

激光热处理译文集

林成富 编 译
刘国斌 审 校

哈尔滨工业大学出版社

激光热处理译文集

林成富 编译

刘国斌 审校

10784/16

哈尔滨工业大学出版社

B 601.21

前 言

激光热处理是金属材料表面强化的最新领域之一。国内外十分重视这一领域的发展。近年来,各国都进行了大量的试验研究和实际生产应用。许多研究和应用的结果表明,激光热处理具有十分广阔的发展前景。目前,在激光热处理领域,苏联无论是在基础理论研究上,还是在实际生产应用方面都处于世界领先地位。

本文集共61篇文章,选自俄文杂志金属学与金属热处理《Металловедение и термическая обработка металлов》、摩擦与磨损《Трение и износ》、汽车工业《Автомобильная промышленность》、拖拉机与农业机械《Тракторы и сельскохозяйственные машины》、机床与工具《Станки и инструмент》、机器制造《Машиностроение》。主要内容有:1.激光热处理的组织与性能的研究,40篇;2.激光热处理工艺规范的选择与确定方法,8篇;3.激光合金化与激光化学热处理的研究,10篇;4.激光热处理的设备与装置,3篇。读者从这些文章中可以了解到苏联近十年来激光热处理的发展情况,并能获得有参考价值的信息。

本书可供高等院校金属材料及热处理专业的本科生、研究生、教师以及从事激光热处理工艺研究与应用的工程技术人员参考。

本文集的选题和编审工作得到了哈尔滨工业大学姚忠凯教授的热心帮助和指导。全书由刘国斌高级工程师主审校。

姚忠凯教授、陈墨耕付教授、宋学孟付教授、刘剑壮高级工程师、肖跃新付教授对部分文稿进行了校阅。本书的出版还得到佳木斯工学院翟光林、尤玉楷、李守正、郭景文、张庭华、田麟同志的赞助。在此对上述同志表示衷心的感谢！

由于编译者的水平所限，书中不足之处在所难免，恳请读者指正。

编译者

一九八八年三月于佳木斯工学院

目 录

激光热处理的组织与性能的研究

激光处理对35钢组织与性能的影响·····	(1)
CO ₂ -激光辐照处理后45钢的组织与硬度 ·····	(9)
激光淬火时钢的变形·····	(15)
工业纯铁连续 CO ₂ - 激光辐照作用区的组织·····	(22)
深度熔化规范下激光强化对钢件表面层物理-机械性能及其磨料磨损条件下耐磨性影响的研究·····	(29)
利用激光强化提高零件摩擦表面的耐磨性·····	(38)
淬火斑重叠系数对激光处理后残余应力的影响·····	(46)
用 CO ₂ - 激光辐照表面强化后碳钢中的残余应力·····	(51)
用激光处理提高扩散硼化物层的使用性能·····	(58)
激光连续辐照处理对低碳钢耐磨性的影响·····	(65)
工具的激光淬火·····	(76)
利用连续作用 CO ₂ - 激光器进行工具钢的淬火·····	(80)
关于激光处理时重结晶的机制·····	(86)
用CO ₂ -激光强化高精度零件和量具的工作面 ·····	(92)
用激光强化方法获得的表面层组织对40X 钢耐磨性的影响·····	(96)
激光强化时材料和能源的节约·····	(99)
用 CO ₂ - 激光强化低合金钢 ·····	(101)
机床零件的激光淬火 ·····	(107)
原始组织对用CO ₂ -激光辐照处理时3X15钢强化的	

影响	(115)
金属的CO ₂ -激光强化区的组织对磨料磨损的影响··	(125)
用连续CO ₂ -激光处理后钢的热稳定性的研究·····	(138)
关于激光处理后 P6M5 钢的热稳定性问题	(144)
关于激光辐照处理的工具钢的热稳定性问题	(150)
金属加工工具激光淬火时高耐磨性组织的形成	(152)
激光处理后高速钢的结构与性能的特点	(155)
在快速激光淬火条件下钢的强化的组织特点	(166)
铁素体铸铁的激光处理	(174)
激光处理后内燃机汽缸套的组织与性能的变化	(179)
内燃机汽缸套的激光强化	(188)
利用扫描光束进行灰铸铁摩擦表面的激光淬火	(196)
激光辐照强化灰铸铁显微组织的数量特征与耐磨性之 间的关系	(202)
激光处理和热处理对高铬铸铁组织和性能的影响 ···	(211)
激光处理对 MA21 合金的组织与机械性能的影响 ···	(219)
激光处理后 Mg-Li 基合金的组织与耐蚀性	(227)
表面激光处理对 MA21 镁锂合金蠕变的影响	(232)
有色合金表面层的亚稳态对接触副耐磨性的作用 ···	(236)
激光处理对铜合金耐磨性和组织亚稳定性的影响 ···	(244)
用 CO ₂ - 激光辐照强化钛合金表面的研究	(257)
烧结结构材料利用激光辐照的热处理	(265)
用连续 CO ₂ - 激光在厚试样表面上获得细晶和非晶 组织	(270)

