

前 言

GB/T 3480《直齿轮和斜齿轮承载能力计算》包括下列 5 部分：

- 第 1 部分：基本原理、概述和通用影响系数；
- 第 2 部分：齿面接触疲劳强度(点蚀)计算；
- 第 3 部分：齿根弯曲强度计算；
- 第 5 部分：材料的强度和重量；
- 第 6 部分：变载荷条件下的使用寿命计算。

本部分是 GB/T 3480 的第 5 部分。

本部分等同采用 ISO 6336-5:2003《直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第 5 部分：材料的强度和重量》(英文版)。

本部分等同翻译 ISO 6336-5:2003。

为方便使用,本部分作了下列编辑性修改：

- 删除国际标准的前言和引言；
- 按照汉语习惯对一些编排格式进行了修改；
- 用小数点“.”代替作为小数点的“,”；
- 对 ISO 6336-5:2003 中引用的其他国际标准,用已被等同采用为我国的标准代替对应的国际标准,未被等同采用为我国标准的直接引用国际标准。

本部分是对 GB/T 8539—2000 的修订。

与 GB/T 8539—2000 相比,主要内容修改如下：

- 为了和 ISO 6336-5:2003 保持一致,标准名称由“齿轮材料及热处理质量检验的一般规定”改为“直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第 5 部分：材料的强度和重量”；
- GB/T 3480《直齿轮和斜齿轮承载能力计算》等同采用 ISO 6336,本部分等同采用 ISO 6336 的第 5 部分,为了和 ISO 6336 相对应,将标准号由 GB/T 8539 改为 GB/T 3480.5；
- 增加了疲劳极限的确定方法；
- 增加了表面硬化齿轮的硬化层深度的确定方法。

本部分自实施日起代替 GB/T 8539—2000。

本部分的附录 A 为规范性附录,附录 B 和附录 C 为资料性附录。

本部分由全国齿轮标准化技术委员会(SAC/TC 52)提出并归口。

本部分起草单位：郑州机械研究所。

本部分主要起草人：杨星原、职彦峰、王琦、王爱香、王长路、张元国、陈爱闽、路明、宋惠军、管洪杰。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB 8539—1987、GB/T 8539—2000。

直齿轮和斜齿轮承载能力计算

第5部分:材料的强度和质

1 范围

GB/T 3480 的本部分包括接触应力和齿根弯曲应力,并给出了疲劳极限值。

本部分规定了材料质量、热处理工艺,并介绍了材料及工艺对两种极限应力值的影响。

本部分中的数据适用于 ISO 6336-2 和 ISO 6336-3 中的计算,适用于工业齿轮、高速及船用齿轮,也适用于锥齿轮承载能力的计算。

本部分中的数据可用于上述各标准中的各种齿轮、基准齿条、轮齿尺寸确定和设计等过程,其结果与 ISO 6336-1 适用范围中列出的其他各种方法相一致。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 3480 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 225 钢 淬透性的末端淬火试验方法(Jominy 试验)(GB/T 225—2006,ISO 642:1999, IDT)

GB/T 1356 通用机械和重型机械用圆柱齿轮 标准基本齿条齿廓(GB/T 1356—2001, idt ISO 53:1998)

GB/T 5617 钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定(GB/T 5617—2005,ISO 3754:1976,NEQ)

GB/T 9450 钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核(GB/T 9450—2005,ISO 2639:2002, MOD)

GB/T 10095.1 圆柱齿轮 精度制 第1部分:轮齿同侧齿面偏差的定义和允许值(GB/T 10095.1—2008,ISO 1328-1:1995, IDT)

GB/T 10561 钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法(GB/T 10561—2005, ISO 4967:1998, IDT)

GB/T 13304(所有部分) 钢的分类[GB/T 13304.1~13304.2—2008,ISO 4948(所有部分), MOD]

GB/T 17879 齿轮 磨削后表面回火的浸蚀检验(GB/T 17879—1999, idt ISO 14104:1995)

ISO 643 钢中铁素体或奥氏体晶粒尺寸的金相检验

ISO 683-1 热处理钢、合金钢和易切削钢 第1部分:非合金及低合金钢锻件

ISO 683-9 热处理钢、合金钢和易切削钢 第9部分:易切削锻钢

ISO 683-10 热处理钢、合金钢和易切削钢 第10部分:氮化锻钢

ISO 683-11 热处理钢、合金钢和易切削钢 第11部分:渗碳淬火锻钢

ISO 1122-1 齿轮术语词汇 第1部分:几何学定义

ISO 6336-1 直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第1部分:基本原理、概述和通用影响系数

ISO 6336-2 直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第2部分:齿面接触疲劳强度(点蚀)计算

ISO 6336-3 直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第3部分:齿根弯曲强度计算

ISO 9443 热处理钢和合金钢 热轧圆钢和线材的表面质量分级 交货技术条件

ISO 10474 钢材与钢材制品 检测报告

ASTM A388 大型铸锻件的超声波检验

ASTM A609 铸件、碳钢、低合金钢及马氏体不锈钢的超声波检验

ASTM E1444 磁粉探伤

3 术语,定义和符号

ISO 1122-1 确立的术语和定义适用于本标准。

4 接触疲劳极限和许用弯曲疲劳极限的确定方法

4.1 总则

各种材料及状态下的接触疲劳极限和许用弯曲疲劳极限优先通过齿轮台架试验的方法确定,而试验条件和试件尺寸应尽量与所计算齿轮的实际使用条件及尺寸一致。

当评价试验结果和现场获得的数据时,要确认影响许用应力的各种因素是否考虑在内。例如,在确定齿面接触疲劳强度时,要考虑到润滑条件和齿面粗糙度的影响;在考虑齿根弯曲强度时,要考虑到齿根过渡圆角半径、齿面粗糙度和齿轮几何尺寸的影响。在适当场合下,可用 1.0 来代替许用应力计算过程中的相关影响系数。

4.2 A 法

接触疲劳极限和许用弯曲疲劳极限由齿轮台架试验得到。齿轮试件与被计算的 actual 齿轮基本相同,试验条件与其使用条件基本相同。

4.3 B 法

接触疲劳极限和许用弯曲疲劳极限由基准试验齿轮在基准试验条件下的台架试验得到,许用弯曲疲劳极限也可由脉冲试验得到,并要考虑实际经验。5.2 和 5.3 中标准接触疲劳极限和许用弯曲疲劳极限值正是基于这样的试验和经验得出的。

疲劳极限分为 ME、MQ 和 ML 三个等级。合适等级的选择主要考虑产品类型和质量控制水平。

4.4 B_k 法

许用弯曲疲劳极限由有缺口试件的试验得到,试件缺口半径与厚度之比应同齿根危险截面处圆角半径与齿根截面弦长之比相近。在评估试验数据时,应指出的是试件通常只承受单一脉动弯曲应力,而对于实际轮齿来讲,齿根圆角处要承受复合的弯曲、剪切以及压应力。各种材料的强度值可从试验获得,或从参考文献中查阅。

4.5 B_r 法

许用弯曲疲劳极限由无缺口试件的试验得到。分析试验结果时应注意 4.4 中所述事项。考虑到缺口敏感性的影响,计算中应包括实际缺口形状及缺口系数,此试验结果又受到这些极不可靠的因素影响,各种材料的许用弯曲疲劳极限可按公认试验方法获取或从文献中查阅(见参考文献)。

