

# 大壁厚 ZG230-450H 铸件强度预测方法

成应晋, 杨 澍, 王杏华

(中国船舶重工集团公司第七二五研究所, 河南洛阳 471023)

**摘要:** 对存在严重偏析的1 000 mm大壁厚ZG230-450H铸钢件取样进行小试样正火+不同温度回火热处理, 采用主成分分析方法和强度数据多元线性回归法分析测试数据发现, C含量和回火温度是影响铸钢强度的两个主要因素。通过分析大壁厚ZG230-450H的合金元素、回火温度与一定晶粒度下铸钢强度的关系, 建立了晶粒度为8.5级时铸钢强度预测模型以及基于Hall-Petch关系的不同晶粒度下强度的换算公式。考虑到铸钢壁厚的影响, 并结合生产数据, 对模型进行了修正和检验。结果显示, 该强度预测方法具有一定的实用价值。

**关键词:** 大壁厚铸钢; 船用铸件; 强度预测; 影响因素

ZG230-450H铸钢广泛应用于船舶、机械等领域<sup>[1-3]</sup>。随着铸件壁厚的增加, 铸造过程中的夹杂、疏松、宏观偏析等问题也逐渐凸显出来。在生产检验时, 通常采用附带小尺寸试样进行性能检验, 因此当铸件壁厚逐渐增大时, 小尺寸试样无法反映铸件内部真实性能。实践表明, 在满足冶铸要求规范且充分去氢的前提下, 1 000 mm大壁厚ZG230-450H铸钢件内部强度不足是该产品在生产中存在的主要问题。因此如何确保1 000 mm大壁厚ZG230-450H铸钢件各位置的强度是该产品生产的关键技术之一<sup>[4]</sup>。

本文针对具有严重偏析的大壁厚ZG230-450H铸钢试制件, 通过解剖、取样, 并进行小试样正火+系列温度回火热处理以研究铸钢强度变化规律, 建立铸钢强度预测模型, 再结合大壁厚铸钢生产实际情况对小样条件下的预测模型进行修正。

## 1 试验方法及分析

### 1.1 铸钢化学成分以及力学性能

试验用ZG230-450H铸件名义尺寸为1 000 mm × 1 000 mm × 2 000 mm, 试块单重达到15 t, 铸件原始成分见表1。按照图1将该试块切为三部分。首先对图1中A<sup>#</sup>部分进行1 030 °C × 7 h扩散退火处理, 然后进行金属原位分析, 结果见表2。在表2中, 统计了所测元素的平均含量、最大偏析度、统计偏析度、统计符合度。其中, 平均含量是对分析区域内所测元素所有位置含量取的加权平均值; 而最大偏析度表示分析区域内所测元素最高含量与平均含量的比值, 统计偏析度是分析区域内所测元素所有位置含量相对于平均含量的总偏差的一个统计值, 这两个指标是反映元素偏析程度的重要判据; 统计符合度表示分析区域内所测元素所有位置含量在标准规定的允许偏差范围内的百分比, 它是反映分析成分均匀度的重要判据, 显然, 该值越低表明元素含量分散度越小<sup>[5]</sup>。根据这些指标的含义可知, 铸钢内不同位置处有较明显的成分差异, 各元素含量大体分布在允许范围内, 部分元素存在偏析区, 最高含量达到铸钢内该元素平均含量的两倍以上, 且能推断出在距表面170 mm以上的位置存在反常偏析区, 而心部位置的偏析程度和成分不均匀性最为严重。

从扩散退火的A<sup>#</sup>部分取样并进行920 °C × 10 h正火及不同温度回火热处理, 随后测试强度, 并从拉伸试样断口取样进行化学成分分析, 结果如表3。试验结果表明,

作者简介:

成应晋(1991-), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向为船体结构钢及其加工工艺。E-mail: 492602560@qq.com

中图分类号: TB31

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)04-0378-07

收稿日期:

2018-11-12 收到初稿,  
2019-01-10 收到修订稿。

铸钢内各化学元素含量与铸钢强度有很大相关性。图2是不同温度回火试样的金相组织。试样经580℃和680℃回火后，其组织主要为铁素体和珠光体；试样经560℃、600℃、620℃、640℃回火后，组织除了铁素体和珠光体外，还有贝氏体，所以强度较高。晶粒度测定试验结果表明，除560℃、580℃回火试样各有1件晶粒度为8.0级，其余29件试样晶粒度均为8.5级。

