

综述

美国蒙乃尔合金体系

44-48, 封三

# 美国蒙乃尔合金体系

七〇五研究所

孟家燕编译

TG 146.15

## 一、概 况

蒙乃尔合金相当于我国的镍-铜合金(GB5235-85),系铜镍基合金。在工程上应用具有悠久的历史,因为在自然界存在着天然的镍/铜矿石,稍加提炼即可得到适用的70/30镍/铜合金。蒙乃尔合金还具有易成型、易钎焊、易切削和良好的耐热、耐蚀等综合性能,因而受到工程界的广泛欢迎<sup>[3]</sup>。该合金最早被选做温度不太高的热动力材料,后来又用于要求耐海洋气氛和耐海水腐蚀的中等强度结构件,包括船舶、石油工业上的一些重要耐蚀结构件。电子工业还利用蒙乃尔合金腐蚀均匀,易钎焊的特点,制成电子元器件的引线。机电工业主要利用蒙乃尔合金制成的耐热、耐磨、承受中等负荷的结构件,如阀

门、泵、燃烧装置以及抗氟离子腐蚀的耐蚀结构件<sup>[3,4,6]</sup>。

蒙乃尔合金为镍-铜固溶体基体,含有合金元素锰、硅,用以改善合金的机械性能;元素铁在合金中单独存在时,作为杂质会对合金的抗蚀性产生不良影响。当铁、锰、硅元素同时存在时,也能起到改善机械性能的作用。添加合金元素铝和钛能够形成金属间化合物,在产生时效硬化作用的同时,会降低合金的抗蚀性能。元素硫可以改善合金的切削加工性能,在易切削型的蒙乃尔合金中常添加较高含量的硫<sup>[3,6]</sup>。

通过添加不同类别的合金元素和改变其含量,组成了各种牌号的蒙乃尔合金,现已列入各种材料手册的合金牌号有二十多种,以适应不同场合的需要<sup>[3,4,7]</sup>。

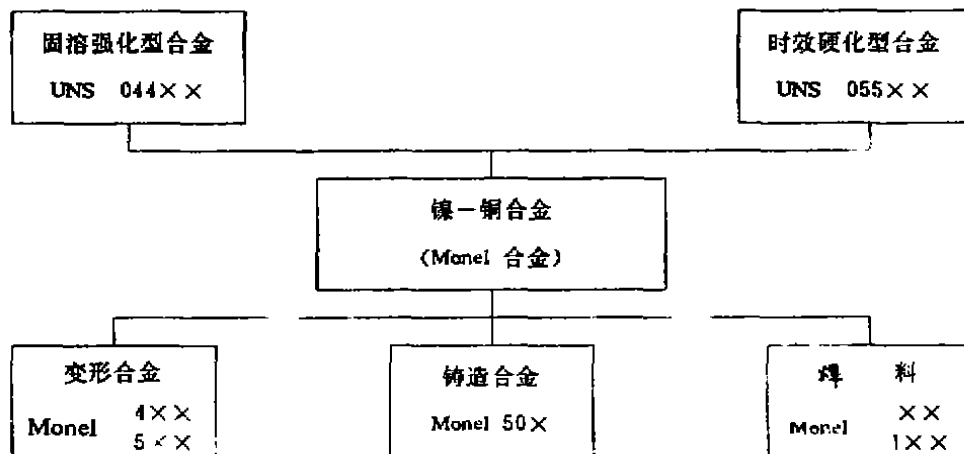


图1 美国镍-铜合金的类别

## 二、蒙乃尔合金的类别和牌号

经过多年来的开发和使用,蒙乃尔合金已构成一组系列合金,现在,“Monel”合金牌号(Designation)已被作为通用型的镍—铜合金(67%Ni, —30%Cu)的代表,其它成分的合金牌号大多用 Monel 附加后缀数字×××,或加前缀字母 K、H、S……,或字母与数字组合来表示。

