

技術資料No.85

造鑄之輻輳鐵凍



印編學會鑄造民國中華

造鑄之軋輥鐵凍

梁惟李 著

江苏工业学院图书馆
藏书章

中華民國鑄造學會 編印

技術資料 No.85

凍 鐵 輾 轆 之 鑄 造

著 者：李 位 梁 (台灣鋁業公司總經理)

發 行：中 華 民 國 鑄 造 學 會

理 事 長：齊 世 基

高 雄 市 高 橋 公 路 1001 號

編 輯：中 華 民 國 鑄 造 學 會 出 版 委 員 會

印 刷：佳 興 印 刷 局 企 業 有 限 公 司

高 雄 市 前 鎮 區 一 心 一 路 140 號

電 話：(07)7718363 • 7717867

中 華 民 國 六 十 九 年 十 二 月

凍鐵輓轆之鑄造

目 錄

1. 緒 言.....	1
2. 凍鐵輓轆之種類.....	1
3. 普通凍鐵輓.....	2
4. 合金凍鐵輓.....	5
5. 細粒鐵輓.....	7
6. 熔 化.....	9
7. 澆 鑄.....	10
8. 雙料輓轆.....	11
9. 裂 口.....	13
10. 鑄模之疵病.....	13
11. 澆鑄不當.....	14
12. 成份不合.....	15
13. 熱 處 理.....	15
14. 附 記.....	16
參考文獻.....	17

凍鐵輥軋之鑄造

1. 緒 言

金屬輥軋機所用輥軋，為全部機件中最重要部份，成品之品質及輥壓之效率，泰半繫乎輥軋之良窳。工作時受極強大衝擊之撓曲與扭力，或須不斷與高熱之金屬接觸，或須有極堅硬之表面，常保光滑如鏡，故良好之輥軋必須滿足三項條件：(一)強度足以承受強大之負荷而不致折斷，(二)耐高熱以避免熱裂 (fire crack)，(三)硬度足以耐磨蝕，使輥出之成品之型式與尺寸保持正確。不幸此三者性質適多少相反，不能同時具備於一軋中。耐高熱者往往不能甚為強韌，強韌者多無充分硬度。製軋者不得不視應用情形，側重其中一二條件，折中解決。以條件甚苛，稍差即不能應用，故鑄造較之他種鑄件遠為困難。在許多現象未經科學研究解釋明白以前，全憑經驗製作，多年來被視為一種藝術。近來經不斷研究，基本學理漸經闡明，惟以因素繁多，完美結果亦非一試可就，仍有待於豐富之實際經驗。

台灣鋁廠年前自造輥片機三套，苦本省無適當品質之輥軋可買，不得已試行自製。以經驗淺短，復無適當之設備，經許多挫折，始逐漸成功，鑄成合用之軋，其硬度強度均尚差強合格，蓋原理大要既經明瞭，有所遵循，進行已較容易。鑄軋亦如一般鑄件，決定其應有之硬度、韌性、耐熱、耐震及硬皮之深淺等等規範後，根據各種成份元素對於上述條件互為消長之影響，擇取適當原料，平衡配合。鑄造時對於熔化、鑄模、澆鑄各步驟，謹慎從事，以鑄製簡單之普通輥軋，最低限度之結果得來尚不致過於困難。爰將鑄造方法之大概，兼及一般鑄凍鐵軋之淺論，作一簡單之敘述。

2. 凍鐵輥軋之種類

近年來因輥軋之加大，負荷之增高，大型鋼錠粗軋機 (Blooming Mill) 及四重式輥片機等多用合金鋼軋，惟一般輥軋工作仍使用鑄鐵軋。鐵軋軋大別可分為四類：

- (1) 普通凍鐵輥軋 (Plain Chilled Rolls)
- (2) 合金凍鐵輥軋 (Alloy Chilled Rolls)
- (3) 細粒鐵輥軋 (Grain Rolls)
- (4) 雙料輥軋 (Composite or Duplex Rolls)

普通凍鐵軋成分，類似普通鑄鐵，惟含矽特低，軋身部份因直接注入鐵模之故，外層迅速凝結為堅硬之白口鐵，厚約 15 至 40 公厘，硬度約為蕭氏硬度 (Shore Hardness) 55

至 70。白口凍鐵之下爲一圈灰白相混之麻口鐵 (Mottle)，軋身則爲全灰，構成全軋強有力之骨幹。因普通凍鐵之強度及硬度均有限，爲適應較高之要求，尤以避免軋面因軋料尾部較硬所生之尾痕 (Tail Marks) 及受熱龜裂而起之橘皮裂紋 (Orange Peel)，加入各種合金，成爲各種堅強之合金凍鐵軋，其外層、麻口層及核心之分佈情形亦如普通凍鐵。細粒鐵則不然，各層次之間並無顯明之分界，全部斷面均有石墨分佈，務求其顆粒細緻。外層含石墨甚少，顆粒亦微，僅能於顯微鏡下見之，故硬度甚高，向內漸減，各層逐漸變化，無清晰之界限，核心仍全爲灰口鐵。其製造方法亦爲凍鐵軋用鐵模澆鑄，其分別全在合金成份以達所需各層次分佈情形及其硬度與強度。普通均用鉻、鉬、鎳三者，分別或合用，惟含矽較高，雖用鐵模驟冷，外層亦有少量石墨析出。

