

哈兹列特工艺及其在中国的前景

美国哈兹列特板带铸造公司

Peter Regan and Wojtek Szczypiorski

宣读于 2005 年国际铝板材学术研讨会
九月 21-23 北京

工艺历史

哈兹列特工艺可追溯至 1921 年。其时，作为连铸工艺真正前驱之一的 Clarence Hazelett 率先进行了运动模的实验。他的早期工作包括 Hazelett-Bessemer 工艺。这是对德国 Thomas Bessemer 早期工作的改进，采用的是双辊式板带铸造机（1896 年）。后来，该工艺被 Joseph Hunter 投入商业化生产。在后来若干年里，Clarence Hazelett 试用过各种结构的运动模，最后才确定了双带式概念，并于 1947 年首先获得了专利。

第一台商业化哈兹列特铸机已有近 50 年历史。当今世界上有 60 多台这种铸机在工作，用于铸造铝、锌、铜和铅的带坯以及铜的条坯。这种条坯接着被连轧成线杆（Contirod®）。在中国，第一条铜线杆生产线于 1989 年在常州投产。迄今为止，已有 5 条生产线投产。

不同用途的铸机基本概念大致相同。然而，它们的金属喂入、铸模冷却、铸用钢带及其涂层技术各不相同。铸造这种金属所积累的经验可能导致另一金属铸造工艺的改进。就是这样，双带式铸机一直保持着滚动式进步。

哈兹列特铸造机的工作原理示意图见图 1。铸机采用完全运动的铸模，用一副完全紧张的低碳钢带作为上下表面。二条矩形金属块链随着钢带运动，根据所需铸造宽度相隔开以构成模腔的边壁。钢带的冷却采用一种特有的高效快速水膜进行。这是哈兹列特的专有技术。

铸造的横截面是矩形的。目前最大铸造宽度为 1930 毫米。根据最终产品的需要，带坯的厚度范围为 14~25 毫米。铸铝坯时厚度大多为 18-19 毫米。

前箱被准确地安放在铸模的进口处。铝液通过前箱进入铸造机。在钢

带的铸造表面上敷上不同涂层以获取铸模的特定的界面特性。金属馈入、铸模表面以及钢带控制是广泛研发工作的对象，容后面细述。

设计特定铸模时，所取的铸模长度取决于所铸金属及生产速度。带坯铸模的标准长度为 1900 毫米。近来，高速铝坯铸模的长度为 2360 毫米。

连铸连轧

在铸机之后，在出坯温度条件下对铸坯进行在线热轧。此外，采用哈兹列工艺时，铸造产量较高，平均为 25 公斤/小时/毫米（铸宽）。这就是说，铸坯将以每分钟近 10 米的速度进入轧机。道次压下量在 60%或以上，可获得优异的热轧金属结构。（见图 2）

根据生产的需要，铸机之后可接一台热轧机或 2 至 3 台热连轧机。采用哈兹列特工艺可将铝水直接转换成热轧卷，取消了大方坯的铸造、锯头、铣面、铸坯预加热和可逆热轧工序。常规直冷铸造及热轧生产线与哈兹列特生产线的比较见图 3。

哈兹列特铝带铸机商业应用始于上世纪 60 年代。在北美安装了数台。在日本也安装了二台小型铸机。然而，那时的技术水平和产品质量不够高，只用于生产要求不严格的产品。品种局限于简单合金，表面质量要求也不高。

随着铸机在铝工业上应用的日益广泛，建造了一些较大较复杂的铸机。用户想生产要求较高产品以求进入较大市场。作为回应，哈兹列特公司与其用户一道，进行了深入的研发工作。连续十几年时间研究了铸模条件与铸件表面缺陷之间的关系，优化了工艺，对铝带坯铸造带来了深远的意义。

研究工作集中于下列三个方面：

- 1、固化速度的均匀性；
- 2、铸坯的外形；
- 3、模腔里的气氛。

最有意义的研究领域是模腔界面条件。任何条件的改变均能改变局部

热传输效果。这些改变可能是由于模腔钢带不够平整、模腔内钢带运动速度不均以及钢带与金属之间热传输改变所造成的。造成这种条件改变的因素包括钢带表面形貌、涂层及气氛的改变。热传输效果的局部改变可能导致表面和内部固化速率的变化或铸坯下游加工性能的恶化。

