

H
408-13

R
123

大型铸锻件文集

第十三集

第一机械工业部情报所编

一九七五年

毛主席语录

学习有两种态度。一种是教条主义，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一下，学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我们有益的经验。我们需要的是这样一种态度。

目 录

一、钢液的真空脱氮法----- 1

郑州机械研究所锻热室供稿

二、国外大型汽轮机和发电机转子锻件制造工艺的综合概况----- 77

第一重机厂供稿

三、第七届国际锻造师会议技术文献----- 131

1、高强度优质性低压力轮机转子锻件----- 131

冶金部钢铁研究院供稿

2、1% Cr—Mo—V 钢重型汽轮机转子的生产和性能----- 143

冶金部钢铁研究院供稿

钢液的真空脱气法

一、前言

金属在大气中熔炼，或多或少要受到氧、氢、氮等气体的污染，使材质性能下降。为了防止这种污染，从而制造含气量很少的金属材料，早就采用了真空熔炼法。这种方法对于消除上述弊病是行之有效的。目前它已成为制造化学活性金属材料所不可缺少的手段。而对于性能要求很高的轴承钢、不锈钢、耐热钢等来说真空熔炼法也已成为近几十年间开创了一条新道路。

真空感应法熔炼的容量已逐步大型化，目前投入生产的炉型已达30吨⁽¹⁾。采用真空自耗电炉已能生产数十吨重的钢锭⁽²⁾⁽³⁾。今后虽然还会进一步大型化，但是毕竟还有一定的限度。就经济效益而言很多钢种的大量生产也难以采用这种方法。

近来随着机械设备的大型化高性能化，对发电机及汽轮机转子、曲轴等重量要求愈加严格，尽管能以几十吨甚至上百吨重钢锭来锻造，但是对于锻件的各个部位的强度和金相组织等要求很严格，因而用一般的冶炼、铸造法很难以满足。采用真空熔炼法生产那样多量的钢液亦不可能。为此如以在大气中熔炼的钢液浇注钢锭时，施以真空处理，同时伴以精炼，这就是本文所要叙述的真空脱气法。

众所周知，真空脱气技术是在1952年由西德Bockumer Verein公司首先用于工业生产的。最初进行真空处理的主要目的是为了尽量减少钢液中的氢，以防止在锻造用大型钢锭中产生“白点”缺陷。当然这种尝试非常成功，通过真空处理可以使钢液中的氢很容易地减少到1~2 PPM，基本上消除

了发生“白点”的危险性。其结果大大缩短了锻造用大型钢锭的扩散热处理工序，由此而节省的费用要多于真空处理的操作费用。并且应用真空处理技术使得大型锻造钢锭的质量得到了保证，因而已经广泛的用于大型锻钢件的制造上。

另一方面，减少轧制用钢锭的非金属夹杂物是一个比氢还要重要的问题。为此把钢液在终炼之前（如终脱氧之前）进行真空处理，使氧以CO形式随同钢液中的氢一起除去的方法。1956年在Dortmund-Hörder公司⁽⁵⁾，1958年在Ruhrstahl 及 Heraeus 公司⁽⁶⁾进行了工业性生产，接着更新式的出钢脱气法在Bochumer Verein 公司得到应用⁽⁷⁾，目前真空脱气法作为一种制造优质纯净钢材的方法不仅用于大型铸锻钢件，而且也广泛用于轧制钢材。

二、钢液的真空脱气方法

钢液的真空脱气法有各种各样的形式，若依操作分类，可归纳如下几类：

1. 出钢过程中真空脱气的方法：

出钢脱气法 (Tap degassing)

双重脱气法 (Double degassing)

2. 钢包内真空脱气的方法：

钢包脱气法 (Ladle degassing)

搅拌钢包脱气法 (Ladle degassing by stirring)

磁力搅拌法 (Stokes 法)

气体搅拌法 (Finkl 法)

流钢钢包脱气法 (Stream degassing in ladle)

真空抽吸脱气法 (DH 法)

循环脱气法 (RH 法)

3. 在铸模内浇注时真空脱气的方法

真空铸锭法 (Vacuum Casting Stream degassing in mould)