雙料軋軋爲近十餘年來之產物，外層爲極堅硬之高合金鐵質，其組織可爲淨白口凍鐵，或爲細粒鐵，硬度爲蕭氏 70 至 90。軋身核心部份、頭部及兩端傳動軸頭 (Wabblers) 則用較軟之鐵質，硬度爲蕭氏 40 至 50。取其韌性較高，不致爲高合金鐵之脆，兼耐磨蝕之堅硬表皮與強韌之軋身於一體，故承受衝擊負荷及溫度變化之性能較佳，並可節省一部份昂貴之合金材料，大都用爲巨大之鋼板軋軋及四重式鋼帶軋壓機之工作軋軋 (Work Roll)。

此外尚有砂模鑄軋 (Sand Roll) 不用鐵模凍凝，昔日頗多應用於軋壓型鋼之中間軋軋。以硬度過低 (蕭氏 35 至 45)，易致磨蝕，近來已少應用，本文不擬具論。

凍鐵軋種類既多，復因型式大小之不同，用途負荷之各異，必須調節其成份及鑄造方法，以達到各種不同之性能，惟因素繁多，不易縷列，請先述普通凍鐵軋之性質。

3. 普通凍鐵軋

普通凍鐵軋一般成份約爲：T.C. 2.7~3.5%，Si 0.60~0.75%，S 0.07~0.12%，Mn 0.2~0.3%，P 0.4~0.5% 範圍內。類此鐵質，注入砂模徐徐凝結，就一般軋軋之斷面大小而言，應得斷面灰色之鑄件，但以之鐵軋與鐵模接觸，外層迅速冷卻，石墨不及析出，碳存留於碳化鐵結晶中，其組織爲雪明碳鐵 (Cementite) 鑲嵌於波來鐵之基地 (Pearlite matrix) 中，雪明碳鐵與波來鐵之數量各佔一半 (其他組織成份略去不計)。雪明碳鐵之硬度爲 BHN 800，波來鐵硬度約爲 200，故其硬度平均約爲 BHN 400 至 500 (蕭氏 55~63)。

此白口鐵之外壳，硬度與所含碳分成正比，而其抗拉強度及彎曲強度則反是 (圖 1 及圖 2)。調節碳之含量足以變更軋軋之性能，以適應不同之需要，如軋軋需要甚高之硬度以耐磨蝕，而不致受太大之衝擊力，如冷軋鋼片、鋁、銅等非鐵金屬片及圓條等，碳分可提高至 3.5~3.6%，以達到蕭氏 72 度之表面硬度。反之，如主要條件爲軋之強度，硬度屬於次要，例如熱軋鋼板、型鋼或其他材料之型條，可將碳分減低至 2.8~3%，表面硬度約爲蕭氏 55~60。如將碳分提高至 3.8%，硬度可增至蕭氏 80，惟顆粒變粗，外壳甚爲脆弱，軋心強度亦大減，除作製紙等軋軋偶有用處外，已不適用於金屬工業矣。

軋軋規格中之另一重要項目爲硬皮之厚度。用於軋壓圓條或型鋼之軋，必須有充分厚之

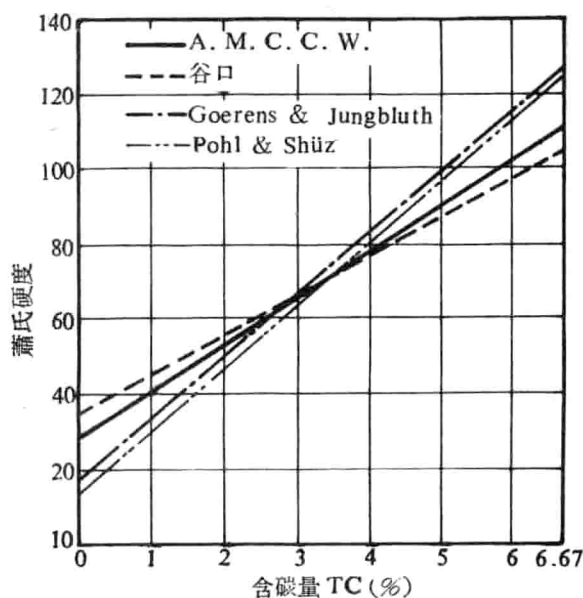


圖 1 鐵水含碳量與白口鐵外殼硬度之關係

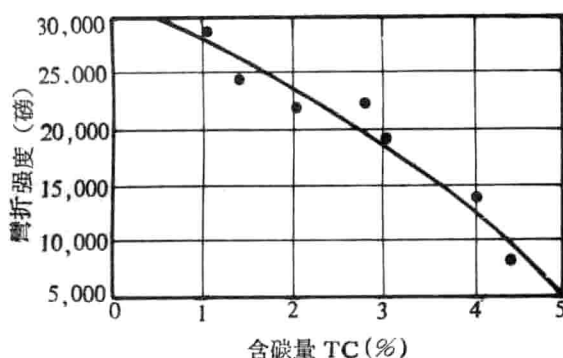


圖 2 鐵水含碳量與彎折強度之關係

白口硬皮，以便車出各式溝槽，即軋片用之平轆，硬皮亦須厚至足以經過多次修磨尚能使用。控制外殼硬皮之深淺，主要在調節矽之含量。在 0.4 % 以上，0.9 % 以下，硬皮厚度幾與矽之高低成正比（圖 3），故準確控制矽之含量為鑄製轆轤最重要之點。在上述範圍內，變更矽之高低，對於外皮之硬度，無顯著之影響；對於耐磨蝕之性能亦無大關係。但如轆轤鑄就後須經熱處理，則以矽能提高鐵質之臨界範圍 (Critical range)，在高溫度時碳化鐵易於分解析出石墨，影響硬皮之性質。

