

# 北京科技大学材料科学与工程学院

## 《轧材质量控制与深加工技术》

——课程论文



题目：中厚钢板轧制过程中的表面质量问题及控制技术

姓名：刘有鹏，李显龙

学号：G20158295，S20150323

授课老师：韩静涛 教授

专业名称：材料科学与工程

日期：2015年12月24日

### 目录

2 中厚钢板轧制过程中表面质量问题及控制技术.....	1
2.1 概述.....	1

近些年来，我国国民经济稳步上升，社会基础设施建设逐渐完善，各行各业快速发展的同时对中厚钢板的需求量逐年增加，并且随现代社会人们生活质量的提高，科学技术的发展，对中厚钢板的质量要求也是越来越高。中厚钢板一般指厚度 $\geq 4\text{mm}$ 的钢板，主要生产方式有单机架可逆式(往复)中厚板轧机、双机架可逆式(往复)中厚板轧机、连续式、半连续式布置的轧机轧制及单或双炉卷轧机轧制。中厚钢板按厚度可以分为中厚板、厚板、特厚板三类，通常将厚度为 $4\sim 20\text{mm}$ 的钢板称为中厚板<sup>[1]</sup>，厚度为 $20\sim 60\text{mm}$ 的钢板称为厚板，厚度大于 $60\text{mm}$ 钢板称为特厚板。按照用途分类，中厚钢板产品主要有汽车板、锅炉板、压力容器板、低合金高强度板、耐腐蚀板、碳素结构板、合金结构板、造船及采油平台板、机械建筑用板、模具板、桥梁用板、油气输送管线板等。中厚钢板的生产具有流程长、装备水平高、工艺路线复杂、技术应用密集度高等特点，其质量控制与相关技术既是钢铁企业技术水平高低的一个体现，也是钢铁企业竞争力强弱的一个体现。中厚钢板大约有200年的生产历史，世界上中厚钢板的生产的优势，60年代以前在美国，60年代以后被日本夺取。但是中厚钢板的生产趋势仍然可以归纳为以下几点：..... 1

1. 轧制技术的提高； ..... 1
2. 厚板连铸比不断提高； ..... 1
3. 轧机越建越大； ..... 1
4. 控制轧机控制冷却等工艺的使用； ..... 1
5. 板型动态系统的应用； ..... 1
6. 精整工序的要求越来越高，工序的复杂。 ..... 1

中厚钢板是国家现代化不可缺少的一项钢材品种，被广泛用于大直径输送管、压力容器、锅炉、桥梁、海洋平台、各类舰艇、坦克装甲、车辆、建筑构件、机器结构等领域。其品种繁多，使用温度要求较广( $-200\sim 600^{\circ}\text{C}$ )，使用环境要求复杂(耐蚀性等)，使用强度要求高(强韧性、焊接性能好等)。一个国家的中厚钢板轧机水平也是一个国家钢铁工业装备水平的标志之一，进而在一定程度上也是一个国家工业水平的反映<sup>[2]</sup>。随着我国工业的发展，对中厚钢板产品，无论从数量上还是从品种质量上都已提出了更高的要求。目前，我国中厚钢板轧机生产的钢板规格，大部分是厚度为 $4\sim 250\text{mm}$ ，宽度为 $1200\sim 3900\text{mm}$ 长度一般不超过 $12\text{m}$ 。世界上中厚钢板轧机生产的钢板规格通常是厚度由 $3\text{mm}$ 到 $300\text{mm}$ ，宽度由 $1000\text{mm}$ 到 $5200\text{mm}$ ，长度一般不超过 $18\text{m}$ 。但特殊情况时厚度可达 $380\text{mm}$ ，宽度可达 $5350\text{mm}$ ，长度可达 $36\text{m}$ ，甚至 $60\text{m}$ 。这说明我国生产的钢板质量与国外相比还是有一定的差距。..... 1

中厚钢板的质量要求是中厚钢板制造、质量判定、产品使用的依据和规范，一般在中厚钢板的技术标准、制造协议或合同中进行规定。因中厚钢板用途广泛、品种繁多，使得中厚钢板的质量要求也多种多样。但通常中厚钢板的质量主要由使用性能、工艺性能、内部质量、表面质量、尺寸精度、板型精度等方面构成<sup>[3]</sup>。其中中厚钢板轧制过程中的表面质量的控制是提高总体质量水平中至关重要，也是一直以来很难控制的重要质量指标之一。近年来随着中厚钢板生产自动化控制技术的应用，优化和规范了生产过程，使得工艺参数控制、尺寸精度、组织性能等问题逐渐得到解决。例如自动宽度控制系统(AWC)、厚度自动控制系统(HAGC)、板形闭环控制系统(PFC)在板材生产中的应用。使中厚钢板的尺寸与形状精度逐渐提高，现在已经能基本满足各个行业的应用需求。但是，由于一直以来对中厚钢板轧制过程中表面质量的控

制缺乏系统的认识。中厚钢板的表面质量不仅影响产品外观，更重要的是表面缺陷的存在会降低钢板的耐蚀性、抗磨性、疲劳极限等。这就使得钢板的整体质量水平受到影响，也阻碍了我国中厚钢板的进一步提高。为了使中厚钢板更具市场竞争力，对其表面质量进行研究也就成为了相关行业必须考虑的问题。..... 2

## 2.2 中厚钢板轧制过程中表面质量问题的定义及表现..... 2

### 2.2.1 中厚钢板轧制过程中表面质量定义..... 2

中厚钢板在生产过程中，由于操作或钢坯的原因，不可避免地在钢板的表面上产生影响质量和外观的缺陷，这些缺陷统称为表面缺陷。钢板的表面质量，是以表面和断面缺陷的程度以及外形缺陷程度来表示的。这些缺陷基本上可分为允许存在和不允许存在两大类<sup>[4]</sup>。..... 2

允许存在的表面缺陷，是指其缺陷的程度轻微，或者说在产品的规定范围内。例如，钢板在轧制过程中，由于轧辊造成的钢板表面的网纹和其他局部凸起缺陷，后者钢板在运行过程中，表面被划伤等。只要这些缺陷的深度或者高度，没有超过钢板允许存在缺陷的规定范围，都是允许存在的。..... 2

不允许存在的表面缺陷是指气泡、结疤、裂纹、折叠、夹层、分层和因氧化铁皮压入或者轧辊掉肉而在表面产生的凹凸等<sup>[5-6]</sup>，已超过标准规定允许的范围，但是这种缺陷一般允许清理。清理的深度，应保证钢板的厚度在公差规定的范围内。.... 2

#### 表 2-1 钢板的表面质量等级 ..... 3

级别..... 3

代号..... 3

特征..... 3

普通表面..... 3

F1..... 3

表面允许有深度(或高度)不超过钢板厚度公差之半的麻点、划痕等轻微、局部的缺陷。..... 3

较高级的精整表面..... 3

F2..... 3

表面允许有少量不影响成形性及涂、镀附着力的缺陷，如轻微的划伤、压痕、麻点、锯印及氧化皮。..... 3

高级的精整表面..... 3

F3..... 3

产品两面中较好的一面无肉眼可见的明显缺陷，另一面至少达到 FB 的要求..... 3

### 2.2.2 中厚钢板轧制过程中表面质量问题的表现..... 3

钢板表面受到刚性物质划过后留下的痕迹，在钢板上表现为低于钢板轧制面的直线或横向沟痕线条。划伤的长短不一，位置不定，大都是平行或垂直于轧制方向。划伤分布有间断的或是贯穿整张钢板的，有单独的、也有多条的，划伤中有时伴随轻微的翻卷。当发现纵向划伤的沟痕中有金属光泽时，此为低温划伤，可以判定是在矫直机后工序产生的；当划伤的沟痕中无金属光泽，有的伴有氧化铁皮时，为高温划伤，可判定为在矫直机或矫直机前工序产生的。当发现横向的划伤时，多为钢板在横移过程中造成的，一般为在冷床处产生，这种划伤的沟痕中常有金属光泽。发现钢板表面上有划伤时，应注意观察划伤是否尖锐，若划伤不尖锐，根据钢板公称