Gero 法 (Simple Vacuum Casting)

U.S. Steel 法 (Vacuum Casting by turn table)

台车真空铸锭法 (Vacuum Casting by car)

4. 铸模内真空脱气的方法:

铸模脱气法 (Mould degassing)

此外, 为了进一步提高真空脱气效果, 也有将其组合的方法。

2. 1 出钢过程中真空脱气的方法

2. 1. 1 出钢脱气法:

这种方法简述如下: 如图 1 所示, 把安装有塞杆的中间小容器或者中间包安放在密封浇注包的上部, 待钢包内排气后, 从倾动式炼钢炉中把钢液流到中间小容器内, 开启塞杆, 钢液一边呈散流进行液滴脱气一边流进密封浇注包内, 此法称为出钢脱气法。(7-8) 这种方法可以在炼钢炉的附近当出钢时对钢液直接进行脱气处理, 而附加工序仅仅是出钢前把中间包安放在浇注用真空钢包的上部并拧紧密封法兰以及出钢、浇注终

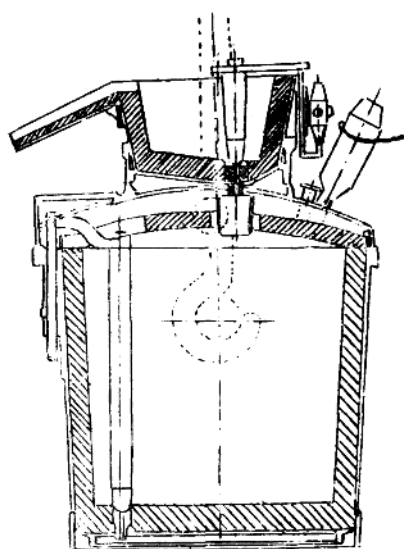


图1： 出钢脱气用的真空钢包

了后把中间包卸下来，所以从出钢到浇注的时间和大气注钢相比差不多。

一般如处理 50~60 吨的钢液时，中间包的容量，以 6~9 吨为宜，中间包尽可能大些，这样容易操作。

从炼钢炉流出的钢流易于变化不稳定，如适当地选择中间包的钢口大小，适量的调整塞杆控制钢口开度，可以很容易地调节钢流的分散情况及流出状态。

这种方法比其它方法具有如下优点：

- (1) 钢液的温度少，几乎不必特意提高出钢温度；
- (2) 真空处理时间非常短，所以不必延长铸锭时间；
- (3) 真空处理过程中间或者以后可以加入合金元素，以及细化晶粒元素或终脱氧剂；
- (4) 所适用的范围非常广泛；

(5) 用一台天车就可以操作。

不过，如果没有其他真空处理设备时采用这种方法。钢液在真空处理后还要在大气下浇注，为了不可能防止钢液的再氧化，希望在惰性气体中进行浇注。

2.1.2 双重脱气法

(Double degassing)

经过出钢脱气的钢液不跟大气接触，而是在真空中注入锭模，以期达到充分的脱气效果。制造洁净的大型钢锭，正如图2所示，把出钢脱气法和以后还要谈到的真空铸锭法组合起来，这就是双重脱气法。

这种方法连续不断地进行两次真空处理，钢液脱气效果当然大，钢液在真空中注入锭模时，系统内还保持真空，所以冒口部分的脱气效果也大。在第二次真空处理时，由于钢液已经充分脱气，所以钢液注入锭模内的分散较小，而且锭模内钢液的沸腾现象也较轻，所以

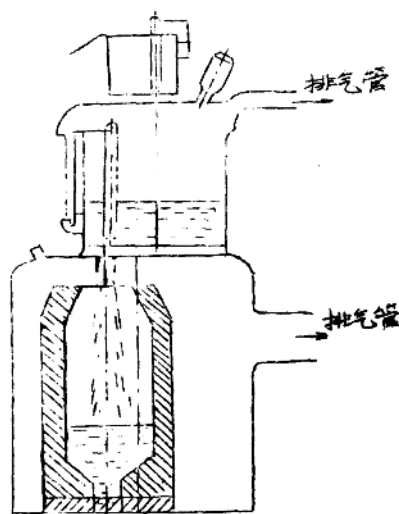


图2：双重脱气法

很适合大型钢锭的浇注。如果真空室内设置旋转工作台或者台车，还可以安放数根小型钢锭模以便浇注中型或小型钢锭。这种方法与前述的真空铸锭法不同，双重脱气法制造的钢锭，其表面状态非常良好。

