



# 航空母舰用厚钢板的发展现状

麻衡,李中华,朱小波,耿超

(莱芜钢铁集团有限公司,山东 莱芜 271104)

**摘要:**详细介绍了航空母舰用钢的特点、国内外的研发情况以及其代表牌号的质量指标。航空母舰用钢是航母装备发展的主体材料,直接影响航母整个系统的运行、维护和安全。开发高性能的先进航母结构材料会增强航母的作战能力和降低服役期成本。

**关键词:**航空母舰用钢;特点;发展现状;质量指标

**中图分类号:**TU674.771.04

**文献标识码:**A

**文章编号:**1004-4620(2010)02-0008-03

## 1 前言

随着海军舰船的更新换代和现代冶金技术的发展,必然要对现有舰船用结构材料进行改进、完善配套、提高性能、降低成本、更好地挖掘其能力,满足现代舰船的需要,获得最大的社会和经济效益。世界各先进海军国家都在继续抓紧开发研制新的舰船用结构材料。航空母舰用钢是航母建造最重要的物质基础,其研制与发展直接关系到航母的发展,其性能优劣也关系到能否适应现代化海上作战需求和安全可靠。

## 2 航空母舰建造用钢特点

建造1艘大型航空母舰需要钢板品种规格繁多,一般钢种分船体板、装甲板及结构板3大类。

现代水面战斗舰艇和潜艇等战舰为了具有较好的稳定性,增加有效载荷、机动性和生存性,要求不断增加采用能减轻壳体结构重量的高强度钢板比例。我国国防部要求海军舰艇建造使用的合金钢和装甲钢约占总量的50%,服役过程中的一般动载荷包括波浪载荷、波浪拍击、冲击、振动、在热带和寒带海域的热偏移、船货漂移、飞机的起飞与降落以及武器的反作用等。在这些服务环境下必须确保壳体结构的完整性以使其具有连续抗浪性、高断裂韧性以及对敌方武器做出快速的反应。

海军舰艇的防断性是通过采用结构钢和焊接材料进行壳体装配来保证的,使得壳体在极端恶劣工作环境中能具有高断裂韧性和许用裂缝。因此,对海军舰艇钢的关键要求,不仅要考虑强度、可焊性以及冲击载荷作用下的低温韧性,而且还要考虑经济性,以便保持合理的舰艇建造成本。

收稿日期:2009-11-02

作者简介:麻衡,男,1985年生,2007年毕业于西安建筑科技大学材料成型与控制工程专业。现为莱钢技术研发中心板带钢研究所工程师,从事板带钢新产品研发及工艺研究工作。

## 2.1 船体用钢板

船体用潜艇耐压板,屈服强度通常为450 MPa和550 MPa。450 MPa板经正火交货,而550 MPa板需调质交货,板厚达22~28 mm。采用高强度钢板可以减轻船体重量,且增加抗弹能力。船体板水下部分为了防鱼雷与潜艇导弹的轰击,采用钢板厚度达150~203 mm。也有制成双层或3层船体,当外层板受到破损时,内层船体功能尚在,不致沉没而没有战斗力。古式航空母舰有在船体受攻击部分采用挂甲板方式,以抵御各种意外的攻击。

## 2.2 装甲用钢板

装甲板多用于防雾和核心部位,如司令台是全舰的指挥部,用装甲板保护,也是航空母舰用板最厚部分,最厚达330 mm的装甲板,性能类似于坦克板。再如核能或柴油机房受到了破坏后即失去航行能力,因此也需要用装甲板附加保护,还有炮台和上述挂甲都用防弹装甲板。

## 2.3 结构用钢板

结构板主要用于飞机跑道、隔仓及船体结构等,一般飞机跑道用钢板厚度为40~50 mm,要求不平度达5 mm/m以下,不然会影响飞机升降的质量,而且板面越大越好,尽量减少焊缝。结构板要求高强度,减小钢板厚度,使船体总重量减轻。航母用的钢材特别是飞行甲板用钢要求极高,特别是对于材料的屈服度要求,可比核潜艇。民用船只一般只需要强度为250 MPa的材料即可,普通军用船只也就是300 MPa以下,而且近年来,成本控制的进一步要求,一般军舰采用民用标准的很多,材料要求进一步降低,甚至出现了使用铝材建造上层,但对于航母的飞行甲板标准却是各国均没下降过。

## 3 航母用钢的发展现状

航空母舰用钢在各个国家都有不同的研制和开发过程。

1)美国,用来制造航母飞行甲板的钢的屈服强度一般在850 MPa左右。美国HY系列特种钢材同样用于制造潜艇和航母飞行甲板。HY-80的屈服强度在800 MPa左右,用于航母制造。同样也是镍铬和加入钛的合金钢。而后美国又在HY-80钢的基础上,发展了屈服强度不低于686 MPa的HY-100钢,也是当前美国海军航母重要部位的主要材料。

