

編輯 說 明

为便于冶金战线有关人员了解国外轧辊生产发展和使用的情况，我们編譯了《轧辊譯文集》，分三册陆续出版。参加編譯工作的有冶金部钢铁研究院、鞍山钢铁公司研究所、张家口钢厂、宣化钢铁公司、邢台冶金机械修造厂、首都钢铁公司研究所、北京钢铁设计院等。

由于时间仓促，我们的水平有限，难免有錯誤和不妥之处，望读者给予批评和指正。

編 者

1975年11月

目 录

轧辊铸铁.....	(1)
热轧用高铬工作辊的制造方法.....	(5)
用做轧辊材质的高铬合金铸铁.....	(9)
高铬钼合金铸铁轧辊.....	(12)
锻造白口铸铁轧辊的材质特性及耐用性.....	(18)
半钢轧辊材质的改进.....	(31)
(半钢) 轧辊的制造方法.....	(44)
复合轧辊外层用的合金.....	(48)
用电渣重熔法制造的锻造淬火轧辊的质量.....	(51)
两种新的冷轧辊材质.....	(58)
含钴的锻钢淬火硬化轧辊.....	(61)
烧结碳化物轧辊有利于线材轧机的轧制.....	(67)
最近的热轧机用辊.....	(73)
最近的冷轧机用辊.....	(82)
关于线 (棒) 材轧机轧辊的选择.....	(90)

轧 辊 铸 铁

此项发明是关于铸铁及其铸件的，这种铸件具有高的表面硬度、耐磨性以及高的机械强度和韧性。这种综合的性能对轧辊是非常需要的。本发明详细地讲述了这方面的内容。

至今轧辊通常都是用铸钢或用珠墨铸铁冷硬铸造制成，这种珠墨铸铁轧辊在冷硬的部分具有珠光体的基体和大量的碳化物。但是对于许多用途来说，铸钢轧辊的耐磨性是不够的，而就粗轧机等所遇到的那种非常恶劣的工作条件而言，冷硬铸造的珠光体珠墨铸铁轧辊的强度和韧性已经不够高了。

现在已经发现，贝茵体球墨铸铁的冷硬铸件具有较好的能满足各种要求的综合性能。这种球墨铸铁含有3~3.3%碳、1.6~2.23%硅、0.27~0.6%锰、3.5~5.1%镍、0.15~0.91%铬、0.39~1.0%钼；为了使石墨全部或大部分变成球状，镁的有效含量不超过0.1%，另外稀土金属的含量不超过0.005%，其余为铁和杂质。妨碍形成球墨的各种杂质的金属应当尽可能地低，且不应超过下列限度：铜0.5%；磷0.12%；硫0.025%，最好为0.01%；铝和钛各为0.05%；铅、铋和铟各为0.002%。

这项发明包括铸铁和冷硬铸造的铸件（至少是它的外层为冷硬铸造的）两项内容。这种铸件可以是复合铸造轧辊之类的只有外层具有上述成分的复合铸件，但一般的铸造轧辊或其它的铸件整个成分都是均匀的。

因为珠光体或马氏体的数量稍多一点就会恶化铸件的性能，所以铸件外层的基体为贝茵体这一点很重要。铸件冷硬部分的显微组织中含有5~30%（最好10~20%）的碳化物最有利。按照这项发明制造的所有的铸件，都具有非常令人满意的高表面硬度、高强度和良好韧性的综合性能。特殊的性能可以通过稍微改变在上述范围内的成分而获得。人们不懂得，为使铸件得到特殊性能所需要的合金元素的量，将取决于影响冷却速度的铸件的尺寸。两种不同断面尺寸的铸造轧辊，为分别获得最高的强度和最好的韧性而优先选用的成分（%）范围列于表1。

表 1

直 径	所需的性能	Si	Ni	Cr	Mo
508毫米	最高的强度	1.6~2.2	4.6~5.0	0.5~0.9	0.1~0.8
508毫米	最好的韧性	1.6~2.2	3.5~4.0	0.15~0.4	0.4~0.6
762毫米	最高的强度	1.6~2.0	4.7~5.1	0.5~0.9	0.5~1.0
762毫米	最好的韧性	1.6~2.0	3.8~4.2	0.15~0.4	0.5~0.8

重要的是每一种元素的含量要保持在指定的范围之内。硅和铬控制着铸件冷硬部分的碳化物的量，从而控制着铸件的硬度和耐磨性。含铬量太少或含硅量太多，会妨碍足够数量的碳化物的形成；反过来，如果铬太多或硅不够，就会形成过量的碳化物，使得铸件过硬而强度降低。含铬量超过0.01%也会使基体变脆并降低强度和韧性。镍和钼都影响基体的组织。为了阻止形成稍多一点的珠光体，铸件中至少应含有3.5%镍和0.39%钼。但是如果含镍量超过5.1%或钼含量超过1%，铸件的淬硬能力将过度增大，于是形成马氏体而降低了强度。过量的钼也使得形成太多的碳化物而使铁变脆。锰是形成碳化物的元素，也使铸件的淬硬能力有所增大。对于这样一些目的来说，含有适量的锰是有益的，但是当含锰量超过1%时，碳化物的量增多，使得铸件变脆，强度降低。含锰量高还会使未转变的奥氏体保留下来，使硬度降低。

为了保证石墨全部或大部分球化，必须用足量的镁，但其需用量不多于0.1%。稀土元素的添加量很小，例如含铈量最大为0.005%，它们帮助抵消作为杂质存在的一些有害元素的影响。