2.2 钢包内真空脱气的方法:

2.2.1 钢包脱气法:

(Ladle degassing)

这种方法如图3所示,出钢后把钢包放在真空室内,加盖并密封后排气以进行钢液脱气。

这种方法是在西德出现。Bochumer Verein公司首先用于生产的。最初用于大型铸锻件钢液的脱氢处理,取得了良好效果。但是近来真空脱气的目的不但是除氢,而且还想要减少氧和夹杂物以便制造净钢材。同时也由于这种方法还有不少缺点,所以目前已被淘汰。

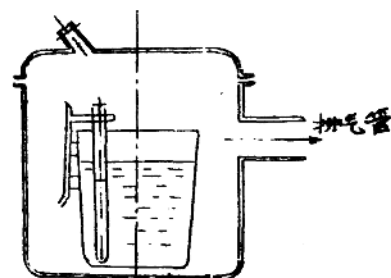


图3: 钢包脱气法

不过苏联 Enakiev 及第聂伯河特殊钢厂从1952年后起至今用这种方法大规模进行工业级钢的生产(10~12),图4为苏联果二厂采用的钢包脱气装置。图5是把钢包本身作为真空容器处理钢液的装置。

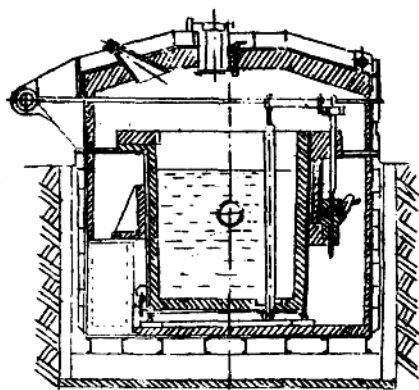


图4. 第聂伯河特殊钢厂的钢包脱气设备。

钢包脱气法有如下缺点: 由于移动钢包和真空处理操作相当需要时间, 所以钢液的温度降较大。图6的曲线c就是90吨钢包采用这种

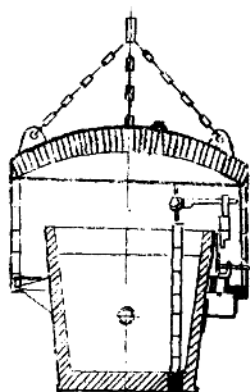


图5: Enakiev 工厂的钢包脱气设备

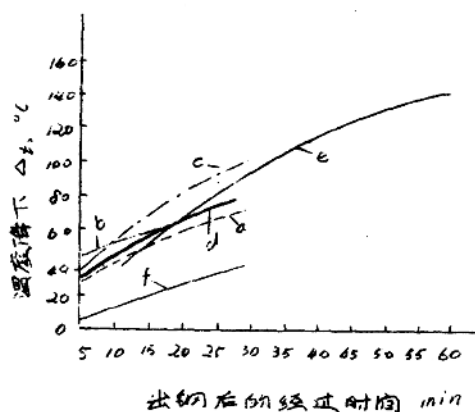


图 6

钢液的温降和时间的关系

脱气法处理时钢液的温降变化，从出钢到脱气终了需要 50—60 分钟，钢液的温降达到 $130-150^{\circ}\text{C}$ 。而通常的大气铸锭方法从出

- a. 出钢后，80 吨钢包。
- b. 出钢后，65 吨钢包。
- c. DH 法（容器不加热）80 吨钢包。
- d. DH 法（加热容器）80 吨钢包。
- e. 钢包脱气法，90 吨钢包。
- f. FH 法，100 吨钢包。