錳、硫、磷三種成分，鑄軋時有重要關係。錳之含量必須能充分消除硫之有害作用（約為硫含量之 2 倍至 3 倍）。未與硫化合之錳成為碳化錳，足以增進外皮之硬度及厚度。含錳過高，鐵質之收縮加甚，促進柱狀組織，使外層脆弱，易受溫度驟變而崩裂。有時甫凝結時即起裂紋，鑄軋者往往歸咎於含錳太高，是否確實如此，至今猶無定論。惟一般普通凍鐵軋

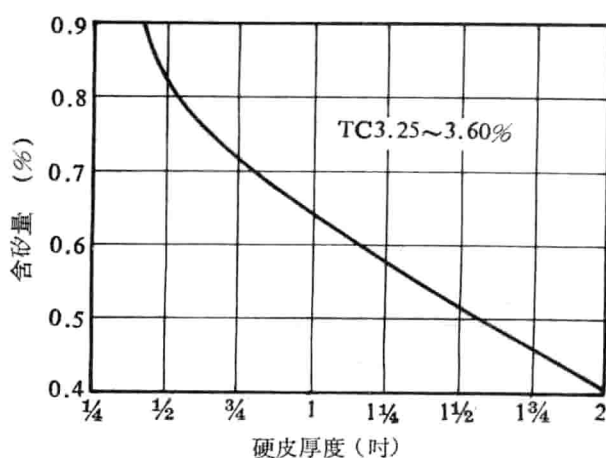


圖 3 鐵水含砂量與硬皮厚度之關係

，含錳均在 0.2 ~ 0.3 % 之間，近年來鑄造高硬度之合金硬鐵，亦有高至 1 % 者。硫固有害，普通均限在 0.10 % 以下，然在有限範圍內，酌為增加硫量，以略加厚硬皮，亦為一般常用之法。磷作用使硬殼減薄，如砂、碳二者不變，每增加 0.1 % 之磷，硬層遞減約 2.5 公厘，硬度則略增（約為 BHN 6 度）。普通均不便超過 0.4 至 0.5 %，超逾此值，則鐵質之強度減低。磷化鐵與鐵之 Eutectic 組織 (Steadite)，熔點甚低，僅 1,000 °C 左右，故使鐵質之流動性增加，反凝結溫度範圍延長，輾軋凝固時不致過於驟然，減低破裂之危險。即使初凝時，外皮已生細小裂口，含磷較豐之鐵質，此時猶係液狀，自由滲出，尚有補滿空隙之可能。

美國某名廠所製普通凍鐵軋之成份範圍如表 1 所示。每等級中，再視軋之直徑大小及硬皮厚度而決定其成份。表中可明白看出碳、砂、硫三者對硬度之關係。

表 1 普通凍鐵軋之化學成份

(%)						
等 級	蕭 氏 硬 度	TC	Si	S	Mn	P
A 軋	55 ~ 62	2.70	0.65	0.07	0.22	0.40
		}	}	}	}	}
		3.10	0.75	0.095	0.25	0.50
B 中	62 ~ 68	2.90	0.60	0.080	0.21	0.45
		}	}	}	}	}
		3.30	0.70	0.125	0.26	0.50
C 硬	68 ~ 72	3.20	0.55	0.110	0.20	0.45
		}	}	}	}	}
		3.60	0.65	0.150	0.26	0.50

4. 合金凍鐵軋

凍鐵之硬度與碳之含量成正比，而其彎折強度則反是，已如前述，但適量減低碳對硬度之影響不若對強度影響之甚，易言之，即硬度所減有限而強度可較為提高。據經驗所得，含碳在 3.00 % 時，表皮硬度（約蕭氏 60）及核心強度最適宜於熱軋。如提高碳量以求增加表面硬度，不免犧牲軋身強度。上節所舉 C 級硬軋，即僅能用於冷軋平板，不能供熱軋用途，蓋雪明碳鐵過於脆弱，不耐劇烈之震撞，不宜用於受力強大之工作。

硬皮外層為波來鐵與雪明碳鐵所組成，欲提高其硬度復須避免太多之雪明碳鐵，惟有出諸加強波來鐵部份之一途。如能將原來之沃斯田鐵（Austenite）分解阻滯，使之於較低溫度發生，則生成之波來鐵變細緻，硬度強度均可增加，以至達到最硬之麻田散鐵（Martensite）組織。欲達到此目的，最便無過於加鎳。

