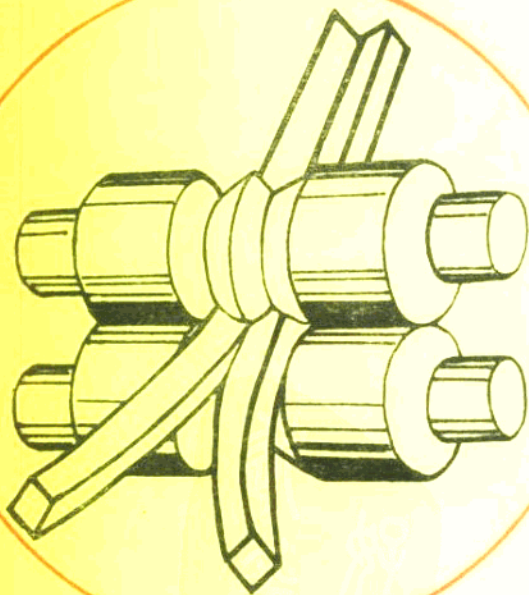


切/分/轧/制

李芳春 徐林平 编著



冶金工业出版社

PDG

切分轧制

李芳春 徐林平 编著

冶金工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

切分轧制/李芳春, 徐林平编著. 北京: 冶金工业出版社, 1995.12

ISBN 7-5024-1785-0

I. 切… I. ①李…②徐… II. 轧制-工艺 IV. TG335
中国版本图书馆CIP数据核字 (95) 第17719号

出版人 傅启云(北京沙滩嵩祝院北巷39号, 邮编 100009)

河北省定兴县印刷南厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1995年12月第1版, 1995年12月第1次印刷

787毫米×1092毫米 1/32, 6.625印张, 145千字, 205页, 1~2050册
14.00元

序 言

切分轧制是强化轧材生产的一个发展方向。切分轧制实质是将一块坯料(钢锭)沿宽度同时形成几个彼此相互连接的轧件,且最后将其分开的方法。

应用切分轧制在轧机上无须增加多少投资和专门设备,即可显著提高轧机的生产率,节约能源,简化自动化复杂程度。

工业实验与技术经济核算表明,将连铸与切分轧制结合是最佳方案,它能够合理地发挥两道工序的优势,本书旨在阐明提高型材生产规模的前提是优先考虑发展连续铸造。

采用切分轧制可以进一步改善轧机工作的技术经济指标。同传统轧制相比,轧机生产率提高10%~30%,能耗降低8%~10%。

新设计的轧机,应用切分轧制能够降低设备的金属消耗,简化自动化过程和集中使用设备。切分轧制方法获得的轧件,在质量上不次于传统工艺生产的产品,而多数情况下还超过它。

本书是以实验为基础,采用了微分方程的分离变量法、回归法和变分原理等数学处理方法,运用了现代计算工具——计算机进行数学处理,找出规律性,应用于实际生产,并列举了许多实例,所以该书实用性很强。

本书可作为金属压力加工专业师生用书,也可供从事金属压力加工的技术人员参考。

本书在编写过程中,鞍山冶金管理干部学院的王衍吉副教授、李志华副教授、吴岩伟讲师、初玉珠讲师、冯鲜艳讲

师、许红讲师、董波讲师提供了有关译文；刘晓兰讲师在文字上作了审校；烟台钢厂刘全工程师提供了有关实验数据；东北大学金属加工系成友义副教授在技术上作全面审校；鞍山钢铁学院肖祖权高级工程师参加了审校，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中有不妥之处，请读者批评指正。

编者

1994年1月

目 录

绪 论	(1)
第一章 轧钢生产的发展趋势	(12)
第一节 用钢锭生产钢坯	(12)
第二节 用连铸坯生产型材	(13)
第三节 用直接切割生产钢坯	(19)
第四节 采用变形和切分结合的方法生产轧件	(20)
第二章 轧件纵向分开的方法	(26)
第一节 用火焰切割器切分轧件	(26)
第二节 在冷状态下轧件的切分	(32)
第三节 在热状态下轧件的切分	(36)
第四节 辊切切分机理及其影响因素	(59)
第三章 切分轧制时金属变形和力能条件	(74)
第一节 多槽孔型轧制时金属的变形	(74)
第二节 在多槽孔型的变形区中金属的变形状态	(89)
第三节 在三个方槽的孔型中轧制金属的变形理论研究	(107)
第四节 轧制的力能参数	(114)
第五节 在多槽孔型中金属的咬入	(137)
第六节 轧制方坯制度的计算方法	(140)

