し、Steel E, G, H では微細な等軸粒と針状粒の混粒となっているが、針状粒の割合が著しく高くなっている。これが強度と靱性値の向上に寄与しているものと考えられる。

4. まとめ

今回試作した低合金鋼について以下のことがわかった。

(1) 今回の試験範囲で V による強度特性向上への効果が大きいですが、旧 粒内の下部組織のサイズに影響を与えていると考えられた。

(2) 0.2Cr では結晶粒は他に比べ粗大等軸粒となっており、靱性が低下する。

(3) 0.2Ni では等軸粒の割合が高いのに対し、0.75 ~ 3Ni では針状粒が支配的となる。後者の強度特性の向上はその針状組織に起因すると考えられる。

Table 2 Mechanical properties and grain size of samples.

	0.2%耐力 MPa	引張強さ MPa	vE (J)	GS No. (ASTM)	GS:EBSP (Area) μm ²
A	840	987	42.4	11.0	3.5
B	787	940	123.3	6.2	3.5
C	865	1033	92.3	6.2	3.1
D	874	1033	85.7	10.6	2.4
E	877	1041	78.7	10.5	3.1
F	915	1060	50.6	10.9	4.0
G	988	1111	79.7	4.5	2.3
H	1001	1125	47.3	9.1	2.1
I	939	1067	23.1	5.6	8.7

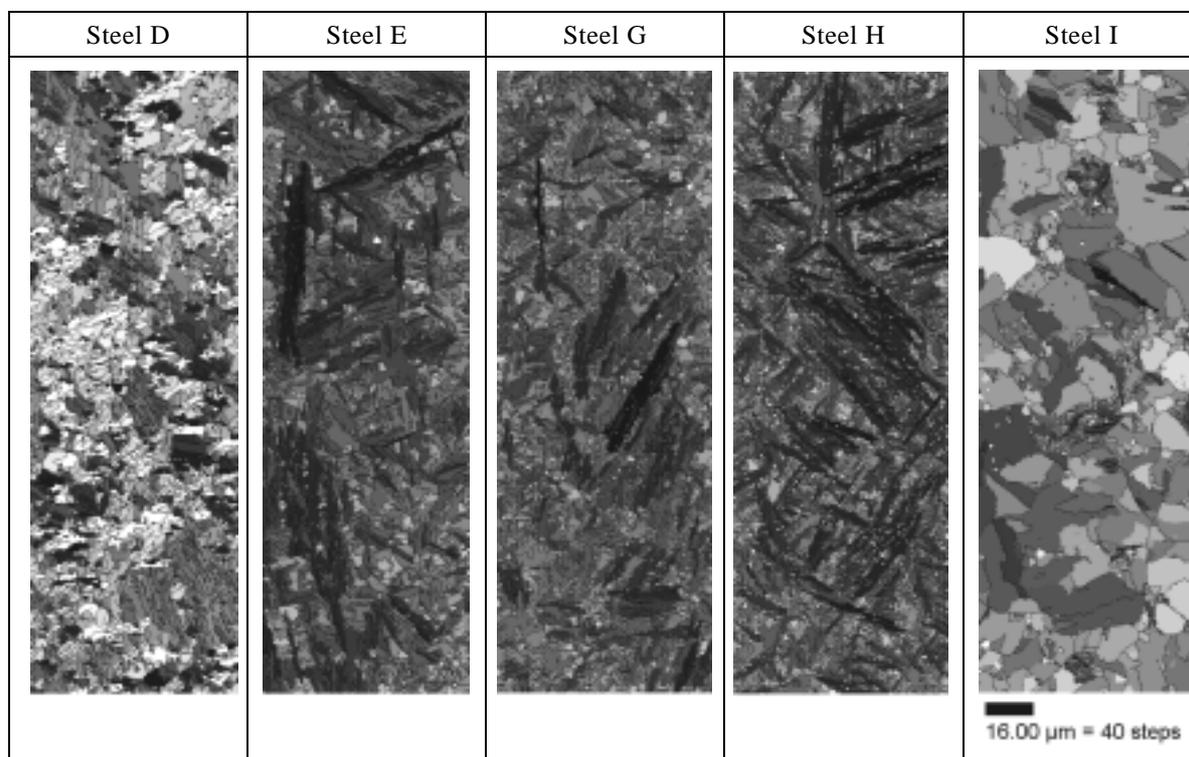


Fig.1 Grain aspect ratio map by EBSP.