

激光热处理 专题译文集

北京市机电研究院

1980 • 7

激光热处理专题译文集

1980年7月出版

目 录

新型热处理技术——激光热处理	周庆贤 (1)
大功率连续 CO ₂ 激光器及其应用	刘永桢 译 (6)
利用2千瓦级CO ₂ 激光器进行金属表面处理(I)	刘玉莹 译 (13)
利用2千瓦级CO ₂ 激光器进行金属表面处理(II)	刘玉莹 译 (21)
BOC公司制造的2千瓦级CO ₂ 气体激光装置用 于热处理	李会君 (34)
用工业激光器进行表面硬化和合金化	李荣东 译 (35)
用 CO ₂ 激光器硬化金属(激光涂敷)	周庆贤 译 (43)
激光硬化	周庆贤 译 (44)
金属的激光冲击硬化	周庆贤 译 (49)
用激光处理材料	李荣东 译 (50)
钢的激光热处理	周庆贤 译 (59)
激光热处理	陈 懿 译 (70)
用激光连续照射方法使灰口铸铁件表层硬化	曲作德 译 (73)
用激光连续照射使蠕虫状石墨铸铁表层硬化	曲作德 译 (78)
激光表面硬化在福特公司的应用	陈 懿 译 (81)
激光表面硬化的实践准则	朱承永 译 (83)

编辑、出版、发行：北京市机电研究院技术情报室

地址：北京朝阳门外三里屯

电话：59·1536

邮政编码：100014

新型热处理技术——激光热处理

周 庆 贤

激光是本世纪六十年代出现的重大科学技术成就之一。由于它具有一些很有价值的特殊性能，一经问世就引起了各方面的重视。今天，激光在工业、农业、军事、医学等各个领域都得到了非常广泛的应用。

激光在机械制造领域里的应用同样发展十分迅速。激光焊接、切割、打孔以及激光测量等技术发展较早，在一些发达的资本主义国家早已作为成熟的工艺纳入生产流程。我国也有不少单位成功地进行了试验并应用于生产中。

激光热处理是在七十年代出现了大功率激光器以后才开始研究的，更确切地说，是近七、八年发展起来的新技术。比起激光焊接、切割、打孔以及激光测量等技术来，激光热处理历史较短，从理论到实际都有待进一步探讨。目前国外多数国家（如西欧、苏联）处于试验阶段，只有少数国家（如美国、日本）的某些公司已应用于生产。然而，由于激光热处理可以获得其他热处理技术所不能达到的一些效果，所以人们对它的兴趣与日俱增。

众所周知，激光的特点是高亮度、高方向性和高单色性。高亮度和高方向性对于激光热处理具有决定性的意义。高亮度，也就是激光束的能量高，还可以通过聚焦，使光束集中在一个很小的面积内，形成高达 10^6 千瓦/厘米²的功率密度。这样高的功率密度比太阳光聚焦后的功率密度高一万倍，只有电子束才能与之相比。高

方向性，使激光束易于控制，可以将激光束引向任意位置，而且可将能量传得很远而不致衰减。

激光热处理就是以激光作为热源的热处理。处理过程是：将激光束扫射零件表面，其红外能量被零件表面吸收而迅速形成极高的温度，使金属产生相变甚至熔化。随着激光束离开零件表面，零件表面的热量迅速向内部传递而形成极高的冷却速度，使表面硬化。

激光热处理与常规热处理方法比较具有以下优点：

（1）加热快，工件热变形小。因激光功率密度高，半秒钟内就可以将工件表面从室温加热到摄氏760度，因而热影响区小，热处理变形极小。不仅节省能源，并且表面清洁，处理后不需修磨，可以在零件精加工以后作为最后一道工序。

（2）可以对形状复杂的零件或零件的局部进行处理，如盲孔、小孔、小槽、薄壁零件等；也可根据需要在同一零件的不同部位进行不同的处理；还可在成本低廉的零件表面进行高级金属的局部涂敷或合金化。

（3）通用性强。由于激光聚焦深度大，在离焦点75毫米左右的范围内功率密度基本相同。因此，激光热处理对工件尺寸大小及表面是否平整都没有严格的限制。用一台带光学系统的激光器可以处理各种形状、各种尺寸的工件。

（4）操作简单，便于实现自动化生

产。生产重复性好,质量稳定、可靠,可以纳入流水线。

(5) 不需要处理介质,有利于环境保护。同时,必要时又可以使零件在特殊气氛中(例如真空)进行处理。

以上这些优点,不仅一些常规热处理方法望尘莫及,而且也是某些先进的热处理工艺难以达到的。但是激光热处理也有它的弱点。例如,它还只是一种表面处理方法,无助于改善零件芯部性能;处理层太薄,不能用于重负荷零件,也不适于大型零件。

激光热处理装置的形式是多种多样

的,但一般应包括以下几部分:激光器、功率调节系统、聚焦系统、导光系统、光束摆动机构、聚焦镜头、工作台及控制系统。美国AVCO公司在这方面处于领先地位,已有供自动生产线使用的激光热处理装置出售。图1为美国AVCO Everett实验研究所设计的HPL型工业用激光器及热处理装置示意图。采用连续波CO₂激光器,最大输出功率为15千瓦,输出功率可以自动控制,误差保持在3%以内。改变功率只需0.1秒,可由人工、数控装置或电子计算机控制。

为了充分利用大功率激光器,每台激

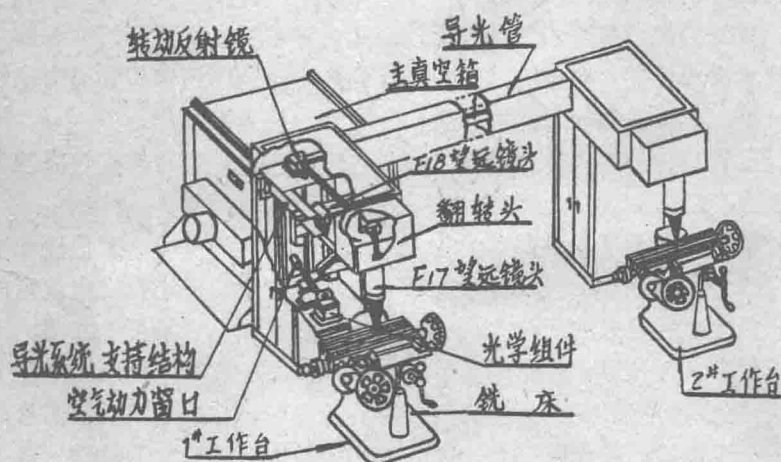


图1 HPL型工业激光器及热处理装置示意图

光器可轮流供给两个或两个以上的工作台使用,也可将激光分成两个光束,同时供给两套工作台使用。

根据国内外资料介绍,目前国外在激光热处理方面的试验和应用大致包括以下几种形式:

