

162.11.查

008474

炼钢文集

电爐鋼的研究

朱 覺 譯

1

煉鋼文集

第一輯

電爐鋼的研究

朱覺 譯

冶金工業出版社

出版者的話

为了更及时地把国外特别是苏联有关鋼鐵冶炼方面的新技术以及先进經驗介紹給我国冶金工作者，今后我們准备根据需要按专业分別將有关杂志(或書籍)中較好的文章組織翻譯，以“文集”形式陸續出版。这一工作對我們是一个嚐試，在这方面尚缺乏經驗，缺点一定不少，为了搞好这一工作，我們希望讀者多提意見并給我們以大力的支持。

本文集是根据美国电爐鋼會議 (Electric furnace steel proceedings, 1951, 1952) 的有关論文譯成的。主要內容包括关于稀土金屬对鋼性能的影响，及有关冶炼方面的問題的研究。

本文集对我国电爐炼鋼工作者及金屬研究人員不无参考价值，对鑄造工作者也有帮助。

目 录

稀土金屬对不銹鋼热加工性能的影响.....	4
稀土元素对鑄鋼性能的影响.....	27
冶金操作及其效果的評論.....	61
低炭鉻不銹鋼中鉻原料的代替品.....	88
美国矿冶学会“氧”討論会評述.....	96
共和鋼鐵公司中央合金区鋼液测温进展評述.....	105

稀土金屬对不銹鋼热加工性能的影响

C.B.波士特, D.G.史翟士特爾和H.O.伯勿爾

存在于几种不銹鋼生产上的普遍問題之一就是要經常得到加工性良好的鋼錠。任何一种不銹鋼的热加工性能,在很大程度上决定它是否能加工成鋼条、鋼板、鋼帶、薄鋼板及其它軋軋品。

各家生产不銹鋼軋軋品的工厂在研究不銹鋼的热加工性能方面做了很多工作,但是发表的資料很少。这是因为用實驗室方法来研究这个問題是很困难的。对这个問題有影响的因素如冶炼方法,鋼錠尺寸,加工温度等本身是很复杂的,不能由它們得到恰当的技术資料。

卡彭特鋼厂对能影响不銹鋼热加工性能之因素已进行了几年的研究,其主要目的是一方面要改进那些具有一定加工性之不銹鋼的热加工性能,另一方面要使那些以前認為不能热加工之不銹鋼具有热加工性。这个报告主要是关于稀土元素对奥氏体不銹鋼热加工性能之影响。

研究結果发现,稀土元素在促进及改进Ni—Cr奥氏体不銹鋼及高合金不銹鋼热加工性上是有效的合金元素。

在某些种类原来認為不能热加工的不銹鋼中,当要把它变成軋軋成品时,稀土元素的作用可能特別显著。而对另外一些种类的不銹鋼來說,稀土元素的作用就是改进其热加工性能,如較高的鋼坯回收率,較少的鋼坯准备工作及較好的热轧帶的表面。稀土合金元素在这些高合金不銹鋼上所起之作用別处已有叙述。在这里“稀土元素”主要是指鈾和釷及那些常常存在于鈾釷合金中之其它金属。

影响热加工性能之因素

为了把以后那些資料放在一个有系統的基础上,必須先来討

論那些已知能影响热加工的因素，从而可以使一种合金原来具有之延性与属于机械性的或物理性的因素分开。这些已知能影响热加工性因素之中有：刚度性 (Stiffness)，鋼錠結構，加工时之加热状况，热脆。

刚 硬 性

不銹鋼，作为一类鋼來說含合金元素量高。奥氏体不銹鋼比铁素体不銹鋼含合金元素量較高。作为一个类來說，不銹鋼在軋制和鍛造时比一般低合金或碳钢为刚硬。这首先是由于含有較高量的合金元素。这些合金元素，甚至在比較高的温度下也会使鋼不容易发生变形。从最容易加工的 SAE 1010 鋼或純鉄开始，其次刚度性較大的鋼就是汽車制造用的合金結構鋼，再次就是铁素体不銹鋼 (如 AISI 403, 410, 416 和 430)，然后就是 18—8 奥氏体不銹鋼如 302 和 304。刚度性比上述奥氏体不銹鋼更大的就是含鉬的 18—8 不銹鋼 (如 316 和 317)；高鉻高鎳合金如 310；然后，刚度性又更大的为各种特殊合金，如鎳—鉻—鉄合金，茵可 (Inconel)，80% Ni—20% Cr 的合金及现在噴气机上用的所謂超級合金 (Superalloys)。