第七节 确定同时轧制坯料的最佳数目·····	(142)
------------------------	---------

第四章 切分轧制技术在不同类型轧机上的

应用·····	(147)
---------	---------

第一节 初轧机和钢坯轧机·····	(147)
-------------------	---------

第二节 型钢轧机和线材轧机·····	(156)
--------------------	---------

第三节 其他类型的轧机及运用切分轧制技术 的效率·····	(166)
----------------------------------	---------

第五章 轧材质量····· (171)

第一节 用连铸坯生产轧材的质量·····	(171)
----------------------	---------

第二节 用钢锭切分轧制得到钢材的质量·····	(186)
-------------------------	---------

参考文献····· (203)

绪 论

切分轧制是很多国家正在进行研究的一种新的轧制工艺。就传统轧制工艺来说,再进一步挖潜、提高生产率有一定困难,而采用切分轧制可以明显地提高生产率,降低能耗8%~10%,是轧钢过程节能的新工艺。

根据当前冶金生产的实际状况,连铸生产虽然有了很大发展,但是生产小于 $90 \times 90\text{mm}$ 的连铸坯尚存在一定问题,而初轧机开坯,对于生产小断面的钢坯生产率低。切分轧制工艺可以在现有的工艺流程和设备变动不大的情况下实现。对连轧生产来说,同样的断面,可比传统轧制工艺减少道次,从而减少设备;若生产小断面产品,可调节切分的根数,以保证生产率,也就是在轧制速度低的条件下,能够赶上高速的传统轧制工艺的生产率。关于这种新工艺、新技术的特点,特别是人们所担心的质量问题,将在第五章中介绍。

一、国内外切分轧制技术的发展

切分轧制工艺是一种轧钢生产新工艺,自70年代开始在很多国家中着手研究和应用。所谓切分轧制是指在轧制过程中,运用特殊孔型将一块钢坯沿纵向同时切分为两根以上的轧件的轧制方法。它与传统轧制工艺的比较见图0-1。

70年代初期,加拿大钢铁公司国际公司首先应用和发展这项新技术。现在该公司的子公司都已应用,其中有:加拿大湖安大略省钢铁公司、美国恰帕尔钢铁公司、北极星钢铁公司、美国希尔内斯钢铁公司,另外还将切分轧制有关专利

出售给日本、芬兰、中国等。

日本钢管公司 (NKK) 于1977年3月由加拿大钢铁公司引进切分轧制新技术, 用新方法生产棒材, 经过研究改进, 在东伸钢铁公司姬路厂建立起切分轧制生产线。1979年NKK公司向国内大安公司和山口平有限公司等出售切分轧制技术, 该项技术应用于生产棒材, 效果显著。目前一些厂家为了节省能源, 就采用热连铸坯直接由宽板坯切分轧制成窄板坯, 进一步轧制成板卷, 这样改变了过去冷状态火焰切割宽板坯为窄板坯, 从收得率及操作的角度来看, 切分轧制优于火焰切割。

在70年代初期, 前苏联齐拉毕恩斯克工学院轧钢教研室, 在 $\phi 180$ 实验轧机上, 以矩形铅试样经过3~4道次得到3或4个方坯, 作过可行性实验, 德聂伯罗彼得罗夫斯克冶金学院曾研究过用连铸坯切分生产小方坯取得明显的效果, B.M. 克里麦恩柯在顿涅茨冶金厂的 $\phi 950/\phi 900$ 双机架的初轧机和马克耶夫冶金厂的三机架横列式 $\phi 850$ 轧机上, 对钢坯切分轧制, 切分成两根、三根轧件, 生产品种有 $\phi 130 \sim 180\text{mm}$ 圆钢及135mm方坯。并对质量进行分析比较, 总的来看, 与传统轧制方法无什么差别。前苏联在切分轧制上作了大量工作, 其