一、激光表面硬化

这是在各种激光热处理形式中应用最为广泛的一种。用激光束扫描零件的表面,零件表面被扫过的地方就被硬化。激

光表面硬化的原理和普通淬火原理相同,所不同的是:(1)加热时间很短,仅千分之几秒到十分之几秒;(2)加热区域很小,其面积就是激光扫描的面积,其深度从几十微米到几百微米;(3)冷却速度很高,可达 1.7×10^4 ℃/秒;(4)不需要淬火剂,靠热量由表及里的传导自动淬火。

影响激光硬化范围大小的因素很多,归纳起来是:激光束的功率密度、加热时间和零件本身的情况(零件的结构、成

份、表面吸收率、表面光洁度等)。当其他条件一定时,被处理零件表面的温度和硬化深度与激光照射时间的平方根成正比。所以,调节激光功率、光斑尺寸和扫描速度就可以得到所需要的表面温度和硬化深度。为了提高零件表面吸收激光束的能力,往往将零件表面加以“黑化”,亦即涂以碳黑、金属氧化物、磷酸锰等暗涂

料。

美国AVCO公司用HPL型大功率激光器对各种汽车和飞机零件进行表面硬化处理,其中有:

(1) 铸铁阀座(见图2)硬化深度0.9毫米,变形极小。

(2) 凸轮轴(见图3),变形极小,不需进行事后的机械加工和校直。

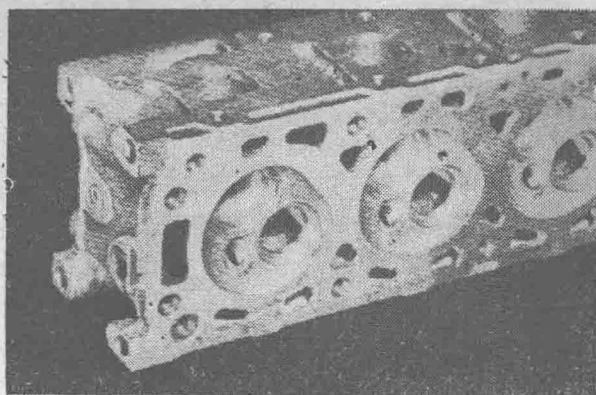


图2 经激光硬化的铸铁阀座

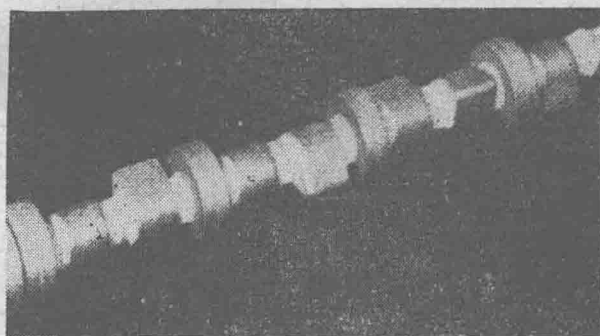


图3 经激光硬化的凸轮轴

(3) 斜齿轮(见图4),齿部和齿根进行连续硬化。

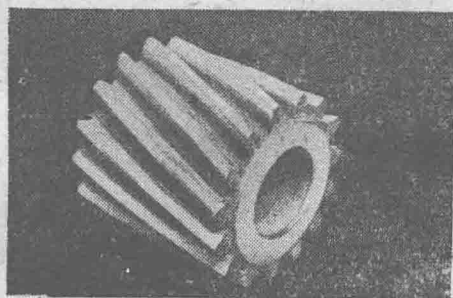


图4 经激光硬化的斜齿轮

(4) 飞机发动机汽缸内孔(见图5),内孔直径为130毫米,长160毫米。

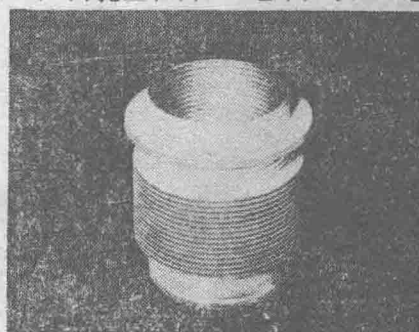


图5 经激光硬化的飞机发动机汽缸

(5) 凸轮轴 (见图6), 其变形量 <0.13 毫米。

还可举出激光硬化在生产中应用的实例: 美国通用汽车公司Saginaw转向器厂用激光对转向器壳体内孔进行表面硬化处理, 硬度为HRC57~60, 壳体耐磨性比不处理提高9倍, 成本仅为用电炉整体淬火或进行氮化处理的1/5 (详见44页《激光硬化》一文)。通用汽车公司电气机车厂在进行大量试验以后, 从1977年开始用5千瓦CO₂激光器对柴油机缸筒(材料为铸铁合金)内表面进行硬化处理, 硬化层厚度为0.25~0.64毫米, 通常处理每个气缸筒需15分钟, 计划减至8~9分钟。运行试验证明, 原来严重影响缸筒寿命的磨损问题虽然不能消灭, 但已大大减轻了。

二、激光表面合金化

这是激光特有的应用方式, 可以改变金属的化学成份。在零件表面需要合金化的部位放上一薄层合金元素, 用激光束照射, 使合金元素和基体金属表面同时熔化、混合, 金属表面凝固后就可以得到合金的特殊性能。

