

H0Cr17Ni6Mn3 钢丝电塑性拉拔的研究*

15
630-633

姚可夫 余鹏 郑明新 王俊 张华堂

(清华大学机械工程系, 北京 100084)

方威 孙建周

(首钢冶金研究院技术科, 北京 100083)

TG356.46

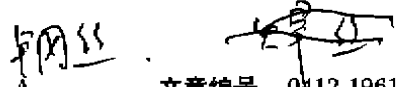
摘要 研究了脉冲电流对 H0Cr17Ni6Mn3 钢丝室温拉拔过程的影响。结果表明, 施加脉冲电流可使钢丝的拉拔力显著下降, 最大降低幅值达 40%。实验结果还表明, 施加脉冲电流大大提高了钢丝的塑性变形能力, 显著减缓了钢丝的加工硬化速度, 使该钢丝在脉冲电流的作用下可从直径 2.0 mm 拉拔至直径 0.255 mm 而无需退火。拉拔钢丝的力学性能实验结果表明, 电塑性拉拔后的钢丝的抗拉强度下降。

关键词 电塑性, 拉拔, H0Cr17Ni6Mn3 钢

中图法分类号 TB302.3

文献标识码 A

文章编号 0412-1961(2000)06-0630-04



RESEARCH ON WIRE-DRAWING OF A H0Cr17Ni6Mn3 STEEL WITH HIGH-DENSITY CURRENT PULSES

YAO Kefu, YU Peng, ZHENG Mingxin, WANG Jun, ZHANG Huatang

Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084

FANG Wei, SUN Jianzhou

Division of Technology, Metallurgical Institute of Capital Steel Corporation, Beijing 100083

Correspondent: YAO Kefu, associate professor, Tel: (010)62784856, Fax: (010)62770190,

E-mail: kefuyao@263.net

Manuscript received 1999-11-29, in revised form 2000-02-17

ABSTRACT The effect of high-density current pulses on wire-drawing of a H0Cr17Ni6Mn3 steel was investigated at room temperature. It was found that the wire drawing force was obviously reduced by application of pulse current and the largest decreasing amount is about 40%, indicating that the electroplastic effect is obvious. It was also found that by the use of pulse current, the deformation ability of the wires is increased greatly and the work hardening rates of the wires is apparently decreased. With high-density current pulses, the wire of original diameter of 2.0 mm was drawn to that of 0.255 mm without any heat-treatment. The ultimate tensile stress of as-drawn wires decreases by drawing with current pulses.

KEY WORDS electroplasticity, wire-drawing, H0Cr17Ni6Mn3 steel

电塑性 (electroplasticity) 是指受电子照射、电场或脉冲电流的作用所导致材料塑性增大的现象。电塑性效应的产生是电子与晶体中位错的相互作用的结果。这一现象首先由前苏联学者 Triotskii 和 Likhtman 在 1963 年研究 Zn 单晶体的拉伸时发现的^[1]。电塑性效应发现之后前苏联和美国科学家进行了高密度脉冲电流对 Zn, Cd, Cu, Fe, W 和不锈钢塑性影响的大量研究^[2-5]。结果表明, 脉冲电流不仅可以降低金属的加工应力和提高金属的

塑性, 而且可以降低金属的抗拉强度, 提高延伸率, 改善组织和微观结构^[2-9]。

由于利用电塑性效应可降低金属的变形抗力, 因此电塑性效应可望在金属的塑性加工如轧制、辊压、冷拔中得到广泛的应用。特别是对一些常规工艺难以加工的金属材料如 W, Mo 等, 在加上脉冲电流后, 可望改善其加工性能^[6]。清华大学对 1Cr18Ni9 不锈钢丝的电塑性拉拔实验结果表明: 在不进行热处理的条件下, 采用电塑性拉拔技术, 可将该不锈钢丝从初始直径 1.5 mm 拔制到直径 0.124 mm, 不出现断裂, 而且加工时的拉拔力下降了近 50%^[7]。由于电塑性效应在钢丝和焊丝拉拔中有诱人的应用前景, 因此进行各种钢丝的电塑性拉拔研究很有必

* 收到初稿日期: 1999-11-29, 收到修改稿日期: 2000-02-17

作者简介: 姚可夫, 男, 1960 年生, 副教授, 博士

要. 本文对 H0Cr17Ni6Mn3 焊丝进行了电塑性拉拔的实验研究.

