

图中 ABCD 线为液相线，AHJECF 为固相线。液相线以上全部为液体，固相线以下的全部为固体，二线之间则既有液体又有固体。

固相线的水平段 ECF 为共晶线，其对应的温度称为共晶温度，为 1130℃。C 点为共晶点，在该点碳的浓度为 4.3%。随着温度降低，开始由液体中同时结晶出奥氏体 (austenite) 和渗碳体，这种两相混合物称为莱氏体 (ledeburite)。

由图可看出，含碳量高于 2.11% 的铁碳合金，当温度高于共晶线时，有部分液体存在。实用上碳素钢的含碳量低于 1.25%。碳素钢在温度高于 1130℃ 时，处在单相的奥氏体区。奥氏体有良好的塑性，所以能够进行锻造加工。含碳量在 2.11% 以上的物质被称为铸铁 (cast iron)。实用中铸铁的含碳量在 2.8%~4.5% 之间。铸铁在温度高于 1130℃ 时就部分或全部成为液体，低于 1130℃ 时就有大量渗碳体存在，因此不能进行锻造加工，仅用于铸造。PSK 水平线称为共析线，其温度是 723℃，S 点称为共析点。此点的碳含量为 0.8%。所谓共析就是由一个固溶体内，同时析出两相晶体的转变。在铁碳合金相图上，共析就是从奥氏体中同时析出铁素体 (ferrite) 和渗碳体，这种两相混合物也被称为珠光体 (pearlite)。

碳素钢的重要特点是通过热处理改变合金的性能。碳素钢的热处理方法主要包括：

(一) 退火 (annealing)

退火处理的目的是使钢的化学成分均匀化，消除或减少因锻制及焊接加工产生的内应力，改善加工性能。一般的处理程序是将钢加热到全部转变为奥氏体的温度后，经过充分保温，再使其缓慢冷却到室温。

(二) 正火 (normalizing)

正火处理的目的是细化晶粒，提高强度和硬度，改善韧性和切削性能。基本处理方法是把钢加热转变成奥氏体后，保温一定时间，然后在静止的空气或保护气氛中冷却，使钢的组织转变成珠光体。

(三) 淬火 (quenching)

淬火处理的目的是提高钢的硬度和强度。基本处理方法是把钢加热到适当温度，保温一段时间以获得相应的高温相，然后快速冷却，最终得到非平衡状态的不稳定组织，使钢得到强化。

(四) 回火 (tempering)

回火处理的目的是通过松弛淬火应力和使组织向稳定状态过渡，改善材料延展性和韧性，使钢获得一定的机械性能和稳定的几何尺寸。基本的处理方法按照回火温度分为 4 种：低温 (150~200℃) 回火、中温 (400~500℃) 回火、高温 (500~600℃) 回火、高温 (A_1 点以下 20~40℃) 软化回火。

碳素钢在口腔科有较多应用，例如钳子、剪刀、雕刻刀等技工用的工具，都是经过热处理提高强度和硬度的钢制品。这类工具的刃口如遇火焰加热，会使组织发生变化，硬度降低，刃口功能下降。

二、不锈钢 (stainless steel)

在外界介质的作用下，金属表面逐渐受到破坏的现象称为腐蚀 (corrosion)。腐蚀分为化学腐蚀 (chemical corrosion) 和电化学腐蚀 (electrochemical corrosion) 两种形式，合金材料在口腔中发生的主要是电化学腐蚀。电化学腐蚀是金属与电解质溶液 (酸、碱、盐) 接触时发生作用而引起的腐蚀，腐蚀过程中有电流产生，即有微电池作用。唾液是电解质溶液，在唾液中不同的合金或合金中不同的相之间，如果存在电极电位差，则电极电位低的合

金或合金中的相将被腐蚀。

在碳素钢中加入铬、镍金属元素，可使钢的耐腐蚀性能得到明显改善。一般将在大气中能够抵抗腐蚀的钢称为普通不锈钢；在各种腐蚀性介质（酸、碱、盐）中能抵抗腐蚀的钢称为耐酸不锈钢。但常把这两种不锈钢统称为不锈钢。不锈钢按照金属组织结构可以分为铁素体不锈钢和奥氏体不锈钢。

（一）铁素体不锈钢（ferritic stainless steel）

铬含量为 12%~30%，金属组织为铁素体相（体心立方晶格）的铁基合金被称为铁素体不锈钢。铁素体不锈钢一般不含镍或含少量镍，抗应力腐蚀性能好，但抗冲击韧性差，抗点蚀性差，对晶间腐蚀敏感。经淬火热处理铁素体不锈钢的布氏硬度（brinell hardness, HB）可达 600MPa，且耐腐蚀性不改变。但加工性能较差，在口腔环境中的耐腐蚀性差，因此在口腔材料中除用于制作金属冠外，一般不使用此类不锈钢。