在本文討論中，假設合金具有延展性，則热加工性与刚度性无关。刚度性需要較大功率之軋鋼机或鍛鎚，因而合金加工更困难。假如对一具有延展性之合金能加以足够之功率，則这种合金如低合金鋼一样易于发生塑性变形。

鋼 錠 組 織

有几种高合金鋼的柱狀晶組織特別显著 (图 1)。图 1 說明了二种不同情况。一种是鋼錠中心为細小等軸結晶，另一种为粗大柱狀晶。铁素体类特別是 430 或那些在鋼的凝固点与室温之間的温度范围内沒有晶形变化的鋼，有发生柱狀晶組織的傾向。有几种奥氏体不銹鋼也能发生柱狀晶組織，特別是当注鑄温度較高时。对奥氏体不銹鋼的鋼錠組織已注意了好几年了，直到现在如果合金

本身有延展性的話，還沒有发现那一种柱狀晶組織肯定地使鋼在軋制或鍛造时发生問題。但是以后要加討論的試驗，要尽量談一談它的影响，以便使这个因素所引起的混淆达到最小程度。

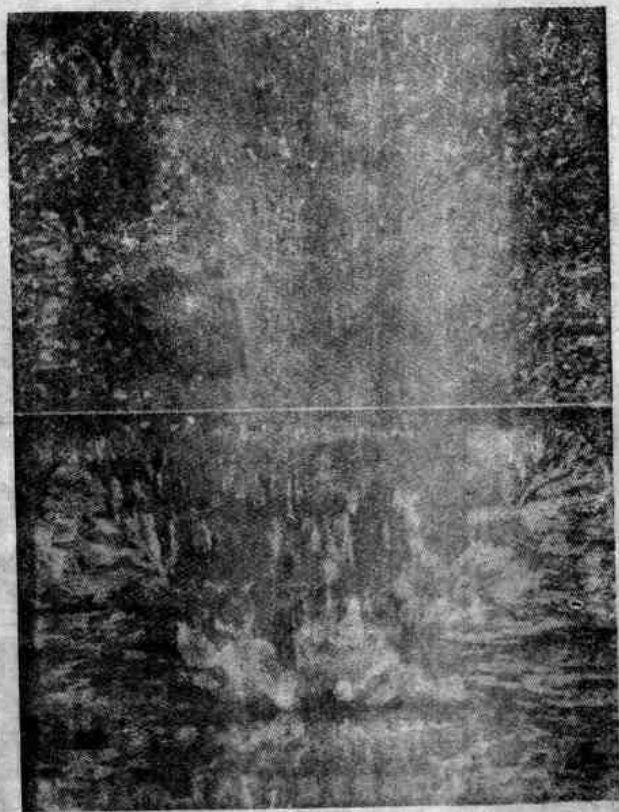


图 1 不銹鋼的鋼錠組織，代表等軸細晶組織和显著柱狀晶組織

軋制或鍛造时之加热狀況

不銹鋼在軋制或鍛造前的加热温度一般要高于低合金鋼，同时温度的控制也要求較严格。还有，对大多数种类的不銹鋼來說，在破坏鋼錠組織时允許的热加工温度范围一般要小于 150°F 。这种温度范围一般为 $2000-2300^{\circ}\text{F}$ 。它代表这种合金的塑性变成足够到正规軋制或鍛造时所需程度的最低温度，而温度

上限范围决定于对晶界的影响。为使晶界发生熔化或破坏，对任何研究不銹鋼热加工的人来说，不銹鋼的正确加热温度及加热制度不能忽视。也发生过不少这种情况，即对奥氏体不銹鋼的加热温度和鍛造操作范围规定的过狭以致不能进行生产，因为这种鋼原来就有热脆性。同一种合金如本来就具有較大延伸性，就能受得住加工車間加热温度和加工制度上的較大变化。从这个观点来说，大家公認加工車間不正确的加热方法会毁坏或使一炉良好的不銹鋼成为废品。但是这也是事实，如果一炉鋼原来就沒有延性，無論你在加热时或在加热操作上如何小心也不能使它具有輻性。

