

金屬磨削原理與磨床

徐康林編著

中國科學圖書儀器公司

出版

零件磨削后 表面质量的研究

(譯文集)

[苏联] A. B. 波德杰, B. E. 罗金諾夫、H. H. 諾維柯夫、
Г. С. 賽列布連尼柯夫合著

馮紹周譯、劉 陽校



國防工業出版社

零件磨削后表面质量的研究

(譯文集)

馮紹周譯，刘 騰校

*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 014 號

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/32 印張 1 9/16 32千字

1964年9月第一版 1964年9月第一次印刷 印数：1,001—5,450册

統一書号：15034·768 定价：(科八-1) 0.30元

序 言

零件冷加工时产生发热现象，特别是磨削加工是产生高温的冷加工工序之一，对零件的表面质量是起着决定性的影响。因为在磨削时，由于选用的工艺参数或切削用量不妥，使磨削后的零件表面产生裂纹、变形或翘曲等缺陷，结果使用寿命缩短。所以，产生这些不良现象，其根本原因，是零件磨削加工后，表面受到高温的影响，形成了残余应力。因此，如何选用最恰当的工艺参数，如何避免或减少，甚至消除加工后零件表面上所呈现的残余应力，就成了精密零件生产中急待解决的问题。

目前国外对加工过程所产生的热现象和伴随而来的残余应力的研究，已得出不少有益的结论。研究工作从理论分析和实验两方面同时进行，可以使人们认识到在不同的工艺参数和不同的生产条件下，零件经过加工后，表面产生不同温度 and 不同残余应力，从而找出规律，改善零件的表面质量，以控制残余应力。

本书选自近几年来苏联“机床与工具”杂志中所发表的有关这方面的七篇论文，希望通过本书使广大工艺师和科学研究工作者对冷加工中的热现象引起相应的注意，帮助读者能将本书中阐明的理论和一些工程计算方法直接用于生产和科学的研究，以提高产品质量。

目 录

序言	3
平磨时傳入零件热量的确定	5
平磨时被加工金屬內的溫度場	9
研究溫度場时热电偶电极的固定方法	16
快速冷却时平板和衬套內殘余应力的确定	20
殘余应力的应变測定法	29
切削力的应变測定法	38
用热模拟法对磨削时殘余应力的研究	44

平磨时傳入零件热量的确定

A. B. 波德杰、B. E. 罗金諾夫、H. H. 諾維柯夫

由切削区傳入零件的热量取决于材料的热物理参数。例如，在加工导热性高的材料时，由于傳入零件体的热量較多，这就使得被加工表面的尺寸和形状产生很大的誤差。在加工导热性低的耐热合金时，由于傳入零件体的热量較少，所以会使表面层产生很大的热应力和組織变化。

为了研究磨削时的内应力和热变形，必須确定零件内部的温度場。目前，这项工作只能用实验的方法，即采用测热法来完成[●]。

对进行上述工作而言，目前已知的测热器的结构都很少适用。因为切削过程是在测热器的外部进行的，而在测热器中装置零件时，又会产生无法计算的热量損失。

为了确定在平磨时傳入零件的热量，采用了专门的测热设备。該设备上有一个夹具，它将試样直接固定在液体槽中，并进行定位（见图1）。

該夹具是由两个帶垂直槽的支柱1构成的。利用角形件9將試样2以水平状态（I）装在垂直槽内。試样用两个頂紧螺釘3定位到工作状态I。这两个螺釘利用帶凸部5的拉杆4联結在一起。当夹紧装置移动到位置II时，試样被卸开，