激光热处理工艺规范的选择与确定方法

利用连续作用气体激光淬火工艺可能性的评定	(278)
----------------------------	-------

钢激光淬火合理规范的确定方法及其质量控制	(283)
汽缸套激光辐照强化方案对耐磨性的影响	(290)
高速钢工具激光热处理的特点	(296)
利用激光热处理提高白俄罗斯拖拉机零件的耐 磨性	(306)
脉冲激光处理规范对高速钢组织与性能的影响	(316)
为获得预定的淬火深度碳钢激光加强参数的选择 ...	(324)
用激光强化获得的结构钢耐磨表面层尺寸的计算 ...	(334)

激光合金化与激光化学热处理的研究

利用激光合金化强化钛合金的表面	(346)
结构钢的激光合金化	(349)
11X12H2B2MΦ 钢的激光强化	(353)
利用激光合金化提高钢的表面动力学强度可能性的 研究	(363)
利用激光合金化提高高速钢的热稳定性	(371)
利用钨基熔焊粉末条件下Y10钢激光合金化的特点	(378)
激光辐照作用下钢的表面渗硼	(385)
利用激光辐照加热钢的渗硼条件的确定	(391)
在激光辐照加热时获得的硼化物层的磨损	(398)
激光合金化	(404)

激光热处理的装置

激光热处理的设备与工艺 (综述)	(417)
用于零件激光处理的装置	(446)
ПЛУТОН-1 型激光装置	(449)

激光热处理的组织与性能的研究

激光处理对35钢组织与性能的影响

В. В. Горюшин, А. В. Мартякова

近年来的研究表明, 在高能量脉冲的作用下, 以及在具有很大大速度和比压力的摩擦或磨削条件下, 在金属的表面区域内可形成白亮层, 即在结构和性能方面与基体金属有很大差别的耐磨蚀区。考虑到白亮层的良好性能(高硬度、高耐磨性)以及可能用不同方法获得到这种白亮层, 我们开始尝试了利用这个效果强化零件和工具。激光处理是获得这种白亮层的方法之一^[1, 2]。

本文研究了用气体动力的 CO₂- 激光器在固定的辐照功率下, 激光束的移动速度从10 至39 毫米/秒时被处理过的中碳钢表面层的组织和性能。研究了具有铁素体-珠光体原始组织的35钢(0.37% C、0.25% Si、0.70% Mn、0.06% Cr、0.025% S、0.02% P)。

在 Neophot 型光学显微镜、Stereoscan 型扫描电镜和 Leitz-T. A. S 型定量组织分析仪上进行了金相研究, 并在 ITM-3 型显微硬度计上测量了显微硬度。

在激光辐照作用下, 金属进行着超速加热, 其结果是在 $10^{-3} \sim 10^{-7}$ 秒内表面温度可达到几千度^[1]。对钢的表面状态和组织研究表明, 在光束移动时表面温度来不及上升到超

高温。这一点可由不存在金属的溅射和蒸发所产生的陷口证明。在光束移动速度为10~40 毫米/秒时试样的表面可产生相对不大的熔化，而在速度大于 43 毫米/秒时一般不出现熔化的迹象。但是在所研究的光束的移动速度条件下，表面达到的温度对于相的重结晶的进行是足够的。

试样表面状态的分析表明，《道》，即在光束移动时激光束作用的痕迹由两个区组成：中心区和位于中心区两侧的边缘区。中心区被熔化，边缘区是热影响区。当光束的移动速度增加时，熔化程度、道的宽度和激光作用区的总深度（图1.a）减小，而表面硬度提高（图1.б,曲线1）。