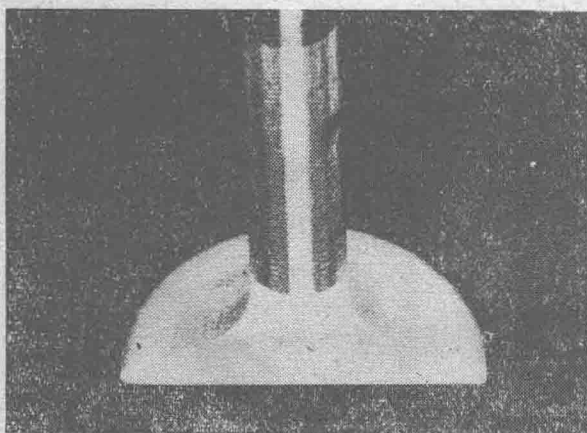


图7 经合金化处理的排气阀截面



图6 经激光硬化的凸轮轴

通常采用的渗碳、渗铬、氮化等合金方法需将整个零件放入炉中进行长时间的加热, 通过碳、铬、氮等元素的扩散、气相沉积来改变金属的化学成份。这些办法生产周期长, 变形大, 消耗的合金元素多。相比之下, 激光表面合金化具有效率高、能量消耗少、合金元素消耗少、变形小的优点。但这种处理方法仍需预热零件以及较长时间的高温后处理。工序繁多, 有待进一步研究简化。

激光合金化需要较强的功率密度, 约为相变硬化所需功率密度的三倍。合金层的深度与激光功率、扫描速度和金属成份有关。

美国AVCO公司用激光表面合金化处理汽车排气阀, 以增进耐腐蚀、耐磨损和抗冲击的能力。图7为经合金化处理的排气阀截面照片。

另一例是灰口铁阀座的表面合金化。该阀座需在高温条件下工作, 零件产生回火, 使用寿命很低。为了提高它的耐热性, 在机械加工以后对该阀座的关键部分进行渗铬合金化处理, 处理后硬度提高到HRC55, 精度保持

在0.13毫米以内。用这种廉价的、高效的方法可以代替整个零件采用昂贵的高温合金材料) 详见35页《用工业激光器进行表面硬化和合金化》一文)。

三、激光表面涂敷

激光表面涂敷的原理与焊接相似。将粉末状涂敷材料撒在金属表面, 用大功率密度激光束加热, 使之全部熔化, 金属表面同时也有微量熔融。当激光束离开后, 表面迅速凝固, 就形成与基体金属粘得很牢的涂敷层。激光表面涂敷工艺可在价格低廉的金属材料上覆盖一层具有特殊性能的材料, 比起喷涂、电镀、离子镀层等工艺来, 操作简单, 加工周期短, 节省涂敷材料。

美国AVCO公司在这方面进行了试验研究。他们试验了把硬质合金涂敷到零件表面, 还在拖拉机柴油发动机的铸铁阀座衬套(不锈钢)表面进行钴基合金的表面涂敷。图8是激光熔化钴基粉末的情况。

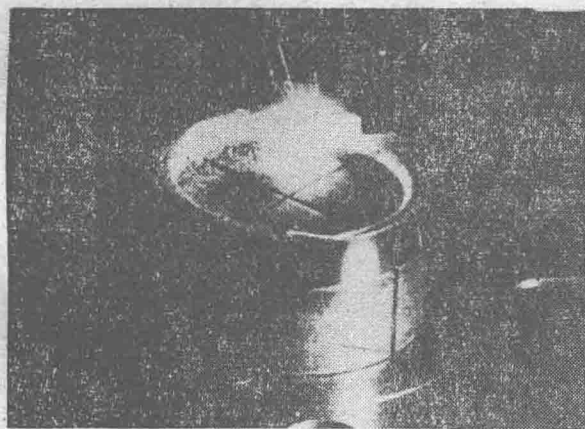


图8 在铸铁阀座衬套表面涂敷钴基合金

四、激光冲击硬化

激光冲击硬化的原理是: 当功率密度极高(例如 10^6 瓦/厘米²)的激光束在极

短的时间内(例如百万分之一秒)照射金属表面时, 金属表面约几微米的薄层迅速加热并引起汽化。这种汽化将动量传入金属内部, 冲击波穿过金属材料, 在显微结构上造成内部“损伤”, 使金属强化和硬化。

美国俄亥俄州哥伦布纪念实验室用不同的脉冲激光器对钢、铝、钛合金进行了冲击硬化研究。但这种技术还处于初始阶段, 尚未看到实际应用。

五、激光“上釉”(或称“上光”)

用激光扫描金属表面, 在一定的条件下以极快的冷却速度(一般为 10^6 °C/秒)冷却, 能在表面造成类似玻璃状的非晶态组织, 从而使金属表面具有高度的耐磨性和耐腐蚀性。激光“上釉”目前还处于研究阶段, 也未见实际应用的报导。

综上所述, 激光热处理是一项具有广阔前途的新技术。作为一种热处理手段, 它拥有一些特殊的优点。一经出现就显示了强大的生命力。有人认为, 激光焊接、

打孔、切割是激光在机械工业中应用的第一代, 没有引起金属内部的变化; 而激光热处理引起了材料本身的物理化学变化, 它的初步成功标志着激光应用进入了第二代。

激光热处理对于我国工业发展具有一定意义, 与赶超世界先进水平、实现四化有直接的关系。我国已有一些单位开始进行试验研究工作。在激光热处理的领域里, 一些发达的资本主义国家, 尤其是美国, 处于遥遥领先的地位。但他们从开始研究到现在不过七、八年, 我们落后的时间充其量只有十年。我们应该也可以在本世纪内赶上和超过它们。

大功率连续作用式 CO₂激光器及其应用

爱得瓦特·洛克

摘 要

近年来,由于激光技术的进展,使工业用几千瓦级激光器得到了发展。本文评述连续作用式CO₂激光器发展现状及其在金属加工中的应用,分析在所须功率密度下,获得均匀放电的物理问题和工程问题。

本文评述的主要重点放在较新的材料表面硬化及表面合金化的应用方面。近年来这种工艺较成功地用于汽车工业中以代替通常的硬化及表面硬化工艺。

引 言

提起激光,通常都是指能远距离传送而能量衰减较小的细铅笔状激光束。一些激光束通常用于测量仪器及装配大型机械结构的校准工具,功率一般在1毫瓦左右,波长在可见光范围内。1~300瓦的可见光及红外激光器越来越多地用于金属和塑料的微型加工、焊接和切割上。

随着激光技术的发展,已经有功率水平达1000~15000瓦、转换效率约为10%的CO₂激光器。这些激光器用CO₂气作激活气体,波长为红外光(10.6微米)。然而传送远、光束细、并能聚焦成很小的点的能力和低功率激光光束相似。

采用这种激光器,可以切割和焊接2英寸厚的金属;表面硬化及合金化处理的深度可达0.06英寸。激光焊接及热处理已用于生产,几年后将会得到更广泛的应用。

几千瓦级激光器的分类

为了有助于了解几千瓦级激光器的现

有水平,可把气体激光器分为三类:

第一类:

普通放电管激光器。见图1,它是通过冷却管壁来冷却气体的。由于这种激光器不能在大于华氏400度的温度下效果良好地运行,玻璃管能承受的最大电功率必须小于每英尺放电管160瓦。按转换效率15%计算,对应的输出功率为24.0瓦/英尺。当输入功率再大时,气体就要过热,输出功率将不会增加,即使放电管直径大到超过通常的1~2英寸,输入功率也不会超过120瓦/英尺。因为到冷却壁的距离增加,管中心部分的气体要过热。如果增加气压而提高热容量,那么电极间的均匀放电变成灯丝状的,会使输出功率明显下降。

因此要想增加第一类激光器的输出功率,唯一的方法只能是增加玻璃管的长度。这类激光器的实验装置接近衍射极限的输出功率,可达10千瓦,这类装置的长度是玻璃管400英尺的这个数量级。

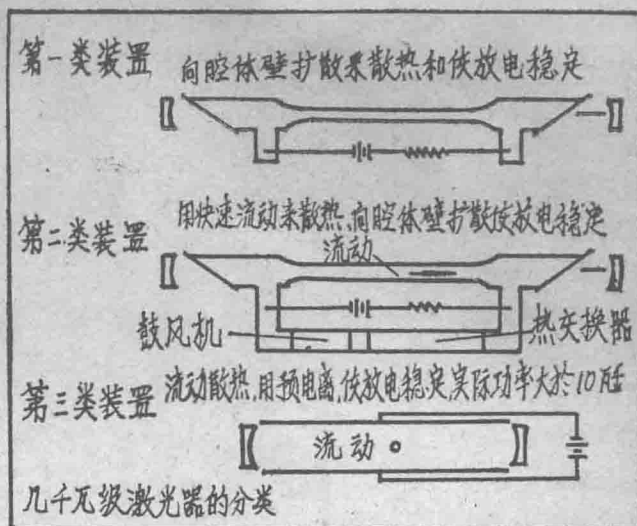


图1 几千瓦级激光器分类

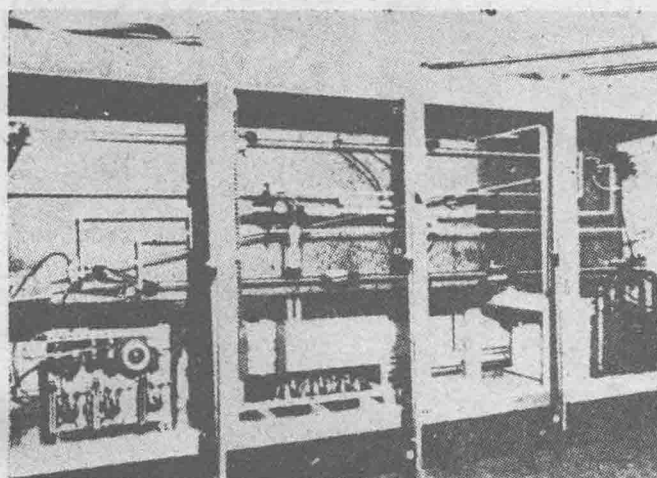


图2 1千瓦激光器照片(第一类)

图2表示的1千瓦 CO_2 激光器是第一类现在工业应用激光器中最大的装置之一。其主要结构是一个大的垂直安装的花岗石板,上面放着玻璃放电管,六根七英尺长的管子呈“Z”字形排列,交叉处装配了反射镜,使光束从一根管反射到另一根管中。

第二类:

使气体快速流过放电管,依靠对流法而不是传导法将余

热带走,这是由于对流比传导快的缘故。在不增加气体量和提高温度的条件下可使用较大的输入功率,第二类的轴向流动装置见图1。一种第二类装置的变型产品已成功地在闭合循环中运行,激光器接近衍射的输出光束的功率已提高到约6千瓦。在这类激光器中仍在组长玻璃放电管中放电,放电方向和流动方向平行。管子直径小、气压低,如同第一类装置,电子向管壁扩散,造成均匀放电,这类激光器的输出功率接近200瓦/英尺。

图3表示第二类2千瓦激光器,图4

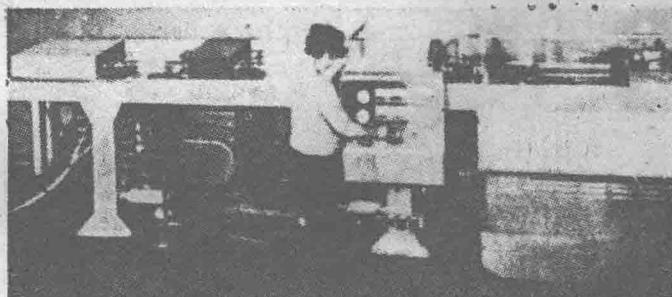


图3 2千瓦激光器的照片(第二类)

表示第二类6千瓦激光器，虽然比第一类功率大，但并不算太大的。

第三类：

装置是气体流动方向和放电，光轴方向互相垂直，与第二类轴向流动的形式相反，产生了一种横向流动的形式，其主要优点是激活气体在光腔中的停留时间比轴向流动的形式要短，能量密度高，因而光腔单位长度的功率大。但是由于没有象在第一类和第二类装置中玻璃管促使放电稳定，必须采用放电的其他形式。但是，通常未必总是需要电离激活气体使它导电。主要的或者主级电能将被传到气体导电区，造成均匀放电，而不是灯丝状放电。

有一种方案是大面积用低能电子束射入光腔引起气体电离。电子束和气体流动方向、光轴方向垂直，主级放电方向与电子束的方向一致。光腔的光轴垂直于流动方向和放电方向。图5表示使用这种过程的装置。图6表示在4千瓦级激光器中不用借助于预先电离达到稳定放电，而是用