利用本发明的铸铁所制的铸件一般都很大，造价也高，因而要准备一系列这样的铸件来做试验就不现实了。为了提供和大的冷硬铸件（例如轧辊）各种性能相当的试验结果，在干的砂模中水平浇注若干127×127×254毫米的试验用铸铁块，同时用一块127×127×127毫米的有碳涂层的冷铁在一端对铸铁块进行冷硬处理。这种试验用铸铁块的冷却速度近似于一根直径为508毫米的轧辊的冷却速度。从试验用铸铁块上平行于冷硬表面并离它一个标准的距离处切取127×6.4×19毫米的试样，让它们有不同的冷却速度，并将这些试样进行静止弯曲试验。试验的方法是在相距102毫米（4吋）的支承点中间对试样加负荷，测量其挠度就能算出最后的弯曲强度，而负荷挠度曲线下的面积是测量破断能量的尺度，这样也就测出了韧性。

这些试样是用五种具有本发明所指定的成分的铸铁（1—5号）和两种成分在本发明之外的其他镍铬钼铸铁（A和B号）浇注而成的。在浇注之前，所有的铸铁在1182℃下用0.8%（按重量）的15%镁镍合金进行处理，然后加入0.5%的85%硅铁。按所述的方法切取试样并进行试验。另外，还要测定试样的弹性模数和肖氏硬度并观察显微组织。

这些铸铁的成分（%）列于表2，试验结果列于表3。1~5号铸铁的显微组织都为贝茵体，而A和B号铸铁的显微组织为珠光体。

表 2

铸铁号	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	S	P	Mg
1	3.07	2.23	0.35	4.7	0.91	0.30	0.012	0.018	0.064
2	3.20	1.92	0.27	3.5	0.52	0.60	0.018	0.034	0.049
3	3.07	2.23	0.31	3.95	0.20	0.69	0.02	0.040	0.062
4	3.21	2.06	0.27	5.00	0.87	0.58	0.016	0.029	0.046
5	3.14	2.09	0.35	4.33	0.85	0.56	0.021	0.021	0.068
A	3.14	2.25	0.37	2.07	0.22	0.20	0.02	0.030	0.060
B	3.25	2.22	0.66	2.15	0.56	0.20	0.014	0.030	0.047

表 3

铸铁号	至冷硬 表面的 距 离 吋	弯曲强度 磅/吋 ²	总挠度 吋	弹性模数 $\times 10^6$ 磅/吋 ²	冲击韧性* 呎-磅	肖氏硬度	碳化物 含量 %
1	0	183500	0.092	23.0	5.57	70	17.2
	1.0	216000	0.091	—	12.33	68	8.9
	3.0	200000	0.099	—	6.60	67	—
	4.5	193000	0.097	—	6.20	66~67	—
2	0	170000	0.092	—	5.55	65	11.6
	1.0	193200	0.150	21.1	11.8	61	—
	3.0	183100	0.118	—	7.8	56.5	—
	4.5	151700	0.089	—	5.63	57	—
3	0	206000	0.121	23.5	8.70	58	7.6
	1.0	239000	0.206	—	19.95	55	5.2
	3.0	—	—	—	—	52	—
	4.5	198000	0.121	—	8.0	52	—
4	0	—	—	—	—	74	10.8
	0.5	200000	0.091	23.7	5.92	—	—
	1.0	208000	0.098	—	6.96	73	7.4
	3.0	174600	0.075	—	4.42	71	—
5	0	167800	0.085	—	4.67	70	21
	1.0	236000	0.135	24.7	11.78	69	7.4
	3.0	197000	0.098	—	6.11	64	—
	4.5	184000	0.061	—	5.53	63~65	—
A	0	168600	0.074	25.1	4.90	52	5.7
	1.0	—	—	—	—	49	4.3
	3.0	185000	0.128	—	9.54	49	—
	4.5	188000	0.143	—	7.35	48~49	—
B	0	—	—	—	—	62	—
	0.4	103000	0.038	25.6	1.65	58	13.3
	1.0	124000	0.018	—	2.5	56	4.7
	3.0	140400	0.056	—	3.3	53	—
	4.0	—	—	—	—	52.3	—
	4.5	141300	0.064	—	3.6	51	—
	7.0	—	—	—	—	45	—

注: *通过对负荷挠度曲线下的面积积分而得到。

本发明的贝茵体铸铁件的硬度、强度和韧性全部比A和B号铸铁的珠光体铸件好，A和B号铸铁是目前用来制造轧辊的两种成分的铸铁。

按照本发明制出的冷硬铸造球墨铸铁轧辊具有较好的综合性能，这能延长轧辊的寿命，减少断辊的危险性，并使这种铸铁轧辊能够用于重负荷的机座，例如粗轧机座。按本发明所制的铸件也用于要求耐磨的各种工件，例如二次破碎机的衬套，大型球磨机的衬套以及类似的零件。

按本发明生产各种铸件时，尽管它们是冷硬铸铁件，但是形成石墨是有利的，因为与不加入石墨相比，能够使铸件再次地更多地得到所要求的球墨和碳化物组织。

我们申请专利的范围是：

1. 贝茵体球墨铸铁，其成分为3~3.3%碳、1.6~2.23%硅、0.27~0.6%锰、3.5~5.1%镍、0.15~0.91%铬、0.39~1%钼、有效含量不超过0.1%的镁（以使石墨全部或大部分球化）、0~0.005%的稀土元素，其余为铁和杂质。