厚度划分，属于 B 级缺陷的，可以不修磨处理。若划伤尖锐时，划伤的深度超过 D 级缺陷的，则要把划伤处切除<sup>[5]</sup>。同时可根据划伤的位置、特点，准确的判断出产生划伤设备的部位，通知相关部门对造成钢板表面划伤的设备进行处理<sup>[8]</sup>。

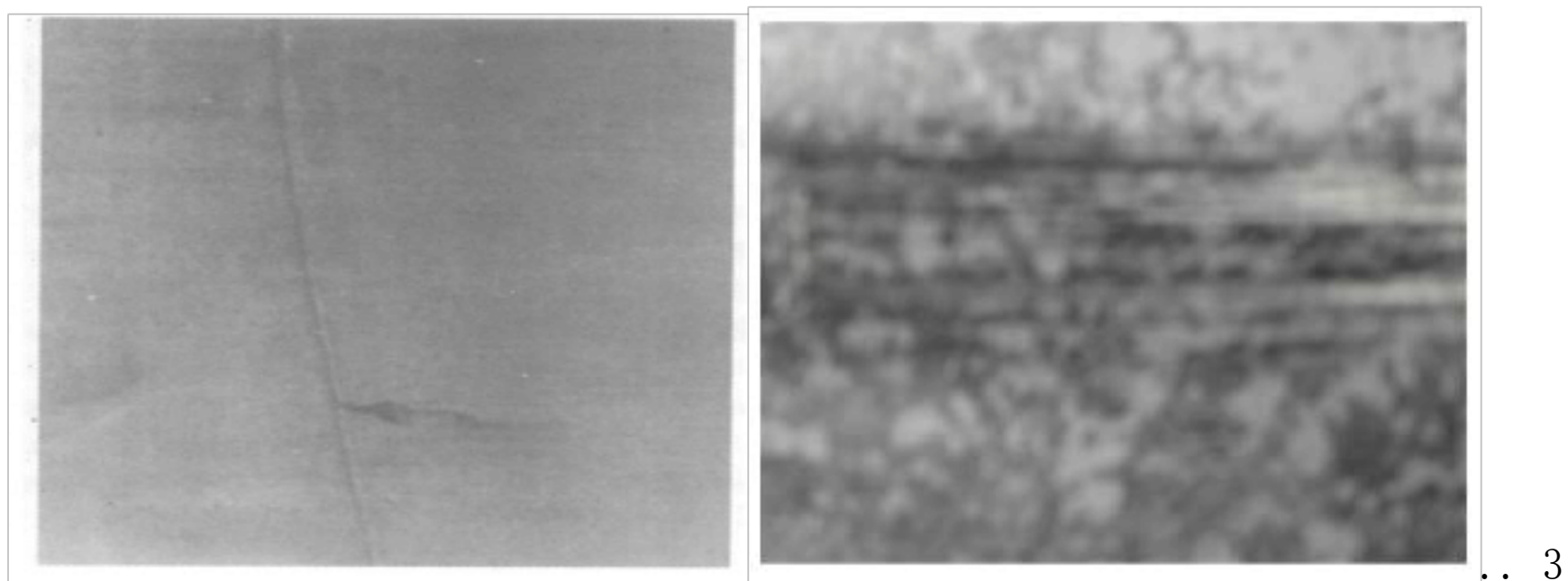


图 2-1 钢板表面划伤和划痕示意图 ..... 4

凸块即钢板的表面上存在异常突起，凸块的表面往往比较光滑，与气泡不同的是凸块没有爆裂。凸块主要的特征是沿轧制方向有周期性，周期一般是工作辊的周长，说明在工作辊的辊面上存在掉皮现象。当凸块的凸度不超出标准要求时，可以允许存在钢板的表面上，严重时则需修磨。..... 4

麻点是钢板上比较常见的缺陷之一。钢板表面的麻点是指在钢板表面分布的块状或条状的深浅不同形状各异的小凹坑或凹痕<sup>[7]</sup>。具体见图 2-2。麻点缺陷的特征是在钢板上表现为局部或连续成片分布。形状大小不一的点状缺陷，叫麻点，当连续成片时叫麻面。麻点常见的有三种：麻点面积不大，麻点较小而密集，呈蜂窝状的粗糙面凹坑，颜色接近黑色的，叫黑麻点；另一种麻点在钢板上表现为局部块状和连续粗糙的平面，仔细观察时麻面上有呈灰白色的光滑小凹块，直径约为 1~4mm，这种麻点叫光麻点或白麻点，也就是压入氧化铁皮；还有一种叫红麻点，这种麻点在钢板上表现略为红棕色，形状类似树皮皱，呈带状。轻微的麻点缺陷可以保留。严重的或是大面积的麻点缺陷，只能剪切缺陷部分或将整块钢板判废。 ..... 4