一组阴极及每个阴极上安装单独的镇流电阻来达到稳定的。

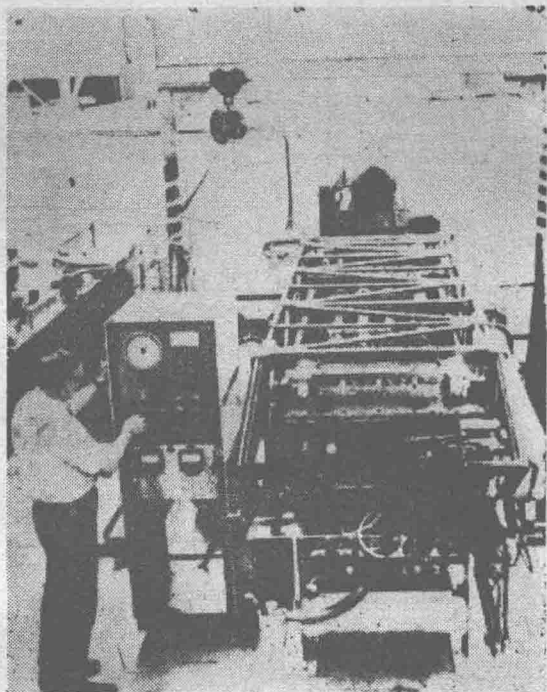


图4 6千瓦激光器照片（第二类）

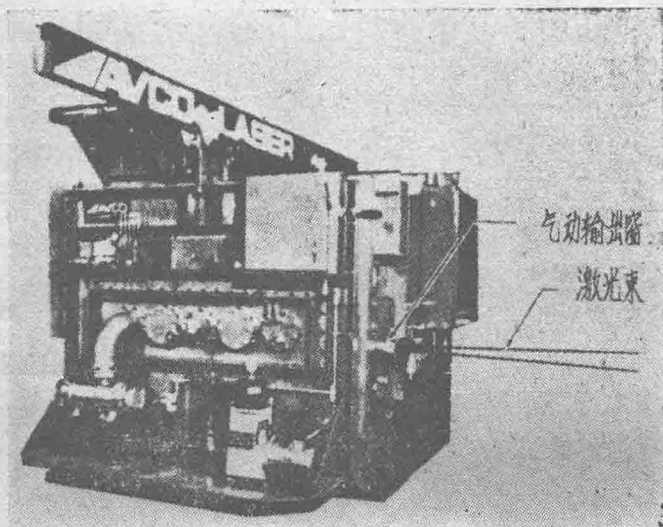


图5 15千瓦激光器的照片（第三类）

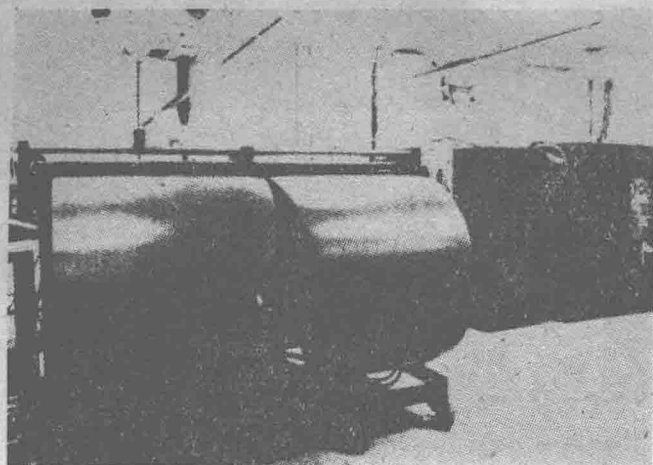


图6 4千瓦激光器的照片(第三类)

激光表面硬化

有很多改变金属工件表面性能的方法,通常分为两大类:第一类适用于一定的高合金材料的热处理,这种热处理是按规定的温度——时间曲线从一个相到另一个相来强化金属,从而改变金属表面的显微组织。如果要求深的硬化层,则可用火焰或炉子将零件整体加热后淬火。如果只要求薄的硬化层,则感应加热是适宜的。用于普通表面硬化的感应加热,其热处理深度可达0.01~0.1英寸。然而,由于感应而产生的电磁场与耦合感应电流流量及一个不规则外形零件表面加热的程度将随位置不同而变化。例如,有一个突出的部分,这一部分感应吸收就多,而邻近其他部分吸收就少,因此要想得到复杂零件的所要求的热处理图形是困难的,或不可能的。

第二类是改变表面的化学成分,通常有二种方法:第一种化学热处理,即将碳、氮及其他气体扩散进低合金金属的表面。将零件放在炉内,加热至足够高的温度,将附加元素扩散至表面内所要求的深度,然后淬火。第二种将一层不同的材料

堆焊到表面上,但是对于复杂形状的零件在自动化处理中实现这种覆盖工艺是困难的,有时用等离子喷镀代替覆盖以产生一种微孔海绵状表面,降低了机械性能及热性能。

通过大功率激光器和通常方法的竞争,证明在某些情况下采用激光优于普通的方法。

热处理

所谓激光热处理是指激光束辐射到材料表面并使表面薄层吸收这些激光能量,当激光束很快扫过金属表面时,热从表面进入到基体冷态金属中,从而完成淬火,而不必使用液体淬火。

通过适当的涂层,大部分入射激光能量被表面吸收,即使入射角达45度,吸收还是很高的。因为热处理时照射范围的光束深度大,例如零件形状不规则程度虽达几英寸,仍会使表面吸收的热量没有差别。这一特点是靠一组万能旋转镜使激光束照射到工件的各个点上,(和感应加热不同)所以可热处理它能照到的任何表面。

热处理深度由热传导率决定。表面温度的升高与停留时间的平方根成正比;热量透入零件的距离亦和停留时间的平方根成正比。因此,可以用调整光束大小、激光功率和光束扫描速度的办法来精确控制表面温度及热量透入深度。

有三种应用交叉硬化图案的方案:第一种是将所需图样覆以涂料层,由于不涂部分比涂的部分吸收少,因此只有涂的部分才被热处理。第二种是整个面都涂,用一块一定形状的反射板(如薄铜板)挡住。第三种是用特殊的光学系统使光束只照到一个区域。

对于硬化层要求浅,以及形状和热处

理轮廓对于感应处理过于不规则的零件，则最好选用激光硬化，以便在高速加热而变形小的情况下，得到所需的硬度。这方面的多种应用在本文中还要论述。

图7表示铸铁的硬化表面，速度约为40英寸/分，功率为10千瓦。零件在热处理后的变形很小，表面光洁度为90微米，硬度可达HRC60，而且均匀，约为0.050英寸，比感应加热所得硬度值为高。

