

Ni-Ti-Nb 宽滞后记忆合金的机械加工^①

郑玉峰 韩荣第 蔡伟 赵连城
(哈尔滨工业大学433信箱, 哈尔滨 150001)

张廷华
(佳木斯工学院二系, 佳木斯 154007)

摘 要 用正交试验法研究了 Ni-Ti-Nb 合金在不同切削速度、进给量和切削深度下的机械加工性能。结果表明: 切削速度、进给量、切削深度对切削力和平均切削温度的影响基本上与45钢相同; 切削时宜用 K 类硬质合金刀具, 最佳切削速度为40 m/min。

关键词 Ni-Ti-Nb 合金 机械加工 高温拉伸行为

Ni-Ti-Nb 宽滞后记忆合金具有良好的记忆效应和较宽的相变滞后^[1-2], 其制件可在常温下贮存、运输, 不需要保存在液氮中, 工程应用极为方便, 因而具有广阔的工程应用前景。Ni-Ti-Nb 合金导热系数较小, 仅为45钢的1/9左右, 故切削时切削温度高, 刀具磨损快、耐用度低, 因而其机械加工性能较差。目前关于 Ni-Ti-Nb 的显微组织和力学行为已有较为详细的研究^[3-4], 但 Ni-Ti-Nb 的机械加工工艺问题尚未得到圆满的解决。本文采用正交试验法研究 Ni_{44.7}Ti_{46.3}Nb₉ 的切削特性, 并与45钢进行了比较, 目的在于探讨 Ni-Ti-Nb 合金的最佳切削加工工艺。

1 试验材料和方法

试验合金成份为44.7%Ni, 46.3%Ti, 9%Nb, 采用水冷铜坩埚自耗电弧炉熔炼, 并用离心浇注法直接浇入高纯石墨模。采用电阻率—温度曲线法测得该合金的相变温度分别为 $M_f = -36^{\circ}\text{C}$, $M_s = 14^{\circ}\text{C}$, $A_s = 45^{\circ}\text{C}$, $A_f = 60^{\circ}\text{C}$, $M_s\sigma = 75^{\circ}\text{C}$ 。

Ni_{44.7}Ti_{46.3}Nb₉ 切削试样为(外径×壁厚×长) $d19\text{mm} \times 4\text{mm} \times 100\text{mm}$ 管材, 45钢为 $d34\text{mm} \times 500\text{mm}$ 棒材; 刀具为重磨式机夹硬质合

金车刀, 刀片材料分别 YT15(P10)、YW₂(M20)、YG6X(K10); 刀具前角 $\gamma_0 = 4^{\circ}$, 后角 $\alpha_0 = 10^{\circ}$, 主偏角 $k_r = 45^{\circ}$, 刃倾角 $\lambda_s = 0^{\circ}$; 试验的正交设计表见表1; 外圆干切; 测量参数为切削力 F_z 和平均切削温度 θ , F_z 的测量采用平行立式八角环三向车削测力仪, θ 的测量采用自然(工件—刀具)热电偶法, 标定采用改进型高精度快速标定装置。

高温拉伸试验在 DSS-10T 型电子万能试验机上进行, 采用薄片状试样, 试样经850℃加热30 min 后真空退火, 应变速率为 $4.1 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ 。

表1 正交设计试验表 L₉(3⁴)

序号	切削速度 $V_c/\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	进给量 $f/\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$	切削深度 a_p/mm
1	$V_{c下}$	$f_{下}$	$a_{p下}$
2	$V_{c下}$	$f_{中}$	$a_{p中}$
3	$V_{c下}$	$f_{上}$	$a_{p上}$
4	$V_{c中}$	$f_{下}$	$a_{p中}$
5	$V_{c中}$	$f_{中}$	$a_{p上}$
6	$V_{c中}$	$f_{上}$	$a_{p下}$
7	$V_{c上}$	$f_{下}$	$a_{p上}$
8	$V_{c上}$	$f_{中}$	$a_{p下}$
9	$V_{c上}$	$f_{上}$	$a_{p中}$

2 实验结果与讨论

表2给出了 YT15车刀切削 Ni_{44.7}Ti_{46.3}Nb₉

① 收稿日期: 1995- 04- 11; 修回日期: 1995- 07- 03

和45钢时, 在给定切削用量下的 θ 和 F_z 的实测值。

表2 两种材料的 θ 和 F_z 实测值(YT15)

数 据	Ni _{44.7} Ti _{46.3} Nb ₉			45钢		
	V_c 下=	f 中=	a_p 下=	V_c 下=	f 中=	a_p 下=
	35.8	0.1	0.5	51.24	0.08	0.5
	m/min	mm/r	mm	m/min	mm/r	mm
$\theta/^\circ\text{C}$	726			182		
F_z/N	390			113		