● 本文发表于1957年，現在还可以用解析計算方法求得。——譯者

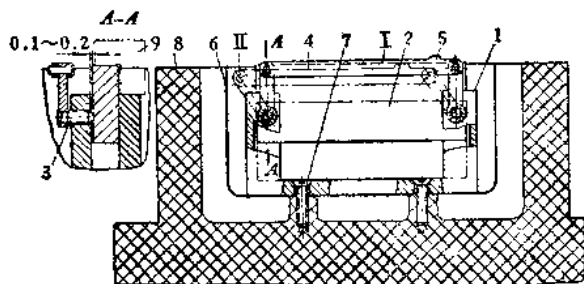


图 1

并落于测热器中。

将带支柱的夹具置于黄铜测热容器6中，并用螺钉7将其固定在笨重的胶木壳体8的凸台上。测热器容器壁和壳体内表面之间的距离约为15毫米。

测热设备的外观示于图2。该设备上装有一个支臂1（固定在机床的主轴箱上）。在磨削过程終了时，利用此支臂使测热器盖子2盖住测热器，并使夹具（图1）的夹紧装置移至位置II。

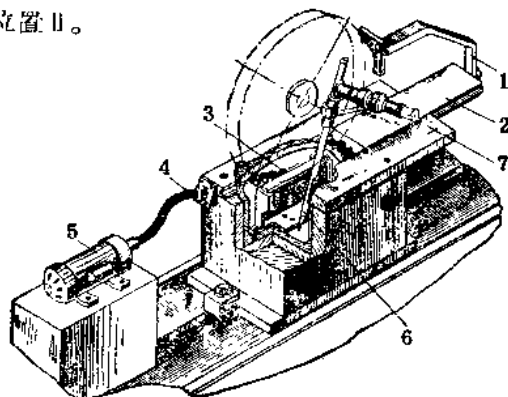


图 2

测热器内的液体用搅拌器3搅拌。搅拌器用功率为120瓦

特的电动机 5 通过軟軸 4 帶轉 液体的溫度用水銀溫度計 6 測量 溫度計的讀數由准确度为 0.01° 的显微鏡 7 示出

利用此設備曾对 $\Theta 1437$ 合金及 45 号、 MnX15 、 18XHBA 和 30AICA 各牌号鋼磨削发热进行过研究。

按下列公式計算傳入零件的热量:

$$Q = (W_{\kappa} + W_m + W_o) \Delta T,$$

式中 Q ——傳入零件的总热量, 微卡;

W_{κ} ——測热器的热特性, 微卡/度;

$$W_{\kappa} = m_{\kappa} c_{\kappa} + m_{np} c_{np} + m_{\text{ж}} c_{\text{ж}} + m_{\text{д}} c_{\text{д}};$$

W_m ——溫度計的热特性, 微卡/度;

$$W_m = m_p c_p + m_c c_c + \frac{m_c m_{\text{нозр}}}{l_{\text{обм}}} c_c;$$

W_o ——試样的热特性, 微卡/度;

$$W_o = m_o c_o;$$

ΔT ——溫度落差, 度;

$$\Delta T = T_2 - T_1;$$

m_{κ} 、 m_{np} 、 $m_{\text{ж}}$ 、 $m_{\text{д}}$ 、 m_p 、 m_c 、 m_{cm} 、 m_o ——測热器、夹具、液体、攪拌器、溫度計的水銀、溫度計的玻璃管、溫度計的芯杆、試样的质量, 克;

c_{κ} 、 c_{np} 、 $c_{\text{ж}}$ 、 $c_{\text{д}}$ 、 c_p 、 c_c 、 c_o ——測热器、夹具、液体、攪拌器、水銀、玻璃、試样的比热, 微卡/度;

$l_{\text{нозр}}$ ——溫度計浸入測热器的长度, 毫米;

$l_{\text{обм}}$ ——溫度計全长, 毫米;

T_1 ——初始溫度, 度;