5 B 法的接触疲劳极限和许用弯曲疲劳极限值

5.1 应用

图 1~图 16 所示接触疲劳极限和许用弯曲疲劳极限是建立在材料成分、热处理工艺及检测方法同齿轮尺寸相匹配的基础上。

对于某些材料,如果有可用的试验数据,可用这些数据代替图 1~图 16 中的值。

GB/T 3480 的本部分中所含数据全部经过试验和实际验证。

本部分中的数据是在 1% 失效概率下得到的。其他失效概率下的数据,可在此基础上通过统计分析处理进行修正。

如要得到其他失效概率(可靠度),须对 σ_{Hlim} 、 σ_{Flim} 和 σ_{FE} 以适宜的“可靠度系数”进行修正。进行修正

时,在符号下加角标以表示相应的失效概率(例如 10%失效概率时的应力值表示为 σ_{Hlim10})。

图 9 和图 10 给出的接触疲劳极限和许用弯曲疲劳极限是基于有效硬化层深度为 $0.15 m_n \sim 0.2 m_n$ 的精加工齿轮。

对于沿齿廓表面感应淬火、渗氮、碳氮共渗及氮碳共渗齿轮,其表面硬度值对于强度的影响还不能准确判定。其他与材料和热处理有关的表面因素对强度的影响是很明显的。

在某些情况下,并未包括全部硬度范围。图 1~图 16 中图线的长度标明的便是其硬度范围。

表面硬化钢(图 9~图 16),以 HV 硬度刻度为基准坐标,而以 HRC 刻度坐标作为参考坐标。附录 B 为维氏和洛氏两种硬度值的换算关系。

5.2 接触疲劳极限 σ_{Hlim}

在某一接触应力下运转到规定的应力循环次数而未发生扩展性点蚀,即可得到疲劳极限 σ_{Hlim} 。对于某些材料, 5×10^7 应力循环次数可作为持久寿命强度范围的起始点(见 ISO 6336-2 中寿命系数)。

图 1、图 3、图 5、图 7、图 9、图 11、图 13 和图 15 中的 σ_{Hlim} 值是基于下列基准试验条件和基准试验齿轮参数¹⁾:

——中心距	$a=100 \text{ mm};$
——螺旋角	$\beta=0 (Z_\beta=1);$
——模数	$m=(3\sim 5)\text{mm} (Z_x=1);$
——齿面粗糙度	$R_z=3 \mu\text{m} (Z_R=1);$
——节圆线速度	$v=10 \text{ m/s};$
——润滑剂黏度	$\nu_{50}=100 \text{ mm}^2/\text{s} (Z_L=1);$
——相同材料的配对齿轮	$(Z_w=1);$
——齿轮精度等级	GB/T 10095.1 的(4~6)级;
——齿宽	$b=(10\sim 20)\text{mm};$
——载荷影响系数	$K_A=K_V=K_{H\beta}=K_{H\alpha}=1。$

当满足上述条件时,以轮齿齿面点蚀面积比率作为齿轮失效判据:调质齿轮 2%总工作齿面,表面硬化齿轮 0.5%总工作齿面或单齿的 4%工作齿面。该面积比率只用于试验分析,而不是对齿轮产品的判据。

5.3 弯曲疲劳极限 σ_{Flim} 和 σ_{FE}

5.3.1 弯曲疲劳极限 σ_{Flim}

弯曲疲劳极限 σ_{Flim} 通过基准试验齿轮(见 ISO 6336-3)的试验获得,它是在考虑了材料、热处理工艺、试验齿轮齿根圆角处表面粗糙度等因素后的弯曲应力极限值。

5.3.2 许用弯曲疲劳极限 σ_{FE}

许用弯曲疲劳极限 σ_{FE} (见 ISO 6336-3 中定义)是无缺口试件的基本弯曲强度,它假设材料(包括热处理工艺)为完全弹性状态:

$$\sigma_{FE} = \sigma_{Flim} \cdot Y_{ST} \quad \dots\dots\dots (1)$$

基准试验齿轮的应力修正系数 $Y_{ST}=2.0$ 。对于大多数材料, 3×10^6 应力循环次数可作为持久寿命疲劳强度范围的起始点(见 ISO 6336-3 中寿命系数)。

图 2、图 4、图 6、图 8、图 10、图 12、图 14 和图 16 中的 σ_{Flim} 和 σ_{FE} 是基于下列基准试验条件及如下基准试验齿轮参数(见 5.2 脚注 1):

——螺旋角	$\beta=0^\circ (Y_\beta=1);$
——模数	$m=(3\sim 5)\text{mm} (Y_x=1);$

1) 在不同试验条件下得到的数据可根据基准条件修正。应注意的是, σ_{Hlim} 不是连续载荷下的接触压力,而是 ISO 6336-2 规定的载荷循环次数下非扩展性点蚀损伤的接触压力上限。

- 应力修正系数 $Y_{ST} = 2.0$;
- 缺口参数 $q_{ST} = 2.5(Y_{\delta relT} = 1)$;
- 齿根圆角处的粗糙度 $Rz = 10 \mu m(Y_{RrelT} = 1)$;
- 齿轮精度等级 GB/T 10095.1 的(4~7)级;
- 基本齿条 GB/T 1356;
- 齿宽 $b = (10 \sim 50)mm$;
- 载荷系数 $K_A = K_V = K_{F\beta} = K_{Fa} = 1$ 。

5.3.3 双向弯曲强度

图 2、图 4、图 6、图 8、图 10、图 12、图 14 和图 16 中的许用弯曲疲劳极限值是适用于单向重复的轮齿载荷。当存在反向满载时,须减小 σ_{FE} 值。在最恶劣条件下(每次接触都有反向满载的中间轮), σ_{Flim} 和 σ_{FE} 值应乘以 0.7;当反向载荷不经常出现时,可根据齿轮使用过程中预期的反向载荷情况选择一个适当的系数。这部分内容可参考 ISO 6336-3 中附录 B。

5.4 σ_{Hlim} 、 σ_{Flim} 和 σ_{FE} 图

对于超出图 1~图 16 中硬度范围的接触疲劳极限和许用弯曲疲劳极限值,可由供需双方在使用经验的基础上协商确定。

5.5 σ_{Hlim} 和 σ_{Flim} 的计算

接触疲劳极限 σ_{Hlim} 和弯曲疲劳极限 σ_{Flim} 可按下列公式计算:

$$\left. \begin{matrix} \sigma_{Hlim} \\ \sigma_{Flim} \end{matrix} \right\} = Ax + B \dots\dots\dots(2)$$

式中:

x ——齿面硬度 HBW 或 HV;