2. 冷硬铸造的球墨铸铁件，至少是其外层由按第1点的铸铁制成。

3. 按第2点制造的铸造的铸件，全部由按第1点的铸铁制成。

4. 按第2点或第3点制造的铸件，其成分为1.6~2.2%硅、4.6~5.0%镍、0.5~0.9%铬以及0.4~0.8%钼。

5. 按第2点或第3点制造的铸件，其成分为1.6~2.2%硅、3.5~4.0%镍、0.15~0.4%铬以及0.1~0.6%钼。

6. 按第2点或第3点制造的铸件，其成分为1.6~2.0%硅、4.7~5.1%镍、0.5~0.9%铬以及0.5~1.0%钼。

7. 按第2点或第3点制造的铸件，其成分为1.6~2.0%硅、3.8~4.2%镍、0.15~0.4%铬以及0.5~0.8%钼。

8. 按上述任何一点制造的铸件，大体上具有1~5号铸铁当中任何一种的成分。

9. 按2~8中任何一点制造的铸件用做轧机的轧辊。

译自英国第1033589号专利

热轧用高铬工作辊的制造方法

申請专利的范围

在用离心铸造法制造轧辊时，将含1.2~3.0%碳、10~25%铬及按需要而加入的硅、锰、镍、钼、钒、铌中的一种或两种合金元素的铁水浇入做为外层，在外层的内表面尚未凝固的时候，浇入含<2.0%碳、<1.0%铬的铁水做为中间层，当上述外层和中间层两者完全凝固或部份凝固后，再浇入含<0.80%铬的高级铸铁或球墨铸铁做为辊芯。本发明就是以这种外层，中间层和辊芯三者结合成一个整体为特征的高铬热轧工作辊的制造方法。

发明的详细说明

本发明提供一种新的方法，能够经济地、容易地制造一种显示出特别优良的耐磨性、耐表面粗糙性和耐裂性的热轧工作辊。

如所周知，热轧轧辊与冷轧轧辊比较，一般要求具有如下特性：即对于和轧件接触的轧辊辊身来说，必须具有：

- 1) 耐磨性：即使与高温的轧件接触，硬度也不能下降，並应保持耐磨性能。
- 2) 耐裂性：在反复受热和冷却的情况下，表面不发生龟裂；即使发生龟裂，也不向深处发展。
- 3) 耐表面粗糙性：对由于上述两种性能恶化和表面生成氧化膜而造成的表面粗糙，必须具有抵抗能力。

另一方面，对于整个轧辊来说，为了能承受大的轧制力，辊身和辊颈应具有足够的强韧性，並能在热轧情况下不发生因轧制时的热应力引起的剥落和断裂。此外，为减轻使用时热应力的影响，应采用铸造应力小的制造方法，等等。

为了解决这些问题，广泛地采用半钢、无定界冷硬铸铁、球墨铸铁、冷硬铸铁、铸钢、锻钢等材料做轧辊的辊身，这些材质各有其优、缺点。

例如折出石墨的材质，由于长时间的轧制，造成石墨脱落，成为表面粗糙的原因，而钢系的材质，又有耐磨性不好的缺点。为了使钢系材质获得耐磨性，有的采用提高含碳量使碳化物析出的方法，但含碳量提高了，又会析出粗大的一次渗碳体，这也会成为表面粗糙的原因。

因此，提高含铬量以使碳化物细小、均匀，对制造耐表面粗糙性和耐磨性良好的轧辊是有利的。能满足上述轧辊全部特性的办法，通常是采用辊身外层与辊颈（和辊芯）

材质不同的复合轧辊。为了满足轧辊辊身必要的性能,采用含铬量高的材质做成复合轧辊对辊颈(和辊芯)的强韧性、热应力、残余应力等问题是有利的。

复合轧辊的制造方法,有冲洗铸造法、离心铸造法和机械热套法等。热轧用辊,希望外层与辊芯冶金地结合,而且还希望采用制造费用少的离心铸造法。

在外层采用含铬量高的材质,辊芯采用钢系材质的情况下,外层内表面的铬会扩散到辊芯中去,形成了含铬量较高的辊芯。虽然这并不会使材料的强韧性过于恶化,因而没有问题,但是,这样的辊芯是钢系材料制成的,为了防止上部的缩孔,冒口必须大一些,成本就增高。同时还因为弹性系数大,所以无论是从热应力还是从残余应力上看,也都是不利的。

为了减小冒口,降低辊芯的弹性系数,减小热应力和残余应力,辊芯希望采用铸铁材料。但采用铸铁材料做辊芯时,外层的铬会向辊芯扩散,形为非常脆的材质,因而失去了复合的意义。另外,外层用高铬材质时,外层的内表面会出现高熔点的氧化膜,有所谓熔合性恶化的问题。

本发明是关于用离心铸造法制造外层为高铬材质、辊芯为铸铁的复合轧辊,并能够排除上述缺点的新方法。本发明的特点在于:用含1.2~3.0%碳、10~25%铬和其他必要的硅、锰、镍、钼、钒、铌等合金元素的铁水浇注外层,在外层内表面没有凝固的时候,浇入含2.0%以下碳、1.0%以下铬的铁水,形成具有两种成份混合的铁水层,当这混合层全部或部分凝固后,再浇入做为辊芯材料、含0.8%以下铬的高级铸铁或球墨铸铁,从而制成这三者结合成一个整体的轧辊。

本发明中,外层成分定为上述范围的理由如下:对含碳量来说,它与含铬量的平衡情况对碳化物的形状和数量有很大的影响。含碳量在1.2%以下时,碳化物数量少,除耐磨性成问题外,基体中还会含有过多的铬,使热传导性能显著恶化,耐表面粗糙性也难保证;但是,含碳量在3.0%以上时,硬度显著上升,会引起铸造裂纹。对含铬量来说,必须考虑与含碳量的配合,含碳量在1.2~3.0%之间时,假如含铬量不是加入10~25%,就不会有使碳化物细小、均匀的效果。特别是在含碳量为2.3~2.8%时,含铬量为13~18%,能得到接近于共晶成分的理想组织。