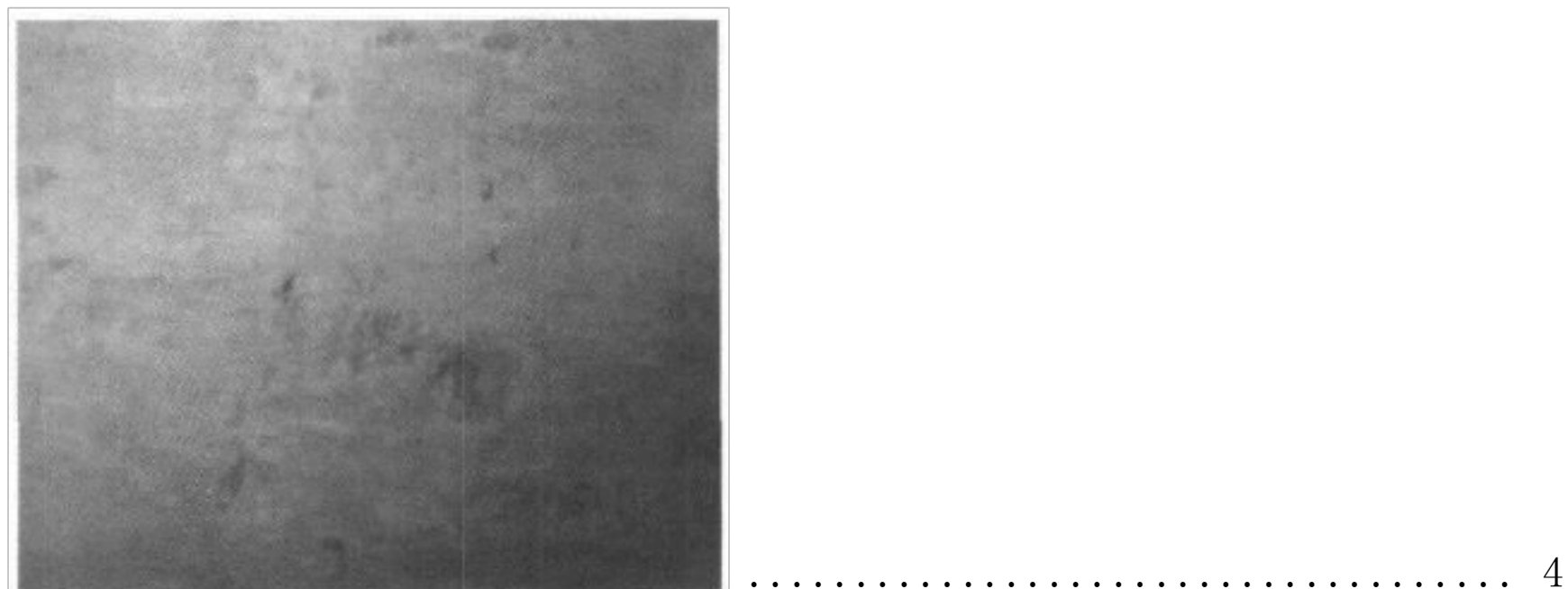


图 2-2 钢板表面麻点示意图 ..... 4

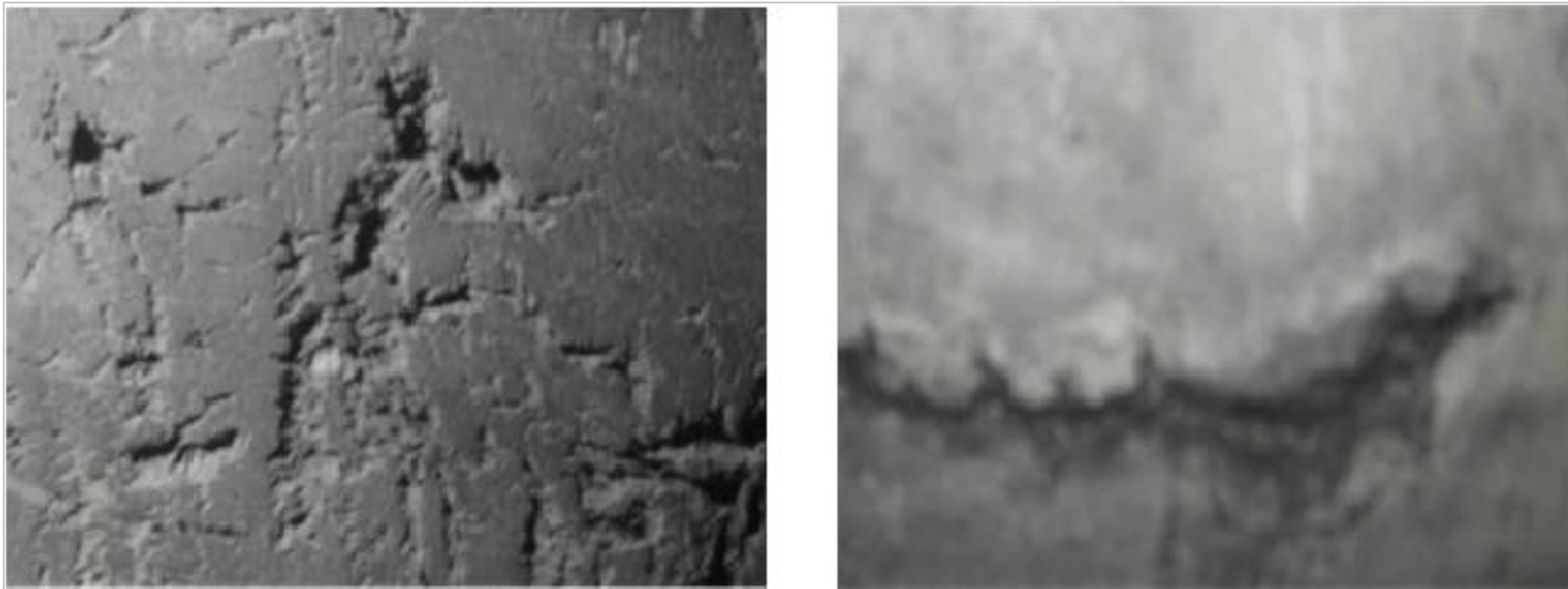
夹杂是指钢板的表面上带有非金属的夹杂物，夹杂的特征是沿着轧制的方向延伸，是最为容易识别的一种钢板表面缺陷。夹杂一般都带有颜色，最常见的有红棕色、

淡黄色和灰白色，形状多为点状、块状和长条状。夹杂是不允许存在钢板表面上的缺陷之一，但允许进行处理，可根据夹杂面积的大小和深度，采用不同的处理方法。夹杂分为非金属夹杂、混合夹杂和金属夹杂三大类。..... 5

非金属夹杂是不具有金属性质的氧化物、硫化物、硅酸盐和氮化物等嵌入钢板本体并显露于钢板表面的点状、片状或者条状缺陷<sup>[8]</sup>。如图 2-3 所示。..... 5

图 2-3 钢板表面非金属夹杂示意图..... 5

混合夹杂是指在钢板表面有嵌入钢板本体内较深，呈现块状，周边呈开放性的黑色的非金属和金属混物质。这种夹杂单位面积大，个体之间呈条状排列，基本是沿轧制方向分布。典型的混合夹杂如图 2-4 所示。..... 5



..... 5

图 2-4 钢板表面的混合夹杂示意图..... 5

金属夹杂是指嵌入钢板本体内的显露于钢板表面的点状、块状、条状的金属物质。如图 2-5 所示。..... 5

图 2-5 钢板表面金属夹杂示意图..... 6

压入氧化铁皮是热轧氧化铁皮被压入钢板表面，呈现鱼鳞状、条状或点状的黑色斑迹，其分布面积大小不等，压入的深浅也不一致。主要是由于热轧钢板压入氧化铁皮，轧制后残留在钢板表面，而未有效清除，其形成过程和热轧麻点缺陷比较相似，但程度上有所不同<sup>[8]</sup>。典型的压入氧化铁皮如图 2-6 所示。..... 6



..... 6

图 2-6 钢板表面氧化铁皮示意图..... 6

裂纹是在钢板表面上形成具有一定深度和长度，一条或多条长短不一、宽窄不等、深浅不同、形状各异的条形缝隙或裂缝。从表截面观察，一般裂纹都有尖锐的根部，具有一定的深度并且与表面垂直，周边有严重的脱碳现象和非金属夹杂。裂纹破坏