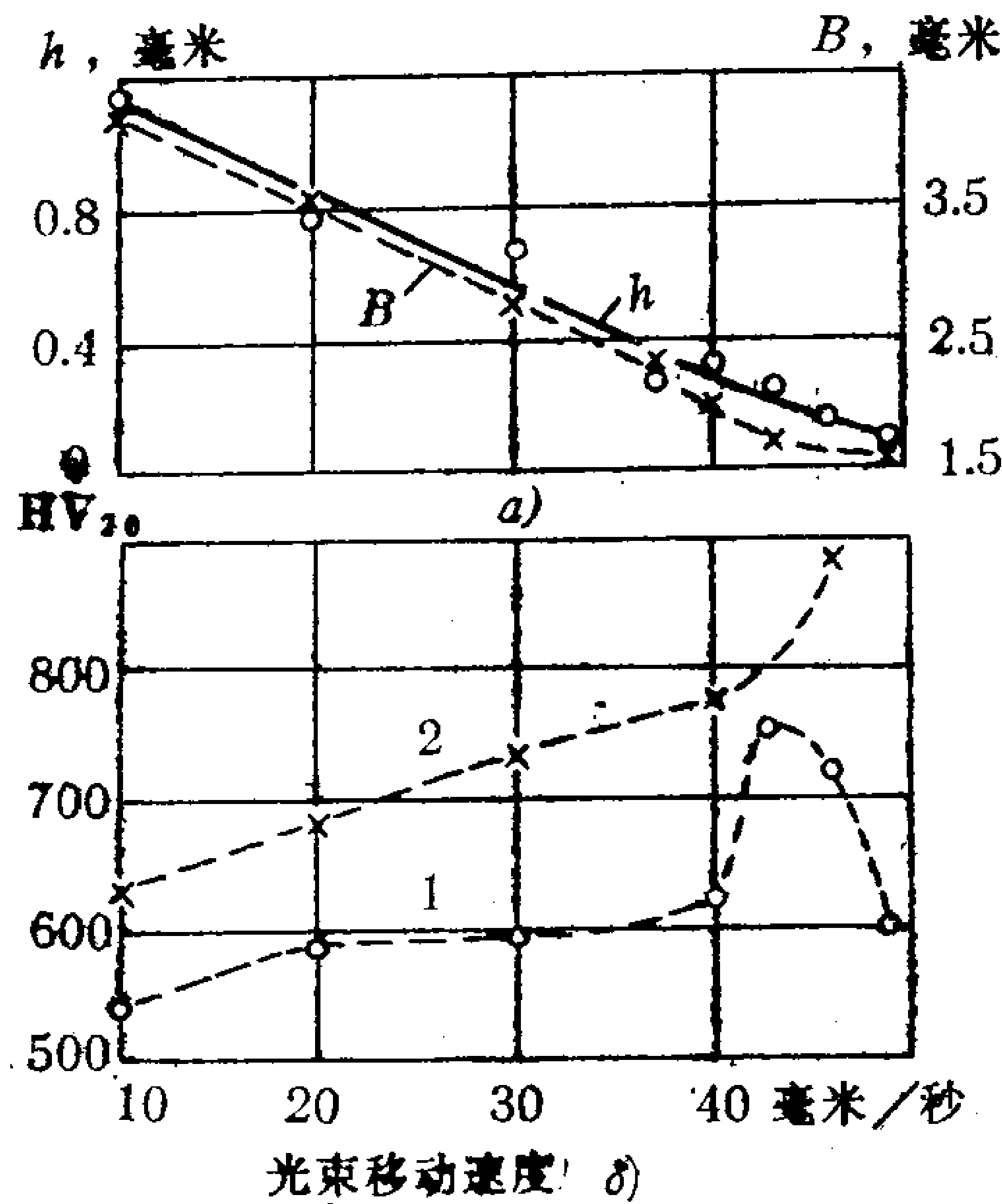


图1 光束的移动速度对激光处理作用区的深度、宽度
a)和硬度б)的影响 [h —深度； B —区的宽度]：
1—表面；2—第四层

激光辐照作用停止后发生加热区域的快速冷却主要靠热

量向金属深处激烈的传导，这种传热速度大约与加热时的传热速度有同样的数量级^[2、3]。

由于距表面不同的距离上（在不同深度上）金属的加热和冷却条件的差别在激光作用区内所形成的组织是不一样的（图2）。该区具有球形（图2. I），并且当光束的移动速度为10~30毫米/秒时，该区由显微组织和硬度上有本质区别的四个层所组成。

第一（白亮色）层仅在以 ≤ 30 毫米/秒^①的速度处理时出现，并且该层直接位于试样表面路径的中部，该层的特点是低的腐蚀性，其硬度约为HV800，该硬度比原始状态钢的硬度超出了3倍，而比用炉子加热的普通淬火后的硬度高HV150。用补充腐蚀所显现出的该层的显微组织为马氏体，可能还含有少量的残余奥氏体（见图2，I, 6）。该层的马氏体的弥散度比普通淬火后高0.5~1倍。尽管表面金属被熔化，但在它的组织中并没有出现枝晶。

白亮色层具有低腐蚀性，可能是因为高的应力和杂质原子与晶体结构的缺陷重新分布的时间不足而使第一和第二种有序态边界的缀饰不存在的原故。

白亮色层的高硬度可能是由以下因素决定：1）由于高的冷却速度掺入的杂质原子使 α -固溶体有很大程度的过饱和度，因此，经过自回火过程的时间不足（该层的硬度可能原来就高，但是由于加热时间特别短，看来不是所有的碳都能来得及由碳化物相中进入到固溶体中）；2）比在普通加热和冷却速度时产生更高的晶体结构缺陷密度，这些缺陷是重新形成的，和部分地从原始组织中继承的；3）马氏体的细

