

軋鋼工藝學

中厚板生產部份

北京鋼鐵工業學院

壓力加工教研組

1960.1



前 言

压力加工专业轧钢工艺方面的教材问题，几年来一直没有得到很好的解决。在59年春我们部分轧钢专业毕业班同学参加了这一编写教材工作，希望能得到一分结合我国情况并满足新的教学计划及教学大纲内容要求的教材。应该指出我们对进行这样的工作没有经验，学识方面也感不足，另外为了专业课学生上课作教材要印成讲义，时间很仓促在初稿完成后没有进行修改。其中一定有很多缺点，所以印成小册子作为初稿只在内部发行，请各方面提供意见经修改后再做定稿。参加这部分编写工作的有：

中厚板轧制生产	王玉瑾
中厚板轧机的工作制度和辊型	吴寿祥
钢板的连续轧制	卢维焯
週期式热轧薄板生产	张学鑑
典型品种钢板生产	董存德
冷轧薄钢板	张开达
指导教师	孙政元 穆承章

目 錄

第一章	中厚板軋制生产部分.....	1
第二章	中厚板軋机的工作制度和鋼板軋机軋輥輥型.....	37
第三章	鋼板的連續軋制.....	60
第四章	週期式熱軋薄板生产.....	91
第五章	典型品种鋼板生产.....	116
表六章	冷軋薄鋼板.....	137

第一章 中厚板軋制生產部分

第一節 緒 論

§ 1. 中厚板在國民經濟中的作用及發展方向

随着祖国社会主义建設的迅速发展，国家迫切需要进行高产優質多品种的軋鋼生产，而鋼板与帶鋼是國民經濟中各主要建設部門广泛使用的重要鋼材，一个国家的鋼板生产发展，在整个鋼材生产中，所佔的比重大小，將標誌着这个国家整个國民經濟发展水平及其鋼材发展情况的縮影。最近几年来，在資本主义国家生产的鋼板，在其全部鋼材生产中的比重，都大大增加，連同宽度为 500 mm 以下的帶鋼在內。

1956 年美国是 61.1%，英国是 45%，西德是 37.8%，法国、比利时，都是 37.5%，随同这一发展趋势，苏联也不例外，苏联虽然大力发展各种塑料，代替鋼板，如玻璃塑料的汽車車身，綜合乙稀制造的輸油管、水管等，但其对各种鋼板的需要，仍大感不足，苏联 1955 年，鋼板佔鋼材总数的 29.5%，目前則为 40% 左右。

目前我国鋼板生产仅佔全部鋼材生产的 15~20%，因此如何大力发展鋼板生产將是我国軋鋼生产者首要的任务。

在发展鋼板生产过程中，如何进一步增加生产各种品种及經濟断面的鋼材，对促使整个國民經濟迅速发展，則显得非常重要，由于机械制造，采用了厚板焊接的新技术，甚至軋鋼机的牌坊、万能接手、減速机架、人字齿輪座、輥道等，都可以用鋼板焊接，其結果不仅使設備重量輕整，机械制造成本大大降低（鑄鋼件每噸为厚板价格的兩倍左右），而且制造時間也大大縮短了，这样以来，厚板的大力发展，將有新的意义。

另外就增加經濟断面鋼材及管材方面来看，其鋼板生产发展景远，也是极其宏偉的。与此同时繼續大力推广負公差的軋制，对于減少金屬消耗系数，提高鋼板的成品产量來講，有极为现实的經濟价值，也是体现出大力发展經濟断面鋼材的有力措施之一。

关于經濟断面軋制品种，还是相当广泛的，其中如冷弯鋼材，即將鋼板經過多輥式的冷軋鋼机，生产角鋼、槽鋼，及各种多样的異型断面鋼材，可以节省金屬 30%，並減輕設備的重量。在苏联七年計劃中，將建立兩套这样軋机，能力为 90 万吨。其生产規格为等边与不等边角鋼、槽鋼、乙型鋼等共 27 种，此种鋼材的发展很有前途，现在世界各国，如美国、英国、德国、日本等，都在发展这种冷弯鋼材——除了上述利用厚板生产弯曲鋼材外，对于異型钢管中的焊接管，則可用鋼板焊接而成，不仅可以生产圓形焊接管，而且还可以进一步生产異型焊管，如方形、矩形、三角形、八角形、六角形、平行四边形等断面形狀的焊接鋼管，满足各方面的需要，特別对一些需要大管徑的鋼管，其也可以利用鋼板焊接满足。

从目前来看，將來鋼管生产的发展趋向，則以焊接管为主，其比例为 60~70%，而无縫鋼管則为 40~30%。

从我国目前鋼板发展，特别是关于如何大力发展經濟鋼材来看，則还需經過相当一个时期。但从解放以后，特别是經過 1958 年，在党的社会主义建設总路綫的光輝照耀下，全国範圍內，已掀起了全民动手，大办鋼鐵的高潮，促使我国鋼鐵事业——煉鋼、煉鉄，有了史无前

例的飞跃发展，軋鋼生产也正以最高的速度跟上这个形势，特别是在党的两条腿走路的方针指导下，真正贯彻了土洋并举，大中小型相结合，地方工业与中央工业相结合后，大力展开了群众性的技术革命，破除了原来某些軋鋼工作者思想中的迷信观念，使得軋鋼的产量、质量，有了极大的提高，并在扩大鋼材新品种方面，做出显著的成绩来，彻底破除了新产品神秘化和唯进化论的迷信，在这一发展基础上设计出2300中板厂的方案，并先后在祖国各地进行施工，投入生产。

为了提高及力争早日赶上和超过世界最先进的水平，目前则应将现有设备潜力，大力发挥出来，并力争扩大品种范围，大力发展冷弯型钢，复合钢板，并保证做到高产优质多品种的指标，使我国的軋鋼生产水平早日登上世界的顶峰。

§2. 中厚板的用途及分类

中厚板与带钢，在国民经济建设中，其用途是相当广泛的，这首先在于本身具有一种可以任人随意根据用途不同而加以剪裁，热焊、合——即焊接、铆接、咬合等，此外特别是在近代迅速发展起来的弯曲鋼材，使我们可以得到工业上最迫切需要的各种经济断面的鋼材及异型焊管，从而为国家节约大量的金属。