热脆性

热脆性的重要性超过上述其它因素。热脆性(或无延性)可能由于几个原因，在冶炼时使不銹鋼发生热脆性的第一个因素就是鋼中夹杂有鉛、錫和銀这些元素。除注意挑选废鋼外，目前还没有什么办法来克服由于这些元素的混入而引起的热脆性。另外一个重要原因就是炉前的冶炼操作规程，例如在冶炼 316 牌号不銹鋼时，可以在炉料中加入大量氯化鋇和氧化鋇。如果炉料中炭量不足以还原 NiO 和 MoO 时，这一炉鋼在熔清时沸騰会特殊厉害，結果在精炼期将会难以处理。这样的鋼在軋制或鍛造时会有明显热脆倾向。如果炉料中有足够还原氢的炭量，这炉鋼在熔清时情况会正常(冒气不厉害)，結果炼出的鋼将具有延性。为什么会发生这种情况，有人認為在氧化期由于炭量不足以把所有氢去掉时，鋼水便从炉膛中吸收氧化期炉缸所吸收的氧。氧化期炉膛所吸收的氧在还原期仍然有，因此炼鋼者要使鋼水及炉膛还原。另外还有一个使不銹鋼特别是含鐳鎢鉬不銹鋼或其他合金发生热脆的重要因素就是合金中化学成分的正确平衡。化学成分首先影响在軋鋼温度时高温鉄素体和奥氏体的量。組織完全为奥氏体的合金与完全为鉄素体的合金比較起来，在比較高的温度下，前者的輻性、和鍛造性均較好。有人認為，当有些鉄素体与奥氏体同时存在时，鉄素体成为奥氏体晶粒間的薄弱区域。当合金加热

到对奥氏体来说为正好温度时，铁素体在这个温度就会破裂。铁素体量够多时，在轧制或锻造时合金就会裂开。对铁素体合金来说，少量的奥氏体会发生相反的作用，也就是说，在一般用于铁素体的轧制温度下，奥氏体比铁素体更为坚韧。如果奥氏体过多，则这种合金在比较低的温度下，将会过于坚韧，因而会引起应力或应变破裂，特别是在钢带或钢片的边缘上。图2所示就是碳和铬对含镍9.50~10.50%的308牌号不锈钢钢坯的回收率之影响。在308牌号的钢中碳量低会使回收率降低，除非碳低所引起之影响被在镍量不变的条件下铬降低的影响所抵消。已有足够材料证明，碳量较低会使在轧制温度下产生铁素体与奥氏体混合物。所以，如果生成奥氏体元素(如碳)的量减少，这一减少必须用减少铁素体生成元素之一(如铬)的量来加以平衡。图3所示就