T_2 ——終了溫度, 度。

測热試驗的結果列于表 1。利用所得的数据, 可以对被加工零件的溫度場进行計算。有时还必须了解通过已被磨去材料的单位体积上的热量, 此数据列于表 2。

表 1

被試驗 鋼 料	切削深 度 (毫米)	砂 輪 特 性					
		Э46 CTK	Э46 CK	Э46 CMK	Э60 CMK	Э80 CMK	Э100 CMK
加熱工件時，通過單位被加工表面 的有效熱強度，微卡/厘米 ² ·秒							
ЭИ137 (合金)	0.01	7.744	7.125	6.530	5.840	5.510	5.200
	0.03	22.027	20.729	19.100	17.510	16.210	15.600
	0.05	36.280	33.681	31.350	29.200	27.230	25.940
45號鋼	0.01	10.271	8.986	7.830	6.500	5.860	5.210
	0.03	28.246	24.91	22.200	19.540	18.230	16.940
	0.05	47.604	41.079	36.560	33.870	31.260	28.670
18X11BA	0.01	9.640	8.997	8.920	7.510	6.970	6.340
	0.03	28.279	26.991	25.190	24.110	21.570	19.040
	0.05	46.275	44.980	43.600	39.960	35.530	31.400
30X1CA	0.01	9.019	8.373	7.670	6.980	6.340	5.740
	0.03	25.768	24.477	23.010	20.360	19.090	17.800
	0.05	43.806	41.226	38.700	36.020	33.080	30.540
ИХ15 (正火的)	0.01	8.353	7.800	7.380	6.560	5.910	4.720
	0.03	25.703	23.126	22.320	19.700	17.070	14.440
	0.05	42.440	38.549	36.730	32.290	29.000	23.650
ИХ15 R ₀ =62	0.01	8.435	7.784	7.136	6.480	5.170	4.540
	0.03	24.657	22.055	20.760	16.200	15.560	12.975
	0.05	40.230	37.624	33.740	31.120	25.900	22.060

附注：試驗是在砂輪速度為30米/秒，工件速度為8米/分的條件下進行的。

表 2

被試驗的鋼料	在不同切削深度下，磨去 1毫米 ³ 金屬時，傳入零 件的热量(微卡/毫米 ³)	被試驗的鋼料	在不同切削深度下，磨去 1毫米 ³ 金屬時，傳入零 件的热量(微卡/毫米 ³)
ЭИ437(合金)	10.7	30X1CA	12.0
45號鋼	11.0	ИХ15	11.5
18X11BA	13.5		

附注：1. 試驗是在砂輪速度為30米/秒，工件速度為8米/分、砂輪特性為Э46CMK的條件下進行的。

2. 切削深度在0.01到0.05毫米間變化，每次變化量為0.01毫米。

选自《Станки и инструмент》№8, 1957г.

平磨时被加工金属内的温度场

A. B. 波德杰、H. H. 諾維柯夫、B. E. 罗金諾夫

在編制机械加工的工艺規程时，經常需要考虑在切削过程中产生的热现象。

在个别情况下，譬如，为了确定加工誤差、零件表面层的殘余应力、檢驗仪器的示度修正量等，經常都要进行相应的热計算。

这种計算方法可以根据对温度的空間-时间分布的研究来制訂，亦即用数学方法将温度場作为座标和时间的温度函数来加以确定：

$$T = f(x, y, z, \tau), \quad (1)$$

式中 T ——温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

x, y, z ——零件点的座标，厘米；

τ ——时间，秒。

表示温度場各参数关系的导热微分方程有如下形式：

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (2)$$

式中 $\alpha = \frac{\lambda}{c\gamma}$ ——导温系数，它表示在非静止过程中，使温度趋向均匀的速度，厘米²/秒；

λ ——导热系数，卡/厘米·秒· $^{\circ}\text{C}$ ；

c ——比热，卡/克· $^{\circ}\text{C}$ ；

γ ——比重，克/厘米³。

解这个方程，就是要在考虑到热过程的給定边界条件

下，求出每一时刻在被加工制件任意点上的温度分布情况

但是，由于把固体内部热分布速度为无限大的假设，作为推导导热微分方程（2）的基础，所以必须对零件内的温度场作实验研究。在作此项研究时，采用了如图1所示的简单的装置。该装置的夹具1固定在平面磨床的磁力平台上，并用螺钉3将试样2