最后由于钢板本身具有极大的包容能力及盖护特点，则使其成为工业建设中不可缺少的必需原材料。

同时，还可以进行大规模的生产，除了一般的单机与双机热生产外，还可以发展连轧和半连轧进行大规模的生产，最大限度的满足祖国和社会主义建设的国民经济需要。

(一) 中厚板与带钢的主要用途：

1) 鋼結構制造业：如桥梁、筑爐、貯存容器、鍋爐鋼板以及高温、高压容器鋼板，蒸汽機車用的火箱鋼板和各重型建筑工程中所用的鋼結構——吊車橫梁等。

2) 交通运输业：汽車，拖拉机，船舶，航空器械結構体制造等。

3) 机器制造及电器工业——中厚板为各种机械制造业和电器机械制造业中必須的原材料，并可制造各种冲压零件及馬达的包容用板及地脚板等。

4) 焊管生产及冷弯异型钢制造等。

此外，对于一些具有特殊性能的鋼板，如耐热、耐酸、抗腐蚀、不銹鋼板及复合鋼板等则也都是现代工业建设中所广泛急于需要的。至于厚度大于60%的特厚鋼板，则多用在重型机械制造及国防建设工业中，如装甲板。

(二) 鋼板的分类及性能：

鋼板的分类方法很多，现仅就其尺寸与用途的不同，加以分类。

①按尺寸分类；如表1所示：

关于鋼板的规格尺寸，则应按国家的部颁标准进行生产。

原则上：1) 厚度由4~6mm其中間間隔0.5mm；

2) 厚度超过6~30mm厚度間隔为1.0mm；

3) 厚度超过30~60mm其厚度間隔2.0mm。

定尺时应遵照宽度为50的倍数，但最小尺寸，不得小于600mm，长度则为100mm的倍数的任何尺寸，但最小不小于1200mm，原则上长度为宽度的倍数，因受设备間隔及厂房面积以及鋼板重量限制通常其最大长度不超过12米，

目前在我国则利用单机座，三辊劳特机及二辊可逆式軋机进行生产4~40mm厚的鋼板，

表 1

板 材 分 类		厚 度 范 围	宽 度 范 围	附 註
中 厚 板	中 板	4~20m/m	600~3000m/m	厚 板 最 大 宽度达4800mm
	厚 板	20~60m/m	600~3000m/m	
	特 厚 板	60~800m/m	1200~3800m/m	
	齐 边 鋼 板	4~60m/m	200~500m/m	
宽 扁 鋼		4~60m/m	200~600m/m	長 度 3~18 米

对于大于此厚度的鋼板受到輔助設備能力限制,則有待已投入生产的2800双机座机组来解决。

中厚板的尺寸分类基本上如上所述,但对一些具有特殊用途的特厚鋼板,如高压蒸汽鍋爐鋼板,機車架,海洋船舶用的重型鋼板,及裝甲鋼板和重型机械制造业的原料,則其可有更大的宽度与長度,最寬者有达4800m/m,长达25~36米,厚到800m/m以上。

②按用途分类:

在大多数的情况下,鋼板均用着在特定的技术条件下,来承受外加的靜载荷与动载荷的金属結構鋼材,但是在某些情况下,其要求具有某些特殊的性能,如磁性、电阻性、耐酸、耐熱、抗腐性等,从而必要求具有一定的物理性能及机械性能。此外对于规格一定的平直鋼板必需經過 剪切、弯曲、冲压、鑄接、焊接等加工工艺过程,才能使用,因此除上述要求外,还應該具有良好的工艺性能——成型性能,焊接性能等。因此对于鋼板一般最主要的技术要求則为:

- 1) 有良好的表面質量及高精度的断面尺寸,及合格的几何尺寸。
- 2) 有着高的机械性能,及均匀的化学成份。
- 3) 有着良好的工艺性能。基于上述原則根据鋼板用途的不同,則將鋼板分为以下各类;

1) 桥樑鋼板

由于承受动载荷及冲击載因此要求机械强度一定很高,通常可以采用平爐冶煉的普通炭素鋼板,来制造桥樑和桥式吊車等。

一般都选用M16c与 $t_s M$ 做为桥樑鋼板,前者可以保証焊接性能,后者可以保証鑄接性能。

$$\begin{array}{lcl}
 \text{其机械性能 M16c} & \sigma_s = 38 \text{ kg/mm}^2 & \delta_s \geq 26\% \\
 & \sigma_s = 23 \text{ kg/mm}^2 & \delta_{10} \geq 22\% \\
 t_s M & \sigma_s = 38 \text{ kg/mm}^2 & \\
 & \delta_s = 24 \text{ kg/mm}^2 & \text{同上}
 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \sigma_s = 38 \text{ kg/mm}^2 \\ \sigma_s = 23 \text{ kg/mm}^2 \\ \sigma_s = 38 \text{ kg/mm}^2 \\ \delta_s = 24 \text{ kg/mm}^2 \end{array}} \right\} \Phi\% = 50\%$$

2) 优质炭素結構鋼板:

这种鋼板的实际用途是非常广的,所采用的鋼号也非常之多,优质結構炭素鋼板,較之一般的所含 P, S 量要低,組織較均匀,金属夹杂物少,表面質量及机械性能都較好一些,可以应用到要求較高的重要結構中去。

例如: 08KП 机械性能; $\sigma_s = 32 \text{ kg/mm}^2$

$$\sigma_s\% = 34\%$$

3) 鍋爐鋼板: 鍋爐鋼板的厚度範圍很大, 在生產的鋼板中, 一般的标准厚度為8~60mm的熱軋炭素結構鋼板, 這種鋼板可以供做製造熱蒸汽鍋爐零件, 及鍋爐製造中, 應用於壓力不大於60大氣壓, 及溫度不高於450°C的情況下, 而對於一些要求具有能承受高溫高壓的鋼板, 則有另外特殊要求。

在性能上則鍋爐鋼板應比橋樑鋼板有著更均勻的化學成份, 均勻細小的晶粒組織, 有一定的塑性, 不允許產生重偏析, 這樣才能保證長期工作時間的性能。為此在我們生產鍋爐鋼板中則對每一塊鋼板都進行取樣檢查。因為如果由於機械性能不合格, 內部組織晶粒和化學成份不均則容易產生內部組織應力, 從而容易引起爆炸造成重大事故。此外對其含S量控制較嚴, 不許大於0.045% 如果超過此值, 則容易產生熱脆, 嚴重影響鋼板的機械性能。