逐漸配入鎳質，灰口白口部份之顆粒組織，均變細密，波來鐵基地（Matrix）由粗變細，更變為 Bainite。遞增至含鎳 4.2 至 4.5 % 時，基地組織全為麻田散鐵。麻田散鐵之硬度與雪明碳鐵相若，而強韌遠過之，故此時軋體外皮之硬度增高至蕭氏 90。鎳量再增，沃斯田鐵不再分解，硬度反形降低，惟鎳為助長石墨折出之元素（其作用約相當於矽之三分之一），致硬皮厚度因此減薄，必須另加入穩定碳化鐵之元素（Carbide Stabilizer），以抵消之。鉻為強力之助長碳化鐵生成者，一分鉻足以抵消 $\frac{1}{4}$ 分矽之作用，一部份並滲入碳化鐵中，成為復性碳化鐵鉻，增長硬皮之厚度。鉻與鎳配合使用，適互相輔成。鎳與鉻之用量約為三與一之比，凍鐵之硬度增高而不影響其厚度。含鎳 4 ~ 5 %，鉻 1 ~ 2.5 % 之軋，凍皮部份之組織為細緻之原始雪明碳鐵（Primary Cementite）嵌鑲於麻田散鐵之基地。為更加入 0.25 至 0.35 % 之鉬或鈮以再增強其韌性，結果之鐵質極為細緻、強韌，兼具優良之抗衝擊性能，此種極強之軋軋多用於冷軋鋼帶（Strip Mill）之末次精軋軋筒，表面可研磨，其光亮如鏡，經久耐用，不起印痕，成品表面亦因之光潔。

舉一實例以明之，一 750 公厘直徑之軋軋，硬皮須厚 20 公厘左右，硬皮須在蕭氏 85 以上，其本鐵質之分析應為 3.0 至 3.2 % T.C. 0.75 % Si 但硬度要求甚高，勢非加入 4.2 % 之鎳以達到麻田散鐵組織不可，但 4.2 % Ni 減薄硬度之作用相當於 1.4 % Si（含矽高至 2.35 %，已無凍皮可言矣），為抵消其作用，須加鉻 1.05 %，結果此軋之主要成分為 3.0 % T.C.、0.75 % Si、4.2 % Ni 及 1.05 % Cr。如熔化時能將矽降低至 0.4 % 則鉻之用量可減低，減少 0.35 % 之矽相當於增多 0.45 % 鉻，故 0.6 至 0.7 % 之鉻已足。此外更可加入少量之鉬以增強其韌性，結果成為：3.0 % T.C.、0.4 % Si、4.2 % Ni、0.65 % Cr、0.9 % Mo（詳細參閱下節細粒鐵軋實例）。

許多用途上不須如此高之硬度，鎳鉻用量可以分別減低。普通所謂含鎳凍鐵（Nickel Chill）範圍頗廣，含鎳自 0.5 % 起至 3.5 % 或更多，另加鉻鉬配合。其他組織為細密之波來鐵起至麻田散鐵間之各種中間組織，硬度由蕭氏 60 至 75 以上。碳及硫之含量亦視所需硬度高低而略有上下，務求各元素之平衡配合。

另一種常用之合金凍鐵劑為含鉬凍鐵 (Moly Chill)。鉬為增加鐵質強度最有效之合金元素，係溫和之碳化鐵穩定劑，其作用約為鉻之三分之一。加入普通凍鐵中能稍增加硬皮厚度，並使顆粒細緻，灰口部份之石墨顆粒亦減小。鉬能延緩沃斯田鐵之分解，產生極細密之波來鐵，故抗拉強度及彎折強度大為增加，並使在高溫度時保持其強度，惟硬度並無顯著之增加，較諸其他成分相同之普通凍鐵無大差別。鉬之用量甚小，普通加入 0.25 至 0.40 % 即能使軋軋大為加強，避免熱裂細痕，成品表面光潔，故廣泛應用於熱軋鋼板及鋼皮。

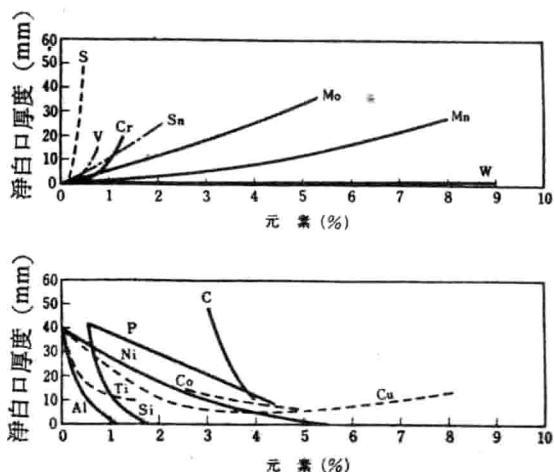


圖 4 上半部諸元素使凍皮減薄，下半諸元素原使凍皮加厚（從谷口氏）

5. 細粒鐵軛

凍鐵軛軛，無論合金與否，外層甚硬，是其長處，同時其缺點亦在此，因白口硬皮部份與內部有顯明之分界，外層愈堅密，愈易受驟熱而剝裂。需要產品表面準確光潔之處，如軛軛鋼皮、鋼帶或圓條，以及較小型鋼之精軛，自以採用凍鐵軛為宜。不然則採用細粒鐵軛較經濟，以其無顯明之內外層分界，對於溫度之驟然變化及衝擊式負荷，不如凍鐵軛之敏感，剝裂較少發生。軛軛型鋼所用之軛，須車出各式溝槽，凍鐵軛外層往往不夠深厚，致將外殼車穿，透入內部麻口或灰口部份，此等用途必須採用細粒鐵軛。

