

高溫 高压 蒸汽管道的管理

郭 志 成編著

电力工业出版社

中国的电力工业，在苏联和其他人民民主国家的帮助下，近几年来飞跃地发展着。在1957年年末，国内已有七座装有高温高压机炉设备的发电厂在运行着。目前高温高压蒸汽的规范是指锅炉出口过热蒸汽的汽压为60—130大气压，汽温为450—565°C而言。使用高温高压的蒸汽能保证降低发电厂的煤耗率。用100大气压、500°C蒸汽规范的发电厂，其煤耗率比同容量的中压厂(29大气压、420°C)低16%，而装有130大气压、565°C及中间过热设备的电厂比100大气压的电厂还要低12%。

使用高温高压蒸汽发电时，运行人员必将遇到很多新的问题。在高压锅炉和汽轮机内，金属的物理及化学的变化过程较复杂，必须特别注意。金属在高温高压的条件下工作时，其内部结构和化学成份会起变化，机械强度也会降低。起动及停止机炉设备时，对各部金属热胀冷缩的情况要掌握得很均匀。高压炉的炉水循环率较中压炉低，因此对其燃烧过程的控制要更平稳。高压蒸汽内的硅酸盐很容易在汽机内结成清洗不掉的盐垢，因此应严格控制炉水和蒸汽的化学质量。高温高压管道上的汽门和法兰各部传热快慢不同，很容易产生结构变形并引起管道洩漏等现象。

由于金属工作条件的恶化，就提高了对金属的要求，并迫使我們更严格地对过热器管、蒸汽管及其他机件等进行监察。为了使运行人员能掌握高温高压设备的安全运行，深入研究在高温高压设备内的各种物理变化。本文即介绍苏联在这方面所积累的经验和现在所采用的监察方法。

目 录

前言

第一章 各种鋼材的結構在高温下的变化	3
第一节 再結晶	3
第二节 珠光体的球狀化	4
第三节 石墨化	5
第四节 热脆性	6
第二章 蠕动現象	7
第三章 高压电厂内使用的鋼材	11
第一节 联箱和蒸汽管道	11
第二节 水冷壁管	13
第三节 过热器管	14
第四节 省煤器管	14
第五节 法蘭的联接	15
第四章 安裝前的鋼質監察	19
第五章 运行期間的監察工作	22
第一节 監察蒸汽管道和联箱金屬的蠕动变形	23
第二节 監察过热器管金屬的蠕动变形	31
第三节 監察金屬結構的变化	33
第四节 对石墨化的監察	36
第六章 預防管道、联箱事故的措施	39
附录	46

第一章 各种鋼材的結構在高温下的变化

鋼材長期在高温($500-600^{\circ}\text{C}$)下工作时,其內部結構会起变化,这样就將降低鋼的强度和对蠕动变形的抵抗力。鋼的結構有以下几种变化:再結晶、珠光体球状化、石墨化及热脆性。

第一节 再結晶

在鍋爐的制造加工过程中,有一部分金屬在冷状态的情况下受到永久变形,如管子的冷弯和冷脹等加工工序。冷加工后,虽然鋼的强度和硬度增加了,但是鋼的韧性和可塑性却大大地降低了。上述現象称为冷作硬化。在冷作硬化的鋼的結構內晶粒已在外部的力量下变形了,即其晶粒呈拉長的形态,与未經冷作硬化的金屬的等軸晶粒不同(圖 1)。

当温度升高到一定程度时,冷作硬化的鋼有恢复原来正常金屬結構的傾向,金屬經冷作硬化的長扁晶粒会重新成为已消除冷作硬化应力的等軸晶粒。这个現象称为再結晶。在金屬內开始会产生这种現象的温度即叫再結晶温度。金屬的冷作硬化程度愈深愈容易再結晶,因此,再結晶温度也較低,反之,冷作硬化的程度愈淺时,再結晶温度也就較高。