一般鍋爐鋼板採用的鋼號為:

$$t_{2k}, t_{3k}, 15k, 20k, 22k, 25k$$

機械強度:

$$\sigma_b = 34 \sim 50 \text{ kg/mm}^2 \text{ (範圍)}$$

$$\sigma_s = 22 \sim 25 \text{ kg/mm}^2$$

4) 造船鋼板

用於海洋及內河運行的船舶製造業, 在航行中, 不僅受到海水極大的內壓力, 同時還受到海水的腐蝕, 因此除具有足夠的機械強度外, 還應具有一定的抗腐蝕能力。

除此以外, 嚴格要求為負公差軋制也很重要, 因為若按著正公差, 進行軋制, 則會額外增加船身自重, 從而將減少其載重量, 同時也浪費了金屬。

根據用途不同在我們部頒標準中, 將其分為兩種: 並提出不同的技術要求來:

第一組: 用於航行海洋中的船舶, 及一般船舶等

第二組: 運行於內河的船舶

機械性能:

$$\sigma_b = 42 \sim 62 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_s = 24 \sim 30 \text{ kg/mm}^2$$

此外在-40°C時的沖擊韌性不小於3kg/mm²

5) 蒸汽機車用的火箱鋼板

這種鋼板實際上也屬鍋爐鋼板的一種, 通常所選用的鋼號有 t_{3r} 和 t_{3rk} 的平爐鎮靜鋼, 其中 t_{3r} 號鋼板適用於製造直接火箱和蒸汽作用的蒸汽機車火箱各部件(套板, 火箱後牆: 火爐棚, 火箱頂板, 半壁板, 火箱補板, 以及燃燒室內所用的鋼板)。而 t_{3rk} 號鋼板則供製造蒸汽機車鍋爐板的所有其它部件用。鍋爐鋼板及火箱鋼板, 均應符合國家部頒標準規定尺寸, 化學成份及機械性能。

$$t_{3r} \quad \sigma_b = 36 \sim 38 \sim 46 \quad \delta\% = 23 \sim 26\% \quad d=0$$

$$t_{3rk} \quad \sigma_b = 38 \sim 40 \sim 44 \quad \delta\% = 21 \sim 24\% \quad d=0.5$$

$$\text{沖擊韌性 } a_k = 6 \sim 8 \text{ kg/mm}^2$$

6) 容器鋼板

這種鋼板在質量上的要求, 應該符合冷彎咬合, 及焊彎試驗的規定。

因此為這種鋼板在質量的要求上, 是比較簡單的。其主要用於製造小塔、石油塔、石油車上邊用的桶以及油罐等。

要求機械性能, 在冷彎時不產生裂縫, 焊接及咬合性能應好。

7) 一般用途的普通炭素鋼板—

根据用途不同則分为两种不同要求的鋼板:

1) 甲类鋼板——要求机械性能和化学成份。

2) 乙类鋼板——仅要求滿足化学成份的要求。

3) 特殊用途的鋼板——耐热, 耐酸, 不銹鋼板等, 根据用途不同, 則对其化学成份及机械性能都有特殊的要求, 其在合金鋼板部份詳述。而对于特厚的裝甲鋼板, 則根据国防需要来制定特殊要求。

表 2 各种不同用途的鋼板, 經常选用的鋼号规格

鋼板按用途分类	鋼 种 示 例	常用規格範圍
	热轧厚鋼板及帶鋼	
造船鋼板	$t_1c, t_2c, t_3c, t_4c, t_4П$ $t_4\Phi, t_5c, t_5c$ (高級) st52	4~60×1500~2000毫米 4~32mm者使用最广
鍋爐鋼板 (包括火箱板)	$t_2, t_3, 15k, 20k, 22k, 25k,$ t_3t, t_3K 等	8~46×1500~2000 8~32毫米者使用最多
桥樑鋼板	M16c, $t_3M, st52, 10$ 力T廿8等	8~60×1500~2000 8~20mm者使用最多
容器鋼板	$t_0 \sim t_7, \text{及 } t_0 \sim \text{及 } t_7, \text{及 } t_0 \sim \text{及 } t_7$	4~60×1800~2000m/m 4~25mm使用最多
运输工具骨架鋼板	st52, 30T, M16c 低合金高强度鋼	8~40×1500~2000m/m 8~25mm使用最多
焊 管 坯	$\text{及 } t_0 \sim \text{及 } t_4, \text{及 } t_0 \sim \text{及 } t_4$ 以及不銹鋼, 耐热等高合金鋼	4.0~36×600~1300毫米 坯長5600~7500m/m鋼卷長 50~700mm, 重200~1400kg
裝 甲 板	按特殊定貨規定	
特殊用途鋼板	20力LT4, 60T24, Z24, 21342力	
焊 管 坯	$\text{及 } t_0 \sim \text{及 } t_4, St_0 \sim st_4$ 及不銹鋼, 耐热鋼等	

第三節 原料的選擇與加熱

§1原料: 选用扁錠及由初軋机以及板坯軋机生产的板坯做为原料, 根据实践証明: 采用板坯做为原料, 較之选用鋼錠做为原料具备很多优点: 首先由于板坯表面缺陷在加热前, 可以进行处理, 得到良好的表面質量, 从而在加热时, 不会因为坯料表面缺陷, 而造成加热, 軋制, 以及成品缺陷, 且可減少氧化鉄皮的生成得到較之鋼錠高的多的鋼板成品率。

另外, 由于鋼錠具有一定的錐度, 需額外增加1~3道的平整道次相对的影响了产量,

在軋制过程中, 由于鋼錠比板坯笨重, 厚度大則受到升降台等輔助設備能力限制, 且給人工搬鋼操作增加很大麻煩, 不易咬入, 軋制方向也不易控制。且由于鋼錠組織疏松, 受到总压縮比的限制, 从而不易保証鋼板的机械性能, 从我国各厂实际生产中証明, 在沒有租

軋机的單机座軋机上，選用鋼錠較之選用板坯做為原料的成品產量，質量，合格率成品率，都有顯著下降，因此除在特殊情況下，選用鋼錠做為原料，已成為陳旧而不合算的辦法了。

(一) 原料選擇原則：

針對軋某一規格尺寸的鋼板而言，為了減少道次，以提高產量，則坯料的厚度，應盡可能的小，因而其長度與寬度應盡可能的大，

基於這一根本原則，還必需同時改變它各有關影響因素。

(1) 在保證一定的軋終溫度的條件下，鋼錠的厚度越大，則成品質量越好。

根據柴羅雪斯基 (М. Л. Зеращивский) 規定，鋼錠厚度與鋼板厚度之比不應小於20，並認為小於20則會使鋼板的機械性能惡化。

但是根據我國生產實踐以及蘇聯1956 статья № 36~34所發表的文章證明這種說法，並不是完全正確的，當將鎮靜鋼鋼錠，軋成具有各種厚度的鋼板，檢查結果證明，從 n/b 為14~32，則根本不會引起鋼板的機械性能的变化。

