鑄物の残留歪の除去について*

堀 口 斗**
木 村 英 一

1. 緒 論

鑄造品は鑄放しのまゝでは相当の鑄造應力が潜在しているものであるから眞直に鑄造したはずの棒の一侧を削り去る時、削らない方の側に曲りを生じたり或は使用に際して特に衝撃的な外力に著しい脆弱さを來すこと等製品の品質、精度の向上に及ぼす影響が如何に大であるかは今更いうまでもない。

これが除去については機械製作上の重要な一過程でなければならない。当社においても、色々対策を講じて來たが理論的裏付けにより更に確実な結果を得んとここに基礎的実験を行つた。

2. 鑄造歪の成因

鑄物が鑄造されてから常溫まで冷却する時部分により肉に厚薄があり断面積に大小があるとその冷却状態は必ずしも一樣でない。又断面積一樣な棒としても直接冷い鑄型に触れる部分と中心部とでは冷却の状態が自から異つて來るので、当然この冷却速度の不同により應力を生ずる。これが鑄造應力で、これによつて生ずる歪が鑄造歪である。冷却速度の緩慢なる部分には引張を急速なる部分に圧縮應力を生ずる。

今第1図の如き鑄造品の鑄造歪発生の状態を考察するにこの場合Ⅰは肉厚大なるⅡよりも急速に冷却する。両試片の冷却状態を溫度一時間曲線に表わせば第2図の如くなる。

曲線Ⅰ及びⅡは横軸に近づき無限大の時間後に一致する。この曲線を考えて見るに

$$\frac{dt}{dz} = -k(t - t_1) \dots \dots \dots (1)$$

第 1 図 鑄物の反り

Ⅰ 圧 縮
Ⅱ 引 張

第 2 図

と仮定する。ここに

dt/dz = 冷却速度

t = 鑄物溫度

k = 常数

$(t - t_1)$ = 溫度差

t_1 = 鑄型溫度

(1) 式を積分すれば

$$\ln(t - t_1) = -kz + C$$

積分常数 C は $z=0$ 及び $t=t_0$ の時

$$C = \ln(t_0 - t_1)$$

故に曲線方程式は

$$t = t_0 e^{-kz} \dots \dots \dots (2)$$

今急冷試片Ⅰに対して k_1 とすれば曲線Ⅰの方程式は

$$t_1 = t_0 e^{-k_1 z} \dots \dots \dots (3)$$

曲線Ⅱに対して k_2 とすれば

$$t_2 = t_0 e^{-k_2 z} \dots \dots \dots (4)$$

同じ z の値に対して曲線Ⅱの t の値は曲線Ⅰのそれよりも高いから $k_1 > k_2$ 、質量/表面積が大きいと冷却はより緩慢になり k_2 の値はより小さくなる。第2図の如き溫度曲線に従い各試片Ⅰ、Ⅱの長さの收縮状態を導き出せば第3図の如くなる。この図における曲線Ⅰ、Ⅱは各試片が自由に收縮すると考えた場合の、長さの時間に対する変化を示すものでその尺度には $(\frac{\Delta l}{l_0} = \epsilon)$ を選ぶ。その変形量 ϵ は

$$\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right) = \epsilon = at \quad t = \frac{\epsilon}{a} \dots \dots \dots (5)$$

となり t_0 における膨脹量は

$$\epsilon_0 = at_0 \quad t_0 = \frac{\epsilon_0}{a} \dots \dots \dots (6)$$

* On the Residual Strain of Casting.

** H. Horiguchi, E. Kimura 豊和重工業株式会社

従つて曲線は第3図の I, II の如くなる。

第 3 図

しかし或時間までは粘性的変形を受けその後は弾性的変形を受ける場合の (z-ε) 曲線は第3図 I', II' の如くなる。即ち z2 までは I は b2c2 だけ粘性的に伸び、II は a2c2 だけ粘性的に縮まり應力は発生しない。しかしその後の z3 なる時間に ab だけ長さが違わんとするのであるが I, II は一体なる故それぞれ弾性的変形 bc, ac を生じ應力を発生する。そして全体が常温に冷却した場合には I, II はそれぞれ b2, c2 及び a2c2 に相当する圧縮又は引張應力を受け鑄造應力として残る。

3. 実験装置及び要領

i) 実験装置

I 加熱炉……マツフル式電気炉

II 高温計……熱電対温度計

III 測長器……外測用マイクロメター

ii) 実験要領

第4図 試 験 片

実験に際して使用せる試験片は第4図の如き寸法を有する3本の框試験片で中央棒は太く両側の棒は細いため、その冷却速度も前者は緩慢にして引張應力を、後者は圧縮應力を生ずる。歪測定に際して先づ A, B の先端を球状に仕上げる。これを L1 とする。次に両端の細き棒を X-X', Y-Y' にて切断しての測定値を L2 とする。

結局両側の細き棒を切断したることにより試験片の長さ L の伸縮 δ は

$$\delta = L_1 - L_2$$

で表わされる。

よつて歪は

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \quad \text{or} \quad \varepsilon = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100 \%$$

となる。

然しながら実際収縮するのは両端の部分の長さ 60mm を減じたる部分であると考え

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_2}{L_1 - 60} \quad \text{or}$$

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_2}{L_1 - 60} \times 100 \%$$

とした。

又異なる化学成分を有する鑄鉄が焼鈍により歪量を失う程度に相違あるか否やを見るために化学成分を異にする A, CX 配合についてその成分と鑄造歪量との関係を測定した。この実験に使用した鑄鉄の成分は第1表の如きものである。

第 1 表

	Chemical Analysis			Physical Analysis		
	C	Si	Mn	鑿 撃	引 張	硬 度
A 材	3.27	2.30	0.63	450	24.1	179
CX材	3.14	1.72	0.53	500	26.1	201