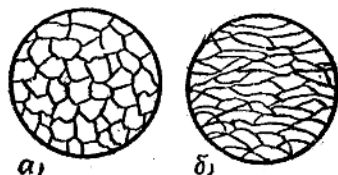


圖 1 冷作硬化前后的鋼的結構圖
a—未經冷作硬化的晶粒; b—純鉄体的晶粒变成長扁形。

鉄的再結晶溫度是 450°C 左右，鋼材的再結晶溫度是 $650-700^{\circ}\text{C}$ 。當鋼材長時間處於 $450-550^{\circ}\text{C}$ 下時，也可能有再結晶的現象。若是鋼的化學成份內有其他元素時，再結晶溫度就會增高。在再結晶過程中金屬結構內會產生和增加新的晶粒體，而由於金屬變形的程度不同，在內應力較強的部分，新晶粒體會大量產生。根據金屬變形的程度、受熱溫度和時間的不同，再結晶的發展過程亦有快慢。再結晶的金屬結構之特征是存在着各種粒度不同的晶粒，因此就降低了鋼的機械強度和衝擊韌性。

若是金屬結構內有各種不同的晶粒，並受着外加應力，則在溫度高于再結晶溫度時，會加速金屬的蠕動變形。

第二節 珠光體的球狀化

長期在高溫下工作時，碳素鋼和低合金鋼內的珠光體的結構會起變化。

在這些鋼的正常結構內，珠光體由純鐵體(Fe)和碳化鐵(Fe_3C)組成，片狀的珠光體分佈在純鐵體內，如圖 2 所示。



圖 2 低碳素鋼的結構圖

- a—正常的結構(純鐵體+片狀的珠光體)；
 b—變化後的結構(純鐵體+球狀的碳化鐵)。
 1—純鐵體晶粒；2—片狀的珠光體；
 3—碳化鐵。

在高溫的影響下片狀的珠光體即變成球狀。這些球狀的碳化鐵集中在純鐵體的邊界上或純鐵體內；在珠光體成份內的純鐵體會與鄰近的純鐵體合成一個整體。

這個現象會增加蠕動變形的速度，即當金屬所受的應力相同時，在高溫下的金屬蠕動變形速度會很快增加。

若是此种金屬預先經過了冷作硬化，但还未进行热处理时，則珠光体的变化就会更加剧烈。我們对含 0.5% 鉬的低合金鋼曾計算过，在绝对温度 $T = (482 + 273)^{\circ}\text{K}$ 时，珠光体的全部球狀化时间为 $\tau = 200\,000$ 小时；而在温度 $T = (538 + 273)^{\circ}\text{K}$ 时，則只需 $\tau = 20\,000$ 小时。

过热器管、过热蒸汽管可能会产生球狀化的现象，因此过热器管会有較快的蠕动变化速度；应定期地从热負荷最高处割下样品，来檢查这些管子的金屬結構。

第三节 石 墨 化

含有 0.5% 鉬的鉬鋼和低碳素鋼在 500°C 左右的温度下工作时，珠光体内的碳化鉄 (Fe_3C) 可能分解为石墨和純鉄体。

焊縫附近产生石墨較多，在产生石墨的地方鋼即变脆，鋼的机械性能也会降低。碳素鋼和 0.5% 鉬鋼極易石墨化，因为这两种鋼在冶煉中常加入一定量的鋁，若每吨鋼加入超过 0.25 千克的鋁时，就会在鋼水內起还原作用。鋼的还原即是氧化亞鉄 (FeO) 的还原过程，而氧化亞鉄能使鋼紅热脆化。在冶煉时，鋼內加入的鋁愈多，鋼的石墨化速度也就愈快；若加的鋁愈少（少于 0.25 千克/吨时），鋼的石墨化傾向亦愈小。

在苏联，是用 15M 和 20M 号鉬鋼制造高压设备的蒸汽管道和其他鋼鑄件。这种鋼的优点是化学成份很簡單，在温度 500°C 以下工作时，蠕动变形的抵抗力很强。但是这些鋼易于石墨化，因此，在运行中应經常仔細地观察鋼結構的变