蒙乃尔合金的分类如图 1 所示。

关于蒙乃尔合金的牌号,在不同的美国标准体系中有不同的表示方法。常用的有三种类型。一是 SAE(美国汽车工程师学会)牌号,它是用前缀字母 K 或 R、H……加 Monel 来表示的,如合金“R Monel”、“K Monel”<sup>[6]</sup>。机械工程常使用的 SAE 体系 Monel 合金牌号共有 6 个,见表 1。其中无前缀字母的 Monel 合金为标准型,“R”Monel 为易切削型。这二种合金均可做耐磨、耐蚀、或耐热的阀门、泵零件、化工设备等。“K”Monel 为时效硬化型,使用时先加工成型,后弥散硬化,其机械性能可与合金钢媲美,在  $\sigma_s$  高达 1029MPa 的同时,延伸率  $\delta$  仍保持在 20% 以上。合金的耐磨和耐蚀性能均很好,只是成形加工工艺性不如通用型合金。“KR”Monel 合金也是易切削型。表 1 中的最后两个牌号是铸造合金。“H”Monel 为中等强度合金,“S”Monel 为高强度合金。二是国际镍公司(International Nickel Inco)的数字牌号,用合金名称 Monel 加二位或三位数字来表示<sup>[3,4,7]</sup>。牌号 Monel×× 或 1×× 表示焊料;Monel505、506 系铸造合金;Monel4×× 和 5×× 系变形合金。蒙乃尔合金常用的三位数字牌号有 12 个(见表 2 和表 3)。其中 Monel400 为通用型,Monel401 为高铜等级,波导管用材料;Monel 为高硫、易切削型;MonelK500 为时效硬化型;Monel501 为易切削、时效硬化型;Monel502 为低碳、低铁

时效硬化型;还有 Monel406 为低碳、高镍型。以上八个牌号均为变形蒙乃尔合金。蒙乃尔铸造合金的三位数字牌号不多,表 3 中给出了六个牌号,其中 Monel506 为高硅中等强度铸造合金,Monel505 为高硅高强度铸造合金,还有镍—铜合金 410,即 Monel410,系标准型铸造合金。采用三位数字表示法的还有美国其它一些公司,如 Ampco 公司,合金牌号以 Ampcoloy 为首,后面附加数字 55×。上述二种蒙乃尔合金牌号表示方法各自独立,不利于使用,特别是不便于计算机统一管理。为此,SAE 和 ASTM 联合发展了“ASTM—SAE 统一数码系统”(Unified Numbering System),标准编号为《ASTM E527》和《SAE J1086》,简称“UNS”系统。镍和镍合金的 UNS 编码(或称牌号)是用字母 N 加五位数字来表示的。对于蒙乃尔合金,其 UNS 编码中的前二位数字代表合金的类型,后三位数字代表具体的合金编号,现有的蒙乃尔合金 UNS 编码格式及合金数见表 4。

在创建合金的 UNS 编码时,为了便于对照、使用,通常把五位数字中的后三位数字和过去已有的 Monel 合金三位数字取成一样,例如 UNSN04100 相当于 Monel400, UNSN05500 相当于 MonelK500,依此类推。目前蒙乃尔合金的 UNS 编码还只限于变形合金,可能是因为其铸造合金的化学成分很难统一的缘故。除了上述三种典型的蒙乃尔合金牌号表示方法外,还有其它一些专用的,或混合型的牌号,或商业名称(Trade Name)、成分(Comp)、等级(Grade)等牌号表示方法,因此,对成分相同的蒙乃尔合金就可能有几种表示法。表 5 列出了部分牌号的新旧变化和对应关系<sup>[3,4]</sup>。在其它一些技术规范中,如 QQ-N-288, AMS 4574, AMS 4575, 也给出了有关蒙乃尔合金牌号的对应关系。

表1 机械工程用美国镍-铜合金的牌号<sup>[6]</sup>

合金牌号	标称化学成分								机械性能(平均值)				
	Ni+Co	Cu	Fe	Mn	Si	C	S	Al	$\sigma_b$	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	$\delta$ (%)	HIB	状态
Monel	67	30	1.4	1	0.1	0.15	0.01	-	514	240	40	125	退火
									755	686	5	240	冷硬
"R"Monel	67	30	1.4	1	0.05	0.15	0.035	-	583	309	35	145	热轧
									617	514	25	180	冷拉
"K"Monel	66	29	0.9	0.75	0.5	0.15	0.005	2.75	686	309	40	160	热轧
"KR"Monel	66	29	0.9	0.75	0.5	0.28	0.005	2.75	1063	789	20	280	时效
"S"Monel	63	30	2	0.75	4	0.1	0.015	-	617	480	3	275	砂铸
									892	686	2	350	时效
"H"Monel	63	31	2	0.75	3	0.1	0.015	-	686	412	15	210	砂铸