### 1.2 铸钢化学成分和力学性能关系的统计分析

对ZG230-450H铸钢而言，在其他条件不变的情况下，材料的化学成分、热处理工艺决定了其组织，进而决定了其拉伸性能。为定量研究铸钢的化学成分和热处理工艺对拉伸性能的影响，以化学成分和回火温度作为自变量，以屈服强度 $R_{eL}$ 和拉伸强度 $R_m$ 作为因变量，采用最小二乘法对表3中的31组数据进行多元线性回归拟合，结果如表4，其修正多重判定系数 $R_{a2}$

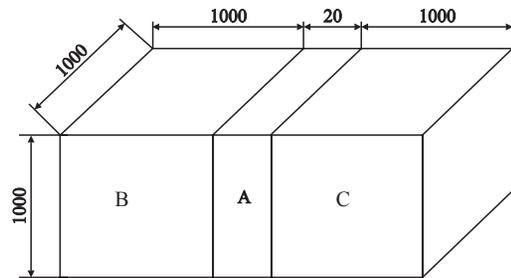


图1 ZG230-450H铸钢取样示意图  
Fig. 1 Schematic of sampling

表1 ZG230-450H铸钢化学成分  
Table 1 Chemical composition of ZG230-450H steel casting

steel casting							$w_B/\%$
C	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	V	
0.151	1.14	0.180	0.039	0.221	0.016	0.031	

表2 ZG230-450H铸钢元素原位分析试验结果  
Table 2 The original position analysis results of elements in ZG230-450H steel casting

测试位置及项目	C	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	V
距表面0~170 mm	平均含量/%	0.15	1.11	0.182	0.04	0.219	0.033
	最大偏析度	1.539	1.144	1.1	2.475	1.115	1.107
	统计偏析度	0.179 9	0.074 4	0.066 7	0.105 0	0.068 3	0.067 8
	统计符合度/%	88.83	85.69	93.33	87.35	84.92	92.15
距表面170~330 mm	平均含量/%	0.145	1.052	0.170	0.037	0.207	0.032
	最大偏析度	1.864	1.138	1.159	2.732	1.201	1.115
	统计偏析度	0.292 1	0.056 0	0.071 5	0.120 8	0.066 5	0.069 7
	统计符合度/%	78.20	82.93	93.06	80.22	83.06	87.68
距表面330~500 mm	平均含量/%	0.17	1.134	0.185	0.04	0.217	0.036
	最大偏析度	2.593	1.097	1.120	2.457	1.107	1.103
	统计偏析度	0.208 5	0.097 3	0.121 3	0.177 9	0.102 9	0.135 4
	统计符合度/%	65.99	74.88	82.31	72.46	79.49	78.05

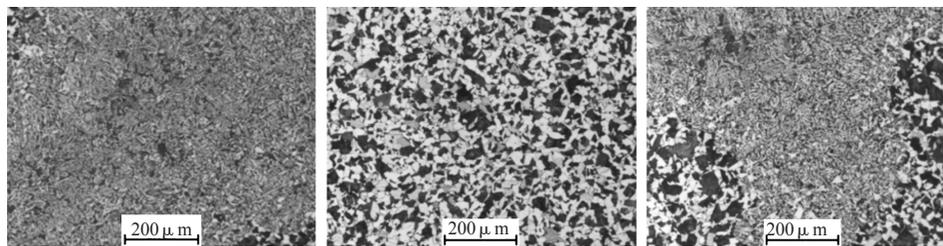
表3 ZG230-450H铸钢强度和成分分布范围  
Table 3 The strength and composition dispersion range of ZG230-450H samples at different tempering temperatures

回火温度/℃	样品数量	强度/MPa		成分分布范围/%						
		$R_{eL}$	$R_m$	C	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	V
560	6	287~420	459~666	0.112~0.234	1.13~1.25	0.181~0.202	0.041~0.053	0.218~0.253	0.015~0.018	0.030~0.035
580	4	288~343	455~482	0.116~0.196	1.06~1.17	0.182~0.191	0.041~0.049	0.219~0.240	0.014~0.018	0.030~0.034
600	4	311~530	498~706	0.167~0.330	1.12~1.36	0.188~0.214	0.044~0.055	0.231~0.277	0.016~0.019	0.032~0.038
620	5	284~407	455~617	0.113~0.265	1.04~1.30	0.181~0.206	0.041~0.052	0.226~0.264	0.015~0.026	0.030~0.036
640	4	293~345	467~574	0.130~0.199	1.13~1.15	0.185~0.195	0.043~0.047	0.233~0.254	0.015~0.016	0.031~0.033
660	4	281~306	442~456	0.111~0.147	1.08~1.11	0.179~0.184	0.040~0.043	0.224~0.226	0.015~0.016	0.029~0.031
680	4	281~307	444~465	0.115~0.127	1.08~1.10	0.175~0.185	0.041~0.042	0.217~0.228	0.013~0.017	0.030~0.031