HSLA-80钢是美国20世纪80年代研制成功的新型高强度、高韧性结构钢。该型钢已部分或全部取代HY-80钢用于建造大型水面舰艇,如驱逐舰、巡洋舰和航空母舰等,其中“尼米兹”级核动力航母的某些结构采用此钢种,执行ML-S-24645A标准。

HSLA-100钢是美国为新建的航母壳体和先进的攻击型核潜艇(非耐压壳体)而研制的钢,其性能已达到HY-100钢的水平,板厚可达100 mm,1990年美已制订其军用规范ML-S-24645A,其焊接材料与HY-100钢的相同。HSLA-100钢的第一批订货是用于核动力航母“斯坦尼斯”号(CVN-74)。

HSLA-115钢的屈服强度约为800 MPa,比HSLA-100钢(屈服强度约为690 MPa)要高。美海军原打算采用后者作为未来航母CVN-78的飞行甲板用钢,但应减重及重心降低的要求研制了HSLA-115钢。如果在CVN-78的飞行甲板上采用HSLA-115钢,不仅可以降低航母重心,还可显著减小飞行甲板厚度,从而减轻航母重量。

2)英国,英国的“无敌”级航母使用的就是法国软钢,但基于这样的材料屈服强度比较低,一般仅仅用于制造小型垂直起降或者直升飞机航母。法国自己的“戴高乐”号还是用的HY-80特种钢。

在20世纪40年代以前制造舰船壳体主要采用U, X, W钢。50年代采用了屈服强度不低于431 MPa的QT28钢,1958年至1965年又广泛地采用了屈服强度不低于549 MPa的QT35钢。

1965年由于该钢在冶金中出现层状撕裂问题,于是改用从美国进口HY-80代替QT35钢。1968年仿造HY-80钢获得成功,并制订了Q1(N)规范,其化学成分与HY-80相当,但杂质元素控制更严。

1969年1月用Q1(N)钢建造潜艇,20世纪70年

表1 HSLA-80和HSLA-100的化学成分(美国军用规范MILS-24645A-SH) %

钢种	板厚/ mm	化学成分/%									
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb
HSLA-80	≤32	≤0.06	≤0.04	0.40~0.70	≤0.020	≤0.006	0.70~1.00	0.60~0.90	0.15~0.25	1.00~1.30	0.02~0.06
HSLA-100	≤102	≤0.06	≤0.04	0.75~1.05	≤0.020	≤0.006	3.35~3.65	0.45~0.75	0.55~0.65	1.45~1.75	0.02~0.06

## 5 结 语

世界经济飞速发展的今天,国防力量更不容忽视,有人说,一个国家没有大的厚板轧机,就不可能

代以后还仿制了美国的HY-100和HY-130钢,即英国的Q2(N)和Q3(N)钢。此外,在制造水面舰船上还大量使用一般碳素钢、A级钢、B级钢。为了降低军舰造价,充分发挥材料性能,常常在同一条舰船上根据设计要求大量使用不同强度级别的材料。

3)日本,也能制造屈服强度比较高的特种合金钢,屈服强度基本在450 MPa左右,日本的潜艇和两栖攻击舰都使用了本国出产的特种钢材。用于制造舰船的钢材主要有:碳素钢、低合金钢、及高屈服强度钢NS30、NS46、NSSO和NS90(与美国航母用HY-130钢基本相当),其屈服强度分别为:294、451、618、785和883 MPa。

1959年日本防卫厅组织有关部门开始仿制和改进HY-80钢并定名为NS63钢。其可焊性与HY-80钢相当,1966、1967年间还进行了铸锻钢及建造方法的研究,1967、1968年间进行了全尺寸模拟结构试验,从1968年起该钢用于建造潜艇,1971年建成“涡潮”号。

4)中国,美国目前使用的高强度HSLA-80钢在生产工艺方面类似于我国A710钢。鞍钢钢铁研究所对HSLA-100钢的生产、金相组织和性能进行了试验研究和初步探讨,认为强化机制应为板条马氏体束、针状铁素体束及其宽度的细化和原始奥氏体晶粒的细化。同时,也证明了这种钢在我国现有条件下进行生产是可行的。

连铸907A、945和590 MPa 921A钢的研制与应用研究,是我国“十五”重点技术攻关项目,这3种我军大量使用的舰船用钢,过去一直采用模铸工艺生产。20世纪70年代,我国已基本研制成功水面舰船高强度船体钢系列。舰船材料研究部门和有关钢厂自1985年以来,相继开展屈服强度440 MPa级耐蚀高韧性含镍铬的945钢的研究,更新换代903A钢及屈服强度390 MPa级907A钢的研究。

## 4 航母用钢代表牌号的质量指标

几种不同执行标准的航母用钢的主要成分和机械性能要求见表1~4。

自己建造航空母舰,没有航空母舰,就没有资格谈论海军的强大。只有国家强盛了,才能在国际竞争中更加坚强有力。当今航母高新技术的发展使航母用钢研究面临前所未有的机遇和严峻的挑战,在