鑄造細粒鐵軛，主要在調節合金成份，使白口外層中析出極細之石墨顆粒，生成於樹枝狀結晶之間隙，柱狀凍鐵組織為石墨細粒所隔斷，使外層熱裂細紋不易繼續增長，石墨細粒有若干緩衝作用，降低局部應力之集中，減少剝裂之危險。更因細粒鐵軛表面，不如凍鐵軛之光滑，較易將軛料“咬住”(bite)，減少打滑。打滑使軛局部因磨擦而發生高熱，並延長軛面與高熱軛料之接觸軛，原為熱裂主因之一，減少打滑即減少熱裂之機會。

用以產生細粒硬鐵組織之主要元素為鉻。鉻促進樹枝狀碳化鐵之生成，麻口部份之範圍因之調展，顆粒亦轉變細緻。矽之含量較普通凍鐵中為高，約在1%上下，俾使硬皮中有石墨細粒析出，但矽減薄硬度層之作用甚強，故其他元素之能加厚硬皮者均儘量利用。含碳較低，惟須不過於影響硬度。磷則務求其低，須在0.15%以下。錳加厚硬層之作用約為鉻之四分之一，故用量亦較普通凍鐵中為高。平衡此數者互相消受之作用，可以達到硬度頗高且足夠深厚之白口外層（嚴格言之細粒鐵之白口外殼非復凍鐵軛上淨白口鐵Clear Chill）。此外常加鉬以增強某韌性。如普通凍鐵、細粒鐵亦可做到各種硬度，低者為蕭氏50至60，最硬者可至85~90。利用鎳以調節基地組織與前此所述相同，茲不復贅。凡此種種，舉一實例可明大概。美國聯合工程公司(United Engineering and Foundry)出品之特種鐵(Special Process Iron)甲乙二種，分析大致相同，硬度亦相同，一為合金凍鐵，另一則為細粒硬鐵，逐一比較，當可略見各元素作用之異同(下列數字，僅分大略範圍，須視軛之大小，需要條件詳細擇定)。

表 2 細粒鐵軛之化學成分

(%)

	蕭氏硬度	TC	Si	S	Mn	P	Ni	Cr	Mo
細 粒 鐵 軛	75 ~ 83	3.00	0.35	0.05	0.95	0.15	4.00	1.00	0.15
		}	}	}	}	}	}	}	}
		3.30	1.10	0.085	1.50	以下	4.60	1.80	0.25
合金凍鐵軛	75 ~ 83	3.10	0.30	0.085	0.15	0.40	3.50	0.60	0.15
		}	}	}	}	}	}	}	}
		3.40	0.50	0.125	0.25	0.50	4.50	0.80	0.25

表 3 凍鐵軋軋分析學例

(%)

類 別	TC	Si	S	Mn	P	Ni	Cr	Mo	蕭氏硬度	用 途
普通凍鐵 (軟)	3.00	0.75				—	—	—	58 ~ 62	台鋁熱軋鋁片用 380 ϕ 軋。
普通凍鐵 (硬)	3.40	0.65	0.12	0.23	0.48	—	—	—	68 ~ 72	普通冷軋板片用，亦可用於熱軋扁鋼條等
鋁鎢凍鐵 (軟)	3.00	0.80	0.08	0.25	0.40	1.00	0.30	—	62 ~ 68	台鋁三重軋機之中間軋冷軋鋁板用。
鋁鎢凍鐵 (中)	3.25	0.60	0.10	0.25	0.45	2.15	0.50	0.10	72 ~ 78	United Eng & Fdry 之 Ni、Chill Medium 熱軋鋼片及淺平之型鋼用。
鋁鎢凍鐵 (硬)	3.45	0.55	0.12	0.22	0.45	2.75	0.65	0.12	75 以上	冷軋鋼片、帶用。
含鋁凍鐵	3.20	0.75	0.09	0.35	0.40	—	—	0.30	62	Lewis Fdry & Mch 之 AMO 熱軋鋼 板片用
細 粒 鐵 (中)	3.30	1.00	0.06	0.40	0.15 以下	0.15	0.80	0.35	55 ~ 62	U.S.G.M. 角鐵等型鋼及鋼板之中間 軋軋及精軋，熱軋不甚適宜。
細 粒 鐵 (軟)	3.20	1.10	0.06	0.48	0.15 以下	0.15	0.62	0.28	40 ~ 55	熱軋鋼樑、槽鐵等。
高熱細粒 鐵	3.10	0.85	0.05	1.25	0.10	4.50	1.25	0.30	75 ~ 80	L.F & Mch 之 Aax D 用作雙料軋之 外層，大型鋼板精軋用，亦適於非鐵金 屬之熱軋

1. 表中所列數字均係平均值，採用時須視軋之大小及用途酌量加減。

2. 註明來源者皆錄自各該廠之記錄。

6. 熔 化

凍鐵輾轆均用反射爐 (Air furnace) 熔鑄，亦有電弧爐者。至於冲天式熔鐵爐 (Cupola)，則以成份及溫度不易控制，操作困難，甚難得滿意結果。反射爐之優點，在鐵液溶化後，留存爐膛，有充分時間取樣分析，再加減調節，易於控制確切成份，大量成份均一之高熱鐵液，得以一次放出，且製凍鐵輾之原料，常用廢輾加入，形體龐大，冲天爐根本無法使用，反射爐有相當大之側門或後門，加料較易，新式之較大熔爐，爐頂可分段或全部揭起，加大料時更為方便，故反射爐幾為製輾廠家之標準熔爐。