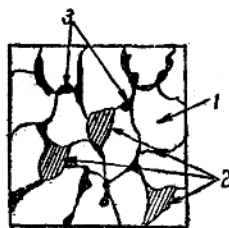


圖 3 石墨化后的鋼結構
1—純鉄体；2—珠光体；
3—石墨。

化情况，并在發現蠕動變形后檢查鋼的永久變形。

在高溫下工作的鋼結構起變化時，在石墨化之前可能產生珠光體的球狀化現象。

使 15M 和 20M 號鋼石墨化的主要原因是高溫。但受到應力的金屬，如果表面溫度經常驟然變化，也會加速石墨化現象的發生。根據以上情況，在運行階段開始之前，必須做好過熱器的調整工作，絕不能使過熱蒸汽溫度超過設計溫度，特別是管子用易于石墨化的鋼材制成的過熱器。

為了減弱石墨化的發展，必須正確地進行焊接。在焊接前，應將鋼管預先加熱；焊接后應進行熱處理——退火。安裝高壓管道時，禁止在現場進行彎管。若僅是局部加熱，焊后也應經過熱處理。當管道安裝后進行驗收時，須仔細檢查管子彎頭的表面，應無裂紋、重皮和斑點，因為在這些地方特別容易石墨化。當發現以上這些缺陷時，最好將這段管子割下，研究其顯微結構。

根據研究的結果，若往鉬鋼內滲入少量的鉻(0.4—0.6%)，就會增強對石墨化和球狀化的抵抗力。因此，最近以 12MX 號鉬鉻鋼代替 15M 和 20M 號鋼來制造鍋爐零件和高壓蒸汽管道。

第四節 熱脆性

熱脆性就是在某些合金鋼中，由於它們在 400—550°C 的溫度範圍內長時間(數百或數千小時)受熱后所發生的特種脆化現象。鋼內含有鉻、錳和鎳時，最能促使發生熱脆性的現象；含有鉬、鎢和鈮時，則可以減少鋼的熱脆性傾向。

熱脆性只有在做沖擊韌性試驗時才會顯現，它表現為沖擊韌性的大幅降低(降低 50—60%，有時甚至降低 80—

90%)，而其余的机械特性很少变化。

含有鉻 0.5—1.0% 和鎳 1—4% 的低合金鉻鉍鋼，以及鉍鋼(1—2%鉍)即是屬於易产生热脆性的鋼种。制造高压管道法蘭的联接零件时，最好不用这类鋼材。

根据运行經驗，不易發生热脆性的鋼是鉻鉍鋼、鉻鉍鉍鋼和鉻鉍鉍鋼。制造联接零件时，一般都使用鉻鉍鉍鋼。

第二章 蠕動現象

蒸汽压力升高，温度增加后，鍋爐結構金屬內的应力也相应增加。过热蒸汽温度在 500—510°C 时，过热蒸汽管的管壁温度可能超过 540—560°C。

蠕動速度就是当金屬經常处于不变的应力的情况下逐漸發生的塑性变形。在温度昇到高温时，即使金屬受到的应力，比此时的屈伏点的温度还低得多，但蠕動現象也会表現得特別剧烈。因此，在上述条件下，蠕動变形將會在元件的全部工作期間連續不断地增長。

当其他条件都相同时，蠕動的速度随应力和温度而定。在一定的应力下，蠕動速度随着温度的升高而急剧增加。例如：对于碳素鋼在 400—500°C 的工作温度範圍內时，温度只要升高 12—15°C 就可以使蠕動速度增加一倍；对于合金鋼，温度升高 20—30°C 也可以使蠕動速度增加一倍。

在温度和金屬內应力值都不变的情况下，鋼的永久变形值是随着時間而变化的，可以用曲綫表示之，如圖 4。在圖內的曲綫 2 上，鋼受到的温度和曲綫 1 相同，但受到的应力，則比曲綫 1 为高。