普通形狀的鋼錠在寬度增加了——150~155m/m時，厚度即減少了50~70m/m，過渡到使用扁鋼錠，就能使連續加熱爐，提高生產率9.2%，使軋機生產率提高12~15%，增加鋼錠的寬度（在鋼錠長度固定的情況下），能減少切邊率0.25~0.4%。而且成品質量不會变化，由此可以初步認為：對於要求鋼錠的壓縮比不小於20的論點，是受到一定的限制條件的，即對質量較差的沸騰鋼很適用，但對質量很好，組織很致密的鎮靜鋼則不見得必需遵守這一規定。

在軋制板坯時，因其厚度為錠及板的中間值，故不需考慮此限制因素，因都在可能的情況下，則應盡量減少板坯的厚度。與此同時應考慮到初軋機及板坯軋機的生產能力，因為生產薄的板坯，則會降低其產量，因此在減少坯料厚度的同時，應與該軋機配合好。

(2) 在旧有的設備中，坯料的厚度與重量，常受到軋機压下裝置的最大高程以及各輔助設備能力及尺寸的限制：

如升降台的能力，中輓升降平衡裝置的能力，側出料的加熱爐爐門寬度及加熱爐床上之輓道間距的限制，因為如果坯料尺寸不當，則會產生刮牆，掉道，從爐門內出不來等問題，從而說明，坯料的最大長度受爐門寬度及加熱爐有效爐底寬度的限制。此外其還受到軋輓的輓身長度與工作輓道；輓身長度的影响。

(3) 在選擇鋼錠時，應合理的考慮其軋制工藝及鑄錠的條件。

從軋制工藝角度來看，則希望其錐度越小越好，這樣可以相應減少軋制過程中的平整道次，而從可以提高軋機的生產能力。但從鑄錠限制——即為了便於脫膜，則希鋼錠帶有的錐度，越大越易脫膜。因為尺寸關係保證了鋼錠冷卻的條件，形狀，及收縮孔的大小分佈，此錐度大小，則有很多經驗數值，通常選用；窄面錐度為0.83%，寬面錐度為1.04%，而對於某些沸騰鋼錠，澆注後由於產生凝固，則與模間產生了一定間隙因此也可以不留錐度，仍可順利脫膜。

板坯：

選擇板坯做為原料時，其厚度的決定須考慮到鋼板系在單机架機組，還是双机架機組上進行軋制，如果屬前者則其厚度可薄一些，反則可厚一些。而對板坯最大寬度的選擇，則需受初軋機及板坯軋機，孔型寬度的限制。方坯初軋機上孔型最大寬度，不超過1100mm而板坯軋機，則可以到1500mm兩者最小厚度為50~60m/m。在計算板坯及鋼板重量時，其理論比重為7.85而對於鋼錠來講，由於其規程加工的內部組織比較疏松，則比重常在7.7~7.75範圍內。

板坯的重量即为成品重量乘以金属消耗系数，金属消耗系数则因钢板规格及钢质而异，因为其首先根据原料钢质情况，表面缺陷处理情况，加热烧损及缺陷，轧制缺陷及剪边率等情况，变化不同，则得到的成品率不同，也就是得到的钢板金属消耗系数不同，

根据尺寸变化不同，下料系数则有很大的不同，这样将比采用不考虑定货钢板尺寸，而机械选取固定的下料系数，更为合理，因为可以机动另活的节约大量金属，使金属消耗系数大大降低。

选择钢锭与钢坯，金属消耗系数也大不相同，前者远远大于后者，在我国实际生产中对钢3板坯的消耗系数为1.1~1.24 ($h=4\sim32\text{mm}$)

(二) 原料的缺陷与处理:

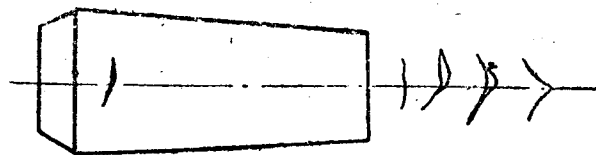
当原料从初轧厂运来后，往往由于炼钢，及初轧工艺过程而造成很多钢质及表面缺陷。此缺陷，不仅严重的影响了钢板表面的质量，同时还会造成很多废品以及大大增加了钢坯与钢板的处理量，严重的浪费了人力，物力，且延长了生产周期，使钢板不能及时出厂。

为了避免为此而给国家造成的大量损失，则应从产生这一缺陷原因着手解决，但是若想将原料缺陷产生原因清楚了解并非一件简单的事情，因为往往一种缺陷，可能是由几种原因造成的，也可能一种原因，所以在工艺过程中，受到另外一些因素的影响后，则又会产生几种性质相似的缺陷。因此解决这一问题，则必需从炼钢，轧钢，加热，一系列工艺过程中加以深入而全面的分析研究，关于原料缺陷的研究在很多文献上则有专门论述，在此仅我国各厂生产一些常见的缺陷加以简单介绍：

钢锭常见缺陷

1) 钢锭的横裂纹

钢锭的横裂纹，是严重的表面缺陷之一，将严重的影响钢坯的质量，经过轧制后，在钢坯上则以纵裂纹，人字裂，工字裂及尖角字裂的形态存在，这是由于钢锭上横裂纹存在部位，长度，和形状所决定的。如图1所示



2) 钢锭角部裂纹

关于这种裂纹，在经过轧制后可以消除，因为钢锭在轧制时，裂纹的方向与轧制的方向一致，裂纹仅随方向的拉伸变细，以及消除。

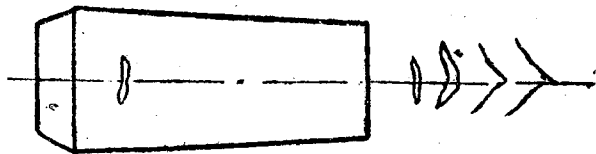


图1 钢锭的裂纹图

3) 结疤:

产生原因及构成形式，一般分为两种:

在正确的区分结疤，气泡、烧损的情况下，则钢锭上结疤产生的原因，主要是由于浇注时，钢液飞溅在钢锭模的模壁上，此部份钢液，随即凝固，其表面一部份，被氧化，当钢液充满钢锭模时，它们与钢锭本身，不能完全焊接在一起，因而在钢锭的表面上，形成结疤。