4. 実験結果

試験材を用いて焼鈍温度としては 220, 300, 400, 500, 600, 700, 800°C, を選び一定加熱曲

第 2 表

試番	T°C	保持時間	L1mm	L2mm	δmm	ε %
1	焼鈍せず		238.25	238.15	0.10	0.056
2	"		238.31	238.18	0.13	0.073
3	"		239.80	239.70	0.10	0.055
4	"		238.38	238.28	0.10	0.056
5	400°C	3	238.04	238.00	0.04	0.022
6	"	5	238.28	238.22	0.06	0.034
7	"	8	238.06	238.03	0.03	0.017
8	500	1	238.84	238.79	0.05	0.028
9	"	2	238.76	238.73	0.03	0.017
10	"	3	238.34	238.32	0.02	0.011
11	"	3	239.48	239.46	0.02	0.011
12	"	5	237.85	237.84	0.01	0.0056
13	"	5	238.79	238.78	0.01	0.0056
14	600	1	240.01	240.00	0.01	0.0055
15	"	1.5	238.94	238.93	0.01	0.0055
16	"	3	239.67	239.67	0	0
17	700	1	239.13	239.13	0	0
18	"	3	240.38	240.38	0	0
19	800	1	239.62	239.62	0	0

註：試験材は CX 配合時間

第5図 時間—焼鈍温度曲線

線第5図に沿つて加熱し炉中冷却を行いたるものについて残留歪を測定したものである。CX 配合材について焼鈍温度への保持時間としては(1, 2, 3, 5, 及び 8hr)としその結果を一括すれば第2表の如く又図に示せば第6図となる。

焼鈍保持時間→

第6図 各温度における焼鈍保持時間—鑄造歪 %

A 配合材、CX 配合機について鑄造歪の消失程度を測定すべく焼鈍保持時間を各々 3 hr とし各温度に対する残留歪を示す。

第 3 表

試番	T°C	L ₁ mm	L ₂ mm	δ mm	ε %
1	焼鈍せず	238.38	238.26	0.12	0.067
2	220°C	238.91	238.80	0.11	0.062
3	300	239.20	239.09	0.11	0.061
4	400	239.44	239.40	0.04	0.022
5	500	238.74	238.73	0.01	0.005
6	600	240.36	240.36	0	0
7	700	240.31	240.31	0	0

註： 焼鈍保持時間 3 時間 : 試験材は A 配合

第 4 表

試番	シーズニング日数	L ₁ mm	L ₂ mm	δ mm	ε %
1	シーズニングせず	238.38	238.26	0.12	0.067
2	"	238.25	238.15	0.10	0.056
3	14日	238.87	238.70	0.17	0.095
4	"	239.28	239.20	0.08	0.044
5	30日	238.88	238.77	0.11	0.061
6	"	240.17	240.06	0.11	0.061
7	70日	238.48	240.38	0.10	0.056
8	"	237.86	238.76	0.10	0.056

註： 試験材は CX 配合

焼鈍による鑄物の鑄造歪の消去は容易にして且つ多数の文献もあるが長年月に亘るシーズニングについては測定の困難と共に時日を要すること多大なるためにこれに関する記事は極めて尠い。

第7図 鑄造歪%—焼鈍温度

第8図 鑄造歪—シーズニング日数

顕微鏡写真

試料…CX 配合材焼鈍試験片の中央棒より採取す

処理…A 焼鈍せず

B 400°C にて 3 時間保持

C 500°C " "

D 600°C " "

E 700°C にて 1 hr 保持

組成…8.14%C

1.72%Sc

0.53%Mn

(顯 微 鏡 写 眞)

5. 硬 度 試 験

焼鈍保持時間 3 hr における各温度と機械的性質との関係は次の如きものである。

6. 實驗結果の考察

常温加工或いは焼入れ等の処理を受けた鋼に存在する初内力は焼鈍によつて除くことが出来る。鑄物もその組織は黒鉛を除いては全く鋼と選ぶ処はないものであつて鑄造初内力に及ぼす影響は全く鋼の初内力におけるものと同じ筈である。一般に歪を受けた金属材料は第10図の如く、焼鈍によつて変化する。そこで本実験の結果

第 10 図

と照合すれば 400~450°C まで (鉄鋼及び特殊鋼) は鑄造歪は略直線的に減少する (浜住氏より)

が再結晶温度に達すると歪は除去され機械的性質も急激に減少する。結晶成長範囲に至れば再び機械的性質は漸減することは第 6, 7, 9 図の如くである。又温度と焼鈍保持時間との関係は第 6 図の如く Arrhenius の方則に従っている。第 9 図において略 500°C 附近まではその硬度は左程変化しないが 600~700°C において硬度が著しく下つているのが見受けられる。又鑄鉄の温度と抗張力との関係においても以上のような現象がある。600~700°C において硬度が低下するのは Fe_3C の分解によるもので黒鉛含有量が大きければ低温度で分解する。これは第 9 図における A 配合、CX 配合の試験材が示す曲線にてもうかがえることである

7. 結 論

第 6, 7, 9 図によつて 500°C 以上の温度 (保持時間 3 hr) での焼鈍は鑄造歪を完全に除去するが、機械的性質を非常に阻害するので不可である。然し 500°C 以下では温度が低ければ低い程長時間の焼鈍を要し不経済である。

故に 520°C 前後で 2~4 hr の焼鈍が最も適当と思われる。然しながら実際品物について焼鈍を行うには多少の温度、時間の考慮を拂わねばならない。

シーズニングについてはその日数少く、未だ鑄造歪は除去されていない。従つて更に長年月を要しその測定は甚だ難事である。