（二）奥氏体不锈钢（austenitic stainless steel）

在常温下金属组织为奥氏体相（面心立方晶格）的铁基合金被称为奥氏体不锈钢。含铬 18%和镍 8%的不锈钢是最典型的奥氏体不锈钢，通常被称为 18-8 不锈钢。奥氏体不锈钢在较宽的温度范围内都具有很高的强韧性，并富于延展性，易于采用锻制加工，但不能通过热处理提高硬度。这类不锈钢的耐蚀性和耐酸性都优于铁素体不锈钢。奥氏体不锈钢的主要化学成分见表 9-1。

表 9-1 典型奥氏体不锈钢的化学成分

牌 号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	其 他
1Cr18Ni9	≤0.15	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	8.00~10.00	17.00~19.00	—	—
0Cr18Ni16Mo5	≤0.040	≤1.00	≤2.50	≤0.035	≤0.030	15.00~17.00	16.00~19.00	4.00~6.00	—
1Cr18Ni9Ti	≤0.12	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	8.00~11.00	17.00~19.00	—	Ti=5(C%-0.02) ~0.80%
0Cr18Ni10Ti	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	9.00~12.00	17.00~19.00	—	Ti≥5×C%

不锈钢中各合金元素的主要作用是，使组织均匀；提高电极电位；在钢的表面形成钝化膜，提高耐腐蚀性。

铬（chromium）是决定耐蚀性的主要元素。它能使合金表面生成一层铬的氧化层，防止金属继续被破坏；能提高合金组织的电极电位，一般不锈钢中的含铬量均在 13%以上。

镍（nickel）的作用之一是形成并稳定奥氏体组织。镍与铬配合使用，可使钢具有更好的耐腐蚀性。

碳（carbon）的主要作用是提高钢的强度和硬度，但碳易与不锈钢中的铬形成碳化物，使铁碳固溶体中的铬减少。固溶体中的含铬量越低，钢的电极电位就越低，钢的耐腐蚀性也越低。因此，对要求高硬度、高耐磨的不锈钢应提高含铬量。

钼（molybdenum）能增加不锈钢的耐腐蚀性，提高铬镍不锈钢的抗晶间腐蚀的能力。

铜（copper）可以显著提高奥氏体不锈钢在硫酸中的耐腐蚀性。

锰（manganese）和氮（azote）都是促进奥氏体形成的元素，因此可以替代镍。但锰本身并不防腐蚀。

硅（silicon）在冶炼中起脱氧作用，也可提高钢的耐腐蚀性。

在口腔科使用的锻制合金材料中，主要采用奥氏体不锈钢，用于制作活动义齿支架、基托、无缝冠、成型片、正畸钢丝、托槽、颊面管等。

三、镍铬合金 (Ni-Cr alloy)

镍铬合金板（也称白合金片）具有良好的塑性，因此具有理想的加工性能。主要用于有缝焊接冠或无缝冠。镍铬合金丝有较好的弹性，易于进行钎焊，所以也用于卡环、正畸丝等。

（一）成分

镍铬合金板中含有镍 83%~90%、铬 5%~8%、铜 1%~6%、铁 0.4%~0.5%；用于卡环和正畸制品的镍铬合金中含有镍 77%~80%、铬 11%~14%、铁 2%~8%，另外也添加了铜、钼、钒（vanadium）等元素。

（二）性能

为了防止氧化和碳元素的侵入，一般是用真空溶解法制作镍铬合金板。镍铬合金板的拉伸强度可达 392~441MPa，延伸率可达 30%~45%，属于比较软的合金，但与金合金、金银钯合金相比，虽然耐磨性较好，成型性仍略显不足。用于卡环及正畸丝的镍铬合金在通过冷加工提高材料的机械性能的同时，也常通过添加钼、钒元素来防止钎焊时的软化作用。镍铬合金丝的耐热性略高于不锈钢丝，但略低于钴铬合金丝。

表 9-2 镍铬合金的机械性能

加工状态	拉伸强度	弹性模量 (GPa)	延伸率 (%)	硬度 (Hb)
退火	610	213	25~35	142~157
变形加工	1132	—	0~1	201~225
强变形加工	1373	—	0	—

（三）合金的焊接

在进行正畸用镍铬合金丝的焊接时一般采用钎焊（soldering）。为了使焊接时输入的热量对合金丝的弹性影响最小，应尽量采用熔点低、流动性好的银合金焊料和低熔焊剂。

镍铬合金卡环的钎焊多采用流动性好的金合金焊或银合金焊，并采用含有氟化物，可以去除氧化铬钝化层的焊剂。焊接中应尽量减少输入热量对卡环弹性的影响。

四、镍钛合金 (Ni-Ti alloy)