在高温下有荷載的鋼(受到应力的鋼)在变形初期变形形

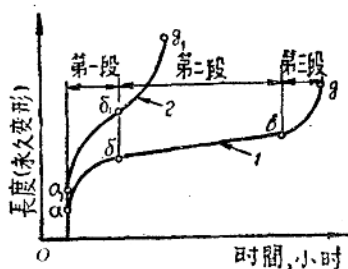


圖4 鋼在蠕動變形時，永久變形值之增長與時間的關係

形速度的 $\delta\theta$ 段。在最后的 $\theta\theta'$ 段內則表示變形速度逐漸增加，並在 θ' 點表示鋼的毀壞。達到 θ 點時，試驗樣品的斷面即開始縮小。曲線2表示(金屬有較高的荷載應力時)蠕動變形的穩定速度消失。緊隨着未穩定的變形過程，試驗樣品即產生斷面收縮現象，即是在 $\alpha_1\delta_1$ 段後，直接導致鋼的毀壞點(θ_1 點)。

金屬的內應力和溫度愈高，蠕動變形速度也就愈快。

在圖5內表示兩種低碳素鋼在相等的1%的蠕動變形速度下一年工作壽命期間的拉應力與溫度的關係。

第一種鋼的試驗樣品在溫度 250°C 和應力 $50-55$ 千克/毫米²下，工作一年後即產生1%的永久變形；但在溫度 500°C 和應力只是 $7-10$ 千克/毫米²時，在同樣

狀，可以用直線 oa (圖4)來表示。若受到荷載的時間很短，產生的變形可能是彈性的。若受到荷載的時間較長，產生的變形可能是彈性的，也可能是永久的。曲線的第二段 ab 表示變形有不同的速度，這段可稱為未穩定的變形過程。此后，在曲線1上有一段表示穩定蠕動變

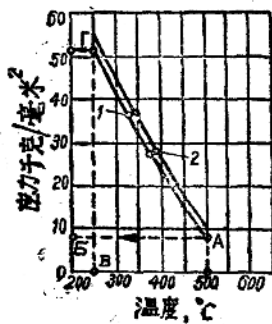


圖5 在相等的蠕動變形速度下鋼的拉應力與溫度的關係
1—含炭量0.17%的鋼；2—含炭量0.24%的鋼。

的工作期間內亦产生了同样大的永久变形。

制造在高压下工作的鍋爐零件时,使用含碳0.1—0.25%的鋼。

这种低碳素鋼的結構示于圖2內。这种鋼結構的主要組成部分为純鉄体,即純鉄(Fe),并含有極少量的溶化在鉄內的炭(不超过0.043%)。在純鉄体之間还有片狀珠光体,而珠光体是由片狀的純鉄体和炭化鉄(Fe_3C)組成。

在低温下进行一般的鋼的拉力試驗时,鋼的晶粒就变形。这說明,在这种情况下晶粒本身的强度比晶粒之間的附着力稍弱些。晶粒过度变形后即产生断接現象。由于各种鋼的性能不同,因此其变形程度也各有不同。

根据观察結果,金屬長时期在高温下工作,并受較低的应力时,亦会降低金屬的塑性,即伸長率和断面收縮率。金屬在这种情况下帶着負荷的时间愈長,其塑性降低得也愈多。在高温下受到应力时,金屬結構內晶粒之間的附着强度比晶粒本身的內聚强度要弱些。在这种情况下,即使受到很小的变形,金屬的晶粒之間亦会發生断裂。

長期在高温下工作时,低碳素鋼的塑性能比合金鋼保存得更好些。低碳素鋼的蠕動变形,要达到4—5%时才断裂。

鍋爐上經常用的特殊鋼(鉬鋼和鉻鉬鋼)長期在高温下工作时,变形达到2%就很危險了。

根据苏联的标准,在高压鍋爐上,鋼的永久变形在工作100 000小时后只允許达到1%。也就是說,按鍋爐每年运行時間約为6600小时計算,运行十五年,变形不許超过1%。

若高压蒸汽管的外徑是168毫米,則工作100 000小时后的永久变形值允許为

$$\frac{168 \times 1.0}{100} = 1.68 \text{ 毫米。}$$

每一小时的

变形值則是 $\frac{168 \times 1.0}{100 \times 100\,000} = \frac{168}{10^7}$ 毫米/小时。

以上的变形值若按每一毫米蒸汽管的直径计算时，则称为允许的蠕变变形速度：

$$C = \frac{d}{10^7 d} = \frac{1}{10^7} = 10^{-7} \text{ 毫米/毫米} \cdot \text{小时}。$$