固定在上面。热电偶的电极4用电容焊接法焊在试样上[●]。热电偶的末端插入夹布胶木制的支架5内。热电偶的冷端放在恒温器6内。恒温器内的温度利用准确度达 0.1° 的温度计7控制。热电偶与示波仪的振荡器接通。试验

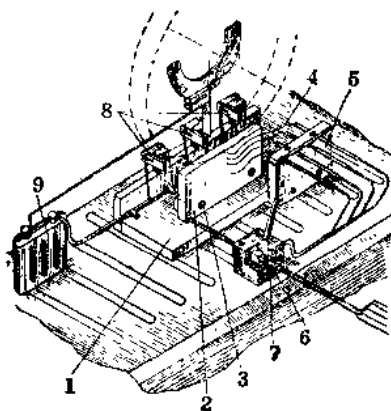


图 1

时，使用了MHO-2型八线示波仪。八线示波仪由于利用灵敏度极高的振荡器和考铜制的热电偶电极，故可以不用放大器将其接通。利用接触器8接通电路的方法，测定切削开始和終了，以及砂輪中心经过热电偶的时刻。电源是由电池9供应的。

为了及时地记录工作过程，使用了灵敏度低的振荡器。该振荡器通过降压变压器与电路接通，试验装置的电路图示

● A. B. 波得杰, H. H. 諾維柯夫和B. E. 羅金諾夫, 研究温度場时热电偶电极的固定方法, 《Станки и инструмент》 №1, 1957г.

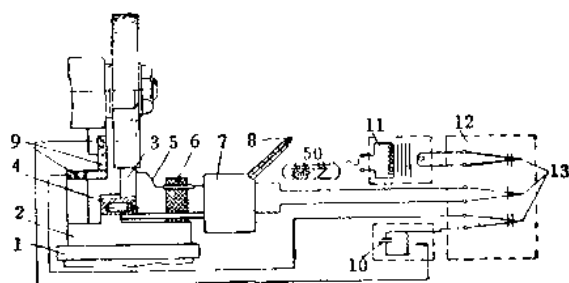


图 2

1—磁力平台；2—夹具；3—试样；4—紧固螺钉；5—热电偶的电极；6—夹有胶木支架；7—恒温器；8—温度计；9—接触器；10—电池；11—接通振荡器电路用的降压变压器（时间指示器）；12—示波仪；13—振荡器。

于图2。利用上述设备可以对深度在0.05毫米以上($y > 0.05$ 毫米)的温度场进行研究。在此深度的区域内,焊有直径为0.1毫米的热电偶电极。直径更小的电极由于焊接太复杂,而不能采用。

为了研究切削区($y = 0$)内的温度场,还需要采用其他一些方法。有些研究人员采用间接法确定切削区内的温度——根据极薄的边界层内的组织变化。Л. В. 阿尔德苏洛尔、Б. И. 科什切斯基、Е. Н. 马斯洛夫、М. И. 斯貝兰斯卡娅、А. Г. 斯貝克多尔和Г. И. 西道洛夫等人都采用过这种方法。这些作者的研究表明,切削区内的温度达到 A_{c3} 点,而且甚至接近于被加工材料的熔点。但是,利用间接法得到的数据,最好再用直接测量法加以验证。

本文叙述了确定平磨时切削区内温度的方法。按照此方法,热电偶不是装在零件内,而是装在砂輪内。采用这种方法时,破坏零件中热流的现象可以完全避免。

图 3 是一种供研究用的試驗装置簡图。在砂輪 1 內鑲有鉻鎳- 考銅制的热电偶电极 4。电极的一端引出, 并焊在集流器的銅环 5 上。热电偶的电极用电容焊接法焊住。借銅电刷 7 将热电动势傳給示波仪 3 的振荡器 2。振荡器的自振頻率应入于被研究过程的頻率。