A 、 B ——常数(见表 1)。

表面硬度范围严格控制在表中最低和最高硬度值之间。

表 1 σ_{Hlim} 和 σ_{Flim} 的计算

序号	材 料	应力	材质类型	缩写	图号	等级	A	B	硬度	最低 硬度	最高 硬度																																																																	
1	正火低碳 钢铸钢*	接触	正火态 低碳锻钢	st	1a)	ML, MQ ME	1.000 1.520	190 250	HBW	110 110	210 210																																																																	
2			铸钢	(铸态)	1b)	ML, MQ ME	0.986 1.143	131 237	HBW	140 140	210 210																																																																	
3												4	5	弯曲	正火态 低碳锻钢	st	2a)	ML, MQ ME	0.455 0.386	69 147	HBW	110 110	210 210	6	铸钢	(铸态)	2b)	ML, MQ ME	0.313 0.254	62 137	HBW	140 140	210 210	7	8	9	铸铁材料	接触	可锻铸铁	GTS (珠光体)	3a)	ML, MQ ME	1.371 1.333	143 267	HBW	135 175	250 250	10	球墨铸铁	GGG	3b)	ML, MQ ME	1.434 1.500	211 250	HBW	175 200	300 300	11	12	13	灰铁	GG	3c)	ML, MQ ME	1.033 1.465	132 122	HBW	150 175	240 275	14	15	16	15	16	铸铁材料	弯曲
5			弯曲	正火态 低碳锻钢	st	2a)	ML, MQ ME	0.455 0.386	69 147	HBW	110 110	210 210																																																																
6		铸钢		(铸态)	2b)	ML, MQ ME	0.313 0.254	62 137	HBW	140 140	210 210																																																																	
7												8	9		铸铁材料	接触	可锻铸铁	GTS (珠光体)	3a)	ML, MQ ME	1.371 1.333	143 267	HBW	135 175	250 250	10	球墨铸铁	GGG	3b)	ML, MQ ME	1.434 1.500	211 250	HBW	175 200	300 300	11		12	13	灰铁	GG	3c)	ML, MQ ME	1.033 1.465	132 122	HBW	150 175	240 275	14	15	16	15	16	铸铁材料	弯曲	可锻铸铁	GTS (珠光体)	4a)	ML, MQ ME	0.345 0.403	77 128	HBW	135 175	250 250												
9		铸铁材料		接触	可锻铸铁	GTS (珠光体)	3a)	ML, MQ ME	1.371 1.333	143 267	HBW	135 175	250 250																																																															
10			球墨铸铁		GGG	3b)	ML, MQ ME	1.434 1.500	211 250	HBW	175 200	300 300																																																																
11	12												13	灰铁		GG	3c)	ML, MQ ME	1.033 1.465	132 122	HBW	150 175	240 275	14	15	16	15	16	铸铁材料	弯曲	可锻铸铁	GTS (珠光体)	4a)	ML, MQ ME	0.345 0.403	77 128	HBW	135 175	250 250																																					
13	灰铁		GG	3c)	ML, MQ ME	1.033 1.465	132 122	HBW	150 175	240 275																																																																		
14											15	16																																																																
15											16	铸铁材料	弯曲	可锻铸铁	GTS (珠光体)	4a)	ML, MQ ME	0.345 0.403	77 128	HBW	135 175	250 250																																																						

表 1 (续)

序号	材 料	应力	材质类型	缩写	图号	等级	A	B	硬度	最低 硬度	最高 硬度							
17	铸铁材料	弯曲	球墨铸铁	GGG	4b)	ML, MQ	0.350	119	HBW	175	300							
18						ME	0.380	134		200	300							
19			灰铁	GG	4c)	ML, MQ	0.256	8	HBW	150	240							
20						ME	0.200	53		175	275							
21	调质锻钢 ^b	接触	碳钢	V	5	ML	0.963	283	HV	135	210							
22						MQ	0.925	360		135	210							
23						ME	0.838	432		135	210							
24			合金钢	V	5	ML	1.313	188	HV	200	360							
25						MQ	1.313	373		200	360							
26						ME	2.213	260		200	390							
27		弯曲	碳钢	V	6	ML	0.250	108	HV	115	215							
28						MQ	0.240	163		115	215							
29						ME	0.283	202		115	215							
30			合金钢	V	6	ML	0.423	104	HV	200	360							
31						MQ	0.425	187		200	360							
32						ME	0.358	231		200	390							
33	调质铸钢	接触	碳钢	V (铸态)	7	ML, MQ	0.831	300	HV	130	215							
34						ME	0.951	345		130	215							
35			合金钢	V (铸态)	7	ML, MQ	1.276	298	HV	200	360							
36						ME	1.350	356		200	360							
37		弯曲	碳钢	V (铸态)	8	ML, MQ	0.224	117	HV	130	215							
38						ME	0.286	167		130	215							
39			合金钢	V (铸态)	8	ML, MQ	0.364	161	HV	130	215							
40						ME	0.356	186		200	360							
41	渗碳钢 ^c	接触		Eh	9	ML	0.000	1 300	HV	600	800							
42						MQ	0.000	1 500		660	800							
43						ME	0.000	1 650		660	800							
44		弯曲	心部硬度 =25HRC 偏下 =25HRC 偏上 =30HRC	Eh			ML	0.000	312	HV	600	800						
45							MQ	0.000	425		660	800						
46								0.000	461		660	800						
47								0.000	500		660	800						
48							ME	0.000	525		660	800						
49							火焰及感 应淬火锻 钢和铸钢	接触			IF	11	ML	0.740	602	HV	485	615
50													MQ	0.541	882		500	615
51	ME	0.505	1 013	500	615													
52	弯曲		IF	12	ML	0.305		76	HV	485	615							
53					MQ	0.138		290		500	570							
54						0.000		369		570	615							
55					ME	0.271	237	500		615								

表 1 (续)

序号	材 料	应力	材质类型	缩写	图号	等级	A	B	硬度	最低 硬度	最高 硬度
56	氮化锻钢, 氮化钢 ^d , 调质氮化钢	接触	氮化钢 ^a	NT (氮化)	13a)	ML	0.000	1 125	HV	650	900
57						MQ	0.000	1 250			
58						ME	0.000	1 450			
59			调质钢 ^b	NV (氮化)	13b)	ML	0.000	788	HV	450	650
60						MQ	0.000	998			
61						ME	0.000	1 217			
62		弯曲	氮化钢 ^a	NT (氮化)	14a)	ML	0.000	270	HV	650	900
63						MQ	0.000	420			
64						ME	0.000	468			
65			调质钢 ^b	NV (氮化)	14b)	ML	0.000	258	HV	450	650
66						MQ	0.000	363			
67						ME	0.000	432			
68	碳氮共渗 锻钢 ^e	接触	调质钢	NV (氮化共渗)	15	ML	0.000	650	HV	300	650
69						MQ,ME	1.167	425			
70							0.000	950			
71		弯曲	调质钢	NV (氮碳共渗)	16	ML	0.000	224	HV	300	650
72						MQ,ME	0.653	94			
73							0.000	388			