①原文误为30米/秒—译注

小弥散结构。

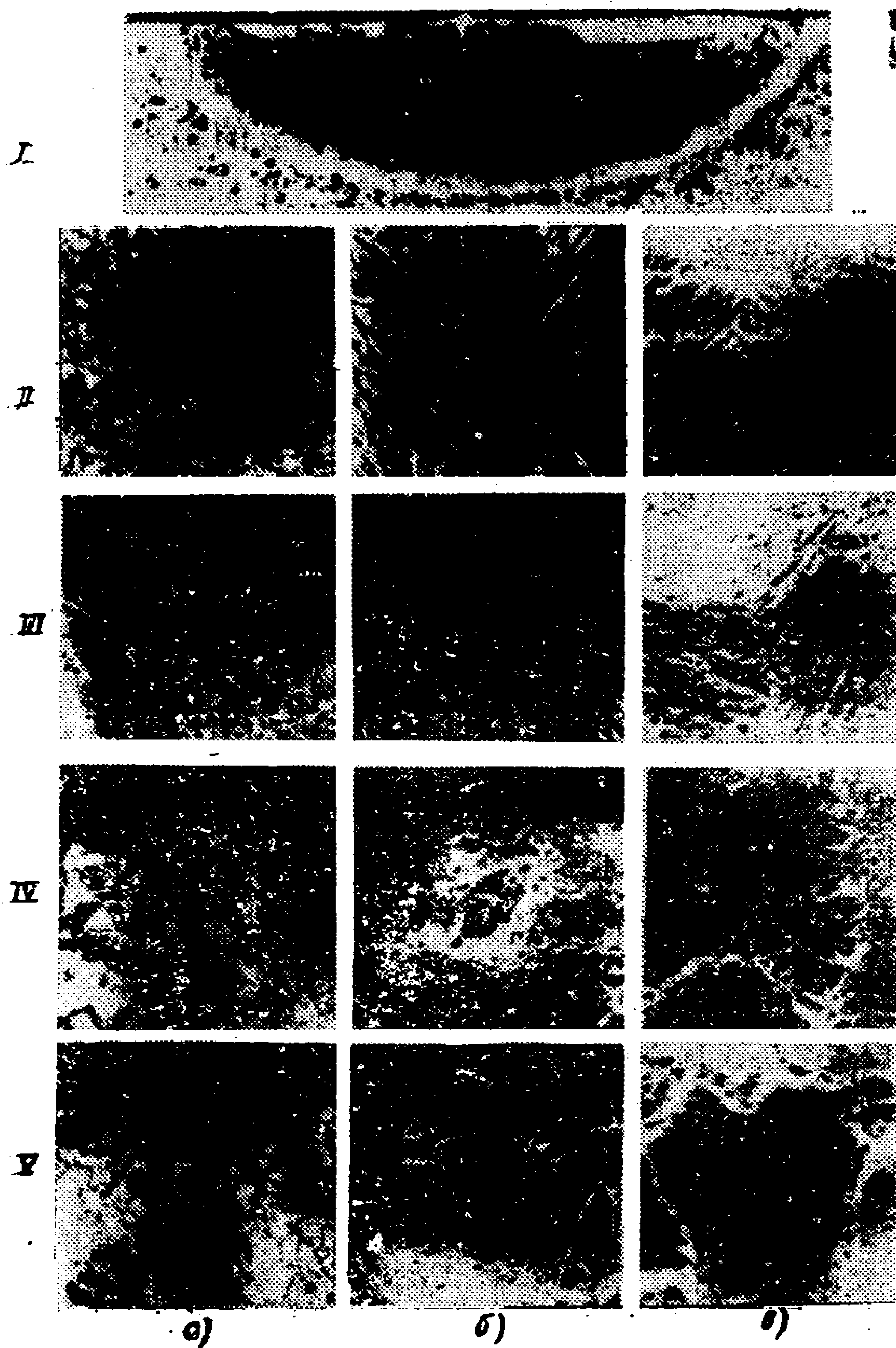


图 2 激光处理后35钢的显微组织

a—光学显微镜 ($\times 100$)；б,в—电子显微镜 ($\times 2000$)，
I—区的总外形；II—第一（白亮色）层，III—第二层（底层），IV—第三层，V—第四层

第二（过渡）层，直接位于白亮色层之下，具有适中的腐蚀性和比第一层稍低的硬度。该层的组织是马氏体，马氏体针的尺寸比第一层大1~3倍（见图2，Ⅲ）。我们将该层的硬度和组织弥散度与普通淬火后钢的类似的特性相比较。