另外在浇注时，如果开注过急，注管过底，钢液粘稠，注速过快，使钢液翻动，以及注流偏于钢锭模的一侧，则可能形成大的结疤，如果注温高，钢液溅沫及注口结疤形成散流，则可能形成小的结疤，钢锭上，不特别大的结疤在加热炉及加热炉的加热过程中可能被烧掉，但

对于大的結疤，則不易燒掉，經加热，軋制后，仍存于鋼坯的表面上。

3) 气泡

鋼錠中产生的气泡，主要原因是，在鋼液中由于在熔煉过程时，收吸了爐气和空气气体，及化学反应生成的气体。在澆注的过程中，由于鋼液的流动，机械的从空气中帶入了气体，及鋼液与鋼錠模涂料互相作用发生的气体，在凝固过程中，这些气体即滯留在金屬内部而形成气泡。

气泡在板坯表面上，造成各种各样的缺陷；如气泡是松裂产生原因之一，当鋼錠加热：軋制后，气泡没有被焊合，但板坯头部及边部产生劈裂和夾层，在薄的帶鋼上，或軋成較薄的鋼板后，可能在表面上产生各种不同形状，和各种大小不同的突起物，此外还可在鋼坯表面上形成舌狀的結疤及在帶鋼及坯料边上形成狼牙刺等缺陷。

4) 夾渣和夾砂

当在鋼液熔煉及注錠的过程中，在鋼質內形成有夾渣及夾砂的原因是：

当出鋼槽，盛鋼桶，塞棒和注口，保温帽，中心注管，和下注磚等耐火材料結構，机械式的侵蝕性給鋼液帶來若干的夾杂物，（即所謂夾砂）在澆注时，如果注錠表面粗糙，有裂縫和焊肉，則当鋼液上升时，某些夾杂物即可能被它們掛住或被卷到鋼錠的皮层內来。

一般來說，如夾渣（鋼渣）比鋼液輕，因此多都浮在鋼液的表面上，但在某种情況下，由于澆注使之鋼液产生上下对流，則使其漂浮在表面上的夾杂物，即会被卷入鋼錠内部（特別是鋼錠上部）的可能，这在鋼錠的低倍組織上有所謂翻皮的缺陷即証明。

从我国实际生产中得知：沸騰鋼因某种因素，使鋼錠上部有严重的偏析（硫化物）和疏松时，鋼坯的剪切断面，具有很大的撕断面，有时冒出紅色的渣，甚至呈现中間裂縫。

当鋼錠在加热的过程中，若均热爐底部不良，熔渣和爐渣，有可能机械的粘結在鋼錠的尾部，在軋时，这些渣物，如果沒被去除，則其会殘留在鋼坯的表面上。

5) 粘膜：

当注温过高，至使鋼錠模局部熔化，与鋼錠粘結在一起，不易分离，虽用較大的强力使其分离，但却有將鋼錠模內壁粘下来一块的可能，因此在板坯的表面上，則有类似結疤似的粘膜。

6) 小紋：

当鋼錠在軋机上軋制时，此种缺陷为鋼錠表面的一系列缺陷引起原因之一：

当因軋制产生变形时，若內应力突破此弱点时，便会引起裂縫，而且这种裂縫，开始也是以橫裂紋形式出现，随后因板坯的延伸而轉化为縱裂紋或人字裂。

7) 鋼紋：

其屬鋼錠表面常見缺陷之一，其形式有兩种，即凸起的与凹下的。

凸起的鋼紋产生的原因，是由于旧鋼錠模內壁之狀龟裂造成，凹下鋼紋的形成，如密集的表面气孔，排列成網狀，其产生的原因，除因旧鋼錠模內壁具有网狀龟裂外，並与表面气孔之生成機構相似。

8) 过热与过燒：

a 过热：

鋼的过热特征是晶粒的急剧長大，从显微組織上可以看出粗大的晶粒組織来根据观察过热的鋼，由于晶粒長大，内部組織开始变得脆弱，当鋼坯切断后，与正常的切断面比較，其具有較大的撕断面，断面不清，有类似鋼錠的細点，撕裂断面的外形輪廓不同于斷

孔，沒有波峯而是具有曲度較小的弧拱形，嚴重過熱的鋼錠，在初軋機下軋制時，最後几道則可以發生所謂“脹肚”甚至軋裂開來。

過熱多出現於高炭鋼的鋼坯。

過熱不同於過燒，過熱只是晶粒長大，但晶粒界間並不發生分離及熔化，因此對過熱的鋼則可以適當的進行熱處理後，還可以消除這種缺陷。

6 過燒：

當加熱溫度過高，在金屬內部有雜質的地方，金屬晶粒邊界開始氧化，或局部熔化，沿着晶粒邊界熔化的結果，在晶粒的周圍，組成不堅固的而使晶粒趨向於分離的非金屬粒子，在軋制塑性變形過程中，即可能產生拉裂或裂縫，有時可能產生崩裂成碎塊，象腐渣一樣。

經軋制後，這些碎塊被壓入在鋼坯的表面，類似結疤，不過其常常是呈大塊簇集的，由於燒壞所形成的金屬破裂是有不同形狀，一般呈蛇皮形，稜形或雞爪形。嚴重過燒的鋼錠，可能有很深的裂口在出爐時，在裂口處可能冒出火花，在初軋機上軋制時，往往會被撕裂下來，鋼錠的稜角部份，由於受熱面較大，傳熱較快，因此在這些地方最易過燒。

過燒的鋼，由於其組織受到破壞，晶粒間界受到最嚴重的氧化和脫炭，在軋制後，及在軋成鋼坯後，不可能重新焊合，也不可能採用任何辦法，使其恢復原狀，但經驗證明，如果在初軋機上軋制頭几道時，發現鋼錠有嚴重的裂口時，如果將這種鋼錠進行適當的保溫（最好先在空氣中冷卻）使內部組織有所恢復，則可能將過燒程度得到適當的減輕。