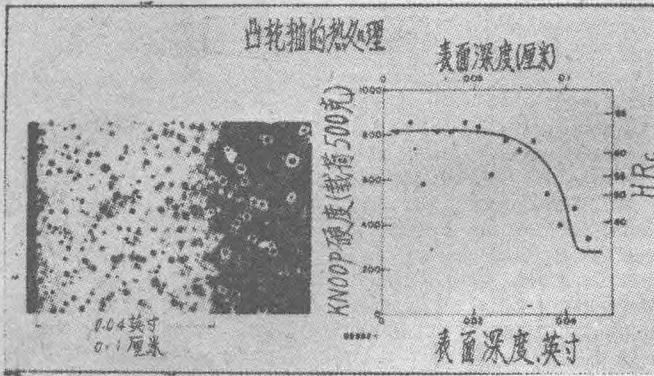


图7 铸铁的激光热处理

由于热处理后表面精度高，零件变形小，热处理后不需矫正，因此可以显著降低成本。

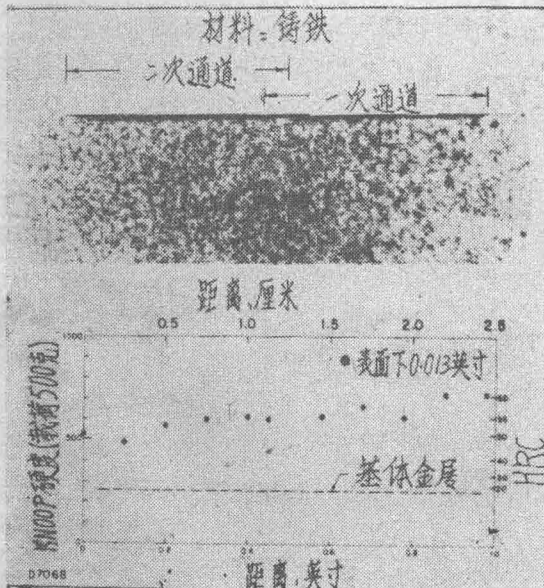


图8 多次激光热处理

如果要求大面积均匀硬化，可以用正方形光束扫描，这样重迭少，这种光束边缘陡，可防止两次光迹之间出现严重回火区。图8表示两次稍微重迭扫描的铸铁金相组织，在整个1.25英寸宽度内，铸铁的热处理深度很均匀，两次重迭处的回火相当小。

表面化学处理

有两类化学处理。第一类：激光合金化，表面层较深（~0.06英寸）；第二类：激光上釉，表面层较薄。

合金化

合金化过程比热处理过程的加热温度要高得多，可使表面层熔化；然后把所需数量的添加元素加入熔化层。当光束扫过表面时，合金层凝固很快，产生一种类似急冷金属的细晶粒组织。与合金元素的扩散深度相吻合的熔化深度是由激光功率及扫描速度决定。

使用这种工艺时，在成本和机械性能的基础上选择一种金属母材制作零件。为了提供应用上所需要的特性（磨损，腐蚀等等），工作表面可以相应地变化。由于很多元素渗入金属之后合金化，所以如果有必要，合金元素可超过50%，零件设计上的自由性可使各种产品的零件极大改善和降低成本。例如一个零件若承受冲击载荷作用它必须是高韧性、抗裂性的材料，如AISI4815钢，同一零件必须具有耐磨性，特别是高温耐磨性，就必须变化材料表面的化学成份。图9表示的合金化区约为0.05英寸厚、0.5英寸宽，硬度为HRC55，而母材的硬度小于HRC30，之所以硬度高是因为加了碳和铬（图10表示达21%）的关系，由于这个区的冷却速度

快，所以树枝状组织很细。并且夹杂碳化铬，这种组织即使在高温下工作硬度也很好。



图9 AISI 4815钢的渗络激光合金化

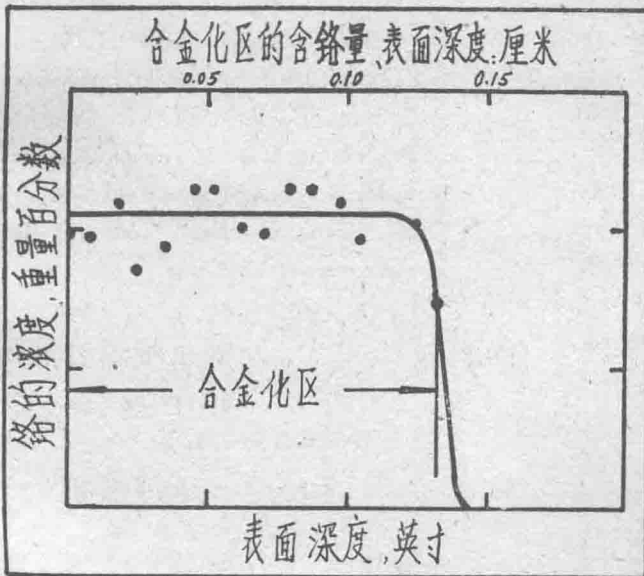


图10 AISI 4815钢激光合金化时铬浓度

由上所述，用激光合金化进行表面化学处理的工艺适用于在线的大批量生产，而不会象不在线的渗碳处理那样长的周期。而且由于是局部加热，零件变形很小。实际上用其他固体扩散法不易渗入高铬合金，为此必须用堆焊合金材料，但堆焊成本高，变形大。

激光上釉

现在正在发展的激光上釉，对材料的研究有其深远的影响，对于复制和控制薄层材料的快速凝固及固态冷却是一种新方法。

激光上釉是将激光束聚焦到功率密度为 $10^4 \sim 10^7$ 瓦/厘米² 后快速对材料表面扫描，产生一薄薄的熔化层，由于温度梯度大，所以凝固快，冷却快。熔化效率接近 100%，而被上釉母材的基底保持冷态。由于陡的温度梯度，所以激光束通过后就发生快速凝固和固态冷却。熔化厚度在 1~10 微米范围，其平均冷却速度超过 10^3 °C/秒；母材越厚冷却速度越低。

用激光上釉技术进行材料研究的特点是：成本低，很容易控制和复制。这种工艺已用于选择现有的很多合金，以发展具有有利结构的新合金。如果这些合金处于非晶态（玻璃状），则使用温度相当低，低于瞬时玻璃的转变温度。其他组织的合金，例如超显微晶态合金和用控制相溶解方法制成的合金，可使用于较高的温度。