过渡层的组织和性能的特点取决于加热和冷却条件的变化。第二层的加热和冷却速度以及温度都比第一层稍低些。此外，第二层位于较高加热的外表层和较低加热的第三层之间，阻碍热量向金属深处快速传导。因此第二层的冷却速度只接近于临界冷却速度，由于这个原因，剧烈淬火进行的不充分、伴随有自回火、固溶体过饱和度的降低以及内应力的松弛。

第三层是不完全淬火区，其组织由马氏体、屈氏体和铁素体组成。马氏体在原始珠光体晶粒处形成（见图2，Ⅳ）。网状屈氏体位于马氏体区域之间，或围绕着原始组织中存在的铁素体网位置上保留着的铁素体区（见图2，Ⅳ，6）。

与白亮层相比马氏体区硬度稍高（见图3），而针的尺寸非常小（见

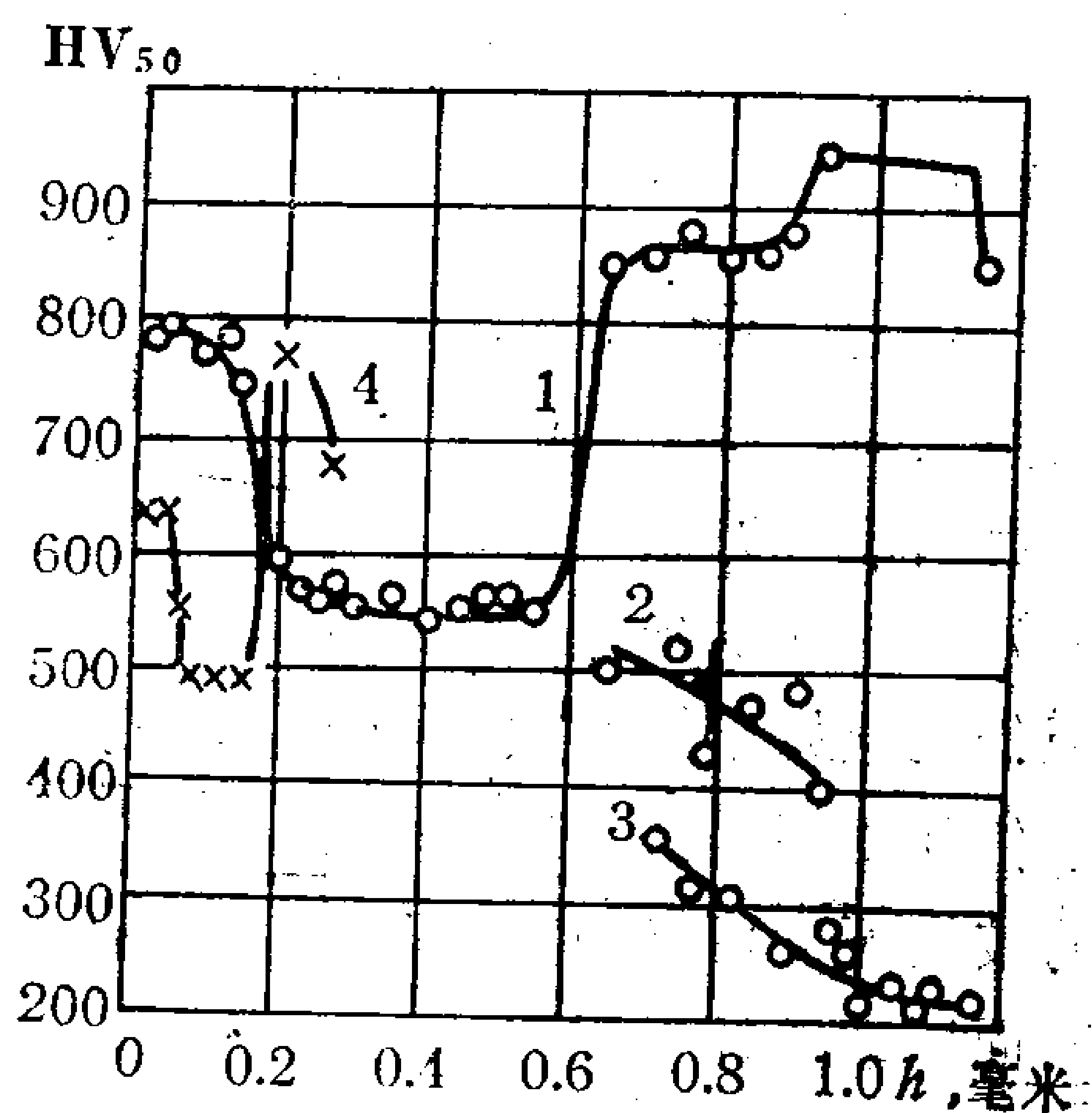


图3 沿经过不同光束移动速度下激光处理的区深度上硬度的分布：1、2、3—速度10毫米/秒；4—40毫米/秒；1、4—马氏体；2—屈氏体；3—铁素体

图 2 , IV , a、б)。

该层马氏体的高硬度取决于弥散度的增加。看来，弥散度的增加与向金属深处导热速度的提高有关。

在该层中间部分内铁素体数量比原始组织中大约少 7 倍，而该层的硬度几乎高 0.5 倍（见表）。

铁素体数量%和显微硬度HV ₂₀			
光束的移动速度， 毫米/秒	在原始组织中	在激光处理区中	
		Ⅰ 层	Ⅳ 层
10	41/193	5/278	26/268
30	49/185	9/252	36/255
40	41/185	9/276	33/250
46	51/185	20/224	38/240
49	37/180	—/214	33/255

注：分子中列出铁素体数量（用Leitz-T.A.S 型组织分析仪，放大倍数100倍，按15~20视场的平均值），分母列出显微硬度（在每层的中部 10~15 次测量的平均值）。

在光束的移动速度增大时，铁素体量稍有增加（见图 4 和表），而硬度降低，但仍比原始组织的铁素体硬度高。铁素体的较高硬度可能与在四面压缩条件下它的破碎有关（见图 2，IV，B）。