過燒與過熱產生的根本原因系：鋼錠的加熱溫度過高及高溫下加熱時間過長造成的。

此外由於鋼錠缺陷而引起坯料的缺陷還有很多如：縮孔、尾孔、氣泡爆露，折尾等在此不再詳述。

缺陷處理：

在我國實際生產過程中，對鋼錠表面缺陷基本不加處理，如有缺陷嚴重超過技術規程允許的情況下則需退料報廢。

但對板坯為了保證鋼板表面質量，提高鋼板的成品率則必需在加熱前進行原料表面處理。

在我國的實際生產過程中，對原料的表面缺陷處理原則如下：

a) 以上下表面缺陷深度不大於2mm時，不進行處理，如大於2mm時，其深度不應超過鋼坯厚度的10%，最深不得超過25mm，處理寬度應大於其深度的5倍。

b) 對於 α_t 、 α_{t^4} 或含C量在0.45%以下的鋼號允許在常溫下進行火焰處理，含C量大於0.45%及合金鋼則不准用火焰處理，需應用風鏟處理，在處理部分除含C0.35%以下的鋼外，不得用水急冷，處理後板坯表面上鐵渣及不潔之物應都掃除干淨以給加熱做好準備。

§2. 原料的加熱

加熱爐的形式及特點：

根據原料的厚度及重量的不同，可以合理的選擇適當的加熱爐，加熱爐的形式有很多種，在此僅介紹其中最常用的幾種形式：

1) 端出料及側出料的連續式加熱爐：

一般最常用的為三段連續式加熱爐，在爐體比較長的加熱爐則有將加熱段延長，加上一排或數排上加熱的燒嘴，因此根據加的燒嘴排數不同則也有採其為四段加熱，五段加熱或多段加熱等，實際上只是將加熱段分成幾期罷了。如在我國中厚板廠即採用三段連續及四段連續式

加热爐，为了提高爐子生产能力，則可以采用快速加热，即將三段連續加热进行兩段操作縮短予热期，强化下加热及上加热，縮短金屬在爐內的时间，並可减少氧化鉄皮，从而大大的提高了爐子的小时产量，例如在1958年大跃进时由于我国某厂采用了这种快速加热的方法使加热时间从1.40分减少到1.00~1.10分，最大限度的滿足了軋机的需要。

至于4段，5段，以及多段的連續式加热爐，則多在連續，半連續，以及双机座机組的車間內选用，如我国2800双机座順列式軋鋼机組，即采用了四段連續式加热爐（三段連續加热爐有兩排上加熱燒嘴。）

原則上一般認為坯料重量小于6T的所有坯料，均可选用連續式加热爐进行加热。一般都采用三面加热，自然通风，煤气予热的加热方式，如果是强迫通风利用发生爐煤气及混合煤气时，則应將空气进行予热，因为这样可以保証爐內温度均衡且使爐温很快升高到要求的爐温提高加热速度，保証加热質量等。

根据爐体形式及加热鋼質及原料厚度不同，所要求的加热不同，因此所选用的燃料也有所不同。旧式軋鋼車間，連續加热爐大多数使用固体燃料，很少一部分还有使用固体燃料，其燃燒設備大都裝在端面爐牆上，有时为获得下加热，也設有側面燃燒室，近代的加热爐則都是选用气体燃料，这样則对爐子能力可以大大提高，並可以保証加热質量很好，因此在一般条件允許的情况下，則应尽量选用气体燃料。但在我国具体情况下，目前則不能完全做到这点，因为选用气体燃料，对于一些联合企业来講，則是既合理又經濟的，但在党的党大中小型並举及土洋結合的兩条腿走路的方針指导下，先后兴起了很多土洋結合及小型的鋼板厂不仅沒有焦爐煤气，而且連发生爐煤气也不易获得，因此在这种情况下选用固体燃料仍然是最合理也是最經濟的。

2) 灶式、蓄热式加热爐:

对于比較重的坯料則可以选用灶式、蓄热式加热爐，当在單机座上軋制重型鋼錠时，則也可以在可动爐底的室狀爐內加热。

3) 均热爐——对一些重型鋼錠，如軋制裝甲鋼板所用的重型鋼錠重常达150~250吨重，故可在均热爐內加热。

均热爐也完全适用加热軟鋼錠或与上面抽料的灶式加热爐配合，且适用于所有的重鋼錠，在后种情况下，灶式加热爐应用于合金鋼錠的加热。

在均热爐及灶式爐中，加热的燃料則都选用气体燃料，其多采用焦爐煤气或者焦爐与高爐的混合煤气进行加热。

目前在我国已基本上全部实施均热爐出稀渣的措施，这对加热質量及产量都有极大的好处。

加热制度:

正象人們所共知的，爐子的允許温度，取决于被加热物体的厚度，导热率，鋼的机械性質。連續式加热爐的爐膛温度当調整好以后可以不加改变，但是爐尾温度因爐子的加热强度与燃料設備的工作制度而变化，如在裝料上区段可設有补加燒咀，或者有中間烟道的时候，爐尾（即鋼錠裝料口区）温度是可以随时調整的，通过中間烟道，可以排除一部分廢气，以便降低爐膛的温度，当在加热合金鋼时即是这样做的，但是对于一般使用的三段連續加热爐的爐温控制过程中，也可以不設有上述裝置而利用上述方法来改变爐內温度。

在我国中厚板厂的加热爐实际生产过程中，則根据軋机生产情况变化的不同，随时可以相应的来改变爐內温度，其主要是利用改变煤气的流量与压力来加以控制。

例如：当在一个加热爐內加热兩種以上規格（主要对不同厚度）及不同鋼質的板坯时由于对加热温度范围要求各有不同，因此必需及时来改变温度变化情况，而控制一种合理的爐温制度以便使坯料的燒損极少，且加热效果温度非常均匀，加热時間能最短，以此来保証加热質量且提高爐子的生产率。

为了提高爐子的能力則必設法进行快速均匀加热，快速加热的优点在于，縮短了加热時間的3/4左右，提高爐子的單位生产率，減少金屬的燒損率。

发展加热爐的自动化及改进利用廢气热量的預热結構，在很多方面可以改进加热方法，並在提高加热速度方面有显著的成績。

此外利用縮短預热時間、强化下加热，都会对快速加热做出貢獻。

實踐証明——我国在大跃进的1958年中，則由于为了满足軋机能力的最高产量的要求，由于采用了上述方法，都得到显著而良好的效果，如在三段連續式加热爐操作过程中，由于采用了兩段加热，縮短了預热時間，对120mm厚的坯料，从1.40小时縮短到1.20~1.10小时左右都可达到出爐温度，尽管其在加热温度差有些增加，但仍然是可以满足軋制要求的。