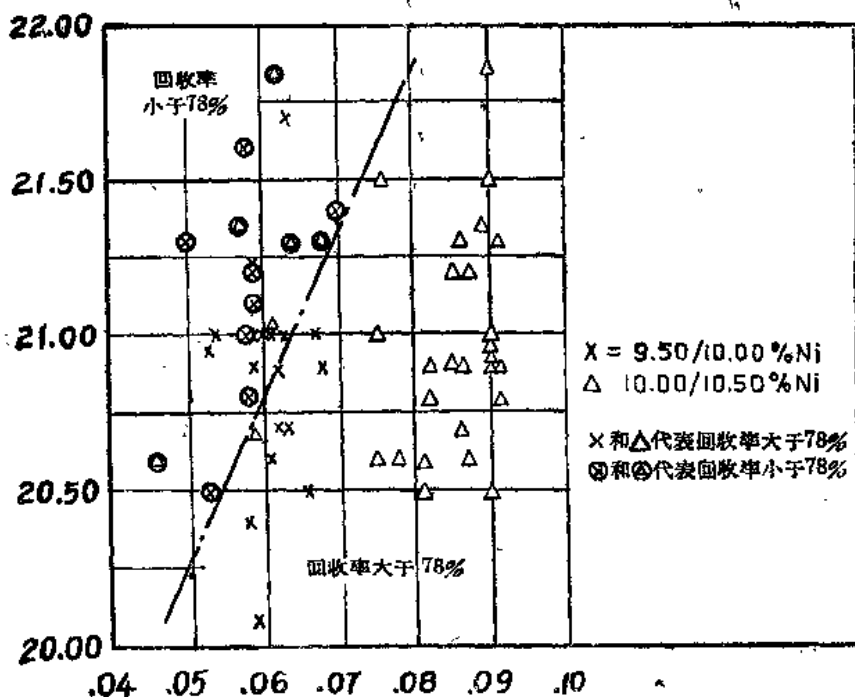


图2 碳—铬量对修整好的304类型钢的轧制钢坯回收率之影响

是奥氏体基体中含30%铁素体的316牌号钢在热轧成带以后的外表情况。这两个试样的碳、铬和镍的含量大约相同。主要区别就是正规的316(如左边试样),含大约12%镍,而右边试样316X含大约9.50%镍。奥氏体内出现了相当多的铁素体是由于减少了奥氏体生成元素(如镍)的量。

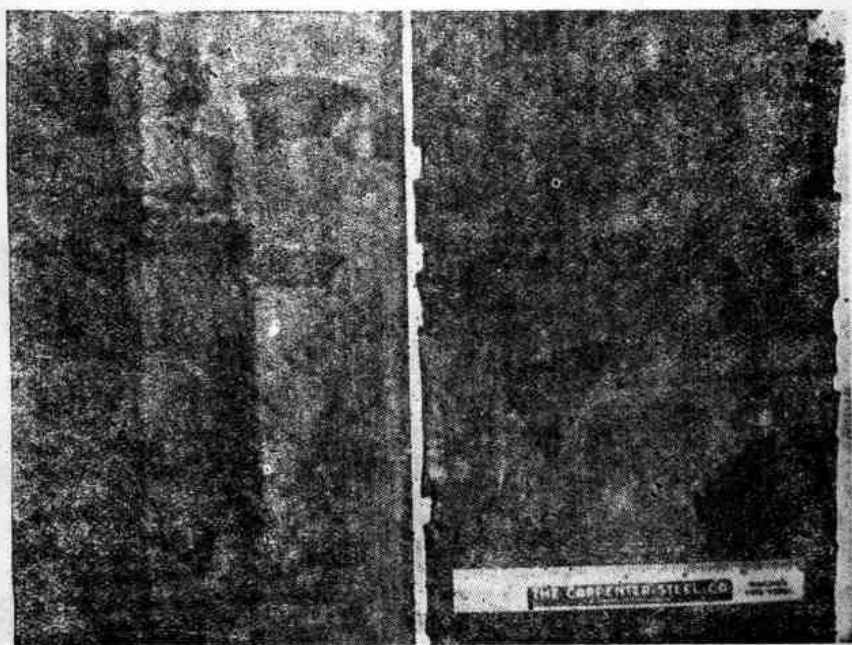


图3 自由 δ -铁素体对316型和316X型钢的轧制性之影响。热轧成 $7\frac{3}{4} \times 0.148$ 吋的带子；右边316X，在奥氏体基体上有30%自由 δ -铁素体

鍛造性的估計

为了除去上述影响热加工性的因素之影响，以便对热加工性问题进行深入研究，必须设计出对每一炉钢进行试验的试验方法。这一方法要与确定在轧制或鍛造时加热情况和加热温度无关，因为这些试验操作是根据这些钢种在开始投入生产时所进行的详细研究与普通经验而建立的。同样，这个试样也不应与坚韧

性問題有過多關係，因為堅韌性決定於合金元素的含量，可以細致地利用試驗方法來處理，例如含高鉻的Ni—Cr不銹鋼。含10或20%鉻的不銹鋼比一般的18—8或316牌號的鋼更為堅韌。軋鋼車間所需之合適的鋼錠尺寸可用過去經驗來確定。這個試驗應能明確地把決定於化學成分的热脆性與由鋼錠組織所引起之热脆性分開。可利用急冷組織來做這一個試驗，這樣關於鋼錠組織問題可以與合金原有的热加工性分開。如果急冷試驗證明出合金具有延展性，而鋼錠沒有，則應研究鋼錠的組織以確定發生此一差別之原因。

在這次要談到之本研究中，採用了錐形試驗(如图4所示)。每一爐不銹鋼鑄一或一以上之錐體試樣。如果對於所要試驗的鋼了解得不多，如把錐體試樣加熱到不同溫度進行鍛造，則錐體試樣的試驗可以找出正確的軋鋼溫度和鍛造溫度。鍛造操作步驟如下：