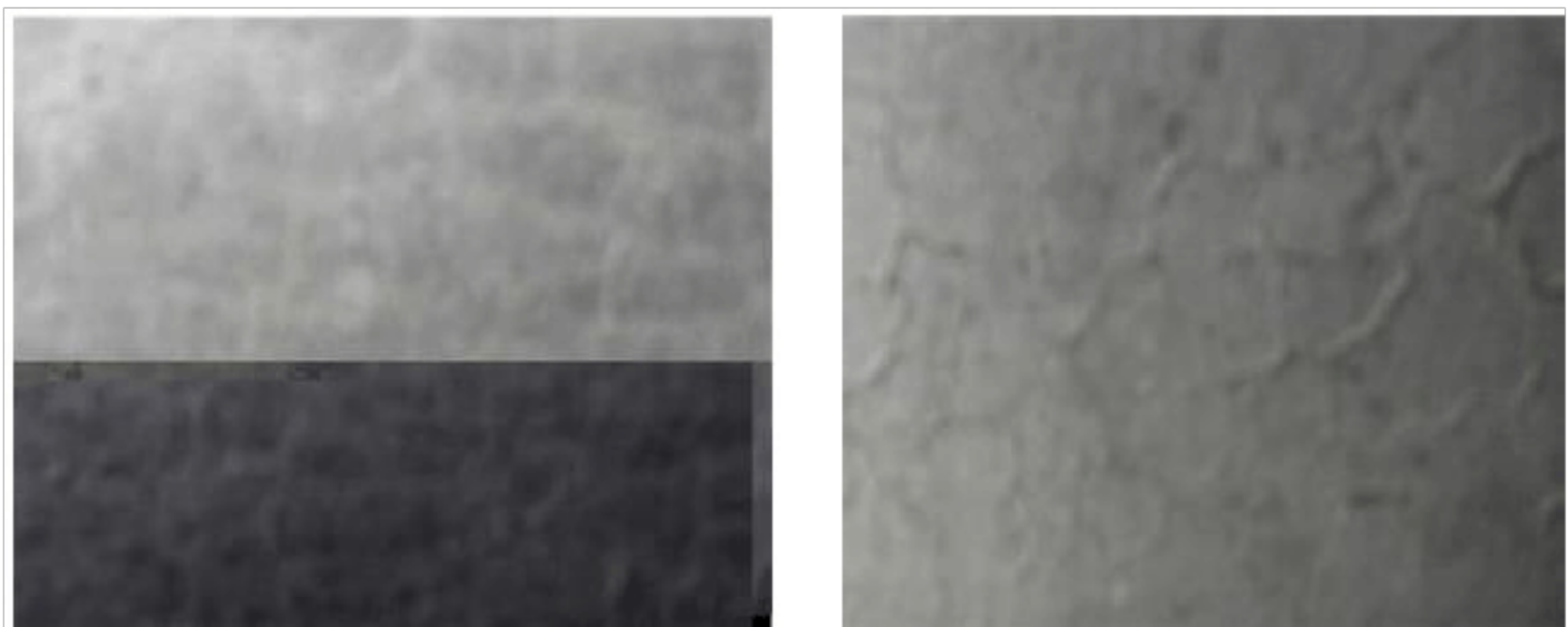
了港版的力学性能连续性，是对钢板危害很大的缺陷。在中厚钢板上纵裂纹、横裂纹、龟裂、发裂、微裂纹、带状裂纹、星裂等。如图 2-7 所示，左边的是纵裂纹、右边是横裂纹<sup>[8]</sup>。..... 6

图 2-7 钢板表面裂纹示意图..... 7

气泡也被称作皮下气泡，一般情况下是隐藏在铸坯表皮下面的一种针状空眼，在清理表面是可发现。气泡不规则地分布在钢板的表面上。气泡大小不一，常见的为圆型，常见的气泡直径多为 5~20mm，凸起在钢板的表面上，和钢板的连接处很圆滑。气泡开裂后，裂口呈不规则的缝隙或孔隙，裂口周边有明显的胀裂产生不规则“犬齿”，裂口的末梢有清晰的现状塌陷，裂口内部有肉眼可见的夹杂物富集。如下图 2-8 所示<sup>[8]</sup>。..... 7

图 2-8 钢板表面气泡示意图..... 7

网纹是凸出在钢板表面上呈网状的纹络，网纹的分布是有规律性，贯穿于钢板的纵向或横向，用手去触摸可感觉到网纹的存在。网裂和网纹恰恰相反，网裂是低于钢板表面呈网状的纹络，网纹和网裂的表现形式相似，但不是同一种类型的钢板表面缺陷。网裂是裂缝的另一种表现形式，长度较短，长约为 20~50mm 的细小裂缝。如图 2-9 所示<sup>[8]</sup>。..... 7



..... 8  
图 2-9 钢板表面网纹网裂示意图..... 8

结疤缺陷是指钢板表面上的本体黏合一头或不黏合的金属层，一般呈现出舌状，块状、鱼鳞状，且厚薄不均，大小不一等。不规则地分布在钢板的表面，结疤的特征也是沿着轧制的方向延伸，结疤的图形有封闭或不封闭的，封闭的结疤与钢板母体没有联结，不封闭的结疤与钢板的母体有联系<sup>[8]</sup>。其形态如图 2-10 所示。... 8

图 2-10 钢板表面结疤示意图..... 8

除上述介绍的钢板表面缺陷外，还存在有折叠、分层、瓢曲、过烧等一些操作缺陷。..... 8

### 2.3 中厚钢板轧制过程中表面质量问题的危害..... 8

中厚钢板的表面缺陷如果在加工过程中没有完全清除干净，其中的一些缺陷有时候会带到接下来的工序中，从而在产品表面形成缺陷。如气体夹杂中的气泡类缺陷，夹层类中的表面夹层、带状表面夹层缺陷，氧化皮压入缺陷，机械损伤类中的划痕缺陷可能会在产品后处理时因漏检、酸洗未能去除，而如果这种热钢板用于冷轧制

备冷轧带钢，这些缺陷就会暴露在带钢表面而形成冷轧产品缺陷。不仅如此，如果钢板表面缺陷没有完全去除，部分表面缺陷甚至会一直残留到热镀锌产品的表面。例如：夹层类缺陷中的表面夹层、带状表面夹层，会在热镀工艺中形成热镀产品表面的表面夹层和纵向发裂或裂纹；氧化皮压入类缺陷会在热镀产品表面形成氧化铁皮坑或者氧化铁皮疤；机械损伤类缺陷如划痕，会在热镀产品表面形成原板擦伤和热擦伤缺陷。由此可见，钢板的表面质量缺陷不仅会直接恶化其自身的表面性能，还会给后续工艺中的产品带来严重的影响。尤其是夹层类、氧化皮压入类和机械损伤类缺陷，它们甚至可能一直残留到热镀产品的表面上。因此，探究钢板表面质量问题的形成机理及有效控制途径是控制钢板表面质量的重点任务。..... 8

除此之外，中厚钢板的各种缺陷或多或少的影响到它的组织，特别是性能，因为每一种材料我们的最终目的是为了获取良好的性能，像力学性能、工艺性能等。而中厚钢板的各种表面质量问题都将影响到它的性能。麻点对中厚板的影响程度主要取决于麻点在钢板表面形成的凹坑或凹坑的深浅。氧化铁皮对钢板的影响没有像麻点那样，主要取决于它被压入的深度以及分布区域。非金属夹杂有时易在中厚板表面形成面积较大的条形压入，但是压入的深度通常较浅，容易清理，基本不影响钢板的使用。混合夹杂对中厚板的影响较深，比较难于清理。而金属夹杂在钢板本体内部形成较深的块状压入，它与金属基体在化学成分和变形条件方面存在明显差别，所以轧制过程中常因不均匀变形引起的附加应力作用而伴生各种不同形态的裂纹，该裂纹对钢板的影响取决于其分布位置和数量，一般情况下易造成钢板的判废。裂纹对中厚板的影响视裂纹的长度、深度、数量、分布情况而定。通常情况下导致钢板成为废料的可能性很高。但是有些微裂纹对钢板的影响很小，只要不超过钢板的复公差，其对钢板的影响都是比较小的。气泡对钢板的影响比较严重，它在钢板一处或多处出现，很容易导致钢板的判废。折叠对中厚板表面质量的影响取决于其凹痕的深度，与轧制钢板的深度有一定的关系，严重的会造成整张钢板改尺或改判。轧制折叠较冶炼折叠容易脱落，冶炼折叠对钢板的改判的可能性较大。结疤在中厚板的分布较为分散，通常数量较少，而且面积有大有小，但修磨后凹痕的深度大都超过钢板的负公差之半，对钢板的判定有一定的影响。网纹对中厚钢板的影响也是有较大影响的，它在钢板上严重粗糙了钢板的表面，大大影响了港版的加工和使用。通常网纹凸起的高度与辊面的龟裂程度有关系。划伤或者划痕对钢板的影响主要取决于沟槽的深度、数量。它的分布并没有一定的规律。生产过程中如果不能有效控制钢材的表面质量，在交验货或者使用时不仅会给企业带来经济损失，还容易造成用户关于产品质量异议事件，会极大地影响企业的信誉。根据数据统计，近些年来，国内的许多大型钢铁企业由于钢材质量问题产生的纠纷与理赔案例中，表面质量问题引起的赔偿额占整个钢材产品总赔偿额的 65%左右。..... 9