当蠕变变形速度超过 10^{-7} 毫米/毫米·小时时，设备安全运行的时间即将缩短。

在某种工作温度下产生这个蠕变变形速度的应力即称为计算蠕变变形极限 σ_n 千克/毫米²。

现根据苏联中央锅炉汽机研究所(ЦКТИ)的资料，将苏联各种钢材在各种温度下的蠕变变形极限值列于表1。

表 1

苏联钢号	在某种工作温度°C下达到蠕变变形速度 $C=10^{-7}$ 毫米/毫米·小时时的计算蠕变变形极限 σ_n 千克/毫米 ²									
	400	425	425	475	500	510	530	540	550	560
碳素钢										
10	8.5	6.3	4.4	3.1	2.2	—	—	—	—	—
15	9.5	7.0	4.8	3.6	2.5	—	—	—	—	—
20	10.0	7.5	5.0	3.6	2.5	—	—	—	—	—
合金钢										
15M	—	—	10	8	6.1	5.5	4.1			
20M	—	—	11	8.5	6.1	5.5	4.1			
12MX	—	—	(11)	(8.5)	(6.1)	(5.5)	(4.1)	(3.5)		
15XM	—	—	12	9	6.5	5.8	4.5	4	3.5	2.7

註：12 MX鋼的數值是初步的，尚待加以更正。

根据计算的蠕变变形极限应力，以下列公式计算允许工作应力。

$$\sigma_n = \frac{\sigma_n^t}{n_n} \text{ 千克/毫米}^2,$$

式中 σ_n^t ——在工作温度下的計算蠕動變形極限应力，千克/毫米²；

n_n ——蠕動變形極限应力的安全系数。

鍋爐省煤器管、水冷壁管和过热器管的安全系数均为 $n_n = 1$ 。

第三章 高压电厂內使用的鋼材

高压电厂的主要部件可分为兩組：

1. 工作温度低于450°C的部件：鍋爐汽鼓、沸騰管和水冷壁管、联箱、省煤器管、饱和蒸汽管等；

2. 工作温度高于450°C的部件：过热器管及其联箱、过热蒸汽管道、过热蒸汽閥門、双头螺栓和螺母。

由于工作条件不同，第一組的部分部件可以用優質碳素鋼制造，但是第二組的部件只能用合金鋼制造。

第一节 联箱和蒸汽管道

鍋爐有許多联箱，例如 TИ-170-1 型鍋爐就有三十三个联箱。联箱在鍋爐上分布的位置不同，所以工作条件也各有不同，因此，使用的鋼材亦不相同。苏联制造的高压鍋爐联箱都是不和瓦斯相接触的，也就是說，联箱不是鍋爐加热面的一部分；因此，联箱内外壁的温度在鍋爐任何工作情况下都是較均匀的。联箱壁內没有什么值得考虑的温差应力，联箱本身的温度与联箱內所流过的物体温度相等。

鍋爐水冷壁管上部和下部联箱、省煤器联箱、饱和蒸汽

側的減溫器聯箱的工作溫度，在 60—130 大氣壓的鍋爐上是 275—330°C，過熱器低溫段聯箱的工作溫度則不超過 450°C。在 1952 年以前，蘇聯製造上述聯箱是用 12MX 和 15XM 號鉻鉬合金鋼。從 1953 年開始，上述聯箱都改用 20 號碳素鋼（按 МПТУ 2580-50）來製造了。

過熱蒸汽聯箱的工作溫度都在 450—550°C 範圍以內，因此，在蘇聯過去和現在都是用 15XM 號鉻鉬合金鋼來製造。

管壁溫度等於或高於 450°C 的高壓蒸汽管道，應用厚壁的合金鋼和碳素鋼無縫管。這些管道的外徑和壁厚是按照表 2 所列的尺寸來製造。

管材不應有肉眼能發現的收縮孔、氣孔、裂紋、片狀物、夾渣和分層等缺陷的痕跡。管道的內外表面上不允許有疤痕、裂紋、重皮和深的刻痕。

收縮孔、空洞、細小的縱向刻痕（其深度不超過壁厚的

表 2

	外 徑(毫米)	壁 厚(毫米)
軋制的	114—121	至20
	127—133	至25
	140—159	至30
	168—180	至35
	194	至40
	219	至45
	245、273、 299 和 325 }	至55
鍛制的、拉制的和穿制的	245、273、299、 325、351、377 和 426	至60