分别等于0.852 0和0.953 4, 多重相关系数 $R$ 分别等于0.942 3和0.979 2。这说明, 在对样品数量和自变量个数进行修正的情况下, 回归方程的拟合优度和解释能力仍然较高。两个线性关系的 $F$ 值均大于 $F_{\alpha=0.05}(9, 22) = 1.93$ , 因此拟合得到的线性关系在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 的条件下是成立的。需要说明的是, 由于选取的31件样品中有29件晶粒度为8.5级, 因此在表4的拟合过程中没有计算晶粒度对强度的影响。

对表4中各回归系数进行显著性检验, 查 $t$ 分布表,  $t_{0.025}(22) = 2.074$ , 可见只有很少的系数通过了显著性

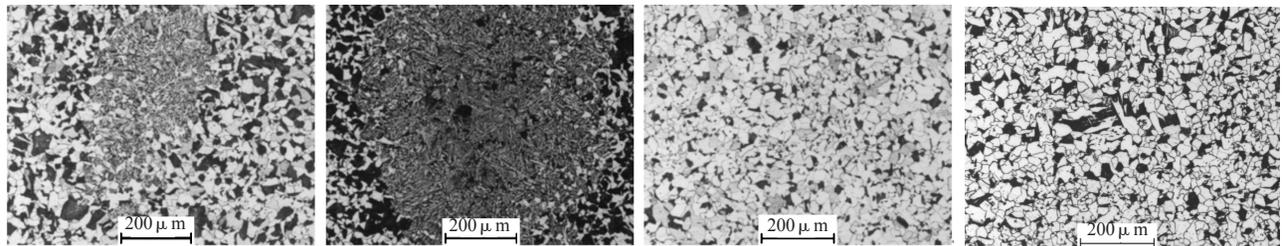
检验。这表明数据产生了过拟合, 其主要原因是自变量之间可能存在相关性, 导致回归结果存在多重共线性<sup>[6]</sup>。因此尝试采用主成分分析方法进行数据处理。主成分分析方法是一种对各元素含量进行线性变换, 将多个自变量转化为少量的信息不重复的综合指标, 以便在最大程度保留原始数据前提下实现降维的方法<sup>[6]</sup>。通过元素含量相关矩阵计算出前三个主成分对应的系数如表5, 可见第一主成分的特征值大于1, 强度结果受其影响率超过85%。从主成分系数可见, 第一主成分主要体现了铸钢元素总含量对强度的影响。



(a) 560 °C回火试样  
(铁素体+珠光体+贝氏体)

(b) 580 °C回火试样  
(铁素体+珠光体)

(c) 600 °C回火试样  
(铁素体+珠光体+贝氏体)



(d) 620 °C回火试样  
(铁素体+珠光体+贝氏体)

(e) 640 °C回火试样  
(铁素体+珠光体+贝氏体)

(f) 660 °C回火试样  
(铁素体+珠光体)

(g) 680 °C回火试样  
(铁素体+珠光体)

图2 不同温度回火试样金相组织

Fig. 2 Microstructure of samples at different tempering temperatures

表4 强度数据多元线性回归结果

Table 4 The multivariate linear regression analysis result of strength

变量	多元线性 回归参数	自变量								截距	$R_a^2$	$R$
		$w(C)$	$w(Mn)$	$w(Cr)$	$w(Mo)$	$w(Ni)$	$w(Cu)$	$w(V)$	回火温度			
$R_{el}$	系数	690.4	83.9	-467.1	-5240.6	539.1	516.5	9 435.8	0.008	-5.7	0.852 0	0.942 3
	标准差	264.8	179.2	1 820.5	4 465.9	969.0	844.0	7 987.6	0.117	269.4		
	检验量 $t$	2.61	0.47	0.26	1.17	0.56	0.61	1.18	0.07	0.02		
$R_m$	系数	1291.6	-39.0	-1 348.8	-7 276.2	1 072.4	424.5	6 907.0	-0.189	558.7	0.953 4	0.979 2
	标准差	193.6	131.1	1331.2	3265.5	708.6	617.1	5 840.7	0.086	197.0		
	检验量 $t$	6.67	0.30	1.01	2.23	1.51	0.69	1.18	2.21	2.84		