激光上釉方法的效率既高成本又低。在相同条件下可进行大批的样品处理。

从图11可以看到：对稍微偏离共晶成份的母材进行激光上釉，可重结晶成均匀的单相组织。这个单相区用电子衍射观察是一个弥散的环。很显然钡—铜—硅合金的上釉区是非晶态。这种玻璃状金属的晶

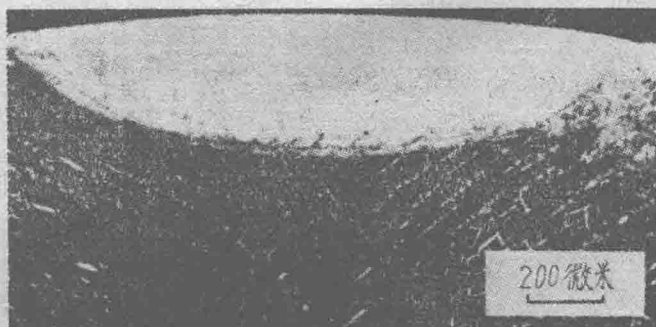


图11 激光上釉

格排列是没有规则的。用扫描电镜观察断面表面的网状组织,以及观察显微硬度压痕周围的材料局部流动,可以进一步了解这种非晶体的特性。虽然它和树枝状组织的母材直接接触,但不会妨碍由于快速冷却而形成的非晶态组织。

参 考 文 献

1. Multi-Kilowatt Industrial CO₂ Lasers: A Survey, E.V.Locke, Society of Manufacturing Engineers Technical Paper MR 76-858 (1976)
2. Performance Characteristics of a 10 KW Industrial CO₂ Laser system, E. Hoag, H. Pease, J. Stall and J. Zar, Appl Optics 13, 1959 (1974)
3. High Power Lasers For Metalworking, E. V. Locke, D. Ganana-

muthu, and R. A. Hella, Society of Manufacturing Engineers Technical Paper MR 74-706 (1974).

4. Laser Welding-The Present State of the Art, E. M. Breinan, C. M. Banas and M. A. Greenfield, United Technologies Research Center Report R 75-111087-3 (June, 1975); see also C.M.Banas Optical Engineering, this issue
5. Processing Materials with Lasers E.M. Breinan, B.H. Kear and C. M. Banas, Physics Today, P.44 (November 1979)

刘永桢译自

Optical Engineering 1978年

17卷3期第192~197页

朱承永、李沛然校

利用2千瓦级CO₂激光器 进行金属表面处理 (I)

中央大学·理工学部 川澄博通

一、前言

使用激光进行表面处理的方法有：表面硬化、上釉、合金化和覆盖等很多种类。图1表示热处理时能量密度和时间的关系，各种处理方法都有其各自的优点。其中最有使用价值的是（最实用化的）表面硬化。

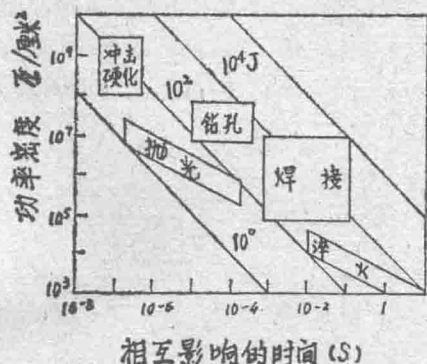


图1 加工的类别和照射条件。在加工过程中，按功率密度和照射时间的关系曲线各种情况下的加工范围不是那么明确，是近似的。对角线表示被照射的能量，它是以一定的线表示J/厘米²值。

二、表面硬化

对于钢铁产品，所谓保持其内部的原有韧性而只硬化其表面的表面硬化历史已很久了。过去的方法是对整个产品进行高温加热，具体的工艺是：（1）控制冷却速度使表面转变为坚硬的马氏体较多的组织；（2）让其他的元素譬如说碳、氮、铬

等浸入，将其表面转变成坚固的合金钢。按照从前所用的方法一定要将应处理的产品整体加热。在上述工艺（2）中有必要长时间保持高温，并不能进行联机处理。

利用高能量密度的激光射线束只对应该处理的局部表面进行短时间照射，使温度达到相变点 A_1 以上，冷却是靠激光射线束通过的瞬间，热量迅速向处理件内部扩散进行自冷却，不向珠光体转变而变成为坚硬的马氏体。因此，利用激光射线束进行表面淬火有如下的特点：①由于只对薄薄的表层加热就可行，传导到处理件内的热量不多，所以处理件不会发生热变形，从而，含碳高的，过去常常怕烧裂而避免淬火的铸铁也能够淬火了。②由于变形小所以可减少或者可省去处理后的复杂加工。③能对导管内表面和对复杂形状的一部分（局部）进行淬火。④由于能在空气中进行加工，所以，象电子束法加工或用渗碳淬火法加工那样不需要真空炉或渗碳炉等设备，对大的处理件也能进行处理。⑤激光照射后不需要用水和油或其他冷却介质进行冷却，所以这种淬火属于没有大气污染的无公害热处理工艺。⑥能够精确地控制硬化的深度、硬化的面积。⑦由于处理时间短所以能联机处理。激光表面淬火的缺点是：①淬火层较浅。②淬火后阻止回火的能力小。③由于材料温度在 A_1 点以上滞留的时间短，所以对于碳不是十分容易扩散的材料就难以进行淬火。

虽有上述特点，但各种硬化方法正在不断地发展着，因此，若不使用能够发挥前述那些优点的加工件或加工程序的话，那么替换掉现在已经正在使用的高周波淬火、电子射线淬火或是火焰淬火等处理工艺的价值就不会表现出来。事实上，GM的发言人认为，在激光淬火方面有必要进行新技术性的工艺程序和探索工作，单纯用激光淬火来代替过去的普通淬火将得不到任何好处（利益）。

另外，光子源公司的R·P·Scherar认为，省去后期精加工进行热处理时的激光淬火与高周波淬火相比，在费用方面是有利的（是有效的）。

对上述的问题若不予以考虑的话，那么，激光淬火是不可能发展到现在的规模，或者说对造价非常大的高尺寸精度的金属制品耐磨耗强度的增加来说，激光淬火是一种划时代的生产技术。