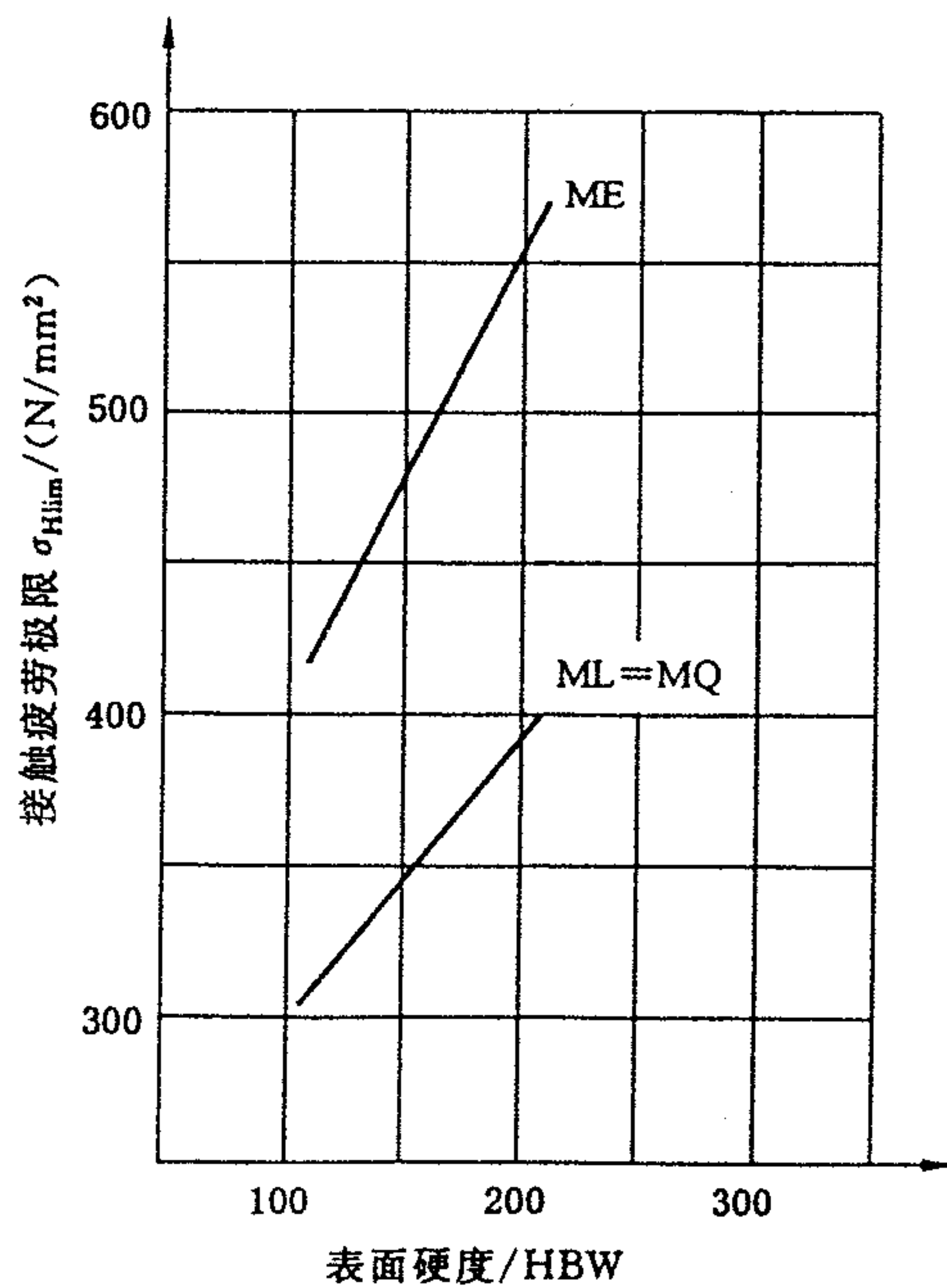
^a 按 GB/T 13304.

^b 按 ISO 683-1.

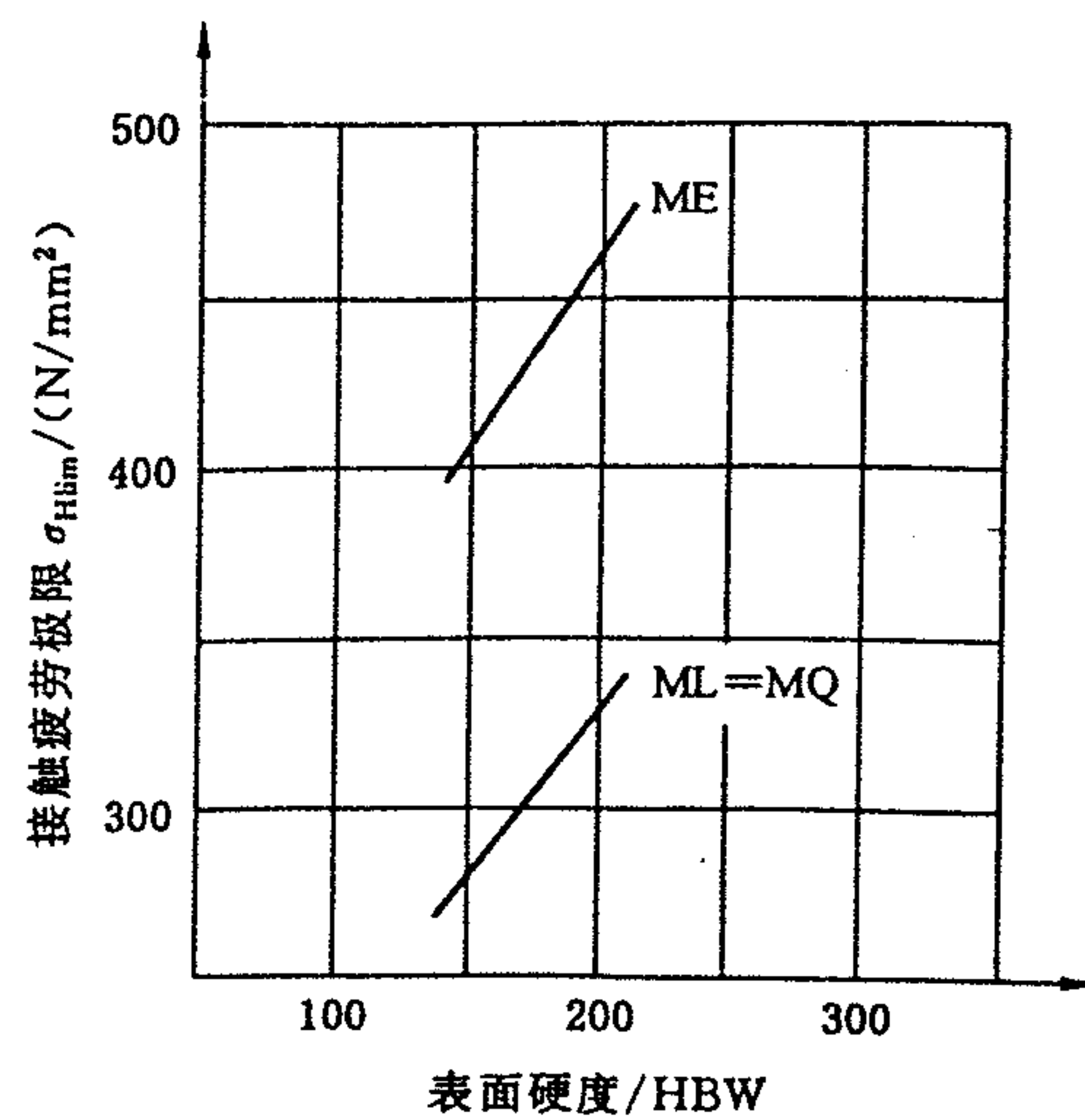
^c 按 ISO 683-11.

^d 按 ISO 683-10.

^e 按 ISO 683-1, ISO 638-10 或 ISO 683-11.



a) 正火低碳锻钢



b) 铸钢

图 1 正火低碳锻钢和铸钢的 σ_{Hlim} (见 6.2)