第二次浇注的铁水规定的含碳量为2.0%以下,含铬量为1.0%以下的理由是,外层的铬要扩散到第二次浇入的铁水中,它们一均匀混合,含铬量就会为2~3%左右,这时含碳量如果在2.0%以上,就会成为碳化物稳定的非常脆的材质,浇注二次铁水就没有意义。

下面对本发明的制造工艺进行详细的说明。

首先,向在离心铸造机上旋转、内表面涂有耐火涂料的金属铸型中浇入形成外层1的含1.2~3.0%碳、10~25%铬及其它元素的铁水,在这层的内表面还没有凝固的时候,浇入含2.0%以下碳、1.0%以下铬及其它元素的铁水2,在铁水1和2都完全凝固后,将铸型直立起来,从上面浇入做为辊芯材料的含0.8%以下铬及其它元素的高级铸铁或球墨铸铁3,制成三者完全冶金地结合成一个整体的轧辊。或者在外层1与中间层2还没有完全凝固、内表面还有一部分尚未凝固的情况下,以水平或适当倾斜的方式将辊芯铁水浇入也可以。

浇注中间层要选定这样的时机，即依靠中间层能再熔化适当数量的外层，以使外层和中间层完全熔合。如果中间层的浇注时间过晚，就会熔合不好，过早就会使外层厚度不均匀。

中间层是很必要的，因为高铬铁水的外层与铸铁直接接触的话，铬就会向铸铁内扩散而容易引起硬脆，使材质的强韧性显著变坏，并且造成熔合不好，因而增大了冷硬层脱落、剥落、辊身折断的危险性。浇入含2.0%以下碳、1.0%以下铬的铁水做中间层，对防止外层的铬大量扩散到辊芯中的效果是很大的。

实例

以制造辊径为670毫米、辊身长度为1670毫米、全长为3800毫米的轧辊为例。

(1) 将做为外层(壁厚70毫米)的高碳高铬铁水(重为1900公斤)浇入在离心铸造机上旋转的金属铸型中，浇注温度为1400℃

(2) 开始浇注外层11分钟后，将做中间层(壁厚25毫米)的铁水(700公斤)浇入旋转的铸型中，浇注温度为1470℃。

(3) 开始浇注外层25分钟后，外层和中间层完全凝固。

(4) 在(3)以后将铸型直立起来，从上面浇入高级铸铁，直到将铸型完全浇满。浇注温度为1380℃。最后用保温材料复盖上。

经机械加工后，辊身进行超声波探伤和破坏检验，其结果如下：

外层的厚度，由于中间层铁水的冲刷，有的大于55毫米，有的小于55毫米。

中间层的厚度为15~20毫米，这部分的含铬量为2.8%。

外层与中间层，中间层与辊芯完全熔合，在组织上也是连续的。

上述各层的成分如下：

部 位	碳	硅	锰	磷	硫	镍	铬	铜	钛
外 层	2.90	0.96	0.96	0.042	0.030	1.18	13.65	0.45	
中间层	1.72	0.66	0.64	0.037	0.021	0.04	0.85	0.91	0.97
辊 芯	3.41	1.17	0.64	0.067	0.043	0.45	0.20	0.08	

辊芯也如开始预想的那样，外层的铬的扩散受到阻碍，含铬量仅上升到0.8%左右(译注：此数与上面列出的辊芯含铬量为0.29%不符合)。另外，在组织上也几乎没有析出渗碳体，是完好的，机械性能也没有变坏。

关于离心铸造法，首先是用白口铁浇注辊身(的外层)，接着用铸钢浇注辊颈，然后从冒口浇入铸钢或铸铁以形成辊芯，这种离心铸造法，是为大家所知道的，而本发明与上述大家知道的方法有如下几点不同：

(1) 外层采用含铬高的材料，为减轻铬向辊芯扩散引起的坏影响，浇入含2.0%以下碳，1.0%以下铬的材料做为中间层；

(2) 大家所知道的方法是中间层的钢水一直要浇注到辊颈，而本发明只要浇注到复盖了辊身外层的内表面即可，不必浇注到辊颈。

(3) 做辊芯材料的铸铁限定含铬量小于0.8%。这与普通的方法中采用的钢或是铸铁都是不同的。

用上述外层、中间层和辊芯材料制成的轧辊具有良好的性能，而且做为热轧辊具有

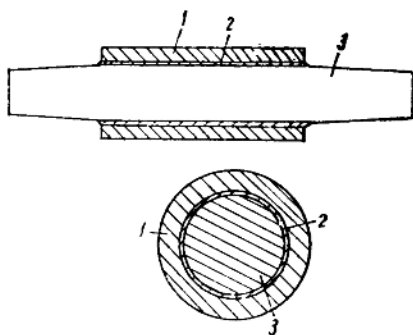
抗事故的能力。这是本发明的方法的出色之外。

如上所述，本发明的外层材料能满足做热轧辊所要求的性能，辊芯材料采用廉价的铸铁有利于降低成本，外层的铬向辊芯的扩散可以防止，轧辊具有足够的强度，耐热应力的能力较好，因而所制得的热轧辊具有抗事故的能力，而且具有良好的耐磨性、耐裂性和耐表面粗糙性。这种轧辊用做需要耐磨性和耐表面粗糙性的热轧轧辊，特别是用做带钢热连轧机精轧机组前段和后段以及其它精轧机座的轧辊时有特别好的效果。