现在，激光表面处理在日本还处于研究阶段，适用于实际制品的文章尚没有发表（论文），但是，在美国，以汽车制造厂为中心这一技术正被积极地应用着。若将其中一部分用图来表示的话就象图2那样，目前围绕着发动机正在使其达到相当实用化的程度或正在发展研制中。GM公司在这个领域里是最先进的，转向齿轮的内孔表面淬火，（图3所示材料为铁氧体可锻铸铁，ASTM-A-47-32510，含碳量约2.6%，提高了耐磨性能。）一天能处理约3万个。照片1是其生产线的运行状态。使用这种方法做试验，GM公司的转向齿轮内孔表面淬火与未经硬化处理的工件比较，其抗磨损能力约提高10倍，与高频淬火或氮化处理比较起来处理费用要低1/5。涉及到以上问题的详细情况的说明以及其他的应用例子（活塞环槽面的淬火，提高灰口铸铁耐磨耗性）等留在以后再叙述。

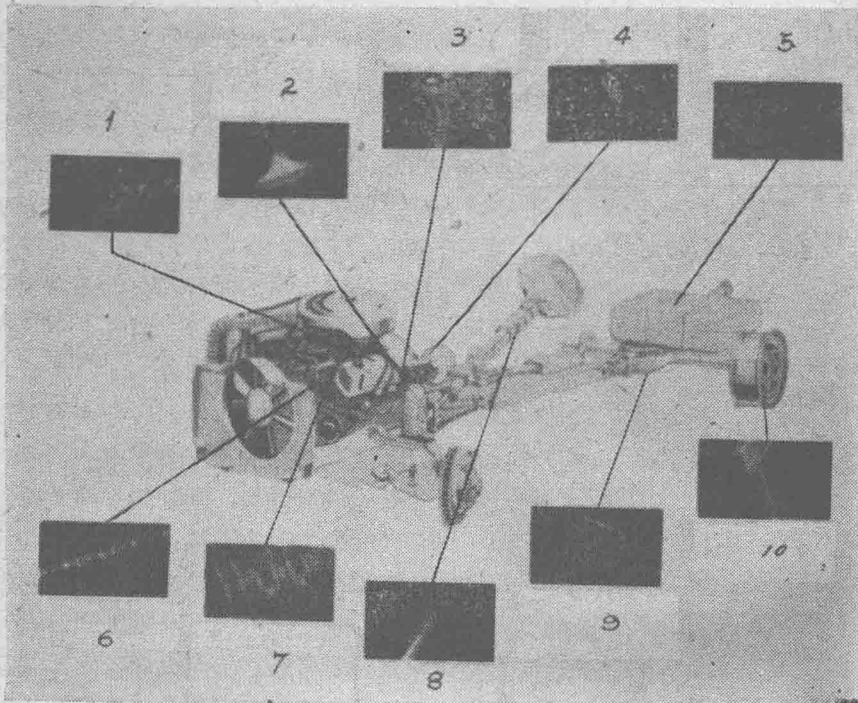


图2 应用高输出功率激光进行加工的汽车零件

1. 铸铁阀门座的淬火；2. 排气阀座金属包层的处理；3. 缺孔的淬火；
4. 焊接例；5. 焊接例；6. 凸轮轴的淬火；7. 铸铁曲轴的轴颈销等的淬火；
8. 焊接例；9. 斜齿轮的齿和根的淬火；10. 焊接例。

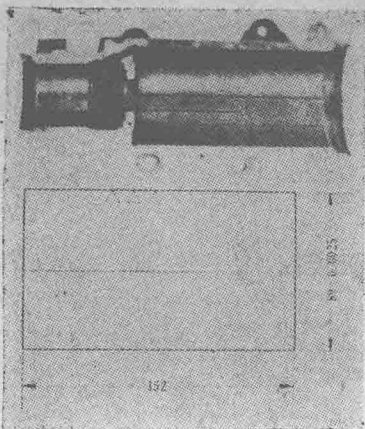


图3(a) GM生产的转向装置箱体的断面图，3条长硬化带，一条短硬化带，看得见共四条硬化带的淬火部分。剩下的另一半箱体还有一条长的淬了火的条带。

(b) 是表示其内壁加工的尺寸。公差等的各种工艺参数是：表面加工1.5微米，尺寸公差±2.5微米，偏心率5微米都为高精度。

三、表面淬火的条件

CO₂ 激光束是由于聚焦的结果达到 10⁴~10⁶ 瓦/厘米² 高密度的能量，将这些光束对需要处理钢等的表面进行短时间照射就能够只对材料表面层进行淬火，因输入能量小，所以，材料的其他部分不升温，利用处理件材料表面的高温和其低温部分的温度差能自然冷却，从而进行了自淬火，用这个新热源将热处理技术达到实用化必须通过试验了解下述问题：（1）加热条件（与输出射线的速度 U 、射线焦点的大小 R 、激光的输出功率 P 、与被加热金属的热常数及加热时材料中温度分布的关系）、（2）热滞后和金属组织的关系、（3）必须通过试验掌握淬火组织的机械性质（耐磨性、耐腐蚀性、残余应力和耐冲击性等）。

四、热传导的研究

先研究加热物的温度分布。三元物体中的热传导一般是用下列方程式的解给与说明。

$$\begin{aligned} PC_P \frac{\partial v}{\partial t} = & \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial v}{\partial y} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial v}{\partial z} \right) \\ & + A(x, y, z, t) \dots\dots (1) \end{aligned}$$

但是， v ：温度

℃

K ：热传导率

W/cm·℃

P ：密度

g/cm³

C_P ：热容量

J/g·℃

t ：时间

x, y, z 是座标

式中， K, P, C_P 都依赖于温度和位置。

然而热在物体中每单位时间、每单位体积是以 $A(x, y, z, t)$ 的比率形式给出。

总之，热参数的温度依存性将方程式变成非线性的关系。知道 k, K, P 和 C_P 的温度依存性时，有限的场合（时候）数值计算虽然可能，但得出方程式的解是非常困难的。而且因为大多数物质的热常数是随着温度变化的，所以假定其常数与温度无关，那么其值是在给出所研究的某个温度范围的平均值的基础上再求出其解。

如果物体是均质的并且各向是同性的，那么式（1）变成为下述形式：

$$\begin{aligned} V^2 \frac{\partial v}{\partial t} = & \frac{1}{k} \frac{\partial v}{\partial t} = \\ & - \frac{A(x, y, z, t)}{K} \dots\dots (2) \end{aligned}$$

式中： $k = K / \nu C_P$ ：热扩散常数（thermal diffusivity）

继而，在解这个公式时，应固定光