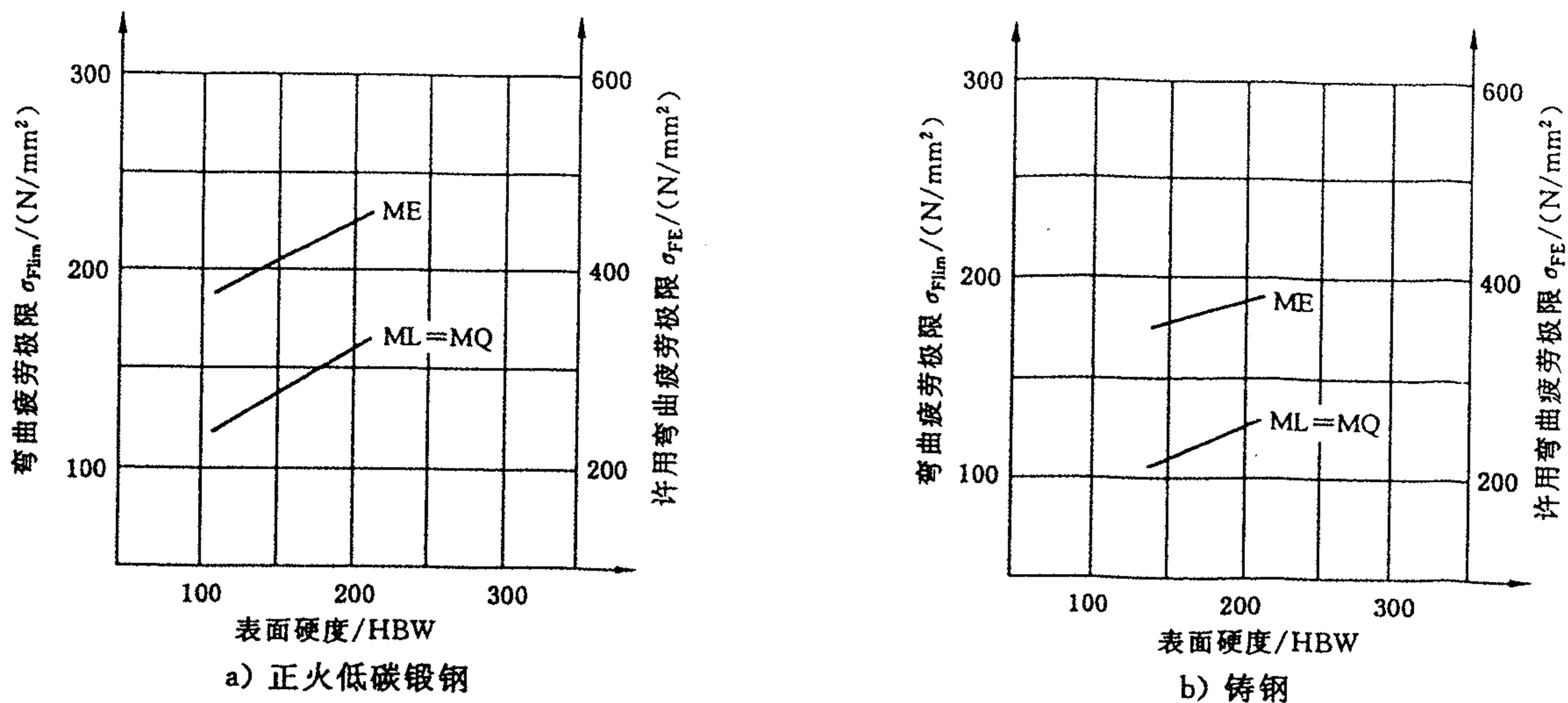
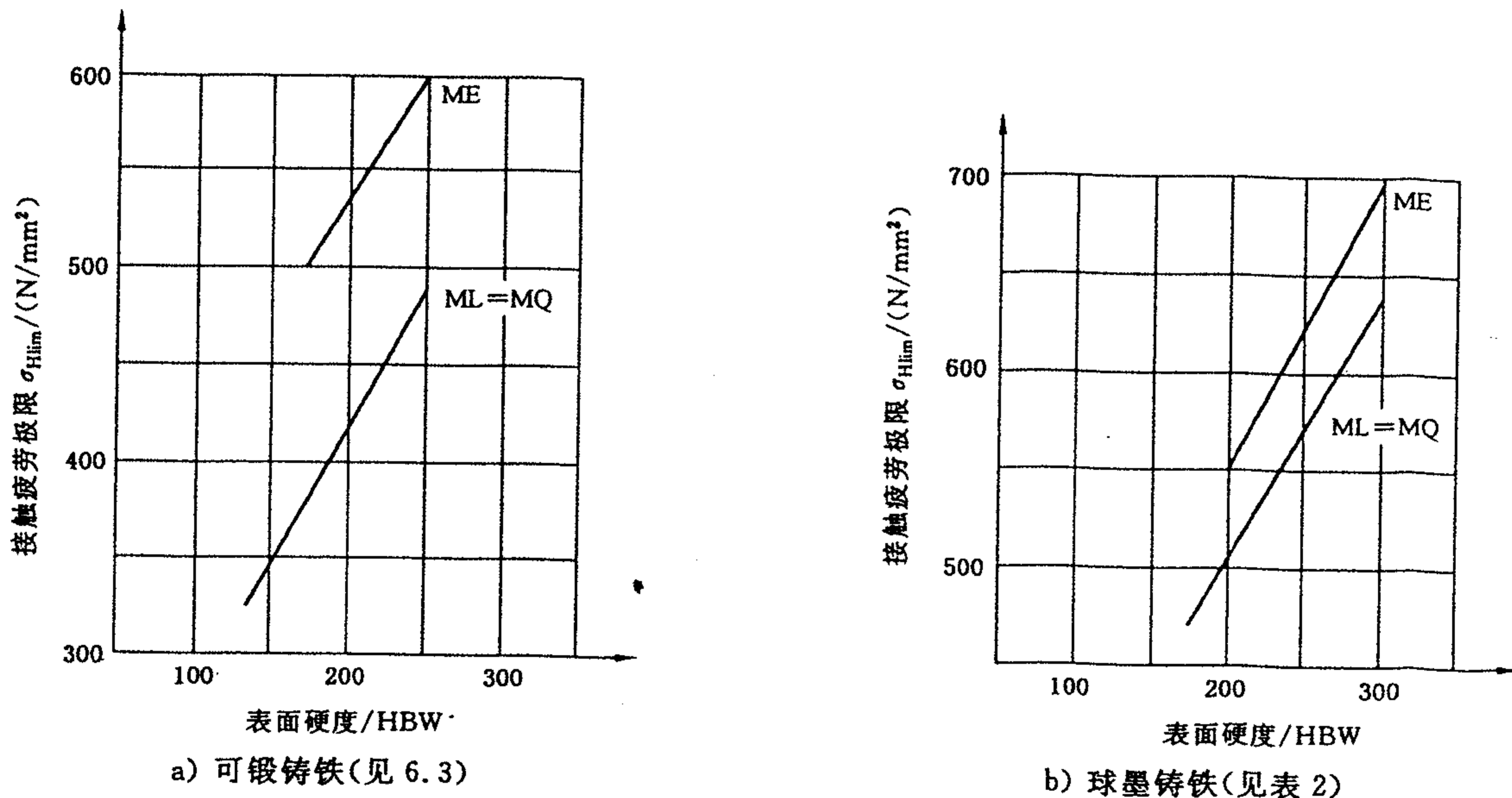


图 2 正火低碳锻钢和铸钢的 σ_{Flim} 和 σ_{FE} (见 6.2)