反射爐之燃料消耗，頗不經濟。現時雖普遍燒用粉煤，易於調節，較諸昔日手加塊煤，節省已多。熔鐵一噸，猶需煤 0.4 至 0.5 公噸，遠較冲天爐為貴。然燃料所值，較之昂貴之輾轆終屬有限，無關宏旨。

在歐洲亦有用旋轉熔爐 (rotary furnace)，為英國之 Stein & Atkins 爐及德國之 Brackelsberger 爐，用重油或粉煤作燃料，並利用廢氣預熱空氣，操作甚為方便，惟容量不大，且稍大之料即無法加入，是其不便處。

製輾原料為生鐵、廢輾、廢鋼等。歐洲昔日多用木炭生鐵，取其較為純淨，含硫甚低。據云同樣矽量之木炭生鐵之碳分，較焦炭生鐵者為高，析出之石墨亦較細緻，故鑄件之硬度及強度均較高，有非用此不可之論。惟近年來木炭生鐵幾已絕跡，但鑄凍鐵輾所需成分不難用各種標準生鐵配成，不成問題。

原料在反射爐爐膛中，約歷五小時全部熔化，經長時間與火焰接觸，矽、碳、錳均受氧化損失，矽損失約 0.30 %，碳約 0.25 %，錳約 0.20 %，硫則略為增加 0.02 %，磷無變化，確數因原料成份及操作情形而異，未能概論。惟在冲天爐中所不易達到之低矽低錳成份，在反射爐不難達到。

全部熔化之後，即以青木長棒由兩側小門插入爐膛內，往復攪動，翻起爐底較冷之鐵液，使其成份均一。然後取樣作化學分析，一面取凍鐵樣塊，擊斷之，以觀察其斷面，凍皮是否達到所需之厚度。樣塊之白口凍皮厚度不一定即與鑄出之輾轆者相同。樣塊之尺寸大小、樣模之情形及澆鑄冷却之溫度、疾除與乎熔煉操作之情形，在在均足以影響二者間之關係，如何使樣塊凍皮厚度代表將來鑄出之輾轆，則有賴乎實地經驗，甚難概括言之。

觀察樣塊凍皮，普通有二種看法：一法度量凍皮厚度由底面起至石墨顆粒開始出現之處（即斷面顯然麻口之處）止，是為白口總厚度（total chill）。另一法只量其淨白口厚度（clear chill），其與上面略帶麻口地帶，並無顯著之分界，惟因結晶方向稍有變化，閃光微微不同，致隱約中有一橫線相隔，其深約相當於白口總厚之一半。普通所謂輾轆白口硬皮厚半吋或五分，均指此淨白口厚度而言。此法較為準確，鑄輾者多用之，但分界線若隱若現，不易看出，須經多次練習始能辨別之。

如分析結果已相符，而凍皮略嫌太薄，須再用青木攪動，使矽、錳及碳分稍稍減低，則

轆皮可略加厚，或可加入硫鐵礦以略為增高硫之含量，亦能略增凍皮厚度。如相差尚遠則加入白口鐵或鐵礦以減低矽與錳之含量，繼續攪動以待第二次取樣。凍皮嫌過厚，則視情形加入高矽生鐵、矽鐵、錳鐵等合金。

最後之微量調節則於鐵液桶中之行之，加入各種合金以稍稍調節凍皮之深淺。略為增厚白口凍皮常用銻（Tellurium）加入。銻為極強烈之碳化鐵穩定劑，每噸鐵液中只須投入一二克即足以顯著增加凍皮厚度，以其用量之微且熔化溫度甚低，均加於盛鐵桶中。最後調整完畢，便可準備澆鑄。

7. 澆 鑄

轆鑄模大致均如圖5、圖6所示，全係豎立澆製。凍鐵部份用整個或分段併合之鐵模，底箱用砂模，轆頸及傳動軸頭（Wobbler）均做出，蓋箱中做出下頸部及甚大之冒口。鐵液由底箱中轆頸部沿切方向注入，激成漩渦迴轉而上，鐵液橫掃模面，使不能除儘之熔渣聚於中部，上昇後盡集於冒口中。附着於模面之汽泡及不慎剝落之塗料或砂粒，亦冲刷淨盡，使表面光潔。