另外，就制造法来说，在用铸铁系材质做辊芯，用性质完全不同的特殊材质做外层的情况下，采用中间层制造出完整的轧辊也是可能的。

附图的简单说明

附图是用本发明方法制造的工作辊的一个例子的纵断面图和横断面图。



附 图

1—外层；2—中间层；3—辊芯材料。

译自日本昭49—3820号专利

用做轧辊材质的高铬合金铸铁

本发明是关于采用高铬合金铸铁做为轧辊材料，特别是做为带钢和薄板热、冷轧机轧辊的材料，以满足轧辊对应力和耐磨性的要求。

西德《钢》杂志1967年第5期第478~480页发表了两项西德专利（539816及652060号）的说明书以后，含铬合金铸铁做某种轧辊材料的原理已为人所共知。随后，对于承受动负荷并在强烈磨损的情况下工作的部件，采用了含5.5~6.5%镍和含7~10%铬的镍铬合金铸铁。这种合金铸铁是在酸性平炉内，采用 SiO_2 和 Cr_2O_3 含量很高的渣冶炼的。后来人们又发现，含15~17%铬的合金铸铁，只要提高一下耐热和耐磨性能，也适于用做轧辊材料，因为它的强度，特别是高温强度好。迄今为止，人们利用这种合金材料做轧辊，都是用在线材和小型轧机的精轧机座上。冶炼这种材料时，要正确判断铁水出炉时的化学成分和温度。

此外，根据美国第3410682号专利说明书知道一种适于做磨机内衬的合金铸铁，其成分为2.5~4.0%碳、0.15~1.6%镍、12.5~25.6%铬、0.38~2.9%钼，其余为铁。这种合金铸铁具有特别高的耐磨性能和磨机所要求的冲击韧性。

上面提到的合金铸铁，由于所形成的组织组成物不同，在固体状态时，具有比较粗大的晶粒组织。其组织组成物是铁素体和 $\text{Fe}_8\text{Cr}_{15}\text{C}_6$ 与 Cr_7C_3 两种碳化物。在这两种碳化物中，铁原子取代了两个或四个铬原子。从1958年的《钢铁冶金文献》第194~203页，尤其是图8，得知上述组织成分。在这次试验中，合金铸铁是在高频感应炉中冶炼的，并采用了铁铬碳系合金来进行试验。但是，至今人们还不采用已知的这类合金铸铁来生产轧辊，因为这类合金的各种组织组成物具有不同的导热性和耐热性，而现今的轧辊，尤其是带钢和薄板热、冷轧机的轧辊，不仅要求耐磨，而且还要求经受附加的应力。但是，令人惊奇的是，现在发现，用高铬合金铸铁的话，这个问题也可以得到解决。这种合金铸铁的成分为18~30%铬、1.8~3.5%碳、0.5~2.0%锰、0.3~2.0%镍、0.2~0.8%钼、0.3~0.8%硅、 $\leq 0.03\%$ 硫、 $\leq 0.04\%$ 磷（磷加硫 $\leq 0.06\%$ ）、生产过程中带入的夹杂物，其余为铁。在碱性电弧炉中冶炼这种合金铸铁，并适当地加速冷却即可产生多相的细晶粒组织，其中碳化物 Cr_{23}C_6 （ $\text{Fe}_8\text{Cr}_{15}\text{C}_6$ ）、 Cr_7C_3 （ $\text{Fe}_2\text{Cr}_5\text{C}_3$ ）、 $\text{Fe}_4\text{Cr}_3\text{C}_3$ 和 Fe_3C （ $\text{Cr}+\text{Mn}$ ）分布在铁素体基体上，就能意外地解决以上问题。

所用的合金铸铁的熔点约为1250~1400℃。如所周知，这种合金铸铁不能在酸性平炉或高频感应炉中冶炼，而只能在碱性电弧炉中冶炼。由于电弧炉的温度很高，使铁水过热大大超过熔点。因此，不仅能可靠地实现过热，而且由于电弧炉中存在特有的熔池搅拌，为按照本发明产生最终组织，创造了良好条件。

本发明的另一个重要特点是快速冷却。在任何情况下，冷却速度都必须快到使金相组织中除产生一般的组织外，还要形成斜方晶系的 Fe_3C （ $+\text{Cr}+\text{Mn}$ ）。快速冷却的方法是专业人员很熟悉的，就是要使之产生过冷现象。但这种冷却方法也还不是上述发

明的目的，在提到的快速冷却过程中，铁路碳系合金在1175℃左右出现一个冷却平台，此时产生四相包晶平衡，在《钢铁冶金文献》194~203页的文中，以《Vc》表示。之所以要快速冷却，为的是通过这个平台时使之不会产生包晶反应。但在此平台温度下，还存在 γ 相和 Fe_3C 相。快速冷却的下一步是， γ 相分解为铁素体以及本专利说明书中前面提到的那两种碳化物，而 Fe_3C 相也仍然存在。结果便获得本发明要求的组织状态，这种组织状态不仅通过它的组织组成物，而且还通过晶粒度的特别细化才达到的。在这种条件下，合金铸铁意外地满足了上述专利报告中所提到的轧辊对较大动负荷和较高温度交变应力的要求。采用这种合金铸铁不仅能提高耐磨性50%以上，而且主要是对裂纹形成方面的不敏感性达到了要求。裂纹的形成主要是由负荷和应力引起的，同时也跟轧辊与进入头儿架时温度为1100~1250℃的轧件长时间接触，因而使得轧辊温度也很高有关。如果只用本发明提供的合金铸铁来制造轧辊外层，则本发明的优点基本上已经具备。

本发明的另一重要发展是，这种合金铸铁要进行热处理。选择合适的热处理温度，使表面硬度达到Hs55~90，最好是Hs65~85。这样，才能适用于不同的使用目的。对于热轧轧辊，选择的热处理温度，要使硬度接近前面提到的硬度下限；而对于冷轧轧辊，选择的热处理温度，则要使硬度接近前面提到的硬度上限。此外，轧辊经过消除应力退火，也可以按照情况的不同而有目的地保存某些必要的内应力，以便适应不同的使用目的。