1 实验过程

电塑性拉拔实验在自制的电塑性拉拔机上进行. 电塑性拉拔试验机由拉拔机构、专用脉冲电源和拉拔力测试系统三部分组成. 其示意图如图 1 所示. 从图 1 可知, 在拉拔时利用拉拔机的辊子转动来进行驱动, 采用专门配制的润滑油来进行润滑和冷却. 钢丝初始直径为 2.00 mm, 在拉拔实验中所使用的拉拔模内径依次为直径 1.81, 1.65, 1.50, 1.37, 1.25, 1.15, 1.04, 0.95, 0.84, 0.76, 0.69, 0.62, 0.55, 0.49, 0.45, 0.39, 0.34, 0.29, 0.255 mm, 每道拉拔模的直径大约是前道拉拔模直径的 90%. 拉拔速度比工业生产中稍小, 约为 12 m/min. 使用的脉冲电源的峰值电流为 1000 A、脉冲频率在 0—1000 Hz 的范围内可以调节. 脉冲电源通过电刷连结到拉拔模两端运动的钢丝上. 电流方向与钢丝运动方向一致. 拉制力采用一个精度为 0.1 N 的传感器来测量.

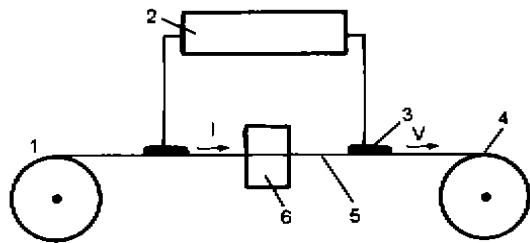


图 1 电塑性拉拔机原理示意图

Fig.1 The sketch of electroplastic drawing machine

- 1—wire feeding roller 2—power supply
- 3—slide contact 4—drawing roller
- 5—wire 6—drawing die

实验材料 H0Cr17Ni6Mn3 钢丝是我国自行开发的焊丝材料. 拉拔前钢丝为退火态组织. 抗拉强度 $\sigma_b=880$ MPa、延伸率 $\delta=40\%$.

实验在常温下进行. 在各拉拔道次下, 分别进行不加电和施加脉冲电流的拉拔实验, 并对各种条件下拉拔的钢丝进行力学性能测试.

2 实验结果与分析

在其它工艺条件相同的情况下, 对 H0Cr17Ni6Mn3 钢丝进行了不施加和施加脉冲电流的拉拔对比实验. 图 2 所示为 H0Cr17Ni6Mn3 钢丝在施加与不施加脉冲电流条件下拉拔力与变形量的关系. 其中变形量用钢丝的真应变 ϵ 表示: $\epsilon=\ln(d_0/d_n)^2$, d_0 是钢丝拉拔前的初始直径, d_n 是钢丝拉拔过 n 道后 (即经过 n 个拉拔模的拉拔变形后) 的直径. 从图 2 可以看出, 拉拔力随变形量的增大有

一个由小变大, 达到最大值后逐渐下降的过程. 无论加电或不加电, 钢丝拉拔力大约都在真应变 $\epsilon=0.4$ 时最大. 图 2 清楚表明, 在任何变形量下, 加电条件下的拉拔力都比不加电时小, 可见施加脉冲电流可减小钢丝拉拔力, 即有明显的电塑性效应. 钢丝拉拔力的下降率随变形量的变化如图 3 所示. 其中拉拔力的下降率用 $(P_n - P_e)/P_n$ 表示, P_n 、 P_e 分别是同一道次下不加电和施加脉冲电流时的拉拔力. 可见拉拔力下降率随变形量增加逐渐增加, 且拉拔力的下降率可高达 40%. 由于在不加电的条件下, 钢丝在第 9 道次 ($\epsilon=1.49$) 时发生断裂, 使得无法得到变形量更大时不加电和加电条件下的钢丝拉拔力的比较.