为了避免加热过程产生事故，如刮牆，掉道，驗起拱容，爐底昇高等，則应严格控制坯料的長度，消除爐底昇高及严格遵守加热操作規程。

爐底因氧化鉄皮的影响，常造成严重的爐底昇高的现象，而坯料的掉道及驗容等事故多都因爐底过高，操作不良造成的，为了消除爐底过高这种现象——根据我国某中板厂的經驗：

在均热帶的爐底上砌有出渣的槽子，使在均热帶通过的坯料上的氧化鉄皮都能掉入鉄皮槽內，在操作的过程中可以及时的从均热帶側边爐門扒除，均热帶爐底鉄皮槽形式如图2所示。

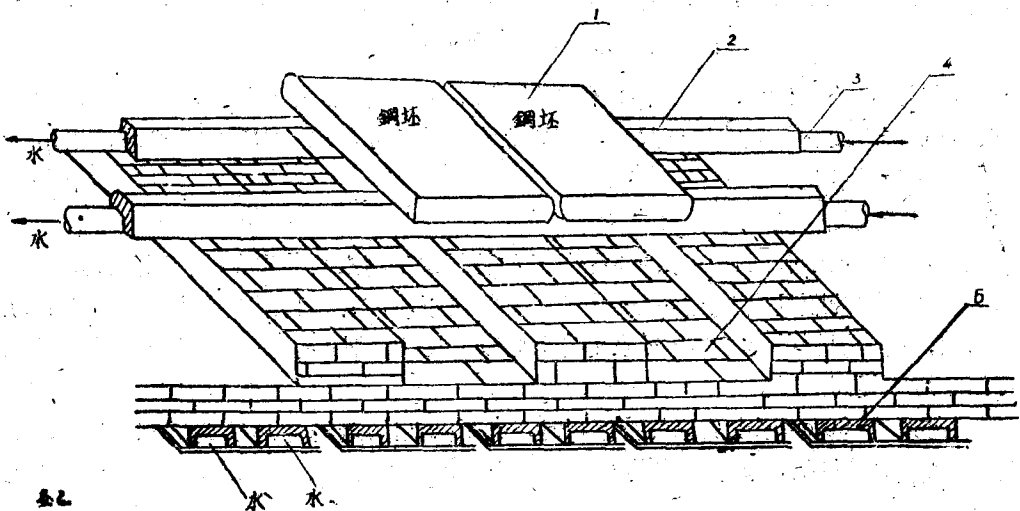


圖 2 二 中板廠加热爐之均热爐底的出渣槽示意圖

- 1—鋼坯；2—滑道；3—滑道的冷却水管；4—積氧化鉄皮槽（與爐門相對）
5—冷却鋼結構的小盒

正确的控制爐温制度則会避免或减少产生一些加热缺陷，如过燒，过热，麻点等。正确控制爐温及加热時間即可以避免产生过燒与过热，而对麻点的問題，則由于产生原因还没有得到最完整的看法，因此还不易馬上得出消除这种缺陷最有效的方法，但是根据經驗証

明：正确的控制煤气与空气的混合比，选择合适爐內空气过剩系数，保持正常的爐压及控制合理的加热時間，並在加热前使坯料表面消除一切缺陷及污物即可以减少及消除麻点的产生。

第三節 中厚板的軋制

§ 1. 厚板軋機形式及特点

軋制中厚板都选用以下几种形式的軋鋼机；三軋勞特式，四軋可逆式，二軋可逆式的，二軋不可逆式的，帶有立軋的万能軋边机等軋所有这些形式的軋机則各自具有不同的特点，既可以單机使用，也可及双机組以及組成多机組的連續及半連續軋制。

在我国通常最为普遍应用的則还是三軋勞特，不仅品种范围广，設備簡單便宜，更主要的則是目前我国完全可以自立更生，从設計到制造全部自主，因此在中国这种特定条件下，更加有其现实的意义。

在此应說明，鋼板軋机的特征，則以軋徑与軋身長来表明，最明显的則可以用軋身長来表明，以表明軋成鋼板的最大宽度此仍为鋼板軋机的第一特征，如仅用軋徑来表示，則各种相同軋徑的軋軋，軋身可能不同，因此仅用軋軋直径尺寸还不能表示軋鋼机的性能。如仅用軋身長来表明軋鋼机的性能对下軋徑（或上軋徑） b 的比值是不存在的，若軋身長在1800~3000 mm 則此比值在大多数情况下在2.5~4的范围内，軋身較長者，此比值将会更大一些。

在TIO TTE工程手册中，以下列公式来表明，鋼板軋机的軋軋直径对于軋身長度的关系

$$D=3\sqrt{100L^3}$$

实践証明，此公式仅能求出近似值供参考而已各种不同形式的軋机，各自有不同的特点，现仅就根据鋼錠和板坯的原始尺寸，和成品鋼板的尺寸；以及需要的生产率，采用各种不同形式及佈置的軋机：

二軋可以逆式軋鋼机—

这种軋机主要用于軋制寬而厚的重型鋼板如軋制装甲鋼板及其它一些特厚鋼板。

同时被人们选为順列式双机座机組中的粗軋机使用，因为是利用可逆的直流馬达帶动的，可以变速，因为軋徑很大，則相对来講有大的咬入能力，軋制过程中可以給大的压下量，从而可减少道次提高产量。

当其軋制大于60mm厚或更厚的特厚板时，其所选用的鋼錠常达数吨到120吨（多者到250吨），在这类軋机的产品中也有其它产品，如60~100mm和120mm的蒸气機車車架坯料。

軋制装甲鋼板及厚板軋机（二軋）的性能如下：

軋軋直径	900~1250mm
轉数	30~60(100)轉/分
軋身	3000~4500mm
軋制速度	1.9~3.7公尺/秒

三軋式勞特軋机在中厚板軋制工艺过程中，三軋勞特式軋机应用的非常广泛，特別

是在我国則更加有其特殊的意义，首先由于设备簡單，造价低，可选用交流馬达，更加主要的如前所述在我国的机械制造业中完全可以自立更生的来設計制造这种軋机的全套设备，如我国某中板厂的一架新軋机即为我国自己制造的，这种軋机的特点是軋制品种范围非常广泛，从4~60mm的所有品种都可以軋制。

一般习惯則多將此种軋机分为兩类，其因軋机軋制的鋼板尺寸不同分为中板軋机与厚板軋机，但在实际生产中並不一定需要这样截然分开，因为仅軋机能力来看，其中厚板如4~60mm的鋼板完全可以軋，唯一受限制的則还是輔助设备能力，如剪断机的能力等等。