镍钛合金是一种具有特殊变形特性的合金，是镍、钛以等摩尔比（molar ratio）构成的金属间化合物。镍钛合金的化学成分见表 9-3。

表 9-3 医用镍钛合金的化学成分

元 素	Ni	C	H	O	Fe	杂质总量	Ti
(wt%)	54.5~56.3	≤0.050	≤0.003	≤0.050	≤0.400	≤0.050	余量

通过不同的热处理方法，合金依据特有的热弹性型马氏体相变，可以表现出形状记忆（shape memory）效应和超弹性（superelasticity）特性。除此之外，镍钛合金还有良好的耐磨性能和耐腐蚀性能、良好的生物相容性以及减震阻尼特性。在口腔医学领域镍钛合金多用于正畸丝及根管锉等。

（一）形状记忆效应

镍钛合金的形状记忆效应是指在较低的温度环境中，使合金的形状产生塑性变形，当合

金处于较高温度环境时，其变形可以恢复到原始状态。这一变化过程的机制是：在合金的Mf点（马氏体转变结束点）以下，合金处于马氏体状态时，应力产生的塑性变形是伴随马氏体的晶间界面和孪晶界面的移动产生的，应力除去后，马氏体不发生变化，变形保持不改变。当温度升高到Af点（奥氏体转变结束点）以上，马氏体发生逆变，马氏体结晶返回到母相（奥氏体）的晶格排列方位，变形消失，形状恢复到原始状态。

（二）超弹性特性

镍钛合金的超弹性是指在合金发生变形时，其应变远高于胡克定律所对应的值。超弹性特性产生的机制是：合金的非线性弹性变形发生于Af点以上（奥氏体）的环境中。在Af点以上的母相中，外部施加的应力可以诱发马氏体相变，同时产生马氏体的孪晶变形，应力除去后，在温度不变的情况下，马氏体发生逆变，结晶形态返回到母相（奥氏体）的晶格排列方位，变形消失，形状恢复到原始状态。

第二节 常用金属制品 (Metal products)

口腔科使用的金属制品种类繁多，除外科植入物金属制品外，主要应用在正畸治疗和修复治疗过程中。

一、修复用金属制品 (prosthodontia metal products)

（一）根管钉（桩）(root canal anchor)

根管钉是为了在牙齿残根的基础上进行牙冠修复而采用的一种修复装置。根管钉一般采用不锈钢、纯钛或其他金属合金制作，其外形与牙齿根管的形状相似。有的根管钉表面带有螺纹，可以用自攻方式固定在根管内；也有的根管钉为光滑或有槽的表面，可以用粘接的方法固定。根管钉与牙冠修复体连接的一端，为了获得可靠的结合，也被做成便于固位的结构。也有的根管钉的上端被做成便于拆卸的固位结构，如球形结构。根管钉被做成各种不同直径和长度尺寸的规格，供临床选用。

（二）磁性固位体 (magnetism fixity)

磁性固位体是一种利用铁磁性材料的磁力提高义齿固位力的修复装置，由磁铁和衔铁两部分组成。一般是将磁铁安装在义齿的组织面，将与磁铁配套的衔铁固定在基牙的相应位置。义齿就位后依靠磁铁对衔铁的吸引力，使义齿的固位力得到增强。磁铁采用永磁合金材料制作，较多采用的有Al-Ni-Co、Pt-Co、Nd-Fe-B合金等。磁铁与衔铁之间的吸引力可达约7N。

（三）附着体 (attachment)

修复治疗中使用的附着体是一类利用精密机械加工的特殊几何结构和紧密配合效果，实现修复体与基牙可靠联结的固位机构。图9-2为一种典型附着体相互配合的两部分。A具有突起圆柱结构，使用时被固定在基牙上；B的内部有一圆孔与A的圆柱配合，并被利用铸造、焊接或包埋等方式安装在义齿一侧。

附着体的两部分依靠凹凸部位装配结合后，为了防止其松动，可以采用多种形式将二者锁固，实现义齿的稳定、可靠固位。常用的固位形式有：摩擦固位、可调节摩擦固位、卡式固位、螺钉固位和栓锁固位等。附着体的主体结构一般是用金属制作的，但为了使紧密配合的部位便于拆卸，有些附着体在这些部位也采用有一定弹性的塑料。