图 4 所示为 H0Cr17Ni6Mn3 焊丝拉拔时的拉拔真应力—真应变曲线. 加电和不加电条件下的钢丝拉拔应力都随变形量的增加而增大, 且增大的趋势是逐渐变缓的. 图中加电条件下的钢丝拉拔应力—真应变曲线比不加电条件下的拉拔应力—真应变曲线上升缓慢, 表明脉冲电流在拉拔过程中有减缓钢丝加工硬化的作用. 在实验中发现, 在不加电拉拔时, 钢丝在第 9 道次 (直径 0.84 mm) 出现断裂. 实际拉拔变形量为 $\epsilon=1.49$. 而加电拉拔的钢丝在第 19 道次 (钢丝直径为 0.255 mm) 时才断裂. 加电条件下钢丝的拉拔变形量为 $\epsilon=4.12$, 约为不加电最大拉拔变

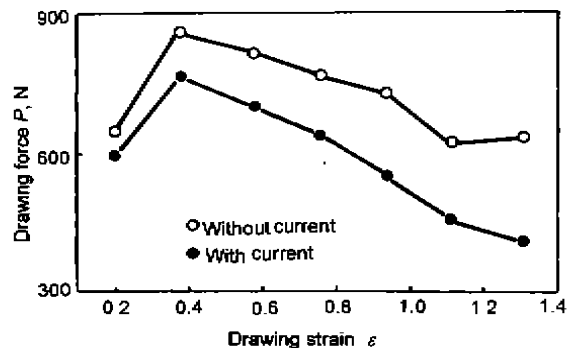


图 2 H0Cr17Ni6Mn3 钢不同变形量下的拉拔力

Fig.2 Drawing force vs drawing strain for H0Cr17Ni6Mn3

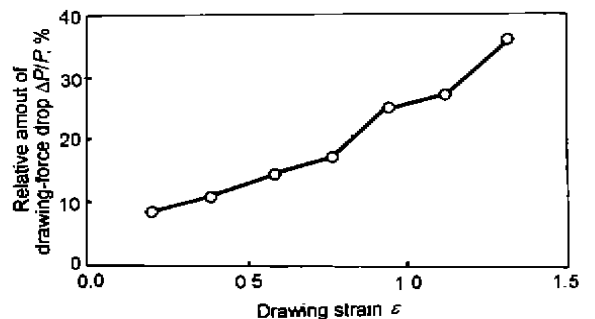


图 3 H0Cr17Ni6Mn3 钢不同变形量下的拉拔力下降率

Fig.3 Relative drop rate of drawing force vs drawing strain for H0Cr17Ni6Mn3 steel

形量的 2.8 倍, 可见加电后钢丝的塑性和变形能力得到很大的改善. 实际上, 在钢丝的工业拉拔过程中, 通常在钢丝的拉拔变形量达到一定量后, 便要进行退火处理以消除残余应力, 恢复材料的变形能力. 否则便会在钢丝拉拔过程中断丝或在钢丝表面出现竹节状缺陷. 上述实验结果表明, 施加脉冲电流可增加钢丝的塑性变形能力, 减少钢丝拉拔过程中的中间退火次数, 甚至可取消中间退火.

图 5 所示为不同变形量下的已拉拔钢丝的抗拉强度. 可见拉拔使钢丝硬化, 拉拔后的钢丝的抗拉强度随变形量的增加而增大. 施加脉冲电流可降低拉拔后的钢丝的抗拉强度. 同时可见, 与不加电拉拔相比, 加电拉拔后的钢丝的抗拉强度随变形量增加而上升的趋势要平缓得多.

实验中还发现脉冲电流的频率对拉拔力和拉拔后钢丝的性能均有一定的影响. 在不同的拉拔变形量下, 拉拔力都随脉冲频率的增大而减小, 并逐渐趋于平缓. 实验结果表明, 对于不同的变形量均有最佳频率. 超过最佳频率后, 拉拔力降低不明显, 已没有意义. 实际生产的拉拔速度比本试验中的拉拔速度大, 最佳频率应该相应提高.