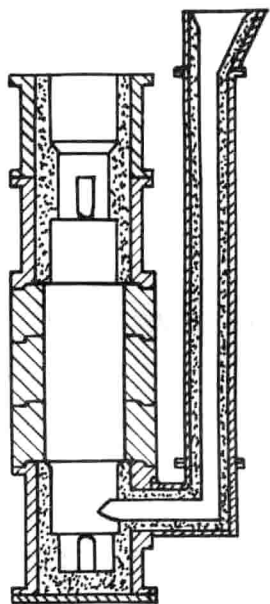


圖5 澆鑄轆片用凍鐵平轆

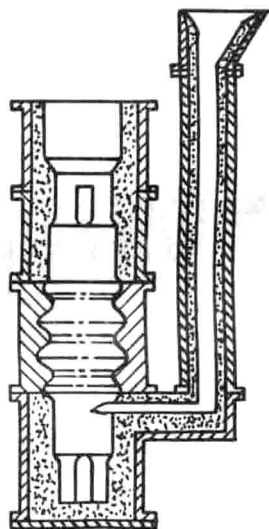


圖6 澆鑄轆角鐵用凍鐵轆鐵模係兩半分開

鐵模之厚薄與凍皮之厚度幾無關係，因鐵液注入後，短時間內（最多三四分鐘），即已收縮離開模壁，故鐵模只須具有充分之強度並能耐高熱即可。材料用細密鑄鐵，其條件大致

與鋼錠模相同。內部車光，塗刷黑粉，用時須烘至乾透，再塗第二次。鐵液注入時，鐵模溫度必須在 150°C 至 200°C 左右。

注入時鐵液溫度應密切注意，愈低愈佳，但必須仍具有充分流動性，使鐵液升至冒口中時，猶能迅速旋轉。不含合金之普通鑄鐵轆澆鑄溫度約在 1250°C 至 1280°C 之間，視轆之大小長短而略有上下。最適宜之溫度一經測準，即須切實遵守。含合金較高之凍鐵轆則視其成分而異，約在 1320°C 至 1350°C 左右，最好在從爐中放出之前，加熱在較高溫度，放出時至少較澆鑄溫度高出 60°C ，俾有充分時間，清除熔渣。

澆鑄時務須迅速，使鐵液有充分之迴旋速度進入模中，迅速上昇，一則使殘渣盡數聚集於旋渦中心，不致黏滯模壁，二則使全體溫度儘量均勻，以避免裂口（hot tear）。此點非常重要，故注入口之直徑應儘量從寬，以利鐵液下流。

鐵水注入後，鐵模內壁有時發生氣體，無法逸出，致生氣孔，故常在模內表面鋸出細窄長槽，通常相隔 25 公厘左右，深約 10 公厘，寬 1.5 公厘。塗刷黑粉後此槽被封沒，一有氣體即可經此槽縫逃逸，使表面不生氣孔，惟鋸此種細槽，須用特製之鋸床，且甚為費工，至不便耳。

澆鑄完畢後，任其在模中自行徐徐冷卻，視轆之大小，24 小時至 72 小時後始行折箱。750 公厘直徑之轆須候約三日，硬度極高之大型轆轆有久至一週以上者。折箱過早時有破裂之虞。

8. 雙料轆轆

雙料轆轆之大概，前已簡略述及，惟其鑄造則相當繁難。圖 7 所示為一般雙料轆之鑄造方法，其裝置與普通鑄轆相同，僅於上頸部多一放出鐵液之出水口。先準備兩種鐵液，分盛於二個鐵液桶中，其一為硬質合金鐵質如 4—5 % 鎳合金硬鐵，另一種為作轆心用之軟性灰鐵。硬鐵液注入澆口，直至上頸部之出水口有鐵液溢出，等候一相當時間以俟轆心部份凝成一適當硬度之外壳。在此時間內不時經由澆口注入少量之軟質鐵液，以維持注入孔道開通，不致凝固阻塞。然後大量注入軟鐵液將轆之中心部份與上下轆頸及傳動軸頭中尚未凝結之硬鐵乾淨，由上面出水口流出，直至有軟鐵液流出（可由流沖洗出鐵液之色澤辨別之）。此時停止澆鑄，用泥塞將出水口堵塞，再繼續澆鑄至滿及冒口。溢出之硬質鐵液則流入大桶中，以備回爐重用。

澆鑄之時間及鐵液之溫度必須準確排定，不然硬質外壳之厚度無法控制，甚至有被大部沖刷而去之可能。在等候外壳凝結期間，每隔若干秒鐘注入若干鐵液，亦須將經驗詳為規定，間歇注入多次，以維持注入口之開通，否則入口凝塞，無法操作，故鑄製雙料轆須有極豐富之經驗，異常謹慎從事，決非率爾所能成功。