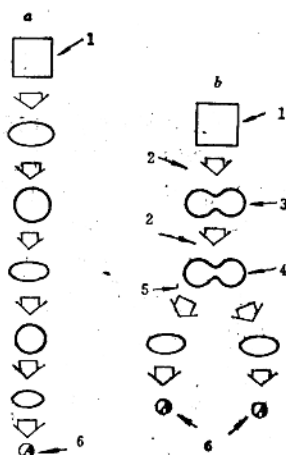


图 0-1 两种轧制方法的孔型对比简图

a—传统轧制工艺, b—切分轧制工艺
1—坯料, 2—入口导板, 3—预切分孔型, 4—切分孔型, 5—切分导卫, 6—成品

中主要是质量分析，另外还进行了机理方面的探讨，对金属的流动规律性，用数理统计方法导出相应的数学公式。不仅进行方坯切分轧制，还进行不对称异型材生产，如双断面球扁钢切分轧制生产。

70年代初期，英国在斯德哥尔摩技术研究所研究了在专门的Triplet轧机上采用立轧法把板坯变成方坯技术。首先是在板坯中间轧一条沟槽，然后用火焰切割成两条，最后轧成方坯，这种方法造成气孔及裂纹暴露在表面，切割有损耗，所以收得率低。后来英国钢铁公司斯德哥尔摩罗伊工业学院和瑞典金属成型公司共同协作，完成了板坯辊切切分，其中英国钢铁公司研究了切分模的形状，如图0-2所示，最后选用流线型的。

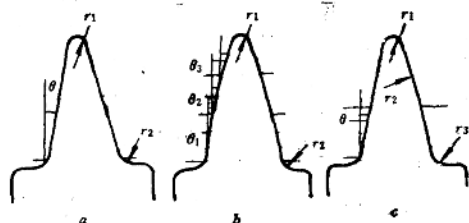


图 0-2 英国钢铁公司设计的切分模

a—直坡；b—变坡；c—流线形

美国、德国、意大利等国家也在不同程度上研究和应用切分轧制技术，采用大轧机直接利用切分轧制方法生产小规格的产品。

我国50年代起鞍山钢铁公司利用切分轧制方法，将废钢轨切分成坯，轧成方钢和扁钢。

80年代初期，首都钢铁公司初轧厂亦在 $\phi 850/\phi 650$ 轧机

上,进行过钢坯的切分轧制,1983年10月由加拿大的菲尔柯公司引进。切分轧制技术就应用在 $\phi 300$ 轧机上,生产 $\phi 10$ 、 $\phi 12$ 、 $\phi 14$ 的圆钢和螺纹钢。

1982年昆明钢铁公司轧钢厂线材车间开始在 $\phi 350 \times 2/\phi 280 \times 6/\phi 280 \times 8$ 机组上,用 $90 \times 90\text{mm}$ 方坯,经过7道次切分为 $29 \times 29\text{mm}$ 连体方坯,用圆盘剪分开后,继续轧制成 $\phi 6.5$ 线材,原采用的坯料是 $68 \times 68\text{mm}$ 方坯,总共是21道次成材。

1984年孝义钢铁厂利用辊切切分钢坯,直接生产成品。

1984年昆明第二轧钢厂在 $\phi 250 \times 3/\phi 250 \times 5$ 机组上,用 $90 \times 90\text{mm}$ 方坯,经过6道次切分成 $36 \times 36\text{mm}$ 方坯,总共10~12道次轧制成 $\phi 20$ 、 $\phi 22$ 圆钢。

1986年10月瓦房店钢厂在 $\phi 400 \times 2/\phi 300 \times 5$ 的机组上,采用辊切切分方法,将 125×125 、 $115 \times 115\text{mm}$ 方坯只用14道次轧制成 $\phi 12$ 圆钢,以正反喂盘实现双线轧制。

东北大学、鞍山钢铁学院、鞍钢钢铁研究所等单位也作了大量的理论研究和实验工作。目前我国多数还是坯料切分,然后生产成型材和线材。切分的方式主要是:辊切切分、切分轮切分方法,现在已着手研究和应用在连轧机组上,充分发挥切分轧制提高生产率等优势。

二、切分轧制技术的特点

(一)生产率高

钢坯生产率为:

$$A = \frac{3600Qh_1}{T} \quad (1)$$

成品生产率为:

$$A = \frac{3600Qk_1b}{T} \quad (2)$$

式中 A ——轧机生产率, t/h;

Q ——坯料重量, t;

k_1 ——轧机利用系数;

T ——轧制周期, s;

b ——成材率, %。

切分轧制工艺与传统轧制工艺相比, 同样的坯料切分轧制是多根并列轧制, 生产同样的产品, 切分轧制轧件长度短, 延伸系数减少, 轧制道次减少, 这样可减少纯轧时间和间隙时间, 因而轧制周期缩短。根据公式 (1)、(2), 其它条件相同, T 值减小, 则 A 值增大。