钢到浇注并不那么长时间，最多十多分钟。曲线 a 代表 80 吨钢包内钢液的温降变化，曲线 b 代表 65 吨钢包内钢液的温降变化。总之采用钢包脱气法处理 90—100 吨钢液时，一般自出钢到从真空室内取出脱过气的钢液为止至少要 50 分钟，温降达 $120-140^{\circ}\text{C}$ 。所以出钢温度比通常的大气铸锭至少要高 $50-60^{\circ}\text{C}$ 以上。正因为如此，所以钢包的吊运、真空处理、脱气后向钢液面投入保护渣层等操作必须要按计划实施，尽可能避免浪费时间。

采用钢包脱气法需要尽量减少出钢时随同钢液进入钢包内

的渣、因为渣量多不但妨碍脱气，而且渣中的 FeO 因被还原而降低，往往引起回磷现象。另外由于在真空中沸腾现象相当激烈，为使钢液不致溢出，需要减少钢液的高度，或者尽量加高钢包的高度，这一点应特别注意。钢液的沸腾现象也取决于钢液的氧化状态，在钢包底部由于静压力很大，所以主要在上层部分沸腾，因而不容易得到均匀的脱气效果。为了解决这一问题，采用了如下方法：把惰性气体吹入钢液借以促进沸腾现象，同时边机械搅拌钢液边进行脱气或者边磁力搅拌钢液边进行脱气。

2.2.2 搅拌钢包脱气法 (Ladle degassing by stirring)

图7是用惰性气体搅拌钢包强化脱气的装置之一 (13-14)，在钢包基杆或者耐火材料耳壁上钻小气孔，吹入氩气或氮气边搅拌钢液边进行脱气。处理 35 吨钢液时，大约以 2 Kg/cm^2 的压力吹入 400—500 升氩气，钢液的搅拌效果很充分。这种搅拌不仅适用于真空处理，而且在添加合金元素时也很有作用。