第四层，该层直

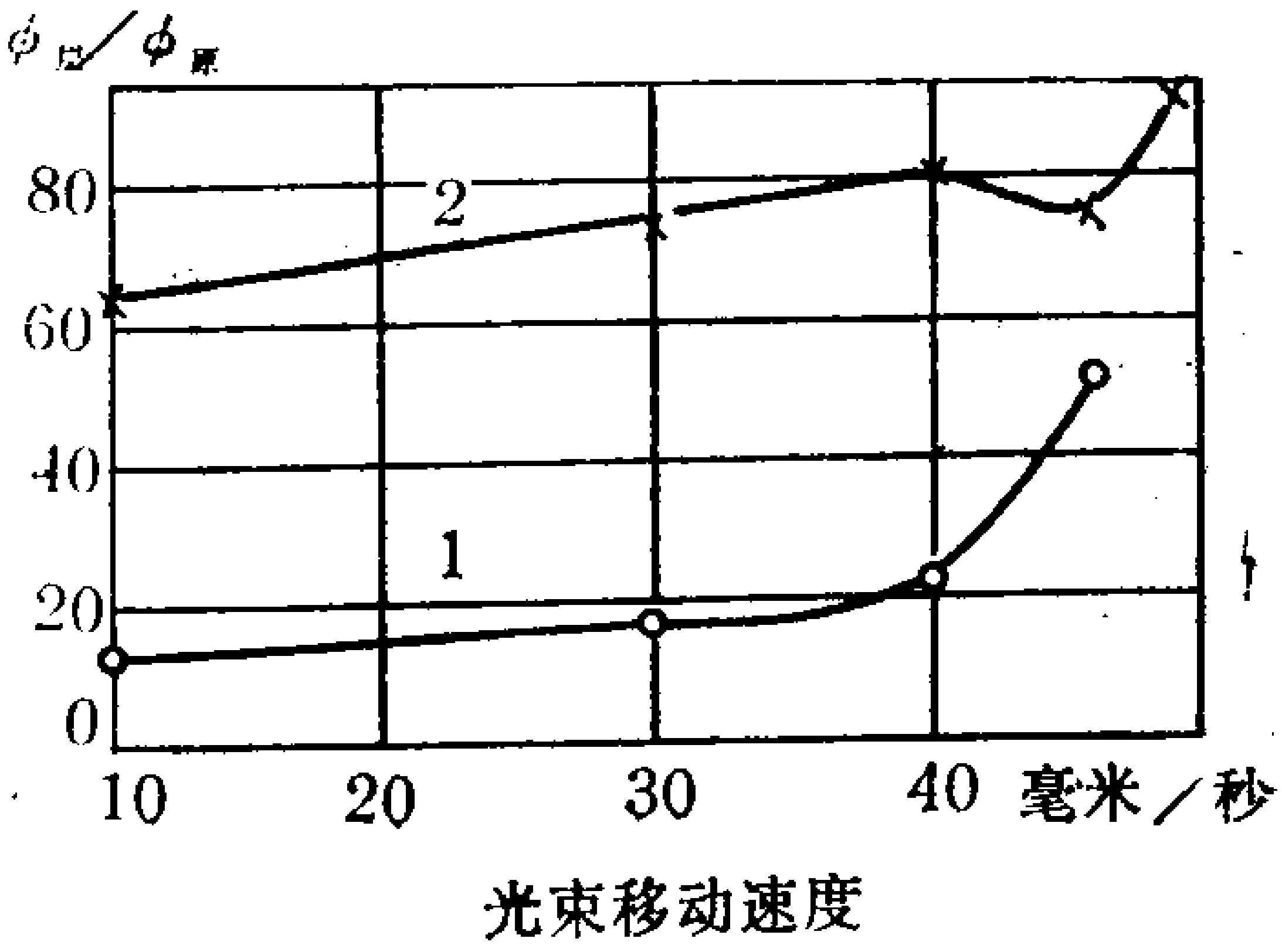


图 4 激光束的移动速度对层中铁素体数量〔 $\phi_{\text{层}}$ 〕与原始组织中 铁素体数量〔 $\phi_{\text{原}}$ 〕比值的影响：1—第一层，2—第四层

接邻近于没有受到加热的区内，具有较低腐蚀性的特殊显微组织区。它与第三层一样是不完全淬火区，并且与第三层不同，其特点为：完全没有屈氏体、存在铁素体网（见图 2，V）和较高的硬度。

金相分析表明，微弱腐蚀区的组织是马氏体（图 2，V，B），其弥散度大于其余各层（针的尺寸最小）。仅在原始珠光体晶粒位置上发生马氏体转变，并且在与原始组织的分界面上该转变仅占领部分晶粒（图 2，V，a，b）。马氏体区的硬度大于HV900。在该层中马氏体区的最高硬度显然取决于最高的导热速度，因为该层直接与激光辐照作用时没受到加热的区域分界。

铁素体网的分布大致保持了它在原始组织中同样的分布。在该层中铁素体的数量比第三层多 2 ~ 4 倍，这证明该层的加热温度大大低于第三层。尽管沿深度方向上出现硬度不大的降低，但在该层中铁素体的破碎程度和硬度是很相近的（见图 3，曲线 3）。第四区中铁素体的数量与原始组织中铁素体量之比的计算表明，在光束的移动速度增加时，即在激光辐照作用的时间减少时，转变的铁素体数量增多（图 4，曲线 2）。这时具有类似第四层的组织的平均硬度提高（见图 1，曲线 2）。

在光束的移动速度增大时，激光处理区内各层的深度和宽度减小。速度大于 37 ~ 40 毫米/秒时没有形成白亮层，而只出现三个层，而当速度为 49 毫米/秒时只剩下一个层，其组织与以 10 毫米/秒速度处理的试样的第四层的组织相似，是由马氏体和铁素体组成。

结 论

1. 当以光束的移动速度为10~40毫米/秒激光处理时, 在35钢表面层内所形成的区域由四个层组成。表面(第一)和过渡(第二)层完全被淬火并由不同弥散度的马氏体组成。第三、第四层中发生不完全淬火。