如果只用本发明提供的合金铸铁做轧辊外层，其厚度最好选择为轧辊直径的10~15%。然后，才有可能采用韧性材料做辊芯，也只有这样做的轧辊才能在承受最大机械负荷的机座上使用。而且在选取前面所说的最高硬度值的情况下，不致有形成裂纹的危险。

这种复合轧辊，可用上述合金铸铁做轧辊外层材料，采用下注法，浇入直立的轧辊铸型内进行生产，如同西德第602060号专利说明书第1页第29~40行所说的那样。先用外层金属浇满型腔，待外层凝固后浇入辊芯金属，并把尚未凝固的外层金属从辊芯区域排出去。浇注时，最好是在靠近型腔底部的下辊颈区域，采取切向浇入。用这种方法时，辊芯材料可以采用特殊的非合金铸铁，而不必采用韧性钢。

如果必须使用韧性钢做辊芯材料，则可采用含碳量为0.3~0.8%的加热的钢轴，再将外层金属适当地围绕它进行浇注。

此外，也可以采用离心铸造法浇注轧辊外层，来生产复合轧辊。复合轧辊的离心浇注法的原理，从西德第539816号专利说明书可知。在按照本发明热处理合金铸铁的情况下，辊芯材料既可采用含碳0.3~0.8%的韧性铸钢，也可以采用非合金铸铁、合金铸铁、或者球墨铸铁，均能很好配合。

让我们举一个实例来说明本发明。

特别适于做轧辊外层的合金铸铁成分为：2.6%碳、25.0%铬、1.6%锰、1.0%镍、0.15%钼、0.6%硅、0.06%磷+硫，其余为铁以及生产过程中带入的夹杂物。这种合金铸铁是在碱性电弧炉中冶炼的。轧辊外层即由这种合金铸铁采用上面提到的下注法进行浇注的。而辊芯则采用含2.8%碳的铸铁，经处于下辊颈区域的切向浇口随后进行浇注。经过适当的热处理之后，外层部分的组织是，在铁素体基本上分布有细晶的铁与铬。

的碳化物。其表面硬度为肖氏72~75。实际上，很多这类轧辊已具有良好的性能，尤其是对裂纹的形成完全没有敏感性，同时显著地提高了耐磨性以及材料的耐疲劳性能。

专利申请

1.应用高铬合金铸铁做外层材料，其成分为：18.0~30.0%铬、1.8~3.5%碳、0.5~2.0%锰、0.3~2.0%镍、0.2~0.8%钼、0.3~0.8%硅、 $\leq 0.03\%$ 硫、 $\leq 0.01\%$ 磷（磷+硫 $\leq 0.06\%$ ）、生产过程中带入的夹杂物，其余为铁。采用这种材料是为了满足轧辊，特别是带钢和薄板热、冷轧机的轧辊对应力和耐磨性的要求。这种合金铸铁在碱性电弧炉中冶炼，并适当地加速冷却，使之产生多相的细晶粒组织，其中，碳化物 $Cr_{23}C_6$ （ $Fe_8Cr_{15}C$ ）、 Cr_7C_3 （ Fe_2Cr_5C ）、 Fe_4Cr_3C 和 Fe_3C （+Cr+Mn）都分布在铁素体基体上。

2.根据专利申请1，采用合金铸铁的特点是，能最大限度地节约外层材料。

3.按照专利申请1和2，应用合金铸铁的特点是，要对合金铸铁进行热处理。热处理温度的选择原则是，须保证表面硬度在Hs55~90，最好是Hs65~85。

4.根据专利申请1~3，采用合金铸铁生产复合轧辊，其外层厚度最好选择为轧辊直径的10~15%。

5.按照专利申请4，采用下注法，外层金属从处于下辊颈区域的切向浇口浇入直立的轧辊铸型型腔，在外层凝固以后，将辊芯金属浇入，并把尚未凝固的外层金属从辊芯区域排出去。

6.按照专利申请5，采用非合金铸铁做辊芯材料。

7.按照专利申请4，采用含0.3~0.8%碳的加热的钢轴做辊芯，而轧辊外层的金属则围绕它进行浇注。

8.按照专利申请4，将外层材料用离心铸铁法浇注成轧辊外层。

9.按照专利申请8，采用含0.3~0.8%碳的韧性铸钢做辊芯材料，也用离心铸造法进行浇注。

10.按照专利申请8，非合金铸铁、合金铸铁或球墨铸铁都可做辊芯材料，也用离心铸铁法进行浇注。

译自西德第1946623号专利

高铬鉬合金鑄鉄軋輥

本文介绍了近两年来在欧洲带钢热轧机精轧机组前几架上得到成功使用的高铬鉬鑄鉄軋輥的发展概况。据估计,欧洲百分之六十的带钢热轧机,在一个或更多个精轧机座上使用了中等硬度的高铬鑄鉄軋輥。为生产大輥径的高铬合金鑄鉄軋輥,现已采用了整体鑄造、复合鑄造以及离心鑄造等各种工艺。本文叙述了当前使用的各种高铬鉬鑄鉄的主要成份、性能及显微组织。高铬鑄鉄可以分为两大类:一类为低淬硬性鑄鉄,系指通过可控冷却后几乎全部转变为珠光体组织的鑄鉄;另一类为高淬硬性鑄鉄,它是经过热处理后得到贝茵体或马氏体基体显微组织的鑄鉄。