當錐體加熱到正確溫度以後，把錐體放到鍛錘底模上(本試驗用 $1\frac{1}{2}$ 噸鍛錘)，把錐體用錘輕击一下，使其座穩，然後用錘

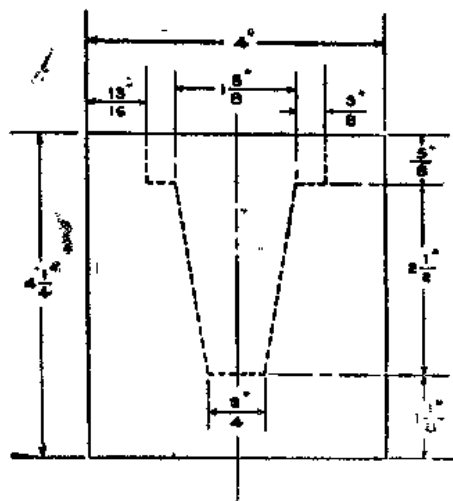


图4 錐體試樣試驗時所用之礎模及錐體試樣之尺寸(在虛綫內)

重击一下，使其錐形部分压扁如图5所示。检查錐体之周边可以使我们对合金的热加工性进行估计。

对铁素体不锈钢来说，在少数情况下，錐体试验证明合金有延性，但是钢锭却几乎完全无延性。研究这一现象的时候发现钢锭有显著之柱状晶组织，在轧钢温度时晶粒粗大。在高铬钢中（含25~30%铬），这些粗大晶粒能使钢甚至在轧钢温度时变成具有非常大之缺口脆性，因而钢锭表面疤可以使钢坯上发生裂缝。这种钢在用钻形孔型压轧时强度很小，因为这些粗大晶粒使钢在孔型之角上发生破裂。

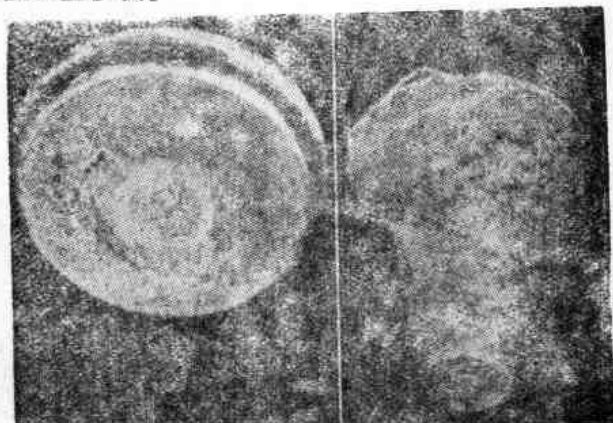


图5 锻造前和锻造后的錐形试样

对于奥氏体不锈钢来说，如果錐体试验时钢的延性很好，则在轧制或锻造时，延性也好。在本研究中，如錐体试验证明奥氏体下锈钢具有延性，钢锭也就具有延性，这可能是因为奥氏体不锈钢的结晶温度范围比铁素体合金为小，因而钢锭凝结得快；而在铁素体合金中，钢锭结晶与铁及钢的相似，所有钢锭组织上的缺点都可以出现。

从錐体试验与钢锭热加工性间之关系来看，结果似乎表示奥氏体不锈钢的钢锭结晶组织与其热加工性能无何影响。假如有任何影响的话，这种影响也只是次要的，在大多数炼钢车间所遇到之热加工性比根据钢锭组织来解释的严重得多。在以后要谈的本

研究中只用了奧氏体牌号的合金。对这些合金来说，锥体試驗能由化学成分，混入元素的夹杂，冶炼方法及任何元素（如稀土元素）所引起之热加工性加以測量。对奧氏体不銹鋼来说，結果是很清楚的，能在其它車間得到重复結果。