为了测量钢带的变形程度，在钢带的触水侧安放了多个非接触式涡流探针。为了测量铸坯各区域的抽热效果的实际变化，在铸造机的下方安装了一个 Agema 红外扫描系统，以绘制出坯表面的热图象。该图象能立即显示模腔内各处的相对水冷强度和图形。这些非接触式涡流探针分布在钢带触水侧的不同位置上。采用这些工具后，就可分析所采用的新技术对钢带和模腔界面工作条件所产生的效果。

在 1985 年至 2000 年期间，有一些较重要的新技术被商业化采用，现归纳如下。

钢带的感应预加热

为了防止钢带在进入模腔时发生的“冷箍”及弯曲和热变形，曾考虑过各种技术。哈兹列特公司和阿贾克斯公司共同研制了一种非常强大的感应加热系统，能把进入模腔的钢带的温度瞬时提交到 150°C。在此温度下，钢带平稳过渡到热金属区，不会出现弯曲和变形。

该系统的另一个功效是控制钢带表面的水汽。模腔表面若有水将立即造成热传输局部中断，生成微细的难以察觉的表面液化区。早先采用的是石墨涂层（DAG），尽管也具备一些吸湿功能，但不能用于高湿度环境。采用感应预热系统，就可赶掉夹带在钢带永久性涂层中的水汽。钢带加热到 150°C，任何水汽均可被方便地赶掉。

磁性支撑辊

尽管钢带预热可防止其进入模腔时的热变形，但当其与铝水大面积接触后还会产生另一种重要的热变形。这时钢带呈球面状变形并瞬时扩展，直至钢带厚度方向上达到热平衡为止。钢带变形的量与其厚度方向上瞬

时热差有直接关系。过去用石墨（DAG）作为涂层来控制这种变形。其结果是热传输或冷却速率的适用范围均比较有限。

在研发阶段，哈兹列特公司工程师试用几种磁力方法在进模腔处将钢带吸靠在支撑辊上。有一种方法取得了某些成功。就是在钢带的各支撑轴上套上磁力环，以磁化与钢带相接触的翅片。然而，这些磁环的效果亦较有限，因采用的常规铝镍钴及类似材料的磁力不够大。

1996年，Valery Kagan 博士（俄国新别尔斯克大学杰出科学家）加入哈兹列特公司。根据原为俄国军界服务积累的独特经验，为哈兹列特公司作出了重要的贡献。Kagan 建议采用以 Nd-Fe-B 为主的磁性材料作磁体。这些磁体具有“伸出”性吸力。也就是说，该种磁体不必与被吸物体紧密贴合。其效果甚易于演示。只要将二块这样的小磁体放在手掌的正反面，就会发现它们不易分开。这一技术的效果是巨大的，使透过钢带厚度的热传输大大加快，满足了铸造高镁含金的需要，而且钢带不会变形。

惰性气体

在铸模界面充填惰性气体是一项重大技术突破。它可以用于控制氧化，而且更重要的是控制热传输速度。在陶瓷铸嘴或铸嘴支座里钻些小孔，通过这些小孔将气体注到铝水上。气体注入压力较低，可使其均匀分布。该系统的一个重要优势是能方便而快捷地改变气体的配方或用量，在钢带的宽度方向上，根据 Agema 扫描系统的显示结果，有选择地对冷却速度进行区域性调节。

ESP™涂层

模壁处理是任何铸造工艺的一个关键要素。哈兹列特公司从一开始就认识到其重要性。钢带涂层技术甚为复杂且十分有趣。其重要性如何高估均不会过分。钢带表面涂层的厚度、形貌、化学组份、刚性、耐磨性等均十分重要。哈兹列特铸铝工艺采用永久性 Matrix 型涂层。该涂层基本采用

陶瓷物质，用火焰或等离子喷涂在钢带表面。钢带先经喷丸打毛，然后用氧化物涂复。氧化物与新鲜打毛钢带表面相结合。用该涂层根据不同合金固化条件的需要来控制热传输。通过改变涂层厚度、粗糙度、多孔性及化学组分可获得所需的公称固化速率。这对获取合金坯最佳表面质量至关重要。涂层的使用寿命与钢带本身相同。用一副钢带连续铸造 7~10 天司空见惯。