总之，不管是什么类型的表面质量问题，我们都希望能把其对钢板性能的影响降至最低，这也就需要更好的管理和生产制度以及先进的技术运用。只有认真检查钢板的表面质量，发现并及时找出缺陷产生的原因，才能避免钢板发生质量问题，减少经济损失，提高产品的信誉，打造名牌产品，提高经济效益。在提高产品质量的同时提升企业的竞争力，同时推进整个行业的进一步发展。..... 10

2.4 中厚钢板轧制过程中表面质量问题的成因分析..... 10

在国内外的中厚板生产过程中，都无法避免生产设备、生产工艺、工人技术含量以

及技能熟悉程度、钢板原料以及生产过程中的环境波动对中厚板质量的影响。随着不同的因素在生产中所占的比重不同，表面缺陷产生的原因也不尽相同，但是各种缺陷的成因分析是十分有必要的，因为只有对这些质量问题进行深入的分析，并掌握其原理才能从根本上避免此类缺陷的产生至少减少表面缺陷对钢板性能的损害。

..... 10

#### 2.4.1 划伤和划痕的成因分析..... 10

划伤和划痕表面质量的诚信主要与轧辊等有关，主要是由于轧机工作辊或矫直机矫直辊黏附较厚的氧化铁皮或其他外来金属附着物，在轧制或矫直时在钢板表面压出痕迹；其次，钢板精整堆垛时与硬物碰压，也可能出现表面质量问题。..... 10

同时轧辊、矫直辊磨损不均或损坏脱落，破坏钢板表面质量；热轧区域的设备有尖棱，轧件通过时被刮擦；钢板与轧辊或辊道运转不同步产生的滑动刮擦；钢板在横向移动或吊运过程中与其他物体之间的刮、擦、蹭、磨等原因也是在实际生产过程中形成划伤和划痕的重要原因之一。..... 10

#### 2.4.2 凸块的成因分析..... 10

凸块的产生主要是与轧辊有关，由于轧辊在工作的时候会出现掉皮的现象，因此工作轧辊表面会出现凹凸不平的现象，在轧制过程中表现在钢板的表面就会出现沿轧制方向有周期性的凸块，其周期一般是工作辊的周长，当凸块的凸度不超出标准要求时，可以允许存在钢板的表面上，严重时则需要对钢板进行磨削以达到使用要求。

..... 10

#### 2.4.3 麻点的成因分析..... 11

麻点的形成原因与钢坯的氧化有关，由于钢坯加热后表面生成过厚的氧化铁皮(钢坯加热时有部分区域有过热现象)在轧制之前没有得到清理或清理不彻底，在轧制中氧化铁皮呈片状或块状等形态压入钢板本体，轧后氧化铁皮冷却收缩，受到震动时脱落，在钢板表面留下大小不一、形状各异、深浅不同的小凹坑或凹痕。此外，煤气中的焦油喷射或燃烧的气体腐蚀，也会形成焦油麻点或气体腐蚀麻点。轧制过程中形成的麻点对钢板表面质量的影响程度取决于麻点在钢板表面形成的凹坑或凹痕的深度及钢板对表面质量要求的严格程度。通常情况下，经过修磨清理后，其深度不超过相应标准规定者不影响使用<sup>[7-8]</sup>。..... 11

#### 2.4.4 夹杂的成因分析..... 11

夹杂的产生原因比较复杂，综合生产中的各因素可以得出主要是由于大包和中包包衬浸蚀、脱落；连铸浇注速度过快，捞渣不及时，造成保护渣随卷入钢液等原因产生的。以上生产中的因素可以导致结晶器内形成渣钢混合物，轧制后在钢板表面产生团块嵌入式延展开裂。缺陷的深度较深，有的超过钢板的厚度之半，甚至贯穿，多数情况下造成钢板判废。应在生产过程中予以避免<sup>[9]</sup>。..... 11

#### 2.4.5 氧化皮压下的成因分析<sup>[10]</sup>..... 11

#### 2.4.6 裂纹的成因分析..... 12

轧制过程中产生的裂纹可以分为横裂纹和纵裂纹两大类<sup>[12-13]</sup>。..... 12

纵裂纹一般有两种形式，一种是成片状出现的沿轧制方向裂开的小裂口；另一种是有一定宽度的粗黑线状裂纹。纵裂纹主要出现在碳素结构钢板表面上，有时也少量出现在低合金类钢板表面，板厚大于 20 mm 的钢板出现纵裂纹的几率比较大。纵裂纹破坏了钢板的横向连续性，因此对钢板危害性很大。..... 12