表5 主成分系数分析结果  
Table 5 The result of principal component analysis

主成分	系数							贡献率/%	特征值
	w (C)	w (Mn)	w (Cr)	w (Mo)	w (Ni)	w (Cu)	w (V)		
t <sub>1</sub>	0.389 49	0.390 55	0.389 9	0.396 64	0.370 77	0.310 44	0.390 61	87.58	6.130 6
t <sub>2</sub>	-0.233 17	-0.041 39	-0.117 63	-0.105 22	-0.068 8	0.938 6	0.182 5	6.60	0.461 73
t <sub>3</sub>	-0.323 99	0.010 92	0.026 16	-0.226 92	0.879 21	-0.086 25	-0.249 57	2.74	0.191 86

以第一主成分t<sub>1</sub>作为表征铸钢内元素总成分的参量，并与回火温度共同作为自变量，以R<sub>cl</sub>和R<sub>m</sub>作为因变量，采用基于最小二乘法的逐步回归方法进行多元线性拟合，得到R<sub>cl</sub>和R<sub>m</sub>的计算值和表达式：

$$\hat{R}_{cl}=829.2 \times t_1 - 261.6 \quad (R=0.918 6, R_a^2=0.833 0) \quad (1)$$

$$\hat{R}_m=1 048.8 \times t_1 - 0.28 \times T - 57.6 \quad (R=0.9474, R_a^2=0.886 6) \quad (2)$$

从以上两式的R和R<sub>a</sub><sup>2</sup>可看出， $\hat{R}_m$ 的模型尚可被接受，而式(1)的R<sub>a</sub><sup>2</sup><0.85，因此不接受 $\hat{R}_{cl}$ 的模型。

进一步观察表5中第一主成分中对应元素含量的系数，可见各元素系数都很接近且均小于0.4，说明第一主成分对不同元素对强度的影响的解释力度还不够，故采用逐步回归法筛选自变量并拟合，结果如下：

$$\hat{R}_{cl}=853.5 \times w(C) + 183.4 \quad (R=0.934 3, R_a^2=0.864 2) \quad (3)$$

$$\hat{R}_m=111.97 \times w(C) - 0.19 \times T + 442.9 \quad (R=0.977 0, R_a^2=0.949 6) \quad (4)$$

式(3)和式(4)具有和式(1)和式(2)相同的形式，由等式可见R<sub>cl</sub>主要与C元素含量有关，而R<sub>m</sub>主要与C元素含量和回火温度有关。因此某种程度上，C元素含量是铸钢中所有元素含量的反映。

值得注意的是，以上计算过程中均以试样晶粒度为8.5级作为前提。根据金相试验结果，各试样实际晶粒度为8.5级(d=18.9 μm)~8.0级(d=22.5 μm)。故在表3中选择两组C含量相当的试样(表6)，根据H-P公式 $\sigma_s = \sigma_0 + K \cdot d^{-1/2}$ ，解出K为841.1 MPa·μm<sup>1/2</sup>。

表6 不同晶粒度下的铸钢的屈服强度  
Table 6 Yield strength of samples with different grain sizes

回火温度/℃	晶粒度/级	晶粒尺寸d/μm	R <sub>cl</sub> /MPa
560	8.0	22.5	291
680	8.5	18.9	307

如不考虑晶粒度对(R<sub>m</sub>-R<sub>cl</sub>)值的影响，有式(5)：

$$R_m - R'_m = R_{cl} - R'_{cl} = 841.1 \times (0.230 - d^{-1/2}) \quad (5)$$

其中R<sub>cl</sub>和R<sub>m</sub>为强度实测值；R'<sub>cl</sub>和R'<sub>m</sub>为根据材料实际平均晶粒尺寸d和强度实测值折合的晶粒度8.5级对应的强度值。而如前所述，式(3)和式(4)中的 $\hat{R}_{cl}$ 和 $\hat{R}_m$ 为晶粒度8.5级时对应强度的计算值。为叙述方便，以下称R'<sub>cl</sub>和R'<sub>m</sub>为“当量强度”实测值， $\hat{R}_{cl}$ 和 $\hat{R}_m$ 为“当量强度”计算值，显然“当量”包含了将强度换算成了晶粒度为8.5级的含义。

## 2 强度预测模型的建立和修正

如前所述，式(3)和(4)均是在小试样热处理的条件下得到，冷却速度较快。而实际热处理过程中1 000 mm壁厚铸钢正火冷却速度很慢，因此1 000 mm壁厚铸钢试块在整体冷却条件下的“当量强度”值R'<sub>cl</sub>和R'<sub>m</sub>应比由式(3)-(4)计算出的“当量强度”计算值 $\hat{R}_{cl}$ 和 $\hat{R}_m$ 偏低。为比较两者的大小关系，对图1中的B<sup>#</sup>和C<sup>#</sup>试块(1 000 mm × 1 000 mm × 1 000 mm)进行