10%，也不超过 2 毫米），以及其他因制造方法所引起的輕微缺陷、只要其数量不致使管壁厚度超过容許偏差，都是允許的。

管壁温度不超过 450°C 时，可用 20 号碳素鋼管。管壁温度不超过 485°C 时，可用 15M 和 20M 号鉬鋼管。管壁温度不超过 530°C 时，可用 12MX 号鉬鉻鋼管。管壁温度不超过 550°C 时，可用 15XM 号鉻鉬鋼管。鋼管的机械性能应符合于表 3 內的要求，其化学成份应符合表 4 的要求。

高压鋼管鋼材的机械性能表

表 3

鋼的标号	受拉时的 極限强度	受拉屈 伏 点	伸 長 率		受拉时截面 面积收縮	冲击韧性	布氏硬度
	σ_B	σ_T	δ_{10} 縱向試样	δ_5 橫向試样	ψ	a_K	H6
	千克/毫 米 ²	千克/毫 米 ²	%	%	%	千克·米/ 厘米 ²	千克/毫 米 ²
不小于下列数值							
20	40	22	20	22	50	5	4.8
15M	58	24	19	20	50	7	4.9
20M	45	27	18	19	45	7	4.7
15XM	45	28	18	19	45	6	4.7
12MX	42	26	18	19	45	7	4.8

第二节 水 冷 壁 管

由于压力升高，就增加了管子爆破的可能性，相应地也增加了金屬的应力，因此就有必要加厚管壁。当管壁厚时，受瓦斯幅射热的厚管壁內会增高管壁內外的温差，因此，在

管壁金屬內会产生額外的温差应力。在管壁內的內压应力 σ_p 和温差应力 σ_t 之綜合应力会增高。对在高压状态下工作的每种管徑都有一种最合适的管壁厚度，其綜合应力值应为最低值。

在高压鍋爐上广泛地使用直徑 76/64, 60/50, 57/47 毫米的鍋爐管，管壁厚度为 5—6 毫米。

按照苏联鍋爐监察局的規定，工作压力低于 60 大气压的鍋爐蒸發受热面应用 10 号和 20 号优質碳素無縫鋼管組成。对于工作压力高于 60 大气压的鍋爐蒸發受热面可用耐热鋼管或优質碳素鋼管組成，如果鋼管的管壁工作温度低于 500°C ，就可以不用高压耐热鋼管，而用 20 号优質碳素鋼管(按 МПТУ 2579-50)来組成。

第三节 过 热 器 管

在工作压力高于 80 大气压的鍋爐上，过热蒸汽的温度达到 $500-510^{\circ}\text{C}$ ，在这种情况下，过热器蒸汽出口部分的鋼管温度可能达到 $(500-510) + (15-25) = 515-535^{\circ}\text{C}$ 。

应根据鋼管的工作温度和內压所产生的应力来选择制造过热器管的鋼材。

苏联鍋爐制造厂使用 15XM 号的耐热鉻鉬鋼来制造管壁温度达到 560°C 的过热器管(按 МПТУ 2579-50)。管壁温度在 530°C 以下时，可用 15M 和 20M 号鉬鋼和 12MX 号鉻鉻鋼来制造过热器管。若是管壁温度在 500°C 以下时，就可用 20 号优質碳素鋼制造高压鍋爐的过热器管。

第四节 省 煤 器 管

苏联在高压鍋爐上广泛地采用沸腾式省煤器。安置在高

温瓦斯道內的省煤器出口管，在工作中有較高的温度。在正常的工作情况下，管內沒有水垢，管壁被給水很好地加以冷却时，管壁的平均温度与給水温度的温差可能达到 $10-15^{\circ}\text{C}$ 。