纵裂纹的主要成因： .....	12
1. 纵裂纹主要是由于钢坯在凝固过程中坯壳厚度不均，当作用在坯壳的拉应力超过钢的允许强度，在坯壳薄弱处产生应力集中而导致断裂，出结晶器后在二冷区扩展形成纵向裂纹，在纵向轧制中沿钢板轧制方向扩展并开裂； .....	12
2. 如果钢板出现多道贯穿轧制方向的裂纹，则有可能是较严重的钢坯横裂在钢坯横向轧制时扩展和开裂形成的； .....	12
3. 钢中大量气泡的存在，在加热及轧制过程中形成沿受力方向延伸的小裂纹，并进一步扩展导致开裂。 .....	12
裂纹与钢板的轧制方向呈 $30^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 夹角，呈不规则的条状或线状等形态，分布的位置、数量、状态、大小各异。具有一定深度和长度，破坏钢板纵向连续性。 .	12
横裂纹的成因： .....	12
1. 钢坯振痕较深，造成振痕底部有微裂纹或坚壳带较薄； .....	12
2. 钢中的 Al、N 含量较高，促使 AlN 质点沿奥氏体晶界析出，诱发横裂纹； .	12
3. 钢坯在脆性温度 $700 \sim 900^{\circ}\text{C}$ 矫直； .....	12
4. 二次冷却强度过高导致的钢坯横裂纹在轧制中扩展和开裂； .....	12
5. 不明显的钢坯纵向裂纹在钢坯横向轧制时扩展和开裂。 .....	12
2.4.7 气泡的成因分析 .....	12
气泡缺陷的成因主要有两类： .....	12
1) 钢坯皮下夹杂引起的，它主要与中间包水口对中不良或保护渣质量有关，保护渣卷入钢水后产生的含有非金属夹杂的气囊。在轧制时，气体体积缩小，压力增大而产生鼓泡并呈现在钢板局部表面上。此类缺陷表面处呈青色。 .....	12
2) 钢中气体引起的，连铸时由于拉速较快，钢坯内部的气体没有充分时间溢出，留在钢坯内部形成气泡。在轧制时气泡扩展，导致金属局部难以焊合，当气泡内压力足够大时将在钢板表面鼓起形成鼓包 <sup>[15]</sup> 。 .....	13
2.4.8 网纹和网裂的成因分析 .....	13
网纹和网裂对钢板质量有较大的影响，严重粗糙了钢板表面。大大影响到钢板的加工与使用。通常网纹和网裂凸起的高度与辊面的龟裂严重程度有关。网纹和网裂的形成原因包括在轧制过程中，由于工作辊冷却水不合理、换辊周期较长、轧制时“卡钢”造成“烧辊”、轧辊制造的质量与轧辊材质选用问题等原因。在轧辊表面会出现一条或多条连续或局部的龟背状或其形态的网状裂纹，有时因轧辊质量问题产生的轧辊表面裂纹可布满整个辊面。这些裂纹，在轧制中压刻在钢板表面，从而形成凸起的纹络。从形成网纹或网裂等表面缺陷 <sup>[15]</sup> 。 .....	13
2.4.9 结疤的成因分析 .....	13
结疤的成因主要与钢坯在轧制过程中的异类金属有关，钢坯在热态下表面粘结有外来的金属物，如：钢坯热切割时火焰切割渣铁的粘结，在辊道上输送时辊道表面粘附物（金属或金属氧化物）的压入，加热时滑轨表面粘附物的压入、加热炉底处堆积过厚的氧化渣铁的粘附，在轧制过程中压入钢板表面。虽然结疤在钢板上的分布较为分散，通常数量较少、面积有小有大，但修磨后凹痕的深度大都超过钢板的负公差之半，会对钢板的判定有一定的影响 <sup>[15]</sup> 。 .....	13
2.5 中厚钢板轧制过程中表面质量问题的控制技术 .....	13
随着我国的现代化发展，经过了几十年数代人的努力我国成了名符其实的钢铁大国，	

- 钢产量一直居于世界首位。面对热轧带钢生产中的表面质量问题，国内许多大型企业独立或者与高校合作，做出了大量关于带钢表面缺陷控制问题的研究。针对不同的生产需求，各热轧带钢生产车间的工艺流程可能会有一些细节上的差别，但其基本工艺流程几乎是相同的。因此对中厚板轧制过程中表面质量问题的控制技术的研究有很重要的意义。..... 13
- 根据前文中对中厚钢板的表面质量缺陷的介绍可知，中厚钢板生产工艺的每一个流程操作不当都有可能产生表面缺陷。中厚板的加热工艺中，根据不同钢种和质量要求，采用合理的加热工艺，控制合适的加热温度和时间可以有效控制飞翅和边部过烧缺陷的形成。粗轧、精轧工艺中，加强钢坯的除鳞控制工艺可以有效避免表面缺陷的产生；加强板形控制，采用合理的辊型配置，采用边部保温，避免边部温度的突降可以防止边裂；保持轧辊冷却水的均匀，加强辊面质量的检查与控制，避免辊面氧化膜脱落，可以有效防止麻点、边部粗糙；根据钢种特性，优化轧制工艺及轧制模型，避免轧制过程中出现局部应力集中，可以有效防止纵裂、横裂与龟裂的产生。..... 13
- 图 5-1 中厚板生产工艺的优化示意图<sup>[10]</sup>..... 14
- 2.5.1 在线板坯表面质量检测..... 14
- 入炉前对板坯表面质量缺陷部位进行清理，可以有效避免钢板表面质量问题。板坯表面缺陷的检测分为人工检测和自动检测两种方式。人工检测存在劳动强度大、很难实现在线检测、不能保证缺陷完全被检测出等缺点。为了提高效率，保证板坯的缺陷检测率，建议采用板坯表面缺陷自动检测系统。板坯表面质量检测系统是一种基于机器视觉、采用模块化设计的系统，在线表面质量检测系统示意如图 5-2 所示。图 5-2 为上表面检测示意图，下表面检测与之相同。通过控制台（即显示终端）可以观察到缺陷的在线检测结果，并且可以调出缺陷的历史数据进行分析。..... 14
- 图 5-2 在线表面质量检测系统示意图<sup>[10]</sup>..... 15
- 2.5.2 加热炉加热控制..... 15
- 板坯在加热炉内加热时，影响板坯氧化的原因主要有加热温度、加热时间、空燃比等。加热温度过高、时间过长、空燃比过大时，将会造成氧化铁皮又厚又黏，难以清除，轧制时就会引起大块状的氧化铁皮压入。因此，在加热工序中应对加热温度、加热时间、空燃比等进行严格的控制。为达到精确控制炉温的目的，烧嘴采用脉冲燃烧控制，即控制每个烧嘴的燃烧时间，使加热炉的每个烧嘴都在其最佳工况下运行，从而保证炉内温度的均匀性，实现自动精确控制炉温，确保在工况波动下仍可高精度控制炉温；通过燃烧控制模型的设定，将板坯的加热时间严格控制在允许范围内；根据煤气热值对应的最佳空燃比配置和热值波动，及时调整空燃比及炉内气氛，减少加热炉内氧气含量，空燃比一般不超过 2:1；保证加热炉内炉压为微正压状态，约为 5 ~6 Pa，防止形成负压而吸入冷风。..... 15
- 2.5.3 除鳞系统的优化..... 15
- 板坯在加热过程中生成的一次氧化铁皮和在轧制过程中生成的二次氧化铁皮如果不能有效消除，就会压入轧件表面，形成麻点和氧化铁皮压入等表面缺陷，从而严重影响钢板的表面质量。一次氧化铁皮通过设置在加热炉后的粗除鳞装置清除，二次氧化铁皮通过设置在轧机入口侧和出口侧的除鳞集管清除。板坯或钢板表面氧化铁皮能否清除干净，高压水打击力是一个关键环节。..... 15

在除鳞系统压力许可范围内可通过提高射流压力的方法来增强除鳞效果。板坯高压水粗除鳞的系统压力高达 30 MPa，可除掉高合金钢表面难以去除的高黏性氧化铁皮。但对于普通品种，采用 25 MPa 的系统压力已可以满足除鳞要求。因此，高压水除鳞泵站可采用 30 MPa 和 25 MPa 组合的方式，使用时根据钢种的除鳞需要进行切换，与全 30 MPa 系统相比，可提高泵站的使用寿命，降低能耗，减少投资。

..... 15

基于高压水打击力与射流流量成正比关系，流量的改变必须通过喷嘴的孔径来实现。在射流压力满足氧化铁皮破碎的条件下，适当提高射流流量可增大打击力，也可提高射流的冲刷能力。但流量增大，板坯表面的温降会加大，一般要求除鳞温度降幅小于 20 ℃。因此，在实际除鳞集管设计时，要结合喷嘴选型、布置、压力及对温降的影响等因素，综合考虑后设定合理的射流流量。..... 16