表2 蒙乃尔变形合金数字牌号及化学成分

合金牌号	化学成分(%)								备注
	Ni	Cu	C	Si	Mn	Fe	Al	S	
Monel400	63-70	余量	<0.3	<0.50	<2.00	<2.50	-	<0.024	UNS
Monel403	余量	40	0.12		1.8				INCO
Monel404	52-57	余量	<0.15	<0.10	<0.10	<0.50	<0.05	<0.024	UNS
Monel405	63-70	余量	<0.3	<0.50	<2.0	<2.50		0.025 ~0.060	UNS
Monel406	余量	13	0.12						INCO
Monel411	65	30.5	0.15	1.6		1.5			EMonel
MonelK500	63-70	余量	<0.25	<0.50	<1.50	<2.00	2.30 ~3.15	<0.01	UNS, Ti0.35-0.85
Monel501	余量	29.5	0.23				2.8		INCOTi0.5
Monel502	63-70	余量	<0.10	<0.50	<1.50	<2.00	2.50 ~3.50	<0.01	UNS

#### 四、技术规范

在美国,蒙乃尔合金没有统一的国家标准,采用的往往是某个团体或协会的技术规范。其内容主要包括合金的牌号和化学成分、品种规格、技术条件、验收方法等。

不少有权威性的美国金属材料技术规范,如ASTM标准,联邦规范(QQ- $\times$ - $\times$ ),MIL等已为世界上很多地区所采用,我国也将其列为国际先进标准。现行的蒙乃尔合金的美国技术规范主要有下列体系:SAE、AMS、ASTM、MIL、FED、INCO、ANSI、ASME。

对于同一牌号的蒙乃尔合金,采用不同

## 美国蒙乃尔合金体系

的技术规范体系,不仅牌号的表示方法不同,而且其规范的编号、内容也不完全相同。例如 Monel405,仅此牌号的技术规范就有6个,即 ASTM B164、QQ-N-281、ANSI H34.9、ASME SB 164、AMS 4674 和 7234。通常军用产品采用 MIL、QQ 或 AMS 规范,民用产品采用 ASTM、ASME 规范。对同一个牌号的合金,在不同体系的技术规范中内容要求虽有差异,但大部分还是一致的。表6给出了常用蒙乃尔合金的不同技术规范的对对应关系<sup>[3,4,8]</sup>,供相互代用时参照比较。

最后简要叙述一下我国镍—铜合金的体系状况。GB340-76 中规定我国镍和镍合金的牌号,统一以字母 N 为首,镍—铜合金的牌号格式为“NCu××-××-××”这也是我国对应的蒙乃尔合金的牌号格式。现已正

式列入我国国标的镍—铜合金只二个牌号,即 NCu40-2-1 和 NCu28-2.5-1.5,都是变形合金。其化学成分及对应的美国牌号见表7。这两种合金都是固溶强化型,不能热处理强化,只能冷加工硬化。NCu40-2-1 主要用于抗磁的耐蚀零件,NCu28-2.5-1.5 系中等强度,用于耐蚀的结构件,或耐高温(500℃)的零件。我国镍—铜合金实行统一的国家标准,现行标准为 GB4435-84(棒材)、GB2054-84(板材),GB2072-84(带材),GB3113-84(线材),GB2882-81(管材)。时效硬化型的镍—铜合金目前在我国已投入小批量生产和使用,但尚无正式国家标准。铸造的镍—铜合金在我国暂时还是空白,有待开发。

表3 蒙乃尔铸造合金的牌号及化学成分

合金牌号	化学成分(%)								备注
	Ni	Cu	C	Si	Mn	Fe	Al	S	
Monel	62-68	26-33	>0.35	<2.0	<1.5	<2.5	(0.50)		QQ-N-288
Monel505	>60	27-31	(0.25)	3.5-4.5	<1.5	<2.5	<0.50	0.008	QQ-N-288
Monel506	61-68	27-33	<0.30	2.7-3.2	<1.5	(2.5)	<0.50		QQ-N-288
Monel410	66	30.5	<0.20	1.75	0.80	1.00		0.008	铸造
M-35-1	余量	26-33	<0.35	<1.00	<1.5	<3.5			ASTM
M-35-2	余量	26-33	<0.35	<2.0	<1.5	<3.5			ASTM

表4 美国蒙乃尔合金 UNS 编码<sup>[8]</sup>

合金类型	UNS 编码格式	现有 UNS 合金数
固溶强化镍—铜合金	N04×××	N04400, N04404 N04405 (三个)
沉淀硬化镍—铜合金	N05×××	N05500, N05502 (二个)