图8是磁力搅拌钢

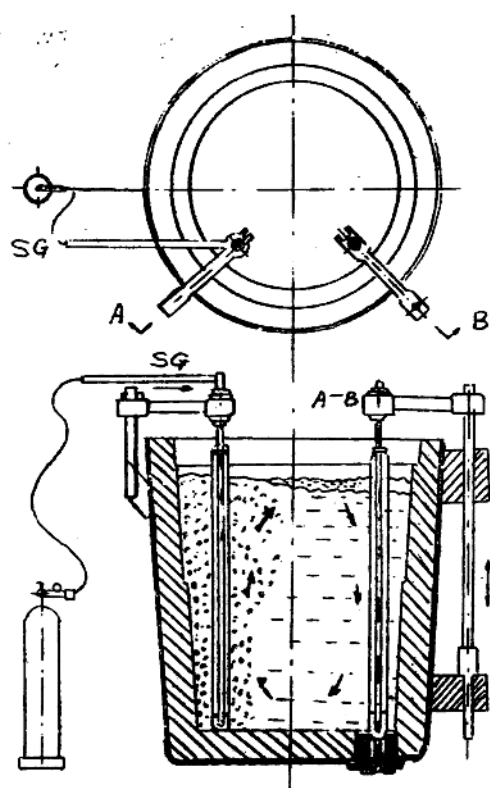


图7：气体搅拌钢包脱气装置。

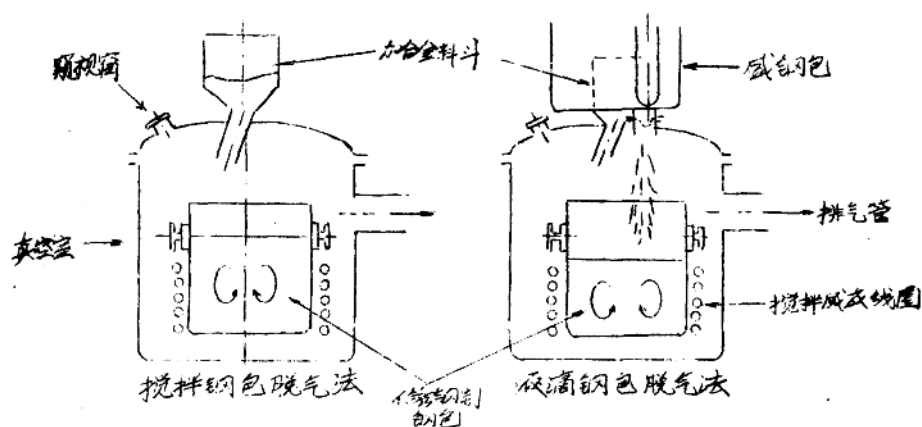


图8 磁力搅拌钢包脱气装置

色强化脱气的装置(15)，钢包外壳用无磁性不锈钢作成，出钢后把钢包放在真空室内的线圈磁场中，边搅拌钢液边真空脱气，搅拌速度非常容易调节，由于搅拌作用很大，在脱气结束后，可以加入比较大量的合金元素。Republic Steel 公司把合金料斗设在真空室的盖上并使钢包轨道移动，因而盖的开闭很快，也有把盛钢包置于盖上，使钢液经过流嘴脱气后转移到真空室内的无磁性钢包中，接着再进行磁力搅拌和真空处理的方法。

正如 2.2.1 节所述，钢包脱气法效率大，脱气效果小，但是设备比较简单，若能再配备高效率的排气系统及上述的搅拌装置，那么操作时间就可大大缩短。另外这种方法还可以充分进行非镇静钢的真空碳脱氧，而且脱气后还可以在真空中边搅拌边加入合金元素，因而这种方法反倒比其它方法更优越些。所以对于浇注大型铸锻钢件非常有利，由于这也能浇注多根的中、小型钢锭，所以很方便。

2.2.3 流滴钢包脱气法

(Stream degassing in Ladle)

这种方法如图9所示⁽⁴⁾，在真空室内预先放入另一钢包A，待室内排气后，把钢包B放在真空室的盖板上，打开塞杆，使钢液边进行流滴脱气边注入室内的钢包中，这种方法又称为连续吸气法 (Reladling degassing) 由于可以把钢包预先放在真空室内预抽真空，所以并不需要多么强力的排气系统，而且在预抽真空期间钢包耐火材料中的水分也被有效的除去。

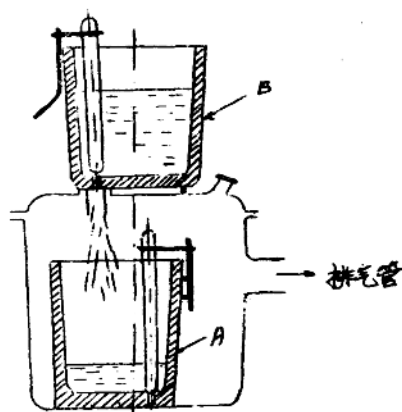


图9: 流滴钢包脱气法

钢液熔化铝封板而进入真空室内，此时钢液分散成很细的流滴，由于总的表面积变得非常大，所以脱气效果很好。钢液进入真空室的速度甚至可达到约10吨/分，即使在这么大的速度下金属液滴的表面积还非常大，而且当钢液转移到真空室内的钢包中之后钢液仍然可以继续真空处理，因而在真空条件下保持的时间比较长，所以氢很容易降到近于平衡状态。

这种方法脱气效果很大，而且钢液的运动也很强烈，只要利用适当的添加装置或者预先放在真空室内就可以向脱过气的钢液中添加合金元素或细化晶粒元素、脱氧剂等，得到非金属夹杂物少的均匀钢液。把经过流滴脱气的钢液转移到真空室内，通过磁力搅拌更进一步强化真空处理，则效果将会更好。图

10 为 F. J. Stokes 公司采用的方法。同样的方法在 Republic Steel 公司也被采用了。

这种方法需要两个钢包，而且还要使用中间包，所以操作费用稍高。通量大则是本方法的致命缺点。为了解决这个问题，Bockumer Verein 公司考虑采用如图 11 所示的电弧加热装置来保持钢液的温度，不过在工业上技术困难很大，目前仍未实用。