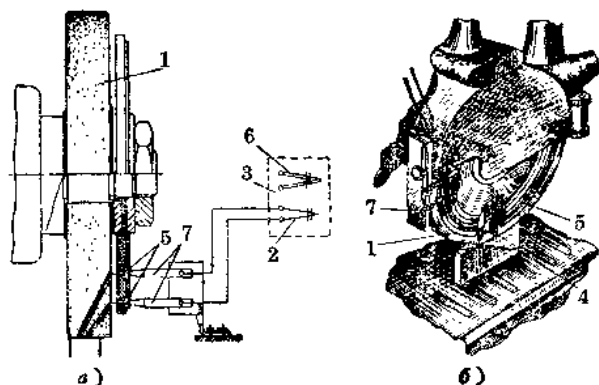


图 3

在作这些实验时, 还使用了 MTO-2 型八綫示波仪。它利用可不带放大器的灵敏度相当高的振荡器接通。实验过程利用频率为 500 赫芝的指示器 6 及时记录下来。

为了将热电偶装在砂輪中, 在砂輪上钻有两个并列的直径为 2~3 毫米的斜孔。这两个孔用一般钻头, 以低轉速钻出。将电极插入孔内, 直到从砂輪周边的孔口中露出为止, 然后用酚醛塑胶清漆混以与砂輪性质相同的砂輪粉, 填满电极与孔之間間隙, 使电极在孔内堵住。此后, 将砂輪放在电炉中, 在 $T = 200^{\circ}$ 的温度烘干 3~4 小时。砂輪的强度按相应的說明书进行試驗。

用这种设备, 记录了磨削 ЭИ 437、ЭИ 617 合金, 以及

18XНБА、30X17CA、ЦХ15 和 45 号鋼时，切削区內的溫度。研究得出的特性示波图示于图 4。該图是利用 1,000 毫米/秒的快速胶卷摄取的。讀示波图时可需利用图 5 中繪出的校准綫图。該綫图是根据 B. И. 布萊勃拉任斯基提出的方法繪制的^①。

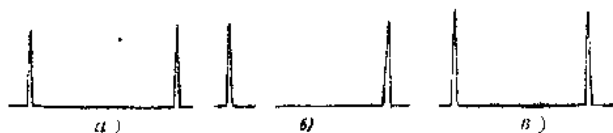


图 4

a—ЭИ437 合金，б—30X17CA 鋼；в—45 号鋼。

实验数据表明：切削区內的溫度已达到被加工材料的熔点。

利用上述设备对切削区內溫度所作的研究，以及对被加工零件溫度場的研究都說明：可以利用苏联科学院通訊院士 H. H. 雷卡林提出的对焊接用的热过程計算方程^②，对切削加工时的溫度場进行解析計算。

雷卡林对具有絕热边界的活动綫热源所提出的方程如下：

$$T(y, \tau) = \frac{q}{\sqrt{\pi \lambda c \gamma \tau}} \exp\left(-\frac{y^2}{4c\tau} - b\tau\right), \quad (3)$$

式中 $T(y, \tau)$ ——在座标为 y 的零件点上任意时刻 τ 的溫度，°C；

q ——热源强度，卡/厘米²；

① B. И. 布萊勃拉任斯基，热的測量技术及仪表，苏联国家动力出版社，莫斯科，1953年版。

② H. H. 里加林，焊接热过程的計算，苏联机械工业出版社，1951年版。

λ ——导热系数, 卡/厘米·秒·°C;

c ——比热, 卡/度;

γ ——比重, 克/厘米³;

τ ——时间, 秒;

y ——被研究点的座标, 厘米;

h ——温度传播系数, ¹/秒;