表2 HSLA-80和HSLA-100沉淀硬化处理后机械性能

钢种	板厚/ mm	$\sigma_{0.2}$ / MPa	$\delta$ /%	$\varphi$ /%	横向 $A_{k(0)}$ /J	
					-18 °C	-84 °C
HSLA-80	<6.4	552~758	14		81	
	>6.4	552~690	20	50	81	
HSLA-100	<19	690~896	17		108	
	>19	690~862	18	48	108	

注:1)除已标明之外,数值皆为标准规定的最低值;

2)厚度 $\leq 6.4$  mm的HSLA-100钢板, $\delta \geq 12\%$ ;

3)厚度 $\leq 12.7$  mm的HSLA-80钢板, $\sigma_{0.2} \leq 758$  MPa;

4)横向冲击试验适用于厚度 $\geq 9.5$  mm的试样。

这样的形势下航母用钢研究的布局应作重大调整。

努力降低航母建造成本,在保证航母战斗性能的前提下,尽量采用低成本、高性能、先进的结构材料,采用新的加工工艺,成了现代航母用钢开发的重要任务。

新型高强度航母用钢的研究和开发应摆到重要的位置,结合国内外航母用结构材料的研制与发展趋势,充分利用现代材料科学成就和冶金工业新

表3 舰艇用945钢板化学成分(GJB5537-2006) %

浇注方法	C	Mn	S	P	Si	Ni	Cr	Mo <sup>a</sup>	V	Cu <sup>b</sup>	Ceq <sup>c</sup>
模铸	0.14	$\geq$	$\geq$	$\geq$	0.17~	0.90~	0.40~	$\geq$	$\geq 0.10$	$\geq$	0.56
连铸	0.11	1.20	0.010	0.020	0.70	1.40	0.80	0.15	$\geq 0.05$	0.35	0.54

注:a 对厚度17~32 mm的调质板,Mo含量允许 $\geq 0.20\%$ ;

b 除连铸7~16 mm钢板外,均为残余Cu含量;

c 以钢的熔炼成分,按公式 $Ceq=C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Ni+Cu)/15$ (%)计算碳当量,其中含量允许偏差(%):C为 $\pm 0.01$ ,Mn为 $\pm 0.05$ ,Si、Ni、Cr为 $\pm 0.05$ 。

表4 舰艇用945钢板拉伸性能及交货状态

公称厚度/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断面伸长率/%	断面收缩率/%	交货状态
3~15			$\geq 20$		3~6 mm热轧或热轧+高温回火
16	$\geq 440$	550~685	$\geq 20$	$\geq 50$	7~16 mm正火+高温回火
17~32			$\geq 16$	$\geq 50$	淬火+高温回火

技术,改进现有结构材料,扩大品种规格,使整体质量水平上一个台阶,满足现阶段海军装备使用,使我国的航母用钢尽快赶上世界先进水平。

## Development Status of Heavy Plate for Aircraft Carrier

MA Heng, LI Zhong-hua, ZHU Xiao-bo, GENG Chao

(Laiwu Iron and Steel Group Corporation, Laiwu 271104, China)

**Abstract:** This article introduced the heavy plate for aircraft carrier in detail, including the characteristics, the research and development at home and abroad in this field and the quality standard of the represented type. The heavy plate for aircraft carrier is the main material for the development of aircraft carrier equipment and direct influence the operation, maintenance and safety of entire aircraft carrier system. Developing advanced aircraft carrier structure material with high performance will enhance its battling capability and reduce the cost during its service period.

**Key words:** heavy plate for aircraft carrier; characteristic; development status; quality standard

(上接第5页)

## Coking Technology Progress and Development in Jinan Steel

LUO Shi-zheng, CHEN Chang-hua, QI Hua, ZHU Yang-yong

(Jinan Iron and Steel Group Corporation, Jinan 250101, China)

**Abstract:** This paper summarized some Jinan Steel's coking technologies and practices for cleaning production, saving energy resource and protecting environment in the past years. In the following five years, we will carry out some technology development for optimizing blending, improving coke's quality, developing high value-adding coal chemical products and making use of waste heat and so on. All of the work will make the Jinan Steel Coking Plant become an international advanced plant. The plant is good at carrying out cleaning and economical production, saving energy resource and protecting environment.

**Key words:** coking technology; technological progress; development

(上接第7页)

## Overall Development and Promoting Coal Chemical Industry Upgrade by Technology Process

WANG Du-sheng, ZHANG Guo-hang

(Shandong Weijiao Group Co., Ltd., Weifang 262404, China)

**Abstract:** Based on consolidating the existing production of one million tons of coke per year and auxiliary gas purification devices, Shandong Weijiao Group Co., Ltd. developed new technologies from coal tar deep processing, deep processing of crude benzene and the utilization of coal gas resources. That is, it developed the products of high-scientific content and high additional value, elongated the industrial chain, advanced downstream product grade and forming a fine chemicals industry cluster, then enhancing the enterprise competitiveness and accelerating a quicker and better development of the enterprise.

**Key words:** coal chemical industry; integrated utilization of key resources; industry chain; Fine chemical industry cluster