2. 第一层, 尤其是第四层具有最高的硬度, 而在不完全淬火区内铁素体的硬度比原始组织中铁素体的硬度稍高些。

3. 在激光处理区内各层的组织和硬度所出现的差别是由于它们的加热和冷却条件不同所致。

参 考 文 献

- (1) Криштал М.А. и др. Структура и свойства сплавов, обработанных излучением лазера. М., «Металлургия», 1973.
- (2) Рыкалин Н.Н. и др. Лазерная обработка материалов. М., «Машиностроение», 1975.
- (3) Анисимов С.И. и др. Действие излучений большой мощности на металлы. М., «Наука», 1970.

(译自《МИТОМ》1978г, №1, стр.53~55)

CO₂-激光辐照处理后45钢的组织与硬度

А.Г. Грисорьянц, А.Н. Сафонов,
В.М. Тарасенко, Н.Ю. Марсеев

文献〔1,2〕列举了CO₂-连续激光辐照处理后钢的组织与性能的研究结果。但是那里使用的激光处理规范不适用于工业。

本文叙述在ЛТ1-2型激光装置上激光强化处理后45钢的组织与性能的研究结果。

尺寸为10×10×50毫米的45钢试样经850℃水中淬火和200℃低温回火40分钟后,用碳黑涂复以提高吸收特性并进行了激光作用,激光功率为3.1千瓦。辐照光斑直径为2毫米,聚焦透镜的焦距为200毫米。处理后在ПМТ-3型显微硬度计上当载荷为0.5和1牛顿时测量了硬化带表面的显微硬度,然后制作金相磨片研究显微组织,确定硬化区的尺寸并测量沿其厚度方向上的显微硬度。

图1是处理速度从2米/分到5米/分时沿硬化带长度方向上表面显微硬度(载荷1牛顿时)的测量结果。每个试样沿带中心测量了30次。可见,显微硬度的分散性相当大,从HV600到HV1300。