表7 铸钢强度实测值、“当量强度”计算值及“当量强度”实测值  
Table 7 The measured strength value, calculated and measured “equivalent strength” values of sample with heavy wall thickness

编号	位置	w (C)/%	晶粒度	R <sub>cl</sub> /MPa	R <sub>m</sub> /MPa	$\hat{R}_{cl}$ /MPa	$\hat{R}_m$ /MPa	R' <sub>cl</sub> /MPa	R' <sub>m</sub> /MPa	冷却条件
B	表面	0.147	8.0级	266	471	308.9	489.7	282.2	487.2	自然冷却
	T/4	0.125	8.5级	252	445	290.1	465.1	252	445	
	心部	0.197	8.5级	286	524	351.5	545.7	286	524	
C	表面	0.154	7.5级	246	478	314.8	497.5	276.7	508.7	
	T/4	0.155	7.5级	256	469	315.7	498.7	286.7	499.7	
	心部	0.182	8.0级	273	496	338.7	528.9	289.2	512.2	

1 030 °C × 7 h 扩散退火 + 920 °C × 10 h 正火 + 620 °C × 10 h 回火处理，然后测试试块表面、T/4 及心部位置的拉伸性能，同时测定相应位置的化学成分、组织及晶粒度。其中 T/4 (T 为铸件厚度) 和心部拉伸试样中部距离试块表面约为 250 mm 和 500 mm。结果显示，铸钢各位置金相组织均为铁素体 + 珠光体，晶粒度结果及对应的“当量强度”实测值、“当量强度”计算值见表 7。将  $R'_{cl}$  和  $\hat{R}_{cl}$  及  $R'_m$  和  $\hat{R}_m$  数据绘图，结果见图 3，两组直线的斜率  $f_1$  和  $f_2$  分别为 0.870 和 0.984。称  $f_1 \times \hat{R}_{cl}$  和  $f_2 \times \hat{R}_m$  为“当量强度”计算修正值，将其作为整体热处理条件下大壁厚铸钢  $R'_{cl}$  和  $R'_m$  的预测值。

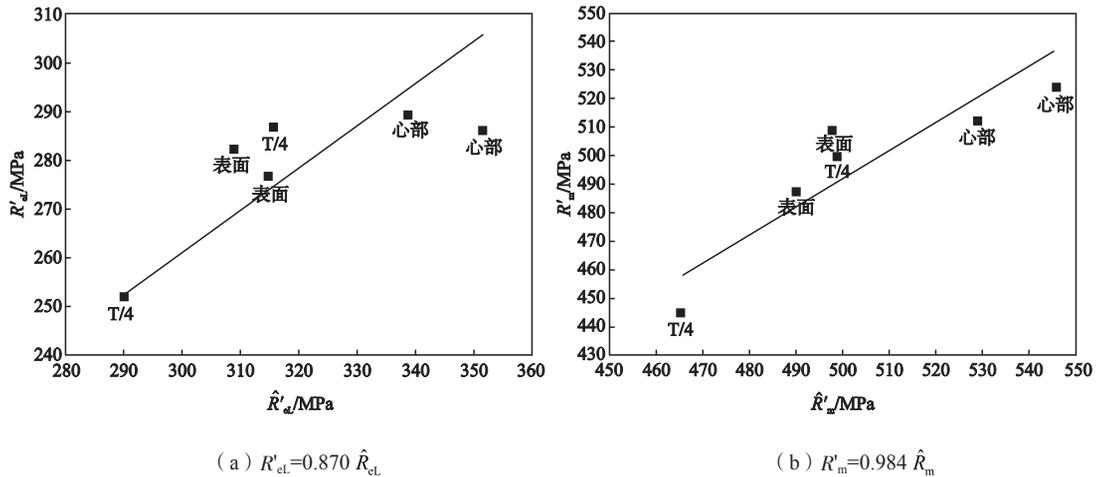


图3 大壁厚铸钢“当量强度”实测值及对应位置“当量强度”计算值关系图

Fig. 3 The relation graph providing calculated and measured “equivalent strength” value of heavy wall thickness casting