有些合金可直接浇铸到永久性涂层上。然而，另一些合金则需要粉末状化合物作为脱模剂。这些粉末可能很难均匀复盖。更为困难的是叫它粘着在钢带上。但电沉积系统已被证明可均匀可靠地复盖十分微细的粉末，包括雾状 SiO_2 。沉积速度可根据所铸合金及工厂气氛条件进行调节。

生产能力

这些新技术在上世纪 90 年代的成功应用大大地提高了该工艺的生产能力（表 1）和合金范围（表 2）。也许更重要的是大大地提高了工艺的稳定性和再现性，以及产品的质量。现在，只要有充足的铝水，连铸连轧可以一直进行下去，直至满足用户及市场的需要为止。生产操作稳定，开机关机方便，操作者可根据生产计划灵活掌握。在调好轧制厚度后，连铸连轧生产线便可生产商业用带卷。大多数生产线的适销成品率高达 96~97%。一旦生产线开动后，只要切换合金炉就可切换合金，完全不会干扰生产。在产量较大的工厂连续工作 100 多小时是家常便饭。当需要改变生产宽度时，可短暂关机，掉换前箱就行，整个操作大约需要 2 小时。同时，本工艺在控制热轧产品厚度范围方面也相当灵活。根据最终产品的要求和已有的冷轧能力，在连铸机后面可以装一机架、二机架和三机架的热连轧线。一台三机架热连轧机可生产 1 毫米厚的热轧卷，省去了很多的冷轧量。采用哈兹列特连铸连轧生产线可直接生产适销的产品。表 3 列出目前全世界各用户的铸造宽度、热轧机结构、合金品种和产量。在中东地

区即将宣布建成另一条 1930 毫米连铸连轧生产线。尽管早期用户只能集中生产简单合金和产品，但后来建成的生产线则能生产高质量铝箔坯料、汽车用板带及 6000 系等产品。

与其它工艺的比较

若将技术创新后的哈兹列特工艺与中国当前和将来使用的工艺相比，情况将会怎样呢？表 4 对 1+x 热轧、双辊铸轧和哈兹列特工艺进行逐项比较。图 3 则为不同工艺的图示比较。该表突出显示了连铸连轧工艺重要优势，即其产品质量的稳定性。无论是连铸连轧还是铸轧，其卷取速度和卷取温度均保持不变。在采用直冷 1+3 工艺时，这两个参数虽然基本稳定，但其可逆热轧机带卷内部的温度必然要更冷一些。

综览各有关数据可见，哈兹列特工艺独兼工艺灵活、产率高、投资适中以及热轧卷生产成本和能耗均低（若不是最低的话）的诸多优点。

也许同等重要的是，下游的生产成本也降低了。1 毫米的热轧卷意味着省去了至少一道或二~三道次昂贵的冷轧和相关的退火。若考虑到现代化高速冷轧机建造的成本，这笔节省十分可观，但有时却被做计划的人忽视了。

另外，还有一项常被忽视的因素是成品率和工艺废料的量。在这一方面再一次显示哈兹列特工艺的独特优势。它无直冷铸锭的锯头与铣面，也无热轧后的切边。

在线热连轧是哈兹列特生产线的较大部分，其相关投资亦较大。但是这与大方坯轧机比较，它的速度较慢。其进坯速度为 10 米/分。其终轧卷取速度通常远低于 200 米/分。其机械部分完全可在中国造，可大大节约成本。哈兹列特公司在铜加工方面已与洛阳院等单位建立了合作关系。在铝加工方面，哈兹列特公司已与西方公司（西门子、奥钢联）建立了合作关系，但亦准备与中国的轧机制造商们合作。

哈兹列特铸造机技术水准很高，而且还在不断进步。为此原因，哈兹列特公司拥有自己完整的加工车间，所有的铸造机在发运和现场安装之前

均在车厂组装测试。哈兹列特公司同时还准备在铸造机组装和操作时培训操作人员。此外，新用户可从现有铸机用户那里获取铸造机和轧机的操作诀窍。

由于铸造机速度较慢，备件消耗很低。主要限于铸嘴和钢带。迄今为止，尚无可反复使用的陶瓷铸嘴。就像铸轧机一样，新开机时得掉换一个新铸嘴。但是，这些铸嘴可用普通材料在中国加工制造。