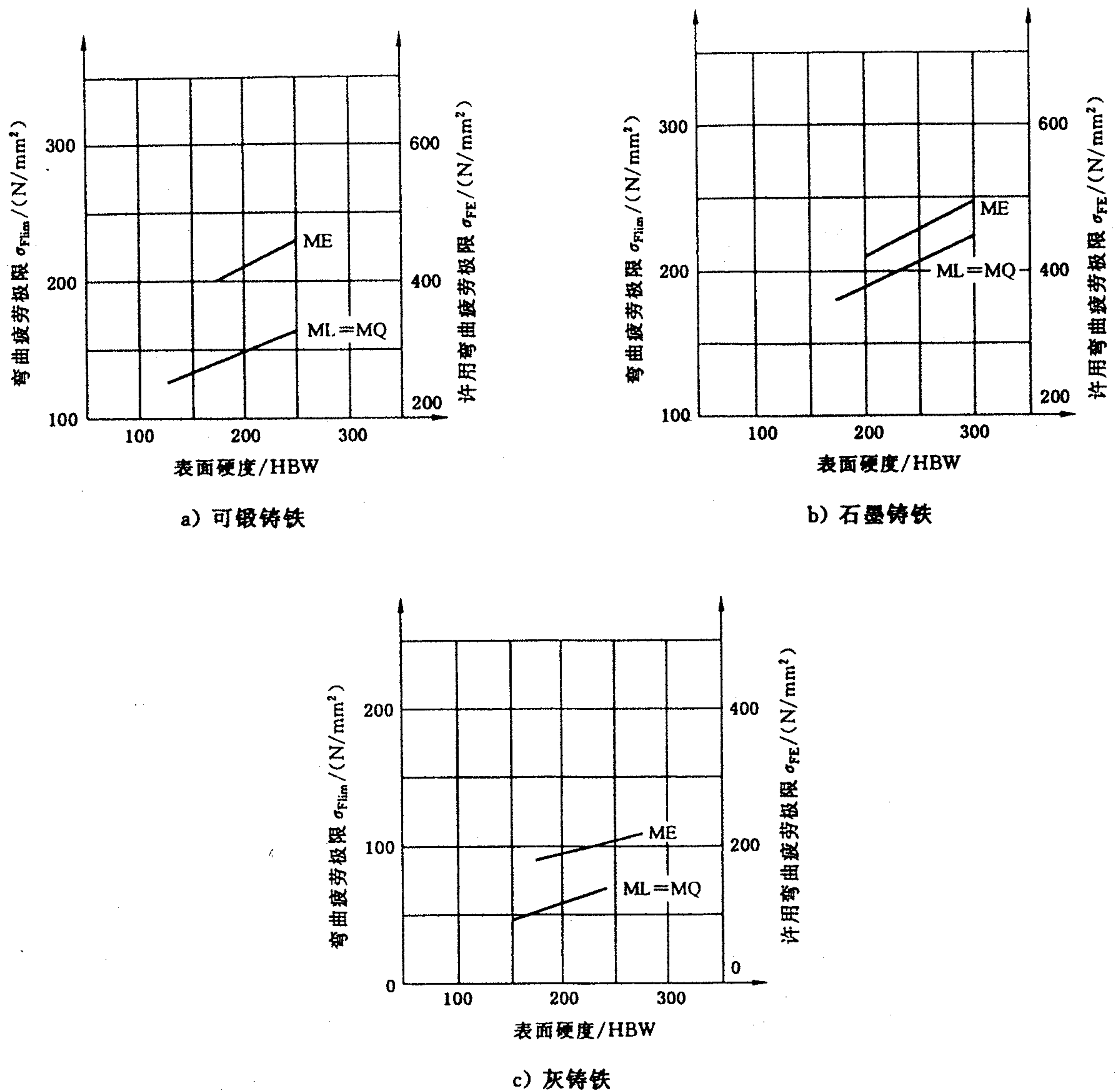
a) 可锻铸铁(见 6.3)

b) 球墨铸铁(见表 2)

c) 灰铸铁(见表 2)

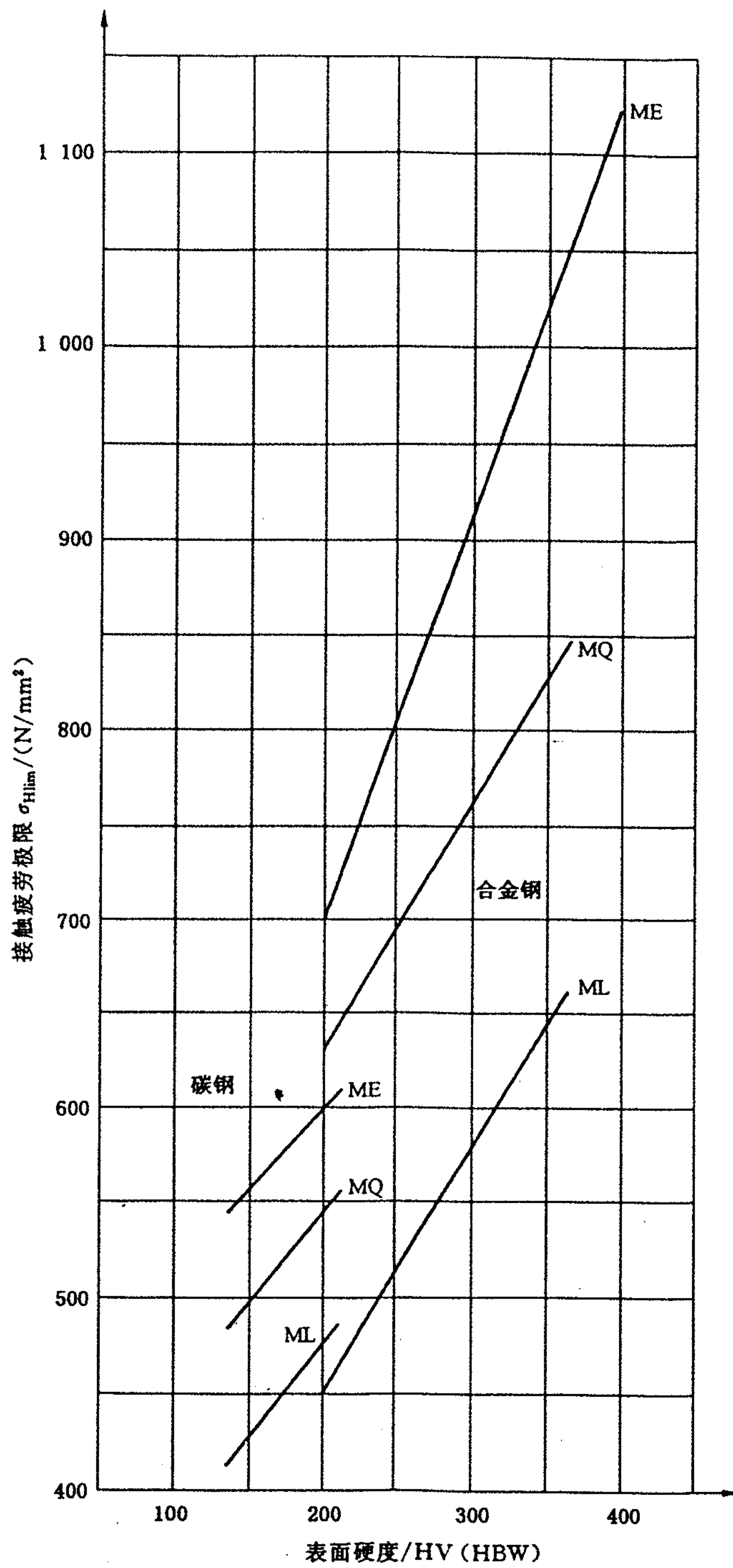
注：当 HBW < 180 时，表明组织中存在较多的铁素体，不推荐作为齿轮材料。

图 3 铸铁材料——铸铁的 σ_{Hlim} (见 6.3 和表 2)



注：当 HBW < 180 时，表明组织中存在较多的铁素体，这不推荐作为齿轮材料。

图 4 铸铁材料——铸铁的 σ_{Flim} 和 σ_{FE} (见 6.3 和表 2)



注 1: 名义含碳量 $\geq 0.20\%$ 。

注 2: 本标准代替版本 GB/T 8539—2000 中合金钢的 MX 级已由现在的 ME 代替。

图 5 调质锻钢的 σ_{Hlim} (见表 3)