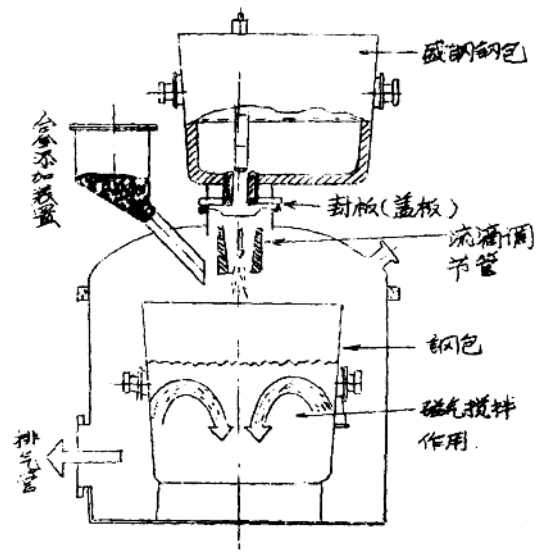


图 10: F. J. Stokes 公司
流滴钢包脱气法

2-2.4 真空抽吸脱气法 (DH 法)

(Vacuum lifter degassing 简称 DH 法)

这种方法是由 Dortmund-Hörder Hüttenunion 公司在 1955 年发表 (5) 并于 1957 年用于工业生产。如图 12 所示在

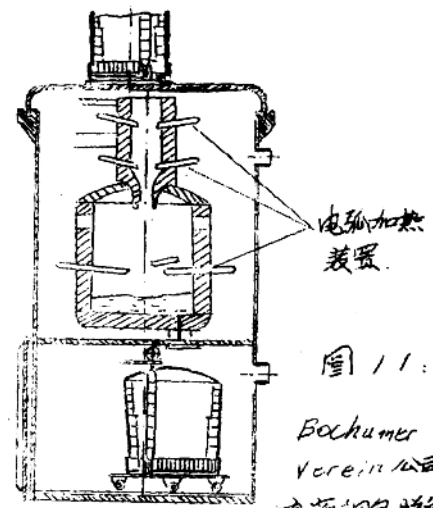


图 11:
Bockumer Verein 公司
流滴钢包脱气法

钢包的上部安放带吸受而底部面积大的真空容器，该容器进行排气使钢液被抽吸到相当于大气压力的高度（约1400毫米）而进行脱气，然后提高真空容器，钢液就重新回到钢包内，这样的操作周期往返多次从而进行钢液的脱气。采用这样的装置通常经过25~30次的上下运动后，大约三倍于钢包内钢液体积的钢水被抽吸到真空容器内进行真空处理，每一回的抽吸量大约相当于钢包内钢液的 $1/10$ 。如使用小型钢包或者真空容器容积大时，则钢液的抽吸比更大。

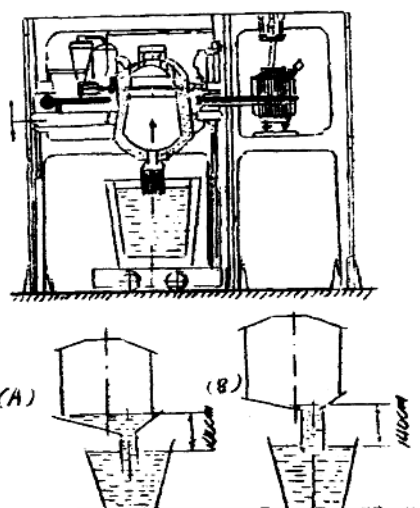


图12: Dortmund公司
DH脱气装置

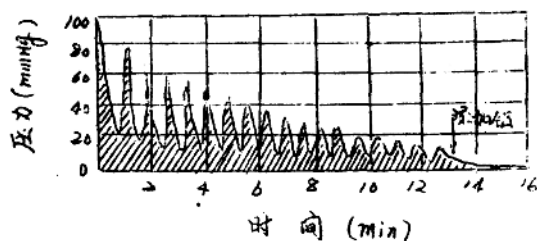
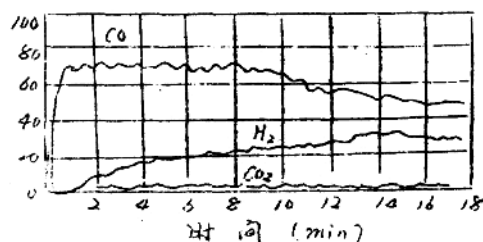