拉拔是一种塑性加工过程, 钢丝在通过拉拔模时发生

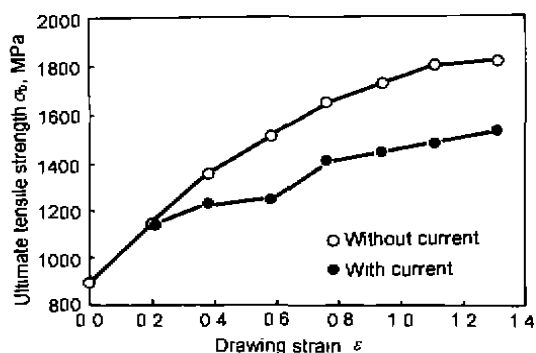


图 4 H0Cr17Ni6Mn3 钢的拉拔应力 - 真应变曲线

Fig.4 Drawing true stress vs drawing strain of a H0Cr17Ni6Mn3 steel

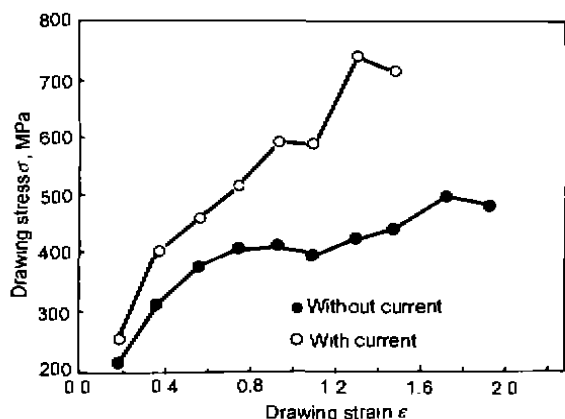


图 5 H0Cr17Ni6Mn3 钢在拉拔不同变形量后的抗拉强度

Fig.5 Ultimate tensile strength of H0Cr17Ni6Mn3 wires drawn at different strains

塑性变形. 根据 Siebel 的研究结果, 使金属发生塑性变形所需的外力可由下列公式计算^[6]:

$$P_{dr} = K_{fm} F_A [\phi(1 + 3\mu/2) + 2\alpha/3] \quad (1)$$

式中 P_{dr} 为拉拔力; K_{fm} 为变形抗力; F_A 为变形后金属的截面积; ϕ 为对数变形率; μ 为摩擦系数; α 为模具半锥角. 在一定道次的拔制过程中, F_A , ϕ , μ , α 都是不变的常量. 在加电条件下, 拉拔力 P_{dr} 的减小, 必然是由于电流使金属变形抗力 K_{fm} 降低所引起的.

根据金属变形理论, 金属的塑性变形是位错的大量产生和运动的结果. 变形时位错在形成、增殖和运动的过程中, 会相互作用而发生缠结, 位错的进一步运动受到阻碍造成加工硬化. 除此以外, 位错在运动的过程中还会受到晶体中的缺陷和第二相的阻碍. 因此, 必须有更大的外力来推动位错的运动不断进行. 在不加电的条件下, 作用于位错上的外力为 (以下所引用的参量若为矢量均为矢量模)

$$F_a = \tau_d b \quad (2)$$

式中, F_a 是作用在单位长度位错上的、由拔制力产生的推动力; τ_d 是拔制应力在位错运动方向上的剪切力的分量, b 是位错的 Burgers 矢量. 而在加电的条件下, 使位错运动的外力不仅来自于拔制力, 电子流也对位错运动有一定的推动作用. 依据动力学的观点, 电子流作用在单位长度位错上的力 F_e 为^[6]

$$F_e = (b/4)[(v_e/v_d - 1)/(v_d/v)](\delta n_0/\delta \mu)\Delta^2 \quad (3)$$

式中 v_e 是电子运动的平均速度; v_d 是位错的运动速度; v 是 Fermi 面上的电子运动速度; n_0 是自由电子浓度; μ 是化学位; Δ 是变形位常量. 可见当电子运动速度 v_e 大于位错运动速度 v_d 时, 电子流能对位错运动产生促进作用. 即加电拉拔时, 位错运动的推动力是由拉拔力和电子流的作用力两部分组成. 在电子流的作用下, 位错在较小的外力作用下便可以运动. 因此在材料、钢丝的拉拔变形量等其它条件相同时, 加电条件下的拉拔力要比不加电时的拉拔力小.