在实际生产中, 坯料的选择受到很多因素的制约, 加热炉的宽度限制坯料长度, 在生产中运用切分轧制工艺, 设备基本不变, 就可以生产。如果在轧机能力允许的条件下, 坯料断面增加两倍时, 则坯料重量增加两倍, 切分成两根时, 轧件长度与传统工艺单根轧制时的长度一致, 则轧制周期理论上是一致的。由公式 (1)、(2) 可见, 坯料重量增加, 则生产率 A 成正比增加。

由于很多条件的制约, 切分轧制的实际操作与传统工艺比较, 在横列式轧机上进行两根及三根切分轧制方坯工业实验表明, 可以提高生产率 12%~15%, 并且生产小规格产品不降低生产率。在 $\phi 950/\phi 900$ 轧机上切分轧制方坯可以提高生产率 10%~12%。

采用切分轧制方法生产棒材, 各种规格的生产率几乎相同, 若坯料均为 121.5mm 方坯, 长度为 2m, 重量为 216kg,

传统工艺生产 $\phi 13$ 钢筋，轧制速度为 12m/s ，生产率为 95t/h 。但是切分轧制工艺生产 $\phi 13$ 钢筋，其它条件相同时，生产率可达 61t/h ，同时扩大品种生产 $\phi 10$ 的产品，生产率可达 38t/h ，当然切分轧制的根数愈多，其生产率提高愈显著。

(二)节省投资

目前初轧机开坯在坯料生产中占主要地位，但不能直接由大型初轧机得到中小型轧机需要的坯料，否则产量太低，并且受到温度等因素的限制。如鞍山钢铁公司二初轧厂用 $Z 8.3\text{t}$ 钢锭生产 60mm 方坯，要轧制13道次，首先在 $\phi 1150$ 初轧机上轧制3~4道次，轧制成 300mm 方坯，然后再经过两组连轧机才能得到 60mm 方坯。由于这种传统工艺需要初轧机与连轧机相距 68m ，形成很长的生产线，若采用切分轧制方法，第一架将钢锭轧制成板坯，这样可以不翻钢，同样可以节能，然后再建一架初轧机作为切分用，就类似宝山钢铁总厂初轧厂前部分的形式，这样可以省掉连轧机部分，减少设备，减少厂房面积，降低投资，对于生产小断面的坯料，又可以保证生产率。

其它方面，切分轧制工艺与传统工艺相比，由于延伸系数减少，则轧制道次减少，在连轧时可以减少机架数目。

对于其它辅助设备来说，当传统工艺多线轧制时，在各线上必须设有切头尾剪及定尺剪、冷床，而切分轧制方法因多连体轧制，所以头尾整齐，这样各类剪切机只设一台即可，总共只设两台剪（参见图0-3）。

由上述情况可见，应用切分轧制可以大大减少建筑面积，从而使其新建车间投资大大降低。

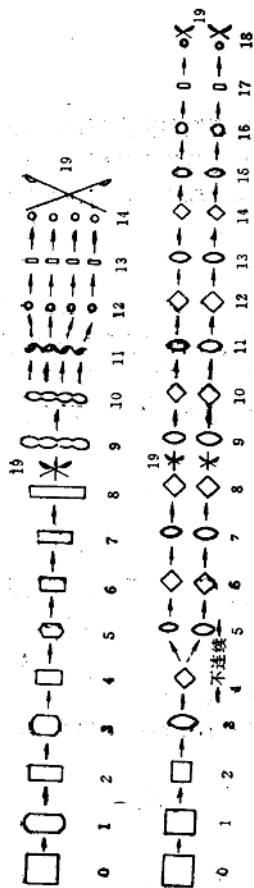


图 0-3 两种轧制方法的孔型系统(100mm方坯→成品φ10)

a—四线切分轧制方法, b—三线切分轧制方法(φ—圆料,

1~18—道次孔型, 19—剪切机)

(三)节省能源

传统轧制工艺要进行翻钢和宽向压缩, 保证产品的断面形状, 从而有10%的变形功消耗在轧制压缩宽度上, 同时有15%的轧制时间消耗在翻钢操作上; 而切分轧制可以在设计孔型时充分利用宽展量, 不用翻钢即可达到要求的尺寸, 这样既节能又提高生产率。