#### 2.5.4 中间环节..... 16

在钢板轧制完毕到进入预矫直机的这段过程中，钢板表面由于高温还会产生细小的氧化铁皮，若直接送到预矫直机，就会将氧化铁皮压入钢板表面里或粘结到矫直辊上，影响钢板的表面质量。针对这一问题，在矫直机的入口设置矫直前除鳞装置。该除鳞系统具有小流量、中等压力的特点，既可有效清除钢板表面的细小氧化铁皮，又不至于产生大的温降，可以保证矫直效果。矫直前除鳞系统的压力可与轧机机上除鳞相同或稍低；高压水流量应考虑轧后钢板厚度，防止除鳞过程钢板温降过大导致钢板组织发生变化，避免影响钢板的性能；喷射距离的选取应充分考虑轧后钢板的翘头或扣头等影响，可设置夹送(压头)装置避免翘头钢板撞击除鳞集管和喷嘴。

..... 16

### 2.6 评述..... 16

#### 2.6.1 中厚板轧制表面质量的控制..... 16

中厚板生产过程中由于工艺参数等问题的控制不当或者轧制生产之前的坯料质量过差，容易形成表面凸块、划痕、裂纹和网纹等质量问题。这些质量问题很大程度的影响到了中厚板的质量提升，严重的质量缺陷甚至使得中厚板钢材无法达到使用要求而报废。因此对表面质量控制的研究具有重要意义。..... 16

对于轧制过程中中厚板所出现的质量问题，可以分为内因和外因两大类，其中外因一般与轧辊的质量和选用是否恰当有直接联系；内因则主要是指中厚板生产过程中产生的氧化铁皮或者中厚板中的非金属夹杂物有关。其中氧化铁皮按照化学成分可以分为三氧化二铁、四氧化三铁和氧化铁<sup>[14]</sup>。这些氧化铁皮由于在加工过程中需要对其进行清除。但是氧化铁是在以上氧化物中处于最里面的氧化物。在清除的过程中属于较难清理干净的一类。因此残留的氧化物在加工过程中会造成表面质量损伤；而非金属夹杂则与钢坯的质量有关，它们主要是在冶炼、浇注过程中所带入的。当板坯在加热炉中加热时，耐火砖等材料剥落进而被轧辊轧入板面同样也会产生非金属夹杂。..... 16

非金属夹杂主要产生的缺陷是表面夹杂，而在表面质量问题中的其他缺陷，如：表面麻点、表面氧化铁皮压入、表面结疤等，很大程度上是由于氧化铁的缘故。因此学术方面有很多的关于中厚板氧化铁的控制问题的论文和期刊。..... 17

#### 2.6.2 中厚板轧制表面质量的改进..... 17

为了提高中厚板轧制的表面质量，需要对轧制工艺进行优化，同时提高板坯的质量

和提高轧制设备的质量。.....	17
在轧制设备方面，采用合适的轧机且需要选择合适的轧辊，并对轧辊表面质量进行实时监控以防在轧制过程中出现轧辊表面剥落从而出现轧制过程中周期性的凸块。.....	17
在优化轧制工艺方面，主要的措施包括：.....	17
在线板坯表面质量检测、先进的控制模型、改进除鳞措施和在线钢板检测。...	17
在轧制工艺中采取在线板坯表面质量检测措施，可以及时发现连铸板坯表面缺陷，有目的性的对有缺陷板坯进行清理，避免板坯表面缺陷造成钢板表面质量问题；采用先进的控制模型可以自动精确控制炉温和炉内气氛和加热时间，从而减少板坯的氧化烧损；对除鳞设施进行的优化则可以保证更有效的去除板坯表面的氧化铁皮，尤其是难以去除的氧化铁；在线钢板的检测则可以及时发现钢板的表面质量问题，避免质量缺陷的重复发生，提高了无缺陷钢板的比例。在钢企中提高钢的效益有极大的优点。.....	17
2.6.3 个人心得.....	17
通过在学校数个月以来的学习，现在研一的上学期已经快要结束。作为一个研究生，通过这四个月的学习，我们体验到了不同于本科生和工作时期的学习经历。并且也让我们能够在即将到来是研究生科研生涯中尽快的进入到状态。.....	17
现在我们已经是一名正式的研究生，但是面对科研，我们还属于新手，更勿论科研能力、思维能力和创新能力。通过在完成本论文的过程中我们需要查阅大量与题目有关和与自己研究方向有关的文献，通过查阅这些论文，我们逐渐明白了老师让我们在研一的过程中虽然没有实验数据也没有长时间的积累，却要我们写论文的用意。在这个过程中我们熟悉并掌握了查阅文献的方法，并且能够通过文献学到很多与题目相关的知识。.....	17
在准备本轮的过程中，我们对中厚板的表面缺陷有了一定程度的了解，同时也更加深入的了解到了表面缺陷的成因、危害和相应的控制技术，只有通过对中厚板轧制加工工艺的不断研究和改进，才能更大程度的提高中厚板的质量进而提高钢铁企业的生产效益。.....	18
参考文献.....	19
[1] 石译汉. 中后钢板的应用与发展[J]. 科技苑.....	19
[2] 赵忠. 中厚板轧机过程模型的在线应用[D]. 沈阳东北大学硕士论文, 2004. ...	19
[3] 崔凤萍等. 中厚钢板质量及控制方法浅析[J]. 宽厚板. 2010. 16(4):36-39. ...	19
[4] 吴铠, 李文蔚等. 中厚钢板的表面缺陷的识别和处理[J]. 2007. 45(4):23-27. ...	19
[5] 牛玮, 董胜峰. 中厚板表面质量分析[J]. 2002. 19(2):33-34. ....	19
[6] 房珂, 于秀琴, 崔凤平. 中厚板表面质量缺陷判定规范的制定[J]. 2007. 29:56-58	19
[7] 张宇军. 中厚钢板表面麻点产生原因分析[J]. 第四届中国金属学青年学术年会论文集. 2008. 4:257-260. ....	19
[8] 苏国安. 中厚板表面麻点产生原因及预防措施[J]. 钢铁. 1999, 34(10):32-33	19
[9] 孙胜英, 袁玉鲁, 侯钢铁等. 中厚板表面裂纹的金相分析[J]. 河北冶金. 2010(2):48-50. ....	19
[10] 曹燕, 高建. 提高中厚板表面质量的工艺优化措施[J]. 宽厚	

- 板. 2014. 20(5):38-41..... 19
- [11] 张雪飞. 中厚板表面质量缺陷的原因分析和对策[J]. 科技风. 2013. 4:80-81 19
- [12] 赵乾, 朱伏先, 崔凤平等. 中厚板表面裂纹缺陷分析及控制[J]. 轧钢. 2006. 23(2):42-44..... 19
- [13] 王高田. 中厚钢板裂纹产生原因分析[J]. 轧钢. 2006. 23(3):58-59..... 19
- [14] 王沁君. 浅谈中厚板的质量控制[J]. 冶金经济与管理. 2013(4):26-27..... 19
- [15] 崔凤平, 方轲, 唐愈等. 几种典型中厚板材外观缺陷的种类、形态及成因[J]. 宽厚板. 2006. 12(5):16-20..... 19