实验结果表明, 施加脉冲电流可提高钢丝的塑性变形能力, 降低加工硬化速率. 这可能是因为高密度的脉冲电流的作用下位错的可动性增加, 使位错能越过滑移面上的障碍继续运动, 或打开位错间的缠结继续运动, 从而使加工硬化速率降低. 其结果也会导致拉拔后的钢丝软化和抗拉强度降低 (图 4 和图 5), 并且会导致在随后的拉拔变形中拉拔力降低. 图 3 的结果表明拉拔力下降率随变形量增加逐渐增加, 说明在施加脉冲电流后拉拔力的降低不仅与本道次加电条件有关系, 而且还受前几道次加电情况的影响, 是一个逐渐积累的过程. 即在加电拉拔时拉拔力的下降来源于拉拔过程中脉冲电流的作用和前道次拉拔变

形中脉冲电流作用下产生的钢丝软化效应。由于施加脉冲电流可降低钢丝拉拔力、增加钢丝的塑性变形能力和减缓加工硬化,从而减少钢丝在拔制过程中因塑性不足而需进行的中间退火处理次数,因此,施加脉冲电流的电塑性拉拔方法是一种极具潜力的高效拉拔方法。

3 结论

(1) 脉冲电流使拉拔时的拉拔力显著下降,并且随变形量的增加拉拔力降幅增加。拉拔力的最大降低幅值达 40%。

(2) 施加脉冲电流使 H0Cr17Ni6Mn3 钢丝的最大拉拔变形量大幅增加,使变形量达 $\varepsilon=4.12$,而同样条件下不加电时的拉拔变形量只有 $\varepsilon=1.49$ 。

(3) 脉冲电流减缓了该钢丝的加工硬化过程,提高了该钢丝的塑性变形能力,因而电塑性拉拔可以减少甚至取消常规拉拔中不可避免的中间退火。

(4) 施加脉冲电流拉拔后的 H0Cr17Ni6Mn3 钢丝的抗拉强度降低。

本研究工作得到了清华大学分析中心和首钢冶金研究院的支持,尹凤洁同学参加了部分实验工作,特此感谢。

参考文献

- [1] Troitskii O A, Lichtman V I. *Dokl Akad Nauk SSSR*, 1963; 148: 332
- [2] Okazaki K, Kagawa M, Conrad H. *Scr Metall*, 1978; 12: 1063
- [3] Conrad H, Karam N, Mannan S L. *Scr Metall*, 1983; 17: 411
- [4] Troitskii O A. *Mater Sci Eng*, 1985; 75A: 37
- [5] Sprecher A F, Mannan S L, Conrad H. *Acta Metall*, 1986; 34: 1145
- [6] Zheng M X, Tang G Y, Zhu Y H, Zhang H T. *J Tsinghua University*, 1998; 38: 28
(郑明新, 唐国翌, 朱永华, 张华堂. 清华大学学报, 1998; 38: 28)
- [7] Yao K F, Wang J, Zheng M X, Yu P, Zhang H, Fang W. *UMRS-ICAM'99*, Jun.13-18, 1999: 376
- [8] Sheng Y F, Guo X N, Zhang K, Li S L, Zhou B L. *Mater Sci Eng*, 1998; 63: 4
(沈以赴, 郭小楠, 张 坤, 李顺林, 周本濂. 材料科学与工程, 1998; 63: 4)
- [9] Qin R S, Zhou B L. *J Mater Res*, 1997; 69: 11
(秦荣山, 周本濂. 材料研究学报, 1997; 69: 11)