最大之困難實不僅此，因外壳及中心兩種鐵質性質之迥異，沃斯田鐵轉變溫度大不相同

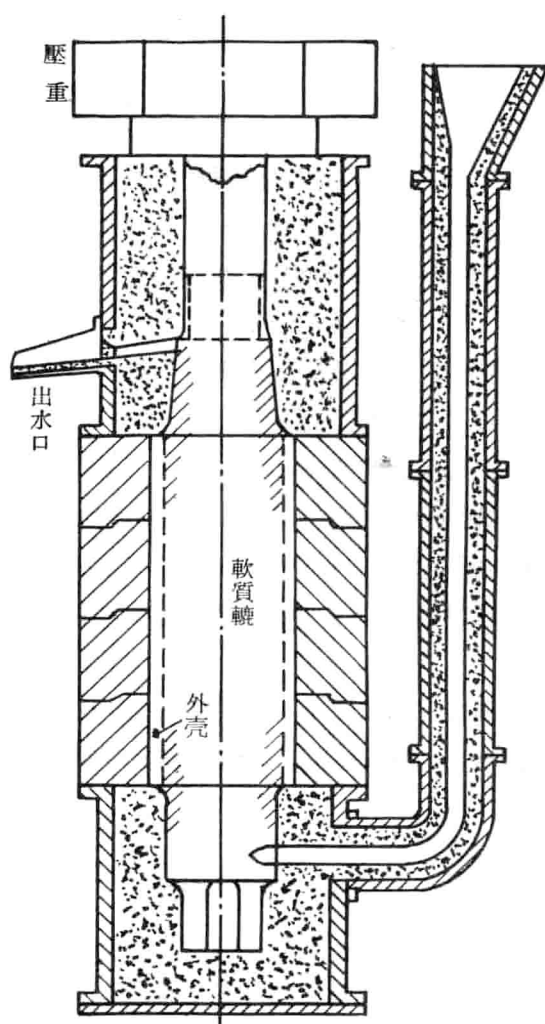


圖 7 澆鑄雙料軋軋

，常致發生強大應力。例如高鎳之白口外壳，沃斯田鐵分解為麻田散鐵溫度約在 200°C 以下，同時體積顯著膨脹，中心之灰口鐵，沃斯田鐵變為波來鐵組織則在 700°C 左右即已發生，溫度降至 200°C 時中心收縮久已開始，結果外漲內縮，兩層間生成強大應力，常致軋身裂紋滿佈，甚至未出模已破裂矣。

故選擇軋心成份及決定鐵質沖換多寡，常着眼於如何避免內外轉變溫度差別太多，德國製最硬之雙料軋軋有用含高矽、高錳之鑄鐵，使心部為麻田散鐵組織之灰口鐵者。美國製之雙料軋則常用較強之普通灰口鐵，成份大致為 C 3.1 ~ 3.4、Si 1.9 ~ 2.3、Mn 0.8、S 0.08、P 0.5 及小量之 Ni 及 Cr，外壳則用 Ni 4.5、Cr 1.5 之 Ni - Hard。例如盧鐸氏鋼廠 (Lukens Steel Co) 之 200" 鋼板軋軋即用上述成份製作。

9. 裂 口

凍鐵轆亦如其他鑄件，倘一不慎即發生種種疵病，如氣孔（氣泡及針孔）、縮孔、表面夾雜熔渣、疤痕、冷結（cold shut）等等，不一而足，而其特別容易發生者厥為裂縫。凍鐵轆因含砂甚低，縮水甚大，硬皮為 15 公厘左右時，縮水約為 1.5 %，硬皮厚至 50 公厘時，縮水高至 2 %，硬皮初凝時又極脆弱，易致裂開。轆轆一生裂痕，無論如何細緻，即成廢物。其出現形式甚多，大別之為縱裂及橫裂兩種，或在轆身邊緣，或在中部。有時竟長及全體，致全轆裂為兩半。鑄轆破裂之近因甚繁，且隱晦不易判明，惟一般言之，可分為下列數端：(1)鑄模之疵病，(2)澆鑄之不當及(3)成份不合。

10. 鑄模之疵病

轆頸與轆身間及轆身鐵模兩段接縫處常生許多細小之橫裂。縫紋雖細但頗深入，有時亦連接一氣成一大裂紋。其原因常為砂箱與鐵模間及兩段鐵模間之接縫不密合，或鐵模車製直徑不一，兩段間有空隙，鐵水流入夾縫，凝為薄翅，阻礙縱向收縮，致生拉力而破裂。有時薄翅非僅一二公厘之微亦足以拉裂凍鐵外層，全轆作廢。二段鐵模如溫度不一，或接縫處有空隙，局部冷卻不均，致初凝之鑄皮局部發生收縮應力，亦足以致裂痕發生。防止之法，鐵模內徑必須準確，二段鐵模間及鐵模與砂箱間必須密合，澆鑄前各段溫度必須均一。

鐵模內徑可車成略帶錐形，上小下大，使有微弱之斜度，便於正在凝結之轆向下收縮，亦可多少避免橫裂，但鐵模如係多段併合，則車裂不易，一有階級反致賁爭。甚長之轆，尤其上頸長大者，最好將上頸之砂模製成移動式，如圖 8，砂模伸入鐵模之內。砂箱外徑車光使與鐵模內徑相合，向上支起，同時用重物壓住或用螺釘固定，使不浮起。鐵水澆滿，轆身開始凝結時即將支撐拉去，緊螺釘向下，使轆頸頸部份能自由向下收縮，以免受阻礙而生橫向裂紋。

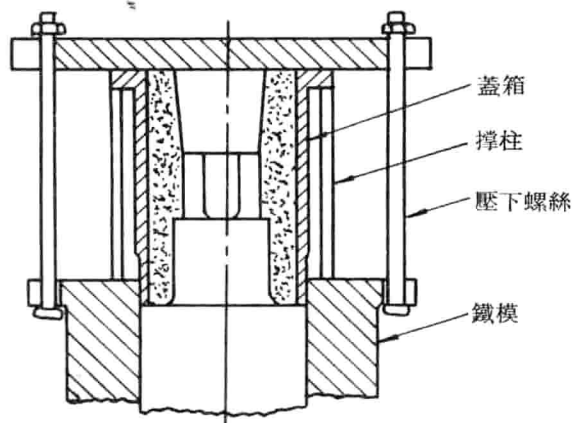


圖 8 頸部伸縮式砂箱