图13. DH法脱
气过程压力及废
气成分的变化



被抽吸到真空容口内的钢液表面积增大，液层变浅，所以脱气效果大，钢包内钢液的搅拌作用也相当大。决定脱气效果的重要因素是钢液在真空容口内表面积的大小和停留时间，1吨钢液要达到最有效脱气的表面积大约8平方米左右，而真空处理的时间约为2.5秒。所以80~100吨钢液用15~20分钟脱气并不困难。图13为Broetzmann等(19)对80吨钢液进行DH处理的实验结果。

在真空处理过程中为了防止钢液的温降过大，可以采用以下方法：在真空容口内安放炭精棒，操作中用电加热，或者操作前用天然气或重油予热容口。

以DH法处理未脱氧钢水，可以把氧以CO的形式跟氮一起除去。而且在真空容口内也可以加入合金元素和脱氧剂等。钢液通过2~3次的往返，可以很均匀的混合，因而得到因脱氧而产生的氧化物夹杂少的纯净钢。当然脱气終了后的钢液要在大气下浇注，为了防止接触大气污染钢液，应当采用保护气氛浇注法。正如图12所表明的那样，这种装置虽然稍稍复杂，但是操作简单，氮以及氧化物夹杂的减少效果大，而且经过真空处理的钢液还可以浇注多根的中型、小型钢锭，因而非常适用于轧制用钢锭。

2-2.5 循环脱气法 (RH法)

(Circulation degassing 以下简称RH法)

这个方法由Heraeus公司研究成功的，Ruhrstahl公司于1958年开始应用在生产中。如图14所示，在真空室的下部安有抽吸管和排出管，把这两根管子浸入钢液中并排除真空室的气体，再把废气导入抽吸管，则钢液通过这根管子被抽到真空容口内，脱气后又通过排出管返回钢包内，钢液如此

自动循环、连续地进行脱气。

因为真空容口的管径小，所以很短时间就能达到指定的操作压力，若导入氩气后钢液就激烈运动并开始循环，氩气的需要量比较少，一般 10~30 立升/吨就足够了。导入的氩气被钢液加热，达到近于钢液的温度，体积膨胀约 100 倍，由于加上在抽吸管顶端从钢液中移出的气体量，体积更加大了。

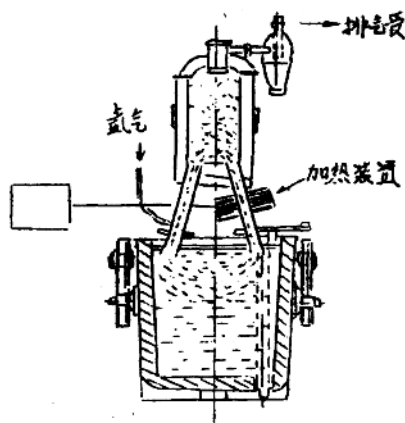


图 14 Ruhrstahl 公司的 RH 脱气法

钢液的速度甚至达到约 2 米/秒。在一般的操作条件下通过真空容口的钢液速度为 8~12 吨/分，最大为 20 吨/分，最小为 6 吨/分。RH 法运用的范围比较广泛，适当选择抽吸管和排出管的口径，可以很容易的处理 30~120 吨钢液。有时还可以处理炼钢炉内的钢液。

和前述的 DH 法一样，这种方法的真空处理时间比较长，所以经常发生钢液的温降现象。但是若能加热流经排出管的钢液，那么在处理 30 吨钢液时，温降为 10~50°C，处理 100 吨钢液时温降为 20~30°C，而处理时间前者需十几分钟，后者需要约 23 分。

图 15 为 60~70 吨钢液真空处理时脱气速度和压力的变化情况。到脱气大致終了前（约达到 90% 时）可以说大约相当于钢液体积 2 倍的钢液经过了循环处理。钢液成为流状态抽吸上来，所以很容易形成气泡核心，有助于气泡产生，同时，由于钢液呈飞溅状态导入真空容口内，因而其表面积变的非常