根据测得的试验数据进行数字处理得出YT15(P10) 切削 Ni_{44.7}Ti_{46.3}Nb₉和45钢的经验公式:

$$\theta_{\text{NiTiNb}} = 180V_c^{0.56}f^{0.26}a_p^{0.03} \quad (^\circ\text{C}) \tag{1}$$

$$F_{z\text{NiTiNb}} = 952a_p^{0.54}f^{0.23} \quad (\text{N}) \tag{2}$$

$$\theta_{45} = 141V_c^{0.32}f^{0.15}a_p^{0.02} \quad (^\circ\text{C}) \tag{3}$$

$$F_{z45} = 1689a_p f^{0.79} \quad (\text{N}) \tag{4}$$

表3给出了 YT15切削上述两种材料时在给定切削用量($V_c = 50 \text{ min}^{-1}$, $f = 0.1 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$, $a_p = 0.5 \text{ mm}$) 下的 θ 和 F_z 计算结果。

表3 两种材料的 θ 和 F_z 计算值

数值	Ni _{44.7} Ti _{46.3} Nb ₉	45钢
$\theta/^\circ\text{C}$	866	182
F_z/N	386	137

由表2和表3可知, Ni_{44.7}Ti_{46.3}Nb₉的切削温度和切削力均比45钢要高得多, 故其切削加工性较45钢差。

表4给出了与表2相同的切削用量下不同材料的刀具切削 Ni_{44.7}Ti_{46.3}Nb₉合金的 θ 和 F_z 值。

表4 刀具材料对试验合里的 θ 和 F_z 的影响

刀具材料	YT15(P10)	YW2(M20)	YG6X(K10)
$\theta/^\circ\text{C}$	726	635	499
F_z/N	390	330	435

从刀具磨损角度看, 即从切削温度考虑, 切削 Ni_{44.7}Ti_{46.3}Nb₉合金宜用 YG6X, 即宜用 K 类硬质合金刀具, M 类次之, 不宜用 P 类。

切削 Ni_{44.7}Ti_{46.3}Nb₉合金在试验切削用量范围内未发现积屑瘤产生, 表面质量较好;

其切屑呈带状或长螺卷, 韧性大、不易折断; 颜色从褐色、暗褐色变为紫色。图1即为 Ni_{44.7}Ti_{46.3}Nb₉的切屑形态。

图1 Ni_{44.7}Ti_{46.3}Nb₉的切屑形态

表5为正交试验时三种刀具切削 Ni_{44.7}Ti_{46.3}Nb₉的切削温度实测值。

表5 正交试验时切削温度实测值 $\theta(^\circ\text{C})$

序号	$V_c/\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	$f/\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$	a_p/mm	θ		
				YG6X	YW2	YT15
1	8.95	0.08	0.5	219	290	310
2	8.95	0.10	0.7	237	304	336
3	8.95	0.12	1.0	256	300	355
4	18.2	0.08	0.7	407	457	548
5	18.2	0.10	1.0	412	452	555
6	18.2	0.12	0.5	395	496	598
7	35.8	0.08	1.0	501	680	709
8	35.8	0.10	0.5	499	635	726
9	35.8	0.12	0.7	504	680	764

综合上述结果不难看出, 切削三要素(V_c 、 f 、 a_p) 的用量对切削温度 θ 和切削力 F_z 的影响规律基本与45钢相似。但切削 Ni_{44.7}Ti_{46.3}Nb₉合金时, V_c 对 θ 的影响程度大, 而对 F_z 的影响比45钢要小。

切削时切削温度在短时间内由室温急剧上升至几百度, 因此考察 Ni_{44.7}Ti_{46.3}Nb₉合金试样在不同温度下的拉伸特性, 可为选择合适的切削用量提供参考。Cai W 等^[5] 研究了 Ni_{44.7}Ti_{46.3}Nb₉合金在 - 90℃至-150℃的拉伸特性。结果表明, 在75℃时屈服强度有最大值 $\sigma_{0.2} = 450 \text{ MPa}$ 左右。当温度高于75℃后, 屈服强度则随温度的升高而降低。

图2为 $\text{Ni}_{44.7}\text{Ti}_{46.3}\text{Nb}_9$ 合金试样在 500~850℃ 范围内不同温度下拉伸时的应力-应变曲线,可见在试验温度范围内,合金的应力-应变曲线与普通塑性材料的相似。拉伸时,合金试样在弹性变形后发生真实塑性变形,屈服点不十分明显,屈服后产生加工硬化,应力随应变增加而增加,当应变增加至一定值时应力达到其峰值(σ_b),继续变形,应力随应变增加而降低直至断裂,并在断裂前发生颈缩。