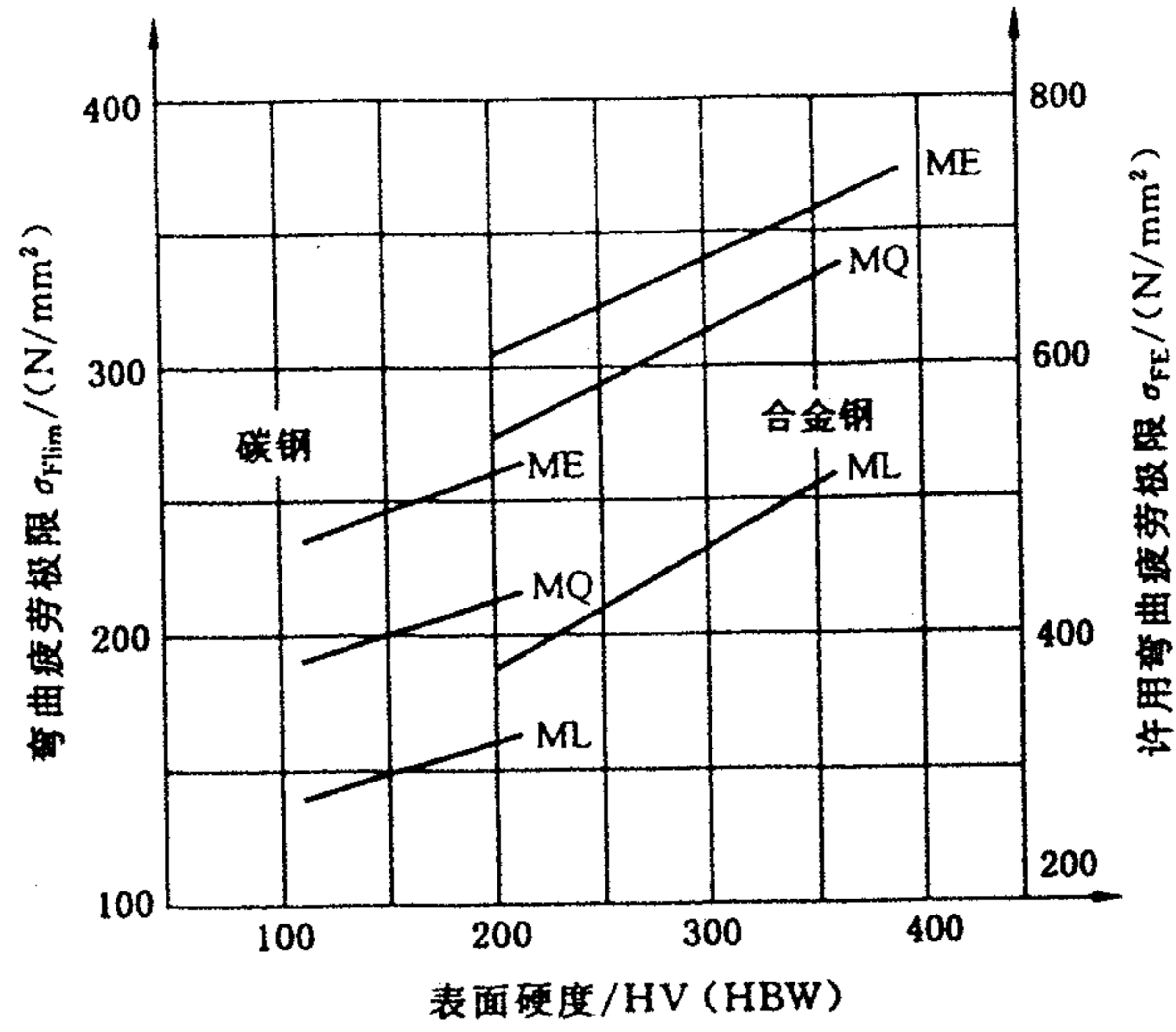


图 6 调质锻钢的 σ_{Flim} 和 σ_{FE} (见表 3)

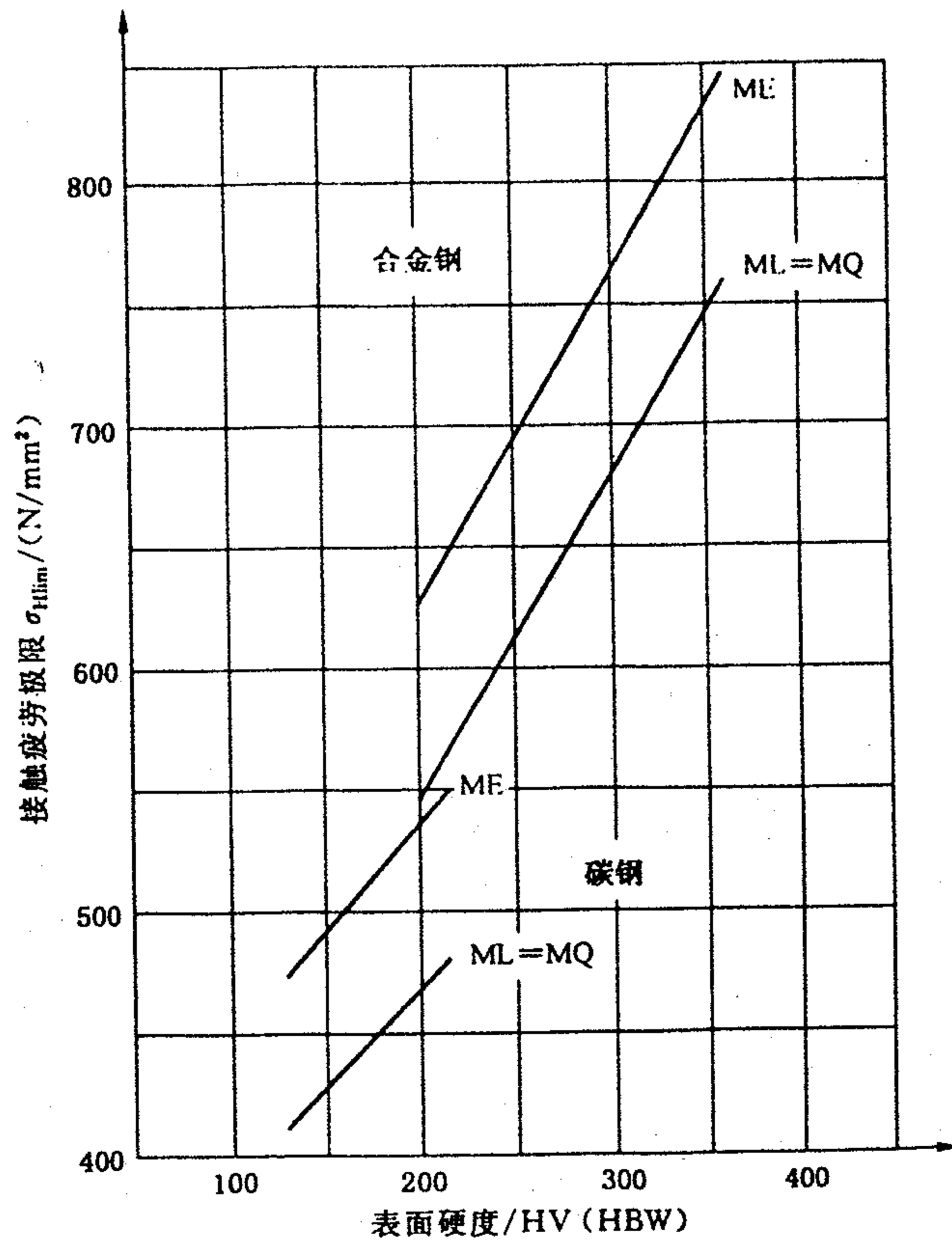


图 7 调质铸钢的 σ_{Hlim} (见表 4)