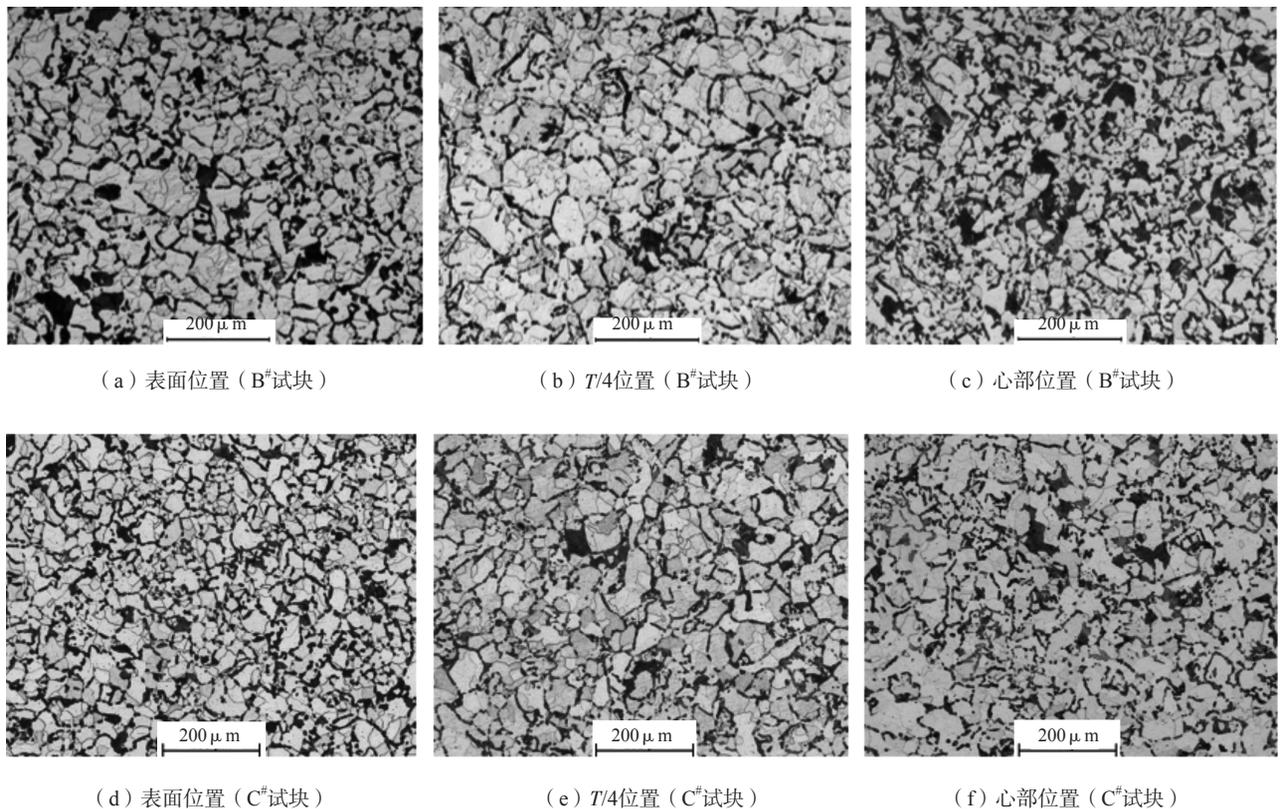


图4 大壁厚铸钢整体热处理金相组织

Fig. 4 Microstructure at different positions of heavy wall thickness steel casting after heat treatment

### 3 分析与讨论

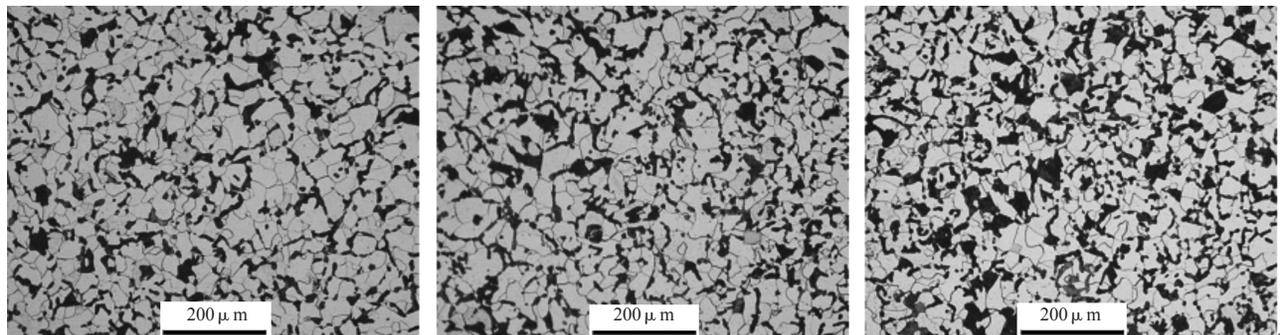
基于以上提出的强度预测模型,对另一炉次生产的铸件进行强度预测以验证模型的准确性。根据铸件的 $w_{(C)}$ 计算出“当量强度”,计算修正值 $f_1 \times \hat{R}_{cl}$ 和 $f_2 \times \hat{R}_m$ ;根据铸件的晶粒度、 $R_{cl}$ 和 $R_m$ 计算出“当量强度”实测值 $R'_{cl}$ 和 $R'_m$ ,结果如表8。分别对比各组试样的 $f_1 \times \hat{R}_{cl}$ 和 $f_2 \times \hat{R}_m$ 及 $R'_{cl}$ 和 $R'_m$ ,可发现除920℃风冷喷雾+640℃回火,铸件表面试样的“当量强度”计算修正值偏低外,其他试样的“当量强度”计算修正值与“当量强度”实测值偏差均不超过15 MPa。对试样进行金相组织分析,如图5所示,可见各试样组织均为铁素体+珠光体。由于强风冷+喷雾提高了铸件表面冷速,导致组织中还存在针状铁素体,实际强度偏高,