有熔化处理时高显微硬度值区段的存在可能是由于液态金属表面饱和了大气中的氮所致^{〔2〕},也可能与显微体积中

得到了近似于非晶形特殊的亚稳状态有关^[5]。沿金相试样厚度方向测量显微硬度时没有发现具有那样显微硬度值的区段（图2）。

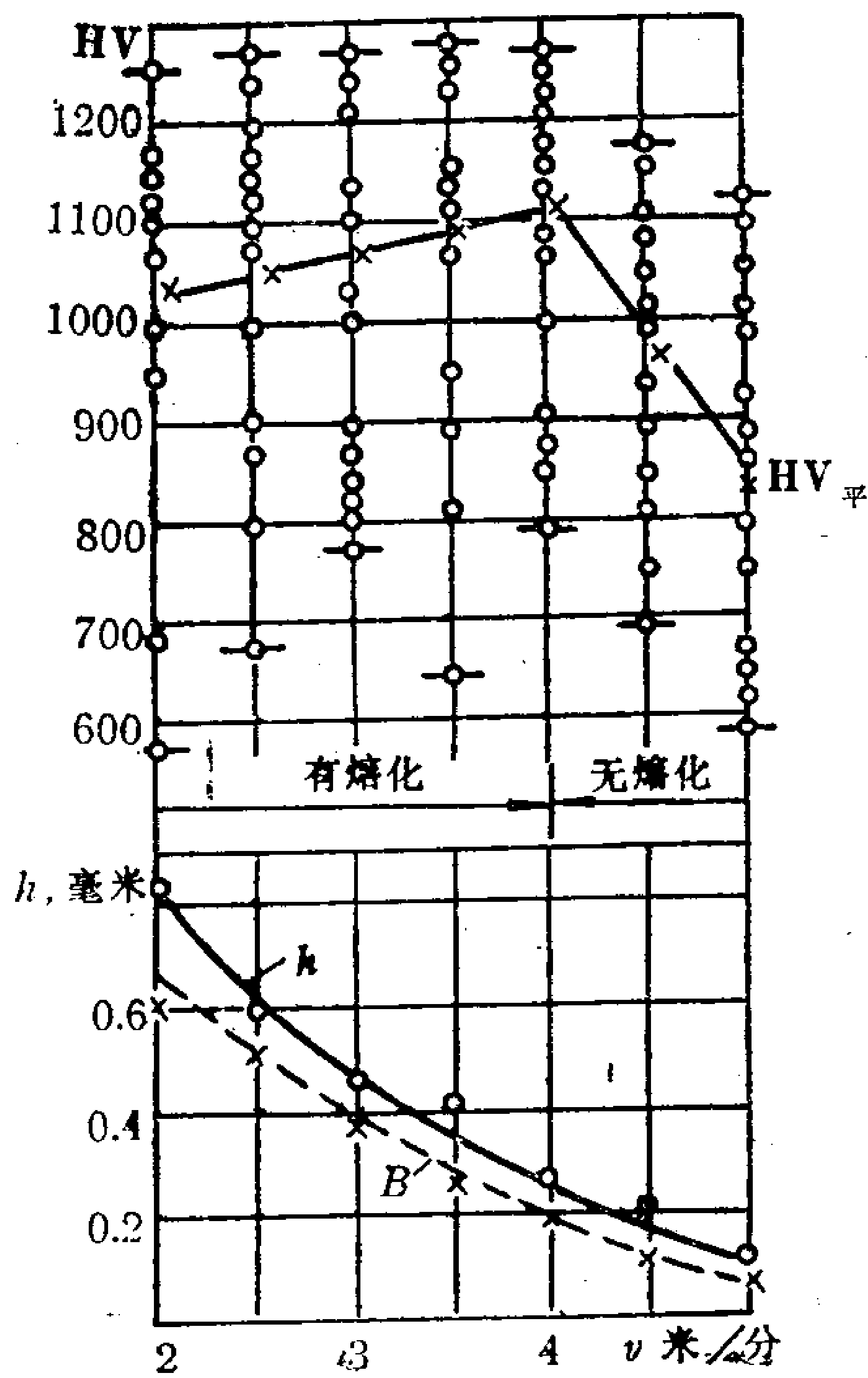


图1. 表面显微硬度（载荷指示1牛顿）、硬化层厚度 h 和宽度 B 与激光处理速度之间的关系

激光处理速度从2米/分提高到4米/分时表面显微硬度有提高的趋势。这是由于熔化金属体积的缩小和冷却速度的提高所致。载荷1牛顿时测得的显微硬度平均值为HV1000~HV1100。当用大于4米/分的速度处理时表面实际上没有熔化而硬化，此时显微硬度的平均值降到HV850。