α ——导温系数, 厘米²/秒。

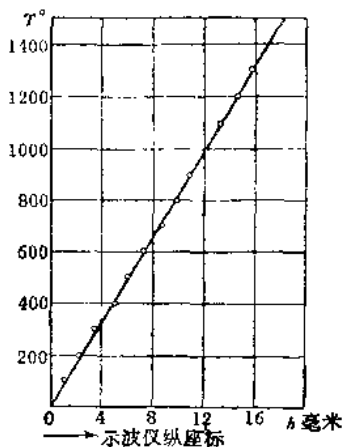


图 5

为了计算切削区内的温度, 使 $y = 0$ 和时间为 τ , 这是在砂轮与零件相接触的弧上热源作用延续的时间, 则方程式为:

$$T(0, \tau) = \frac{q}{\sqrt{\pi \lambda c \gamma \tau}} e^{-h^2 \tau} \quad (4)$$

热源强度 q 的数据可用测热法求得。

实验和计算结果列于表和曲线图中 (图 6, ЭИ 437 合



被試驗的材料	溫 度 °C		
	熔 点	实验得出的 切削区温度	計算得出的 切削区温度
合金ЭИ437	1330	1325	1330
合金ЭИ617	1320	1315	1315
鋼18ХНВА	1460	1460	1460
鋼30ХГСА	1380	1370	1385
鋼ПХ15	1300	1315	—
鋼45	1490	1460	1500

附注: 1. 磨前所用的砂輪是Э46СМК, 采用无冷却切削, 砂輪速度 $v_{kp}=30$ 米/秒, 进給量 $s_{ap}=0.025$ 毫米/轉。

2. 表中的数据是20~25次测量的平均值。

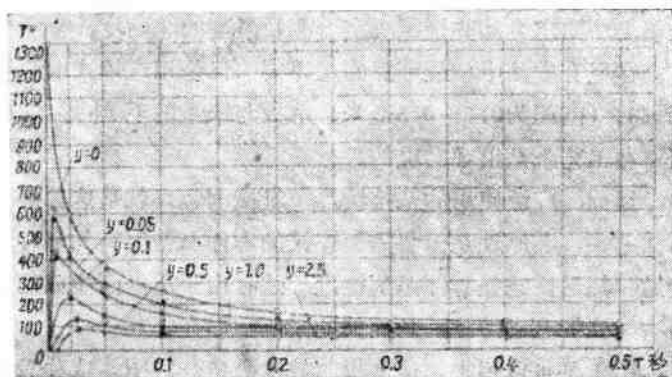


图 6

金)。带黑点的曲线是通过实验得出的, 带圆圈的曲线是通过解析计算得出的。实验表明, 两者结果的吻合令人十分满意。这说明完全可以利用解析方法进行切削时的热计算。

选自《Станки и инструмент》№10, 1957 г.

研究溫度場时热电偶电极 的固定方法

A. B. 波德杰、B. E. 罗金諾夫、H. H. 諾維柯夫

研究切削区的溫度場时，通常总是使用热电偶。使用半人工的热电偶时，其最大困难是如何把热电偶电极固定在基体金屬上。固定方法的选择决定着測量溫度的准确度。

在現有方法中，最可靠的是焊接。但是用气焊或电弧焊將細的（直徑为0.1~0.5毫米）电极与笨重的毛料焊在一起，在工艺上是很难实现的。

目前，广泛使用的是接触焊。对接电容焊就是这种焊接方法之一。其原理是：将需要焊接的零件与带电荷的电容器接通，然后使这些零件迅速接近，这时由于放电而生成的热使接触处的金屬熔化，从而彼此紧压和焊在一起。

图1是可以用来焊接电极的放电設備綫路图。这种設備，可以把細的（0.1~0.5毫米）热电偶电极焊在笨重的試样上。放电裝置是一个电容器組6。每个电容器的电容量是30微法。电容器利用功率为6.3瓩，电压为120伏特的直流发电机1充电。电容器的总电容量是3000微法。

为了記錄电压，装有一个M11型伏特表7。变阻器4用来控制电流 $I = 1.5$ 安培和电阻 $R = 130$ 欧姆，并調整成使放电裝置所输出的电压为不超过65伏特的安全电压。焊接时的电压为15~50伏特。