但铸件T/4和心部位置均不受其影响。

经验表明,在严格执行电炉冶炼和LF+VD精炼,并采取有效去氢措施时,强度不足是1 000 mm大壁厚ZG230-450H铸件生产过程中出现的主要问题。对ZG230-450H铸钢材料而言,铸造生产条件和工艺固定后,成分和热处理工艺是影响其强度的两个重要因素。ZG230-450H铸钢的热处理手段是正火+回火,最终组织为铁素体+珠光体。如前所述,回火过程对铸钢强度的影响很小,而正火温度范围为900~920℃,工厂常用提高正火冷却速度的措施如喷雾、风冷等,通常只对1 000 mm铸件表面冷速有一定影响,而对T/4和心部位置影响微弱,且实际船用铸件产品的形状较图1所示试块更复杂,总体积和重量更大,对工期要求较

表8 强度预测模型验证结果  
Table 8 The validation results using strength predicating model

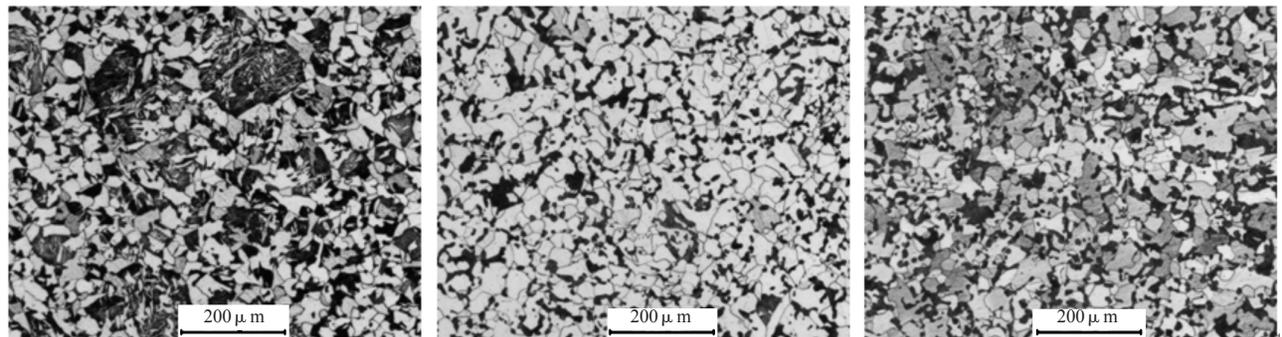
位置	$w_{(C)}/\%$	晶粒度	$R_{cl}/\text{MPa}$	$R_m/\text{MPa}$	$f_1 \times \hat{R}_{cl}/\text{MPa}$	$f_2 \times \hat{R}_m/\text{MPa}$	$R'_{cl}/\text{MPa}$	$R'_m/\text{MPa}$	热处理方式及编号
表面	0.171	7.5级	264	468	286.5	512.0	294.7	498.7	920℃风冷
T/4	0.164	7.5级	254	466	281.3	504.3	284.7	496.7	+600℃回火
心部	0.172	7.5级	257	481	287.3	513.1	287.7	511.7	(D <sup>#</sup> )
表面	0.129	7.0级	280	465	255.3	458.3	310.7	495.7	920℃风冷喷雾
T/4	0.186	7.5级	263	478	297.7	521.1	307.3	522.3	+640℃回火
心部	0.178	7.0级	251	480	291.7	512.3	281.7	510.7	(E <sup>#</sup> )



(a) 表面位置(D<sup>#</sup>试块)

(b) T/4位置(D<sup>#</sup>试块)

(c) 心部位置(D<sup>#</sup>试块)



(d) 表面位置(E<sup>#</sup>试块)