铸造用钢带具有特殊表面形貌和永久性涂层，技术有些复杂，需要一定的设备投资，哈兹列特公司已作好准备在中国投资建立钢带加工厂，从而就地生产钢带，不过在中国具有二个或二个以上铸造机作为供货对象后投资才划得来。

在中国的前景

中国的铝板带工业正在迅猛发展，哈兹列特工艺的前景如何？它能满足中国市场现在和将来对产品的要求吗？它能满足中国铝工业现在和将来的生产要求吗？

应该说哈兹列特工艺不能用于一切合金的生产。例如，航空用板及罐体料就没商业化地生产过。飞机合金是大型直冷铸造热轧机的专门产品，例如是中国西南铝的产品。

尽管用哈兹列特工艺已生产过一定量的罐体料，但尚未商业化生产过。目前，可有的罐料都是用大型直冷铸造热连轧工艺（1+3 或 1+4 结构）生产的。应该指出，这些生产线投资巨大，而且生产罐料时成品率甚低。因此，罐料是种昂贵的产品，在完全成熟的市场上也不大赚钱，尤其在 PET 包装出现之后更是如此。在美国，近十多年来再也未造过罐体料轧制线，而且很多罐料厂反被停了下来。

哈兹列特工艺最大宗产品是建筑和交通工业所需的铝合金板带材。由于采用了新技术，方便了高质量铝箔坯料的生产，使 6.5 微米铝箔的针孔数低于 100。

对大产量的铝箔来说，年产量超过 4 万吨以上，没有任何工艺可与哈

兹列特相匹敌。具有特别意义的是，中国可望采用直接来自冶炼厂的铝水生产 1 毫米厚的热轧卷，经冷轧后运至铝箔厂，大大降低了料耗和能耗。

在美国，较宽的哈兹列特铸造机用户工厂每年生产 60 万吨以上的建筑和交通用板带，大多是 AA3000 系合金。根据英国 CRU 权威统计，这些工厂的生产成本绝对地低。我们没有理由不相信在中国将来也会是这样。幕墙板是具有独特意义产品。目前这种产品必须从 6 毫米起冷轧至最终厚度。冷轧需几个道次，至少还要一次中间退火。设想适当调高哈兹列特工艺连轧的冷却强度，用连铸连轧应该可能直接生产出这种产品，根本不再需要冷轧及退火。

也许在中国最有意义的市场是交通铁道机车、卡车和汽车。该市场大多需要 AA5000 系合金加工材。该合金板带用铸轧法无法生产，而哈兹列特工艺则已广泛生产。中国的汽车工业正在高速发展。中国不该重复美国的错误，去建造耗油多的沉重的钢制轿车。尽管目前美国轿车目前用铝尚不算广泛，但 AA5754 已经被福特和通用汽车公司商业化地采用了。它是哈兹列特用户（位于俄亥俄州的阿莱瑞斯（Aleris）公司）提供的。此外，AA6000 系板带对汽车也很重要，美国目前正用哈兹列特工艺进行生产。汽车用铝板带的最大障碍是其成本，而突破此障碍的希望在于哈兹列特工艺，现在已见端倪。

结论

结论地说，哈兹列特工艺是种新兴的高科技工艺。它与老式直冷工艺以及双辊铸轧大不相同。在大多数国家的市场上，直冷轧制线已不见再建。而哈兹列特工艺则日见发展，前程远大。