## 2 中厚钢板轧制过程中表面质量问题及控制技术

### 2.1 概述

近些年来，我国国民经济稳步上升，社会基础设施建设逐渐完善，各行各业快速发展的同时对中厚钢板的需求量逐年增加，并且随现代社会人们生活质量的提高，科学技术的发展，对中厚钢板的质量要求也是越来越高。中厚钢板一般指厚度 $\geq 4\text{mm}$ 的钢板，主要生产方式有单机架可逆式(往复)中厚板轧机、双机架可逆式(往复)中厚板轧机、连续式、半连续式布置的轧机轧制及单或双炉卷轧机轧制。中厚钢板按厚度可以分为中厚板、厚板、特厚板三类，通常将厚度为 $4\sim 20\text{mm}$ 的钢板称为中厚板<sup>[1]</sup>，厚度为 $20\sim 60\text{mm}$ 的钢板称为厚板，厚度大于 $60\text{mm}$ 钢板称为特厚板。按照用途分类，中厚钢板产品主要有汽车板、锅炉板、压力容器板、低合金高强度板、耐腐蚀板、碳素结构板、合金结构板、造船及采油平台板、机械建筑用板、模具板、桥梁用板、油气输送管线板等。中厚钢板的生产具有流程长、装备水平高、工艺路线复杂、技术应用密集度高等特点，其质量控制与相关技术既是钢铁企业技术水平高低的一个体现，也是钢铁企业竞争力强弱的一个体现。中厚钢板大约有 200 年的生产历史，世界上中厚钢板的生产的优势，60 年代以前在美国，60 年代以后被日本夺取。但是中厚钢板的生产趋势仍然可以归纳为以下几点：

1. 轧制技术的提高；
2. 厚板连铸比不断提高；
3. 轧机越建越大；
4. 控制轧机控制冷却等工艺的使用；
5. 板型动态系统的应用；
6. 精整工序的要求越来越高，工序的复杂。

中厚钢板是国家现代化不可缺少的一项钢材品种，被广泛用于大直径输送管、压力容器、锅炉、桥梁、海洋平台、各类舰艇、坦克装甲、车辆、建筑构件、机器结构等领域。其品种繁多，使用温度要求较广( $-200\sim 600^{\circ}\text{C}$ )，使用环境要求复杂(耐腐蚀性等)，使用强度要求高(强韧性、焊接性能好等)。一个国家的中厚钢板轧机水平也是一个国家钢铁工业装备水平的标志之一，进而在一定程度上也是一个国家工业水平的反映<sup>[2]</sup>。随着我国工业的发展，对中厚钢板产品，无论从数量上还是从品种质量上都已提出了更高的要求。目前，我国中厚钢板轧机生产的钢板规格，大部分是厚度为 $4\sim 250\text{mm}$ ，宽度为 $1200\sim 3900\text{mm}$ 长度一般不超过 $12\text{m}$ 。世界上中厚钢

板轧机生产的钢板规格通常是厚度由 3mm 到 300mm，宽度由 1000mm 到 5200mm，长度一般不超过 18m。但特殊情况时厚度可达 380mm，宽度可达 5350mm，长度可达 36m，甚至 60m。这说明我国生产的钢板质量与国外相比还是有一定的差距。

中厚钢板的质量要求是中厚钢板制造、质量判定、产品使用的依据和规范，一般在中厚钢板的技术标准、制造协议或合同中进行规定。因中厚钢板用途广泛、品种繁多，使得中厚钢板的质量要求也多种多样。但通常中厚钢板的质量主要由使用性能、工艺性能、内部质量、表面质量、尺寸精度、板型精度等方面构成<sup>[3]</sup>。其中中厚钢板轧制过程中的表面质量的控制是提高总体质量水平中至关重要，也是一直以来很难控制的重要质量指标之一。近年来随着中厚钢板生产自动化控制技术的应用，优化和规范了生产过程，使得工艺参数控制、尺寸精度、组织性能等问题逐渐得到解决。例如自动宽度控制系统(AWC)、厚度自动控制系统(HAGC)、板形闭环控制系统(PFC)在板材生产中的应用。使中厚钢板的尺寸与形状精度逐渐提高，现在已经能基本满足各个行业的应用需求。但是，由于一直以来对中厚钢板轧制过程中表面质量的控制缺乏系统的认识。中厚钢板的表面质量不仅影响产品外观，更重要的是表面缺陷的存在会降低钢板的耐蚀性、抗磨性、疲劳极限等。这就使得钢板的整体质量水平受到影响，也阻碍了我国中厚钢板的进一步提高。为了使中厚钢板更具市场竞争力，对其表面质量进行研究也就成为了相关行业必须考虑的问题。

## 2.2 中厚钢板轧制过程中表面质量问题的定义及表现

### 2.2.1 中厚钢板轧制过程中表面质量定义

中厚钢板在生产过程中，由于操作或钢坯的原因，不可避免地在钢板的表面上产生影响质量和外观的缺陷，这些缺陷统称为表面缺陷。钢板的表面质量，是以表面和断面缺陷的程度以及外形缺陷程度来表示的。这些缺陷基本上可分为允许存在和不允许存在两大类<sup>[4]</sup>。

允许存在的表面缺陷，是指其缺陷的程度轻微，或者说在产品的规定范围内。例如，钢板在轧制过程中，由于轧辊造成的钢板表面的网纹和其他局部凸起缺陷，后者钢板在运行过程中，表面被划伤等。只要这些缺陷的深度或者高度，没有超过钢板允许存在缺陷的规定范围，都是允许存在的。

不允许存在的表面缺陷是指气泡、结疤、裂纹、折叠、夹层、分层和因氧化铁皮压入或者轧辊掉肉而在表面产生的凹凸等<sup>[5-6]</sup>，已超过标准规定允许的范围，但是这种缺陷一般允许清理。清理的深度，应保证钢板的厚度在公差规定的范围内。

钢板表面缺陷按其来源可分为两类：一类是有钢锭或者钢坯本身带来的缺陷，称

之为钢质缺陷；另一类是由钢锭或者钢坯到成品的各工序操作不当或者其他原因造成的，称之为操作缺陷。 钢板的表面质量等级如下表 2-1 所示。

表 2-1 钢板的表面质量等级

级别	代号	特征
普通表面	F1	表面允许有深度(或高度)不超过钢板厚度公差之半的麻点、划痕等轻微、局部的缺陷。
较高级的精整表面	F2	表面允许有少量不影响成形性及涂、镀附着力的缺陷，如轻微的划伤、压痕、麻点、锯印及氧化皮。
高级的精整表面	F3	产品两面中较好的一面无肉眼可见的明显缺陷，另一面至少达到 FB 的要求

## 2.2.2 中厚钢板轧制过程中表面质量问题的表现

### 2.2.2.1 划伤和划痕

钢板表面受到刚性物质划过后留下的痕迹，在钢板上表现为低于钢板轧制面的直线或横向沟痕线条。划伤的长短不一，位置不定，大都是平行或垂直于轧制方向。划伤分布有间断的或是贯穿整张钢板的，有单独的、也有多条的，划伤中有时伴随轻微的翻卷。当发现纵向划伤的沟痕中有金属光泽时，此为低温划伤，可以判定是在矫直机后工序产生的；当划伤的沟痕中无金属光泽，有的伴有氧化铁皮时，为高温划伤，可判定为在矫直机或矫直机前工序产生的。当发现横向的划伤时，多为钢板在横移过程中造成的，一般为在冷床处产生，这种划伤的沟痕中常有金属光泽。发现钢板表面上有划伤时，应注意观察划伤是否尖锐，若划伤不尖锐，根据钢板公称厚度划分，属于 B 级缺陷的，可以不修磨处理。若划伤尖锐时，划伤的深度超过 D 级缺陷的，则要把划伤处切除<sup>[5]</sup>。同时可根据划伤的位置、特点，准确的判断出产生划伤设备的部位，通知相关部门对造成钢板表面划伤的设备进行处理<sup>[8]</sup>。



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/478050010041006051>