如果从經常主要生产成品尺寸来选用各种不同軋徑及容量的軋机也是可以的：

故將这种鋼板軋机性能列如表3

軋 鋼 机	軋 軋 直、徑		軋軋長度	品 种 范 围	
	上 下 軋 直 徑			最大寬度	厚度mm
中 板 軋 机	650~760	450~550	1800~2150	1500~1850	4~25
厚 板 軋 机	850~1130	550~710	2350~4165	2200~3700	4~60

三軋旁特軋机是中軋不傳动，靠軋件与軋軋間的摩擦帶动，其中軋比上下軋徑小，在單道軋制时其中軋緊貼在上軋軋身上，而在双道次軋制时，中軋則又緊貼在下軋軋身上，因此上下軋即成为中軋的支承軋，故此可以大大減少由于中軋直徑太小而产生的过大軋身撓曲，引起鋼板断面尺寸的厚度不均。

对于不可避免的撓曲直，則可以利用合理軋型設計来加以抵消及減少，从而可以保証鋼板断面尺寸的高精确度軋制，由于中軋軋徑小則可以得到大的压下量，从而得到大的延伸率，中厚板旁特軋机所选用的原动机大都是选用異步感应电动机，附有減速箱，飞輪，人字齿輪座等，馬达能力，一般可以采用軋身的長度的每1mm%1~1.2馬力，由此可以算出軋身長度从1800~4165mm軋机所用的馬达为1800~5000馬力。

軋軋每分鐘週轉数；中板軋机为1.0~75轉/分，厚板軋机为37~65轉/分。

关于中厚板三軋旁特式軋机，依以下性能进行选择軋鋼机：表4

軋 鋼 机	軋 徑		軋 身 長 度	軋軋轉数	軋 制 速 度
	上 下 軋	中 軋			
成品厚度在12mm以上	800~1000	525~780	2000~3850mm	60~90轉/分	2.5~3.5米/秒
厚度在12mm以下	650~850	450~600	1800~2300mm	80~90轉/分	2.5~3.5米/秒

我国现有三軋旁特軋机举例一表5

軋鋼机	軋 徑mm		軋身長度mm	品 种 范 围		軋制速度	轉 数
	上下軋	中 軋		寬 度	厚		
中厚板	735	500	2300	1600~2000	4~20	3.05米/分	79轉/分
中厚板	850	550	2350	1600~2200	6~40	3.0米/分	68.5轉/分

3. 四輓可逆式軋鋼機——四輓可逆式軋鋼機，主要用以軋制寬而厚的鋼板最為合理，以前則多用它軋制特厚鋼板及裝甲鋼板，但近年來則普遍應用到軋制一般的中厚板，在複合式雙機座的軋機組中，則多選用它做精軋機組，有時也用做粗軋機組。

有兩個小直徑的工作輓及兩個大直徑的支撐輓，在工作中則可以利用工作輓進行軋制，而工作輓與支撐輓之間接觸非常緊密，從而可以利用小直徑的工作輓給以大的压下量，且因為有支撐輓的作用，則可以不考慮小輓撓曲而引起的斷面尺寸差的問題，此乃為四輓可逆式軋機最大優點之一，為了使鋼板斷面尺寸有高的精確度，以及良好的表面質量，採用更小些的工作輓徑是最合理的，這樣支撐輓徑即應相應增大，此外成品的精確度，將主要取決於輓輓輓身長度與支撐輓徑間的比例，因而在此同時還應決定被軋件的寬度問題，在這種軋機上一般既能軋制板坯，也能軋制鋼錠。

四輓式軋鋼機其最大的輓身長度有達5000mm之長
如軋制裝甲鋼板所用輓輓直徑尺寸為1100/1650/5440及1000/1400/4700，後者用於軋制重達90噸的錠軋成20~25mmB=4300mm，L=25000mm。

在我國2800機組中之精軋機座則為800/1400/2800，四輓精軋機其選用合金鋼輓輓及四排止推式滾珠軸承，利用液壓平衡可以軋制的中厚板。在西德Rennstätt-Henrichs的工廠中有一台輓輓輓身長度為4200mm的軋制裝甲厚板的四輓可逆式軋機，現已開始投入生產，就其尺寸來講，是目前安裝在歐洲的所有軋機中最大的一台板鋼軋機，此軋鋼機是bemag公司設計製造的，軋機工作直徑為980mm支持輓徑為1800mm由兩台可逆式電動機來單獨傳動其水平輓輓每台電動機能傳遞的扭矩為230噸·公尺。

軋機是用40噸的鋼錠軋制成厚板及裝甲鋼板（必要時可以增加到70噸）其最大的開口度為1100mm萬向連桿是用液壓平衡，上輓輓是用電動機來定位和平衡，工作輓輓和支撐輓是用專門的小車進行換輓的，小車裝設在車間地平面以下，並且是用電力拖動的傳動機構來傳動的。

支撐輓是在特殊結構的液體摩擦軸承內旋轉，其與Мартойл型的液體摩擦軸承不相同，此種液體摩擦軸承，沒有錐形軸頸，而是圓柱軸頸，這樣軸承的另件容易加工，工作輓輓將用滾柱軸承。

萬能軋鋼機—

為了軋制齊邊鋼板及帶鋼，則可以採用帶有立輓的萬能軋邊機進行軋制——這種軋鋼機在現代生產中將廣泛被人們採用，因為其首先可以軋出齊邊的鋼板及帶鋼，扁鋼，從而可以取消剪邊設備，減少了因為剪邊而造成的金屬浪費顯著的提高了鋼板的成品率，因為我們都知道對於各種鋼材成本分析的結果，鋼材價值的85~94%為金屬的價值，其中只有6~15%是屬於將原料加工成鋼材的費用，因此在降低鋼材生產總費用時，同時在提高軋機的生產效率時，則首先應注意經濟使用鋼材，設法盡量節約金屬才是我們最重要的任務，基於這點萬能鋼板的軋制在國民經濟中將具有其特殊的意義，此外萬能軋機的成品，可不行進橫軋及角軋，軋件可以很長，在萬能軋機上可以得到4~36×200~780矩形斷面的扁鋼，厚的萬能鋼板（齊邊鋼板）一般厚的6~50公厘，寬800~1500mm。

由於剪邊減少的緣故，萬能軋鋼機軋制的鋼板合格率百分數比在一般軋鋼機軋制的相同寬度的鋼板，合格率大致高10%。

目前應用這鋼軋機形式有：三輓萬能，二輓可逆萬能軋機，四輓可逆軋機。可以是單機座進行鋼板從頭至尾的單獨生產，也可以在順列式雙機座生產中及連續及半連續式軋機機列。