中国的铝板带工业正在发展，由于下列几方面的因素使哈兹列特工艺变得特别理想：

- 大型冶炼厂可为连铸连轧生产线提供铝水，节能避耗；
- 市场大而统一，特别适于连铸连轧组织生产和发挥特长；

- 高质量铝箔坯料市场需求量特大，多台现代化铝箔轧机嗷傲待哺；
- 交通业高速发展，需要低成本铝板带；
- 对节能要求越来越迫切；
- 等等,等等。

发展中的中国铝板带市场与日臻完善的哈兹列特工艺不期而遇，互利互进，前景灿烂辉煌。

图 1. 哈兹列特铸造机原理

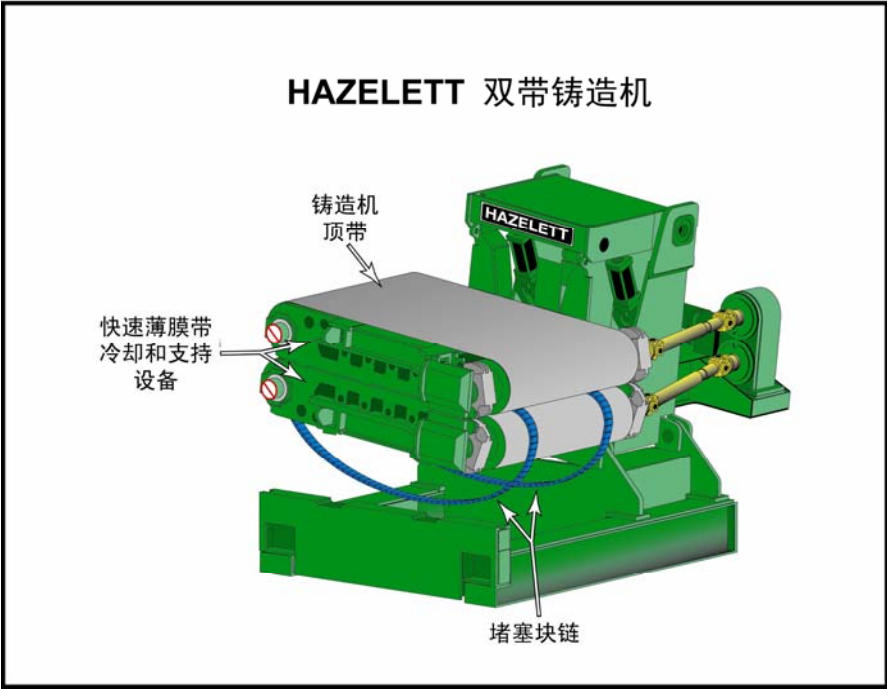


图 2. 铝板带连铸连热轧作业流水线

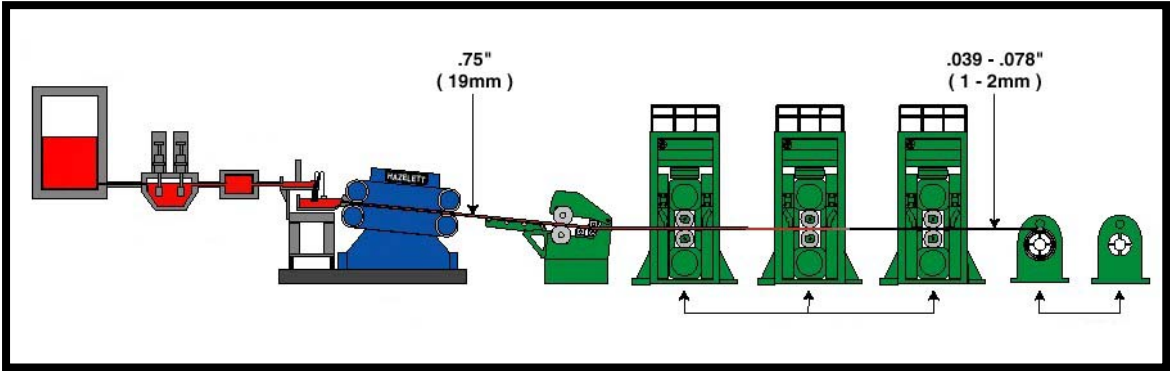
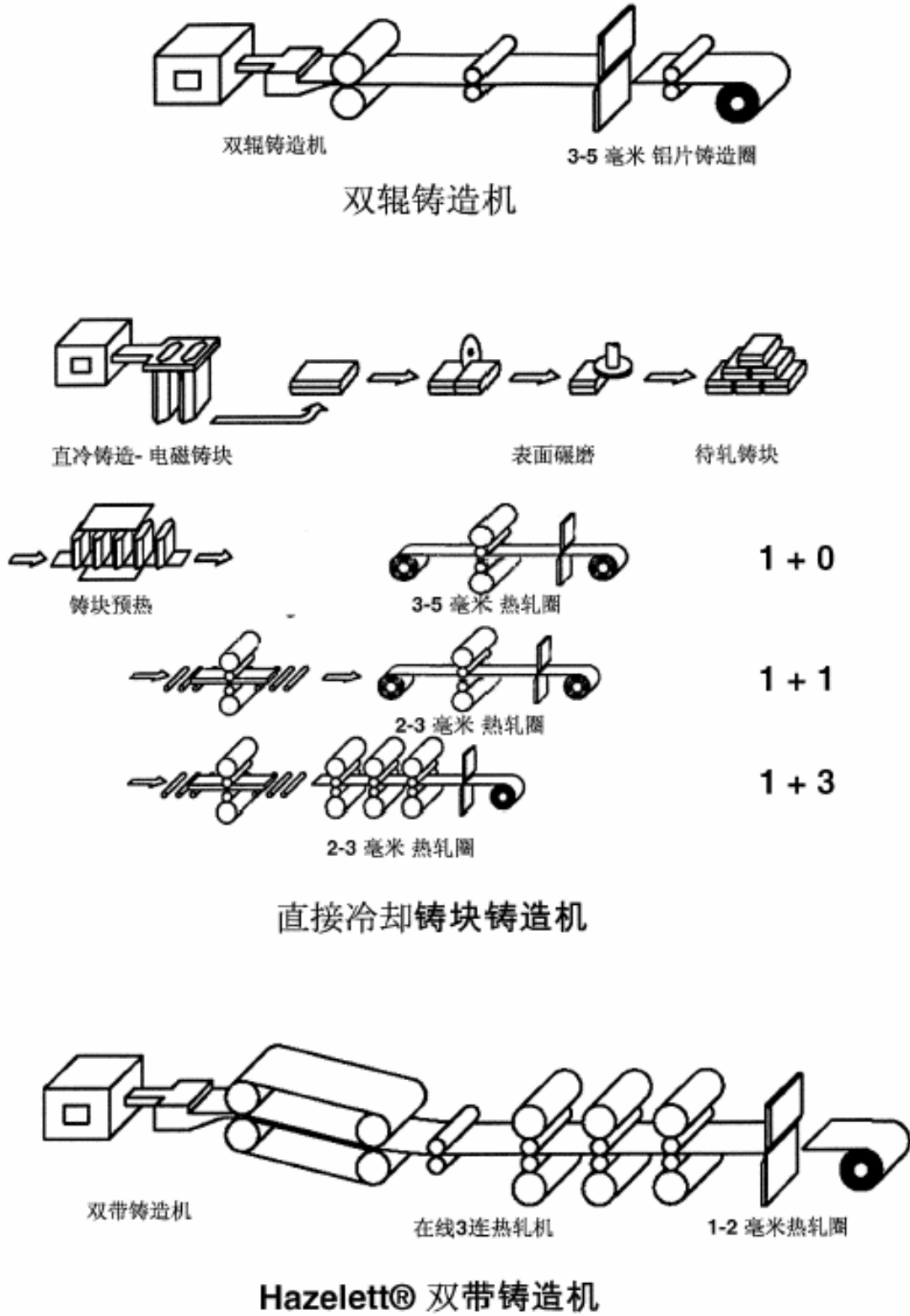