图2 $\text{Ni}_{44.7}\text{Ti}_{46.3}\text{Nb}_9$ 合金试样在不同温度下拉伸时的应力-应变曲线

图3为合金试样的屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 、抗拉强度 σ_b 和延伸率 δ 与温度的关系曲线。由图可见,当合金试样在 500~750℃ 温度范围内变形时 $\sigma_{0.2}$ 、 σ_b 随温度的升高而显著下降;当温

度高于 750℃ 时, $\sigma_{0.2}$ 、 σ_b 随温度的升高而进一步降低,但逐渐趋于平缓。在试验温度范围内,当温度低于 600℃ 时,延伸率 δ 随温度的升高而逐渐增大,当温度高于 600℃ 时, δ 随温度的升高而显著增大。

上述结果表明, 650℃ 左右时该合金的强度较低且塑性不高,故 650℃ 左右应为其最佳切削温度区。根据前面的经验公式可计算出 YT15 在 $V_c = 40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0.1 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$, $a_p = 0.5 \text{ mm}$ 切削时 θ 值约为 870℃, 而 YG6X 所对应的 θ 值较 YT15 低 25% 左右,即用 YG6X 切削 $\text{Ni}_{44.7}\text{Ti}_{46.3}\text{Nb}_9$ 合金对应的 θ 值在 640℃ 左右,这与图3结果基本吻合。

3 结论

(1) Ni-Ti-Nb 合金的切削加工性较 45 钢差,主要是切削温度高,刀具磨损严重。

(2) 切削三要素 V_c 、 f 、 a_p 的用量对 Ni-Ti-Nb 合金 θ 和 F_z 的影响与对 45 钢的基本相似: 即对 θ 的影响,按 V_c 、 f 、 a_p 顺序减小;对 F_z 的影响,按 a_p 、 f 顺序减小。

(3) 切削 Ni-Ti-Nb 合金宜用 K 类硬质合金刀具,且最佳切削速度约为 $40 \text{ m} / \text{min}^{-1}$ 。

参考文献

- 1 Zhao L C, Wayman C M, Duerig T W. Proc of MRS Int Mtg Adv Mater, 1988, 9: 171.
- 2 Melton K N *et al.* Proc of MRS Int Mtg Adv Mater, 1988, 9: 166.
- 3 张春生等. 中国有色金属学报, 1994, 4(9): 82-85.
- 4 Zhang C S, Cai W, Zhao L C. Acta Met Sinica, 1991, 4A: 436.
- 5 Cai W, Zhang C S, Zhao L C. In: Proc ICOMAT, 1992.

(下转120页)

图3 $\text{Ni}_{44.7}\text{Ti}_{46.3}\text{Nb}_9$ 合金试样 $\sigma_{0.2}$ 、 σ_b 、 δ 与拉伸温度 T 的关系

THERMAL FORGING OF Al-Si POWDER PREFORM

Qiu Guanghan

Powder Metallurgy Research Institute,

Central South University of Technology, Changsha 410083

ABSTRACTA Thermal forging for a series of Al-Si alloy powder preforms was investigated, and the mechanical properties and wear resistance of the alloys were presented. The results showed that the forging billet might reach 99 per cent theoretical density when silicon content was not beyond 30%. Primary silicon crystal had fine and homogeneous distribution without needle or large plate shape. Tensile strength of Al-10Si-2Cu-1Mg and Al-15Si-2Cu-1Mg were 284~324MPa and 304~333MPa, hardness (HB) 124~128 and 122~124, respectively, higher than relative alloys without Cu and Mg.

Key words Al-Si powder thermal powder forging mechanical property wear resistance

(编辑 朱忠国)

(上接116页)

THE MACHINING OF Ni-Ti-Nb SHAPE MEMORY ALLOY WITH WIDE HYSTERESIS

Zheng Yufeng, Han Rongdi, Cai Wei, Zhao Liancheng

School of Materials Science and Engineering,

Harbin Institute of Technology, Harbin 150001

Zhang Tinghua

Second Department of Jiamusi Institute of Technology, Jiamusi 154007

ABSTRACT The machinability of Ni-Ti-Nb alloy at various cutting speed, feeds and cutting depth was investigated by orthogonal experimental method. The results showed that the effect of cutting speed, feeds and cutting depth for Ni-Ti-Nb alloy on cutting force and average cutting temperature is similar to that for 45 steel. K type carbide tool is suitable for cutting Ni-Ti-Nb alloy and the optimal cutting speed is about 40m/min.

Key words Ni-Ti-Nb alloy machining high temperature tensile behavior

(编辑 朱忠国)