采用切分轧制方法时, 用双槽轧制或多槽轧制, 最终断面之和是 $2F$ 或 nF 。如果采用传统轧制方法生产, 断面达到 $2F$ 或 nF 时, 还要继续变形成断面 F , 即 $2F \rightarrow F$ 或 $nF \rightarrow F$, 若由面积为 $2F$ 的方坯加工成 F 的方坯 (可见图0-4)。根据有关资料, 变形功为:

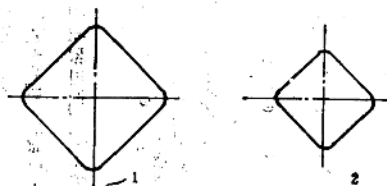


图 0-4 方形断面

1—断面面积 F_1 为 $2a^2$, 2—断面面积 F_2 为 a^2

$$W = p_m V \ln \frac{H}{h} \quad (3)$$

式中 W ——变形功, MJ;

p_m ——平均单位压力, MPa;

V ——变形轧件体积, m^3 ;

H 、 h ——分别为轧件轧制前、后的高度, mm。

对于复杂断面按矩形法求出平均高度，可用下式计算：

$$\bar{H} = F/B \quad (4)$$

式中 $\bar{H}$ ——轧件平均高度，mm，

F ——轧件横断面面积，mm²，

B ——轧件横断面的宽度，mm。

根据图0-4给出的条件，由(4)式可以计算出 $H = a$ ，
 $h = \sqrt{2a}/2$ 。

轧件体积可以按下式确定：

$$V = G/\gamma \quad (5)$$

式中 G ——轧件重量，t，

γ ——轧件密度，t/m³（一般 $\gamma = 7.8$ ）。

该资料指出， $p_a = 0.6p$ ， p 为轧件厚度等于 h 时的平均单位压力(MPa)，则变形功为：

$$W = 0.077pG \ln \frac{H}{h} \quad (6)$$

将(5)式及 H 、 h 值代入(6)式整理得出：

$$W = 0.027Gp \quad (7)$$

如果圆断面面积关系仍满足图0-4时，可以导出同样的结果。上述公式即意味着利用切分轧制方法切分成两根时的节能多少。

如果两种轧制方式终轧温度相同，均为1030°C的话，坯料出炉温度对于切分轧制可比传统轧制方法温度低40°C左右。相同坯料传统轧制方法轧制时间长，因此轧件表面的热辐射、热对流与轧辊接触被带走的热量，热损失较大，而切分轧制却不然。因此，在终轧温度相同的情况下，传统轧制工艺的加热温度要高。

另外，切分轧制在切分带区域的温升明显，这样坯料可

以降低出炉温度 40°C ，若从 1200°C 降低到 1160°C 时，根据图0-5，按内插法可以得出节省热能 58.597MJ/t ，则节省 2kg 标准煤/ t 。如果采用切分轧制工艺，从全国冶金企业的角度看，节能是很可观的。同样，采用切分轧制工艺，可以实现小轧机用较大的坯料，保证一次成材。例如，通常 $\phi 400$ 轧机采用 90mm 的方坯，采用切分轧制方法，可以采用 115mm 、 125mm 方坯，或更大的方坯，这样可以减少加热的次数，从而达到节能的目的。

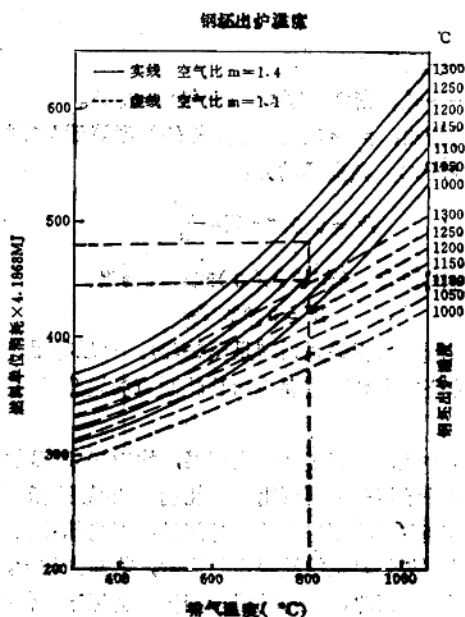


图 0-5 钢坯出炉温度与能耗的关系