表5 美国蒙乃尔合金牌号对照表<sup>[3.6.7.8]</sup>

类别	合金牌号	SAE 牌号	UNS 编码	QQ 规范	其它牌号	备注
变形合金	Monel	Monel				标准型,低合金化
	Monel400		N04400	A 级*(-N-281)	67Ni-31Cu (AMS4675)	通用型 Ni66C,31Fe
	MonelC					高碳的 Monel400
	Monel404		N04404			高铜,波导管用
	Monel405	R Monel	N04405	B 级(-N-281)		易切削型
	Monel406	Lc Monel				低碳,高镍
	MonelK500	K Monel	N05500	A 级(-N-286)	67Ni-3Al-0.6Ti-28Cu (AMS4676)	时效硬化型
	Monel501	KR Monel			Monel R500	易切削型
	Monel502		N05502	B 级(-N-286)		低碳,低钛
	铸造合金	Monel			成分 A(-N-288)	Monel410 Ni-Cu 合金 410
Monel505		S Monel		成分 D(-N-288)		高强度,抗咬合
Monel506		H Monel		成分 B(-N-288)		中强度
M-35-1						低硅,ASTM 耐蚀合金
M-35-2						ASTM 耐蚀合金

注: \* 表示 QQ-N281 中的 A 级合金,以下同。

表6 美国蒙乃尔合金技术规范一览表<sup>[3.1.8]</sup>

类别	合金牌号	技术规范					
		ANSI	ASTM	QQ-N-	AMS (SAE-AMS)	MIL	ASME
变形合金	Monel400	H34 2.15 6.42 9	B127, B163, B164, B165, B366, B564	281	4544, 4574, 4575, 4675, 4730, 4731, 4733	-N-24106 -T-1368 -T-23520	SB127, SB163 SB164, SB165
	Monel404		F96				
	Monel405	H34, 9	B164	281	4674, 7234		SB164
	Monel500			286	4676		
	Monel501			286			
	Monel502			286	4677		
铸造合金	Monel			288			
	Monel505			288			
	Monel506			288			
	M-35-1		A494, A743				
	M-35-2		A744	288			

表7 我国和美国镍—铜合金牌号对照

序	合金牌号	化 学 成 分 (%)				
		Ni+Co	Cu	Si	Mn	其 它
1	NCu40-2-1(中)	余 量	38-42	≤0.15	1.25-2.25	Fe0.2-1.0, S≤0.02 C≤0.30, pb≤0.006 Pc≤0.005
	Monel403(美)	余 量	40		1.8	C:0.12
2	NCu28-2.5-1.5(中)	余 量	27-29	≤0.10	1.2-1.8	Fe2.0-3.0, S≤0.02 C≤0.30, pb≤0.003, P≤0.005
	Monel400(美)	>63	28-34	≤0.5	≤2.0	Fe≤2.5, S≤0.024, c≤0.3,

### 征 稿 启 事

《材料开发与应用》(Development and Application of Materials)杂志是中国船舶工业总公司洛阳船舶材料研究所主办、经国家科委批准的,向国内外公开发行的刊物。从1988年起,被中国科技情报所选定为统计分析的对象刊物。1991年被评为中国船舶工业总公司优秀科技期刊。本刊为双月刊,逢双月15日出版,16开,48页,国内统一刊号  $\frac{\text{ISSN}1003-1545}{\text{CN}41-1149/\text{TB}^*}$

本刊属于舰船及海洋工程材料方面的技术性刊物。报道国内外材料开发研究、应用研究、新材料、新工艺、新产品、测试技术、失效分析等方面的综述、述评、论文;技术报告;文献编译;摘编;信息动态报道等内容。

来稿论文格式按GB7713-87书写。论文、技术报告(含图)5000~6000字;综述、编译7000字以内。来稿一式两份,其中必须有一份手写稿,插图不用复印稿,以免字、图不清。文后参考文献请按GB7714-87著录、作者、文题名、出版者、出版地、时间、页码,一定要齐、准,以便审阅。插图不用贴在文中,只在文中相应位置画一长方框(占三行),框下写图序、图题、图注。插图另用小袋装好,注上图序,照片注上方向,图必须清晰规整。手写稿用钢笔正楷抄写,字迹清晰、简体字要符合规范,文中公式要排列整齐,字母清楚,一律用国际法定计量单位。

内容要重点明确,论据充分,数据可靠,文字精炼。来稿内容应是国内外未公开发表过的,要有创新性。并必须进行过保密审查,确保不违犯保密守则。

本刊约定:凡来稿两个月内未收到录用通知者,请作者再自行处理,来稿请留底,本刊不办理退稿。

《材料开发与应用》编辑部

欢迎订阅,欢迎投稿!