本文提到了高铬鉬鑄鉄軋輥的优点和今后可能的发展趋势,叙述了軋輥表面出现裂纹的问题,并讨论了减轻裂纹的一些方法。

緒 言

回顾軋輥制造史,显而易见,它经历了多次技术革新。采用复合鑄造(或双浇注)的无定界冷硬鑄鉄軋輥,也许是近三十年来最重要的一项技术革新。无定界冷硬鑄鉄軋輥由于軋輥成份做了一些改进,几年来已经得到成功的使用,目前其产量大大超过其他任何一种軋輥的产量。欧洲的经验认为,高铬鉬白口鑄鉄軋輥的采用似乎应当列为軋輥制造工艺另一项重大的技术革新。

肖福尼塞发表的资料〔1〕表明,现代化带钢热轧机中前三个精轧机座的軋輥费用约占整个精轧机组的百分之九十。已经证明,在精轧机组前三个机座上使用高铬鉬鑄鉄軋輥最有成效。最近的估计指出,欧洲大约百分之六十的带钢热轧机,(生产特殊产品的軋机除外)在一个或更多个精轧机座上使用这种新軋輥。

直径达1.4米(54吋)的高铬鉬軋輥也正用做中厚板轧机的工作輥,而较小的軋輥在其它方面的应用(例如用来热轧铜合金)则正在进行评价。

高铬鉬合金鑄鉄軋輥的发展

在美国,多年来一直用高铬鑄鉄来制造直径大约366毫米(14吋)的小型棒材轧机軋輥,这种軋輥具有优良的性能。可是,到了1965年,在西德才进行了利用高铬鑄鉄制造大直径带钢热轧机軋輥的最初尝试。所选用的合金,以含铬量28%的鑄鉄为基础,在那时用这种鑄鉄鑄造耐热、抗腐蚀和耐磨铸件已有半个多世纪。不久,在英国用高淬硬性的含15%铬鉬的合金鑄鉄制造了一批试验軋輥。軋輥冶金学家们在最初工作中,由于缺少有关高铬鉬系鑄鉄可做为研制工作指南的可靠的冶金资料而陷入了困境。当试验軋輥损坏时,很难确定失败的原因究竟是軋輥外层鑄鉄的冶金问题、外层与輥芯鑄鉄连接

层的问题、热应力或残余应力的问题，还是轧机的问题。虽然失败多次，但人们逐渐认识到高铬钼轧辊具有优良的抗带状粘辊性和耐磨性。欧洲主要的轧辊厂经过五年多的紧张工作，使高铬铸铁轧辊的标准得到了改进，制出的轧辊几乎和无定界冷硬铸铁轧辊一样可靠了。现在制造的这种轧辊，大部份硬度为Hs60~65，用在精轧机组第1、2和3机座上。当前研制工作的目标，是生产带钢热轧机精轧机组后几个机座以及冷轧机所使用的更高硬度的轧辊。

在轧辊研制期间，轧辊制造者曾不得不发明制造轧辊的新工艺，轧钢工程师们曾不得不对操作规程加以修改，轧辊销售者也逐步认识到高铬钼铸铁轧辊在有些轧机上是不适用的。当这种轧辊能够成功地使用时，高铬钼铸铁轧辊在两次修磨期间轧制的吨数至少为通常的无定界冷硬铸铁轧辊的两倍。

生 产 工 艺

整体铸造、复合铸造（或双浇注）以及离心铸造法全都用来生产大直径的高铬铸铁轧辊。任何一种高铬白口铸铁轧辊，即便是在砂型中铸造或经过较长时间的热处理，都没出现石墨化。象所有的白口铁一样，高铬白口铸铁在凝固时收缩量很大，这就很难铸造出没有中心收缩的整体铸造轧辊。假如能发明更可靠的整体铸造法的话，那末就会吸引许多轧辊制造者进行大量的生产，因为这样就可以不用复合铸造所需要的冲洗用的低级铁。

复合铸造轧辊

当前，用复合铸造或双浇注法生产的高铬轧辊比其他任何一种方法生产的都多。其铸造过程和无定界冷硬铸铁轧辊的双浇注过程很相似，只是必须用多得多的冲洗用铁水来使辊芯的含铬量减少到令人满意的程度。辊芯的含铬量必须低得足以让辊芯凝固成灰口铁，以便使辊颈获得必要的机械性能，并避免形成危险的内部裂纹。格鲁列斯〔2〕最近详细地叙述了这个工艺。

离心铸造轧辊

离心铸造工艺似乎适于制造高铬钼铸铁轧辊。离心浇注时，轧辊外层所需要的高铬钼铸铁的数量少，凝固速度比用整体铸造和复合铸造的快得多。这或许是至今人们所知道的在轧辊外层获得细化弥散碳化物最有效的方法。为了避免高铬合金外层过多的熔化，辊芯铁水可以尽量晚一些浇注，如果需要的话，轧辊芯铁水可分几次浇注，以尽量减小高合金外层与灰口铁辊芯之间热胀系数等性能的差异。典型的辊芯成份示于表1。在久保田研制的轧辊离心浇注工艺已由本田、福田和中川介绍过。

复合铸造轧辊所用辊芯铁水的典型成分（%）

表 1

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S
3.10	1.9	0.5	0.1	0.1	0.2	0.08	0.08
2.90	2.52	0.6	0.1	0.2	0.5	0.06	0.04

轧辊用高铬铸铁的金相组织为韧性基体上有呈不连续网状之脆而硬的共晶碳化物。合金中共晶碳化物的含量主要取决于合金的含碳量，含碳量为 2.5 % 的一种典型合金，其碳化物的含量应当约为 25 %。低的浇注温度和高的凝固速度可使共晶碳化物的尺寸减到最小。任何一种适用于轧辊的正常的热处理中，这些共晶碳化物的形态均未出现重大的变化。马尔特瑞 [1] 对这一问题已作了论述。