(e) T/4位置(E<sup>#</sup>试块)

(f) 心部位置(E<sup>#</sup>试块)

图5 不同批次大壁厚铸钢整体热处理金相组织

Fig. 5 Microstructures at different positions of heavy wall thickness steel castings after undergoing different heat treatment processes

高。由于生产条件和铸造工艺在浇注前就已经确定,如C含量过低则后续热处理无法使铸件强度满足要求,而C含量一味偏上限又会极大降低铸件的塑韧性和可焊性(特别是热影响区处容易出现淬硬组织)<sup>[7-8]</sup>。因此,在生产这种大型厚壁铸件时,成分控制对保证产品质量非常关键。

在实际生产过程中,可在冶炼时根据大壁厚铸钢炉前分析结果利用该模型计算 $f_1 \times \hat{R}'_{cl}$ 和 $f_2 \times \hat{R}'_m$ 作为“当量强度” $R'_{cl}$ 和 $R'_m$ 的预测值并与产品的目标强度对比,再结合所采取的晶粒细化手段及车间自身的铸造和热处理冷却条件对钢液含C量进行控制,从而获得所需的性能。

需要注意的是,在大壁厚铸钢的凝固和热处理过程中,从表面至心部铸钢冷却速度逐渐降低。因此心

部 $f_1 \times \hat{R}'_{cl}$ 和 $f_2 \times \hat{R}'_m$ 较实际的“当量强度”值有较大正偏差,而在表面和 $T/4$ 处则具有较小正偏差或稍有负偏差(见图4和表8),在实际应用时应予以考虑。

## 4 结论

(1) 通过进行小试样不同温度回火试验发现,C含量和回火温度显著影响铸钢的 $R'_{cl}$ 和 $R'_m$ ,获得的线性回归方程通过了显著性检验。

(2) 建立了基于晶粒度为8.5级时的“当量强度”的大壁厚ZG230-450H铸钢强度预测模型,可用 $f_1 \times \hat{R}'_{cl}$ 和 $f_2 \times \hat{R}'_m$ 作为 $R'_{cl}$ 和 $R'_m$ 的预测值。根据已有数据计算出整体热处理条件下修正系数 $f_1$ 和 $f_2$ 分别为0.870和0.984。

(3) 不同炉次的大壁厚铸件试验结果表明,该强度预测方法具有一定的实用价值和借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 熊六一,肖刚,朱智武.大型船用挂舵臂铸件的生产[J].铸造,2012,61(9):1066-1070.
- [2] 李伟华,陈成,黄美静.特大型后艉轴架的铸造工艺设计[J].铸造,2018,67(2):171-174.
- [3] 邵勇,陈爱国.ZG230-450C大型艉轴架焊接工艺[J].船舶与海洋工程,2018,34(3):62-65.
- [4] 牛继承,张玉祥,王任甫.大壁厚14CrNi5MoV铸钢的组织及力学性能研究[J].铸造技术,2011,32(8):1078-1080.
- [5] 王海舟.原状统计分布分析——冶金工艺及材料性能判据新技术[J].中国有色金属学报,2004,14(5):98-105.
- [6] 贾俊平.统计学[M].北京:清华大学出版社,2006.
- [7] 沈莲.机械工程材料[M].北京:机械工业出版社,2006.

# Strength Forecasting Method for ZG230-450H Castings with Heavy Wall Thickness

CHENG Ying-jin, YANG Shu, WANG Xing-hua  
(Luoyang Ship Material Research Institute, Luoyang 471023, Henan, China)

### Abstract:

Heavy wall thickness in ZG230-450H steel castings make segregation more serious. In order to forecasting the strength property of castings, ZG230-450H samples with size 1 000 mm×1 000 mm×20 mm and 1 000 mm×1 000 mm×1 000 mm were cut and tempered at different temperatures after annealing and normalizing treatments in the present study. Through analysis of the composition and strength data using principal component analysis method and multivariate linear regression method, respectively, it was found that carbon content and tempering temperature were the major factors influencing the strength property of ZG230-450H steel castings with heavy wall thickness. After analysis of the relationship between chemical composition, tempering temperature and the strength of ZG230-450H with certain grain size, a strength forecasting model was established to describe the strength of ZG230-450H castings with the grain size number of 8.5 level, and a conversion equation was developed based on Hall-Petch relation to calculate the strength of ZG230-450H of castings with different grain size numbers. The forecasting model was adjusted and verified with considering the effect of wall thickness and combining with the production data. Results showed that the method had some value in practical applications.

### Key words:

heavy wall thickness steel casting; marine casting; strength predicating; influence factor