稀土金属对热轧及鍛造性之影响

对稀土金属之影响所做之第一个試驗是研究稀土合金 (Mischmetal) 加入含氮銻銻奧氏体不銹鋼对其鍛造性之影响。进行試驗的最早鋼种之一是具有下列成分之奧氏体气閥鋼：規格成分：0.20% C；21.00% Cr；11.0% Ni；3.00% W，0.20% N。对这种鋼的經驗指出，不加氮时，鋼进行鍛造或压軋时无大困难，可以加工成汽車气閥。加入氮气可以使鋼的赤硬度增加，但引起制造上的問題，主要是与在鍛造或压軋时之热脆性有关之問題。它的热脆性是用锥形試样进行研究的，同时无法用冶炼方法来謀求改进，使这一成分的鋼在工业生产时具有热加工性。加入稀土金属对这一成分的鋼在热延性上得到了令人惊讶的結果。图6所示为 $3\frac{1}{2}$ 平方吋鋼坯之情况。这种鋼是用 Ajax 公司制造的高頻感应炉炼出的，其中有几根鋼錠未加稀土金属，然后剩下的鋼錠加入了每吨2磅的稀土金属。图7所示为一炉鋼中这两种不同成分（指稀土而言——譯者）之热鍛锥形試样之情况。把两种锥体試样之情况加以比較时，說明有延性及无延性之锥体試样的样子是与鍛造或軋制鋼坯之样子相对应的。由鋼錠制成准备軋制之鋼坯的回收率对一家鋼厂的操作来说是一个重要經濟指标。对21~12WN的气閥鋼来说，加入了稀土金属的鋼比未加稀土金属的鋼的准备軋制的鋼坯回收率大了15%。

另外一种最早进行試驗的鋼的牌号为下列成分之耐酸不銹鋼：0.1% C (最大)；2.00% Mn；1.00% Si；19.50% Cr；23.00% Ni；3.50% 鉛；1.5% Cu。这种鋼是特別用来抵抗硫酸的銻銻銅鋼之普通鋼种。这种牌号的鋼作为鑄件来说已經有好些年了，

但是要把这种鋼种热加工成鍛或軋件的企图沒有得到成功，这可以从市面上沒有这种鋼的加工成品得到証明。在 ajax 感应炉中对这种成分的鋼加入每吨鋼 6 磅的稀土合金，使原来不能加工的

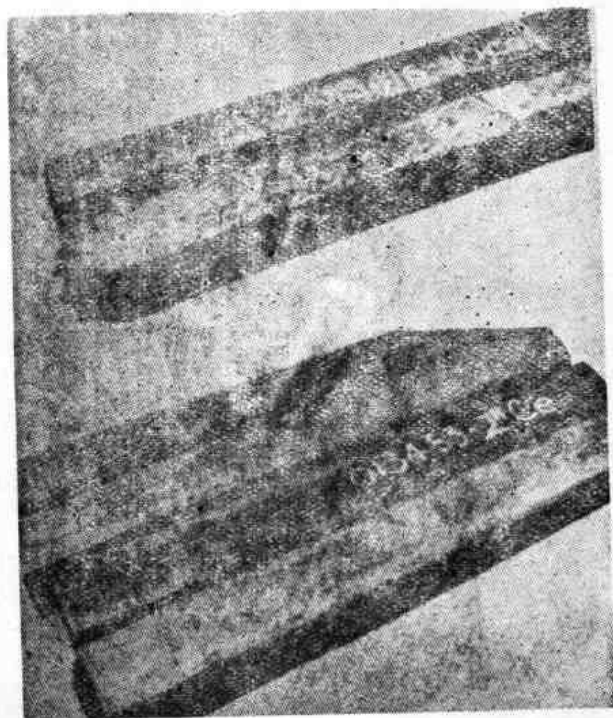


图 6 鍛造后的21~12WN鋼之样子。上面二根鋼坯沒有加稀土金属；下面四根鋼坯加入了每吨二磅的稀土金属



图 7 21~12WN鋼的鍛造錐形試样 左边的錐未加稀土金属；右边的加入了每吨二磅稀土金属

情况变成可以在工业生产上加工成锻件，棍件，热轧及冷轧带，板及薄片。没有加稀土金属的合金，就在生产上做成加工成品这一点来说，完全不能做成为商品，而含铈的合金则变成具有延性，可以在工业生产车间加工。对这一种耐酸钢来说，由钢锭到钢坯(修整好了的)之回收率增加了大约30%。这就是说，其差别之大为一个不能加工而另一个能够在正规加工车间进行商业性生产之间的差别。