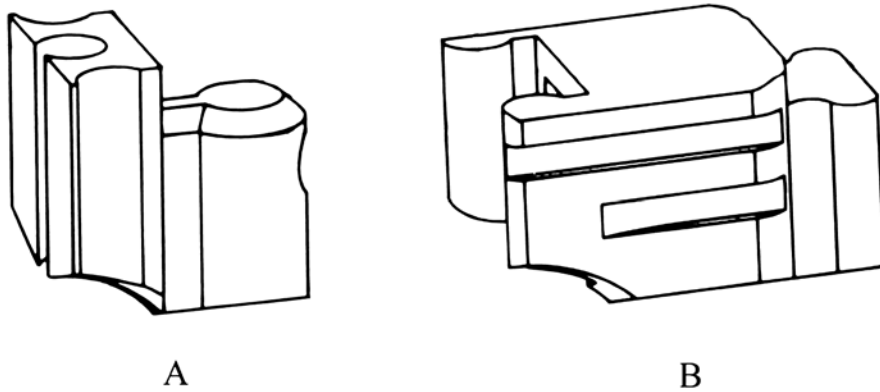


图 9-2 牙科修复附着体

二、正畸用金属制品 (orthodontic metal products)

正畸科使用的金属制品主要包括：带环、颊面管、托槽及正畸丝等。带环、颊面管、托槽采用的原材料一般为 1Cr18Ni9 (18-8 不锈钢) 奥氏体不锈钢。用于制作正畸丝金属材料包括不锈钢、镍钛合金等

(一) 带环 (band)

带环是用不锈钢薄钢带制作的无缝环圈 (如图 9-3 所示)。带环的作用是固定在磨牙上为正畸治疗建立施加正畸力的支点。临床治疗时要求带环与牙齿密贴粘着，稳定固位，并不妨碍咬合，对牙龈无刺激。带环的壁厚一般为 0.12~0.18mm；直径系列按照磨牙的大小设计，一般有 30~32 个尺寸供选择；环圈的高度一般在 4~5mm 范围内变化，颊舌侧高于近远中侧。

临床使用带环时，要在带环的颊侧或舌侧焊接颊面管等正畸附件，所以要求带环材料具有良好的焊接性能。



图 9-3 正畸带环

(二) 颊面管 (buccal tube)

颊面管一般是焊接在带环的颊侧，用于固定正畸丝的矫治器附件。根据正畸治疗的需要，颊面管被设计成各种形状 (如图 9-4 所示)，分别或同时固定圆丝、方丝及其他弹性牵引线等。颊面管的底座用于与带环连接，孔径与被固定的正畸丝有较好的配合，外形圆滑，无尖角、锋棱，避免产生对患者口腔黏膜的刺激和伤害。

(三) 托槽 (bracket)

托槽是正畸矫治器的重要组成部分，一般是用粘接剂直接粘在牙齿的表面，用于固定正畸丝，使正畸丝产生的弹性回复力或扭矩可以通过托槽传递给牙齿，达到正畸矫治的目的。依据不同的矫治方法和治疗理论，托槽的外形有多种设计，一般的托槽外形如图 9-5 所示。托槽的中部有容纳正畸弓丝的水平槽沟 (slot)，槽沟的宽度按照正畸弓丝的尺寸分为两类：0.46mm (0.018 英寸) 槽沟和 0.56mm (0.022 英寸) 槽沟。托槽的两端有用于固定正畸弓丝的结扎丝沟。为了增强托槽与牙齿表面的粘接效果，有的金属托槽的底板表面焊有一层或多层金属网，有的底板表面加工出细槽。根据不同矫治方法的需要，有的托槽被制成带有轴倾角和转矩角的形状。



图 9-4 正畸颊面管

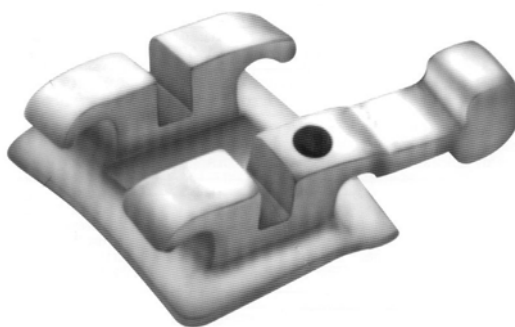


图 9-5 正畸托槽

(四) 正畸丝 (orthodontic wire)

正畸丝是对所有用于正畸治疗的合金丝的总称。正畸丝按照材料可分为：不锈钢丝、镍钛合金丝和钛丝等种类。按照功能可以分为：矫正弓丝和结扎丝。按照截面形状可以分为：圆形弓丝和方形弓丝。按照正畸丝的特性还可以分为：热激活镍钛丝和超弹性镍钛丝。

在正畸临床应用中，正畸丝的直径尺寸系列习惯上以英寸为单位，常用的正畸丝截面尺寸见表 9-4。

表 9-4 正畸丝截面尺寸对照表

圆形弓丝	英制 (inch)	0.014	0.016	0.018	0.020
	公制 (mm)	0.36	0.41	0.46	0.51
方形弓丝	英制 (inch)	0.018×0.025	0.019×0.025	0.021×0.025	
	公制 (mm)	0.46×0.64	0.48×0.64	0.53×0.64	

(郑刚)

思考题

1. 改变碳素钢的性能主要有哪些方法？
2. 请比较几种主要热处理方法的内容和特点。