通过改变高铬铸铁的基体组织，可以获得各种物理性能。可行的办法有两种，一为凝固后控制冷却，二为随后进行热处理。

控制冷却后获得的组织

控制冷却的目的是，当轧辊在大约 760~595℃ 的温度范围内缓冷时，使其凝固时所形成的奥氏体基体有时间转变为珠光体。在此温度范围的冷却过程中，碳呈小的粒状碳化物从奥氏体基体组织中析出。珠光体组织的硬度决定于析出碳化物的粗细。轧辊用高铬镍铸铁一般来不及完全转变，故其室温下的基体组织将为铁素体中有很细小的弥散碳化物（由珠光体转变所致），还有一些马氏体及残余奥氏体。为使残余奥氏体转变，从而获得所规定的 H 59~70 的硬度值，也许有必要经过一次或一次以上的最高温度为 540℃ 的回火。

为得到硬度令人满意的轧辊，必须严格控制铸铁的成份，同时必须按规范认真控制冷却速度。

热处理后获得的组织

轧辊凝固后，如果先让其缓慢地冷却到室温然后用热处理来得到所需要的性能，这样就可以对它的基体组织进一步加以控制。在此过程中，为了避免产生内部裂纹的危险并确保轧辊内的残余应力小，轧辊开始凝固后可以选用非常慢的冷却速度。用这种方法生产的轧辊，其硬度值可低至 Hs 50，且为铁素体状态，易于加工。加工后，将轧辊再奥氏体化（在 870~1010℃ 之间）并按规范冷却到室温，由此可获得所规定的硬度。采用这种方法，轧辊冶金学家能够得到以下各种组织：基本上为珠光体基体，贝茵体基体及马氏体基体（可经回火得到所需要的硬度）的组织；或是上述两种和两种以上的混合显微组织。通过热处理而产生的基体组织，比仅用控制冷却所能得到的基体组织要均匀。但是，这种热处理操作费用很高，这是因为象轧辊这样大的金属断面需要缓慢加热的缘故；另外，这些高合金铸铁轧辊不论加热或冷却，都有产生裂纹的危险。

复合铸造轧辊和离心铸造轧辊由三个或三个以上的部分构成，各部分均可具有不同的热胀系数。它们是外层、辊芯以及在外层与辊芯之间的过渡区域。各部分的显微组织分别示于图 1、2 和 3（略）。在较低温度下热应力不能通过塑性变形进行调整，因此各部分热胀系数间的差异在较低温度下所产生的影响就更显著了。图 4（略）示出配合得很好、具有相似热膨胀性能的高铬铸铁的外层和灰口铁的辊芯。

很明显，为了在热处理中尽量避免形成裂纹，并在轧辊使用中减少任何剥落倾向，应要求各部分的合金的各种性能相互配合。

成份、热处理和物理性能

在新的轧辊合金的研制过程中，一个重要的问题是缺少适宜的能够用以预测轧辊在工作时各项性能的实验室试验。结果，几乎所制造的每一个轧辊都成了时间拖得很长的试验的一部分，而轧辊冶金学家又力图获得最好的轧辊性能，这就可能要使试验花费好几年的工夫。目前使用的各种轧辊用的高铬铸铁（表2）可以说还没有一种确定的标准。虽然如此，但是每一种高铬铸铁都设计得使轧辊性能最好，並都代表着各制造厂所用的各种化学成分所组成的逻辑系列中的某一点。当前使用的合金可以分成两大类。第一类为淬硬性低的合金，系指在控制冷却过程中几乎完全转变为珠光体的合金。第二类是使珠光体转变延迟的合金，系指在热处理过程中比较缓慢地冷却获得贝茵体或马氏体组织的合金。

商用的轧辊高铬合金典型成分（%）

表 2

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S
2.8	0.6	0.3	12.5	0.5	1.75	0.05	0.02
1.5	0.7	1.0	13.0	0.8	1.5	0.04	0.02
2.7	0.4	0.7	15.9	1.0	1.0	0.06	0.03
1.8	0.5	0.6	16.0	1.6	0.5	0.04	0.03
2.4	0.5	1.0	18.0	0.6	0.9	0.05	0.03
2.6	0.6	0.6	22.0	1.7	0.4	0.05	0.03

铬、镍、锰和钼用来使奥氏体向珠光体的转变延迟，塞阿斯〔5〕说明了以上各元素含量的变化是怎样影响高铬白口铸铁的转变特性的。在选择合金白口铸铁的合金元素及其含量问题上，有两个重要的冶金上的考虑：第一个，已经说过，是合金对延迟珠光体转变的作用，第二个，是合金对抑制向马氏体转变的作用。人们通常认为，过多的合金含量会导致保留过量的奥氏体，即便经过长时间的热处理—这种方法专门用来减少奥氏体含量—也仍然是这样。今人感到有些奇怪的是，现在还没有更多地利用轧辊成份中的硅来提高轧辊合金的 M_s 温度，以便使残留奥氏体在回火时容易转变。图5（略）说明增加铬钼的含量对这些合金中所出现的相变的影响。碳通过减少基体中铬的含量间接地对合金的淬硬性起作用。这样，在任一给定的含铬量的条件下，高碳合金铸铁都比低碳合金铸铁较难于保留大量的残留奥氏体。

在高铬合金铸铁所能得到的各种组织中，珠光体组织的机械性能最差，其耐磨性也最低。然而，已经证明，基本上为珠光体组织的轧辊却具有很好的抗热裂性。具有贝茵体基体或回火马氏体基体组织的轧辊，可获得转好的机械性能。

因热裂而引起的表面损坏示于图6（略）。沿着共晶碳化物的皮下裂纹是非常明显的。