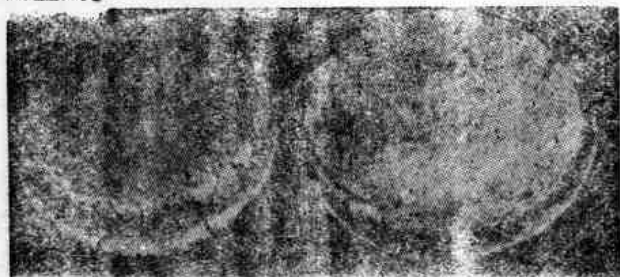


图 8 耐硫酸钢的锻造过的锥形试样 左边试样未加稀土，右边的加入了每吨12磅稀土金属，钢中含0.12—0.18铈和镧



图 9 从与图8，锥形试样同一炉钢中的 95% 时钢锭锻成之 $4\frac{3}{4}$ 平方吋的钢坯的样子。好钢坯与好锥样相对应

后来研究了稀土金属对含较高合金元素之耐硫酸钢之影响。

鋼的成分为：最大含炭量0.08%；1.00%Mn；1.00%Si；20.00%Cr；28.00%鎳；2.50%鉬；3.50%銅。这种鋼当加入12磅/吨的稀土金属后，含有0.10% 鈾和0.08% 鐳，变成完全可以热加工的金属，可以軋成条、带；而鋼板錠可以軋成鋼板。图8所示为鍛鍛后之錐体試样。图9所示含有及未含鈾和鐳之鋼坯情况。显然，含有鈾和鐳之合金完全可以生产成为商品，而未含者則完全无延性。

錐体試样之試驗使得对奥氏体鋼在关于热延性或热加工性問題上能够进行大量試驗，因为錐体試样之热加工性能与鋼錠之热加工性能間有密切之关系。这就使得可以利用錐形試样研究不同的冶炼方法和不同的化学成分以便得到最合适之化学成分，同时可以在加入稀土金属时研究要得到延性最好之合金內所含最适当之鈾和鐳含量。例如每一定化学成分須进行試驗来确定鋼中应加入之正确鈾及鐳含量。这一点对18—8型如304，316或317牌号的低合金鋼來說并不如此明显，但是对含合金量高的鋼，特别是含鎳量高的合金來說明显的。这一点可以用下面几段所叙述的試驗来加以說明。

表1所列为說明鎳量对要得到最好之热加工性能所需之鈾及鐳的最初含量范围。这些成分的合金在60磅高頻电炉內熔化，采用新料，以除去废鋼中帶入混入元素所引起之任何問題。每一炉鋼根据过去冶炼类似鋼种时所得經驗用矽鈣合金脫氧，浇鑄了一系列的錐形試样。第一套試样中不含鈾和鐳；第二套每吨加入了二磅稀土金属后鑄成；第三套在加入了另一批稀土金属后鑄成，使加入总量相当于，列如，4磅/吨，等等。这些錐体試样放在鍛造砧上輕錘一下后用光学高温計測出最恰当鍛造温度，一般在2050°到2150°范围内鍛造。图10,11,12,13和14說明含有不同成分鈾和鐳的錐体試样之照片。图15是代表鎳量对为了要使热加工性得到一定程度的改进时所需鈾和鐳的临界范围量間之数量关系图綫。

对任何一定的鎳量來說，要得到最好的热加工性能，而需加入

之鈾鑄临界含量范围可以比图15的图綫范围小些。例如, 图16所示为含0.10% C(最大), 30% Ni, 20% Cr和4% 钼及加入不同含量的稀土金属的錐形試样鍛造后之情况。鈾鑄的临界范围量为0.06~0.49%, 相当于錐体試样C, D, E和F。当把钼量加到12%时, 要得到最好之热加工性能时所需鈾鑄的临界范围量較小, 如图17所示。当鋼的成分为0.10% C(最大), 30% Ni, 20% Cr, 12% Mo时鈾+鑄之临界范围量为0.13—0.32, 相当于錐体試样 D 和 E。



图 10 与表 1 中合金A相应的鍛造后之錐形試样

所研究几爐說明鑄, 鈾+鑄量間之临界关系的鋼的成分

表 1

合 金	A	B	C	D	E
主 要 成 分					
C	0.048	0.056	0.059	0.050	0.062
Mn	1.14	1.09	0.97	0.91	0.89
Si	0.96	0.95	0.96	0.81	0.79
P	0.004	0.013	0.004	0.006	0.012
S	0.010	0.013	0.007	0.008	0.016
Cr	10.04	10.12	19.43	9.90	10.35
Ni	67.58	59.13	49.64	30.28	9.96
Mo	19.20	16.01	4.20	8.04	7.74