图 3. 不同工艺比较



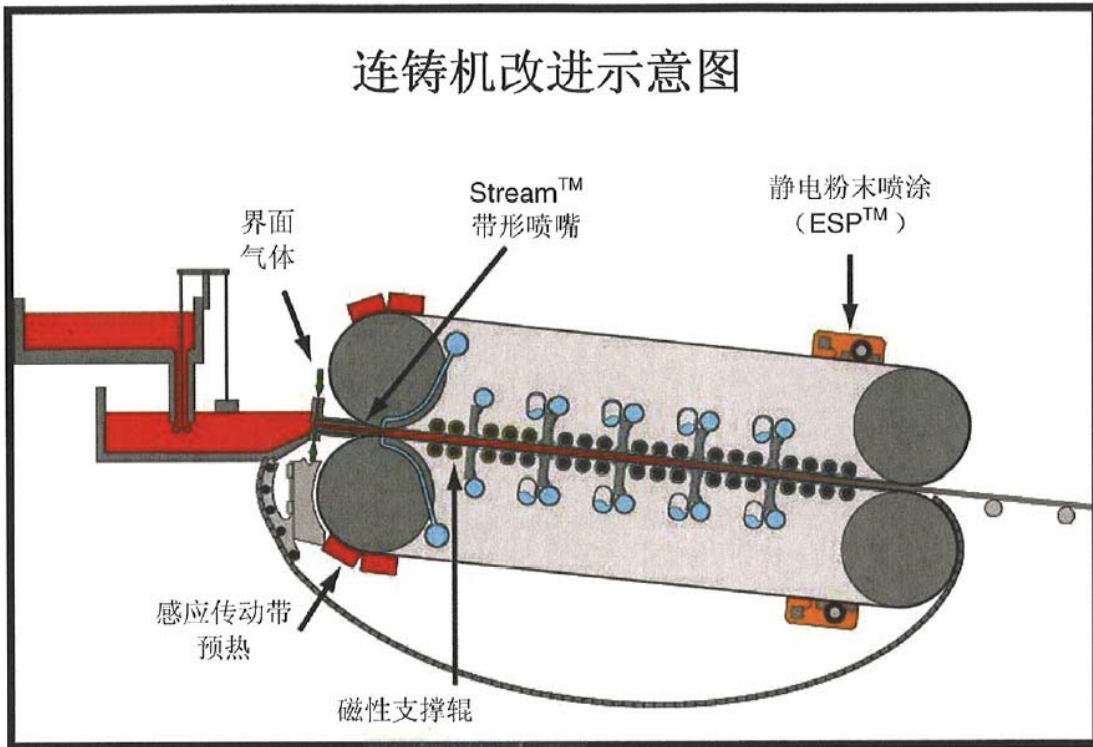


图 4

表 1. 铸造参数

铸造厚度	14 - 25 毫米
铸造速度	6 - 12 米/分
铸造率	25 吨/米/小时
最大宽度	2300 毫米

表 2. 连铸连轧合金牌号及用途

合金	最终用途
1050	空调翅片, 冲制件, 炊距
1100	名牌, 厚箔, 冰箱铰链, 热交换器, PS 板, 标牌, 筹码, 电脑壳
1200	电容器, 炊具, 食品及药物包装
1350	导电行业
3003	建筑行业, 炊具, 厚箔
3004	家具, 光亮板, 菱形板, 轻型夹具
3104	电缆软管
3105	雨槽, 窗框, 软管, 名牌, 屋顶, 光亮板, 菱型板, 瓶盖
3204	灌溉用管
5052	多用板材, 卡车围板, 卡车架, 焊接箱体, 公路标牌, 电扇叶片, 控制面板
5754	多种汽车部件
6061	多种深冲用料
6063	多种深冲用料 s
7072	翅片料
8011	建筑用板, 炊具及就餐用具, 厚箔盘, 家用箔, 翅片料, 瓶盖

表 3. 哈兹列特铝板带连铸连轧生产线

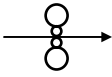
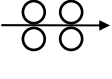
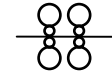
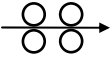
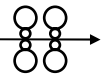
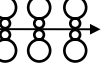
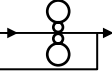
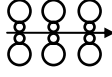
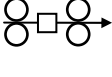
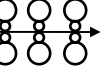
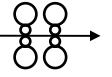
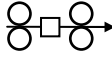
年	公司	带宽	在线热轧	年产量 (TPY)
1963	Tower Automotive Canada	660 mm		25,000
1970	Nihon Atsuen Japan	300 mm		10,000
1979	Aleris USA	711 mm		40,000
1984	Nihon Atsuen Japan	450 mm		10,000
1985	Jupiter USA	1067 mm		100,000
1986	Aleris USA	1346 mm		210,000
1987	Vulcan USA	1320 mm		15,000
1991	Nichols USA	1320 mm		200,000
1997	Neuman Canada	380 mm		15,000
2001	Compania Valenciana de Aluminio Spain	1320 mm		70,000
2001	Alcoa USA	1930 mm		100,000
2005	Element USA	508 mm		30,000

表 4 不同工艺的综合性比较

	双辊式	Hazelett	DC 1 + 0	DC 1 + 1	DC 1 + 3
投资	低	中	中	中	高
生产资金	低	低	高	高	中
能耗	低	低	高	高	高
产量	低	较高	中	中	很高
合金种类	很有限	较多	较多	较多	很多
板材厚度(mm)	4 - 7	1 - 3	3 - 5	3 - 4	2 - 4
质量稳定性	高	高	低	低	高