苏联广泛地采用20号优質碳素鋼制造高压鍋爐的省煤器管。

第五节 法蘭的联接

高压管道上所用的法蘭在运行上比中压管道复杂，在制造費用上也昂貴得多，因此，为了少用法蘭，高压管道尽可能都以焊接方法接合。当高压管道与每台机組（鍋爐、汽輪机、高压加热器）联接，以及管道上要安置节流板或个别帶法蘭的閥門时，才采用法蘭的联接方法。苏联生产的各种直徑的高压閥一般都是用焊接法联接。

高压管道上的法蘭应与該管道的鋼材相同，并焊在管道上。

法蘭之間所用的垫襯最好是齿形垫。制造齿形垫的鋼材的硬度应低于法蘭接合面的硬度。

100大气压、 510°C 的过热蒸汽管道，应用ЭЯ1Т号鋼(ГОСТ 5632-51)制造齿形垫。

过热蒸汽温度在 475°C 时，使用15XM号

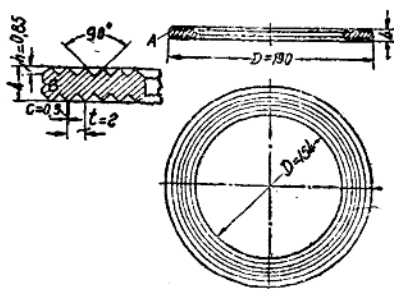


圖 6 $d_y=150$ 毫米标准直徑的齿形垫
A—打鋼印之处；B—ЭЯ1Т号鋼墊外緣
上有寬深各为0.5毫米的楔形溝。

鉻鉬鋼。在使用前，鉻鉬鋼墊应在 950°C 下进行鋼的正常化处理，并在 $650-700^{\circ}\text{C}$ 下进行回火处理。

鋼材經過正常化后，能使鋼結構的晶粒縮小，并能提高鋼材的机械性能。鋼材回火后，能增加塑性和降低硬度。

过热蒸汽温度在 $425-475^{\circ}\text{C}$ 时，可使用 15M 和 20M 号鋼制造齿形墊。

高压給水管道和饱和蒸汽管道的齿形墊可用硬度 $H_B \leq 90$ 的軟鋼(另称阿姆克鉄，即是一种工業純鉄，含杂质总量

鋼的标号	碳 C	錳 Mn	硅 Si	鉻 Cr	鎳 Ni
10	0.05—0.15	0.35—0.60	0.17—0.37	≤ 0.15	≤ 0.3
20	0.15—0.25	0.35—0.65	0.17—0.37	≤ 0.3	≤ 0.3
35	0.50—0.40	0.5—0.8	0.17—0.37	≤ 0.3	≤ 0.3
40	0.35—0.45	0.5—0.8	0.17—0.37	≤ 0.3	≤ 0.3
15M	0.12—0.20	0.4—0.7	0.15—0.30	≤ 0.3	≤ 0.3
20M	0.15—0.25	0.4—0.7	0.15—0.30	≤ 0.3	≤ 0.3
35X	0.30—0.40	0.5—0.8	0.17—0.37	0.8—1.1	≤ 0.3
40X	0.35—0.45	0.5—0.8	0.17—0.37	0.8—1.1	≤ 0.3
12MX	0.05—0.15	0.4—0.7	0.15—0.30	0.4—0.6	≤ 0.3
15XM	0.10—0.20	0.4—0.7	0.17—0.37	0.8—1.1	≤ 0.3
30XMA	0.25—0.35	0.4—0.7	0.17—0.37	0.8—1.1	≤ 0.3
35XMЮА	0.30—0.38	0.3—0.6	0.17—0.37	1.35—1.65	≤ 0.5
38XMЮА	0.35—0.45	0.3—0.6	0.17—0.37	1.35—1.65	≤ 0.5
ЭЯ1Г (1X18H9T)	≤ 0.12	0.2—0.7	0.3—0.8	17—20	8—11
ЭИ-10 (25X2МФ)	0.22—0.30	0.4—0.7	0.17—0.37	1.6—1.8	≤ 0.3
ЭИ211 (X20H14C2)	< 0.20	0.7—1.2	2—3	19—22	13—15
ЭИ257 (1X14H14B2M)	≤ 0.15	0.5—0.7	0.3—0.8	13—15	13—15