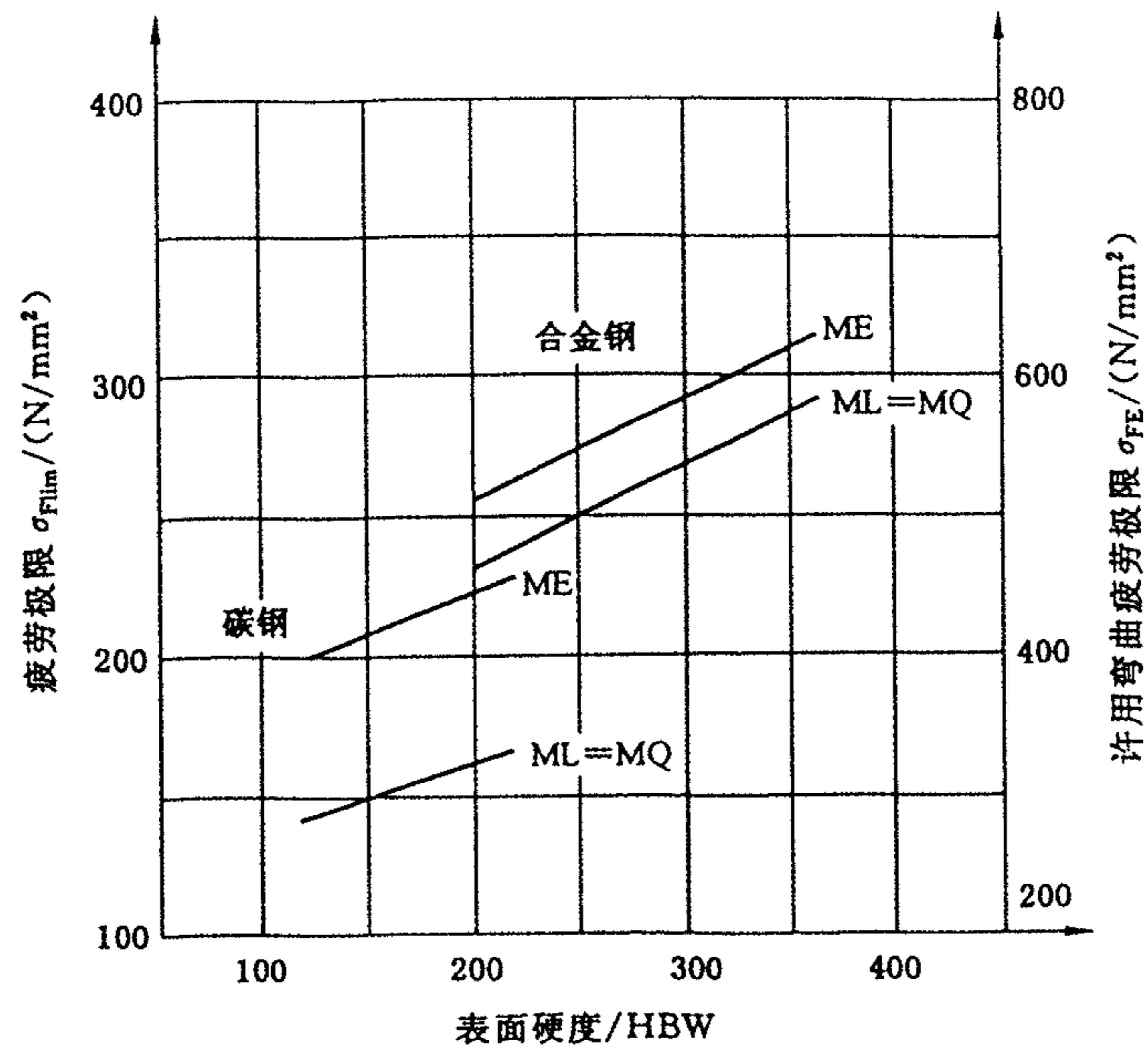
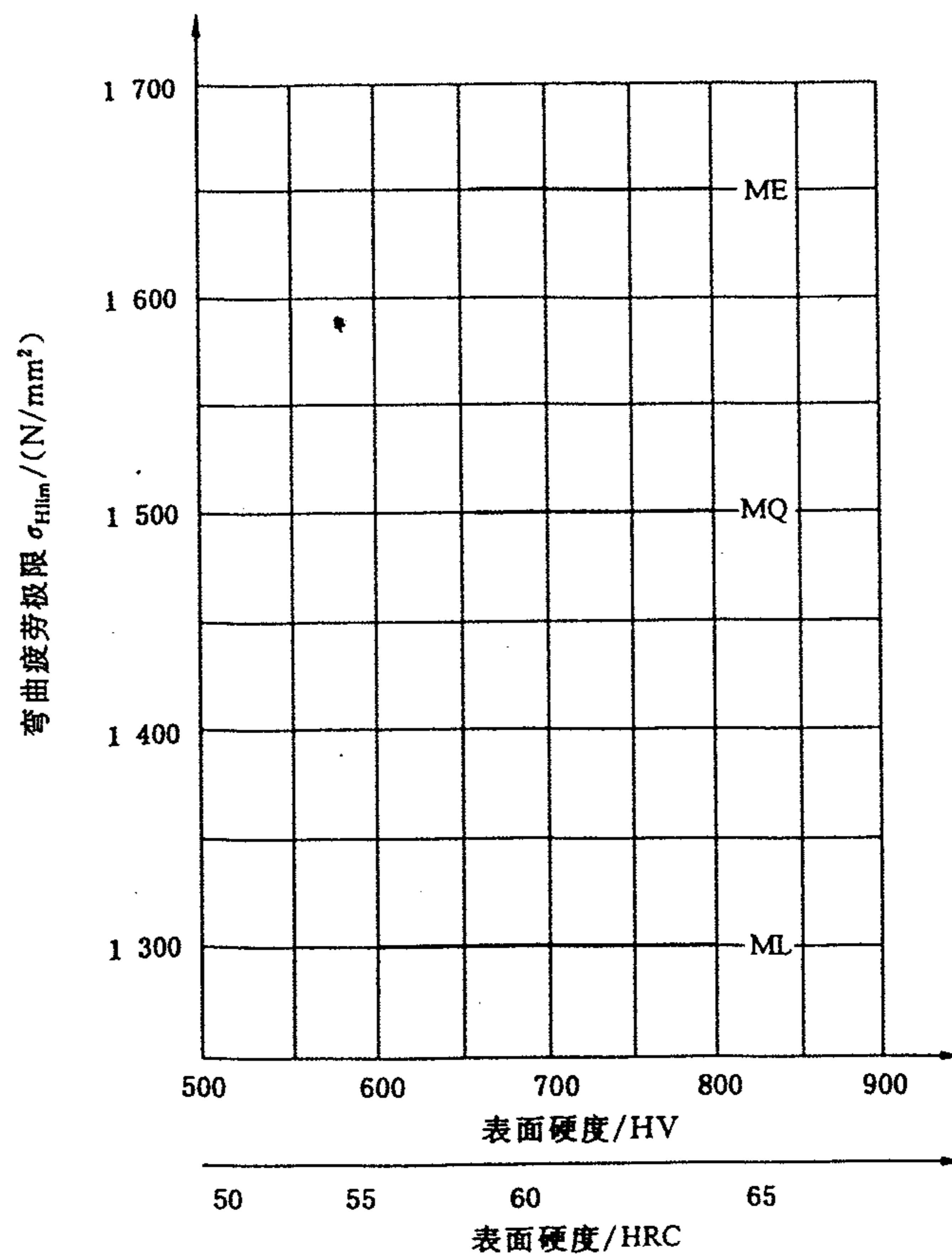
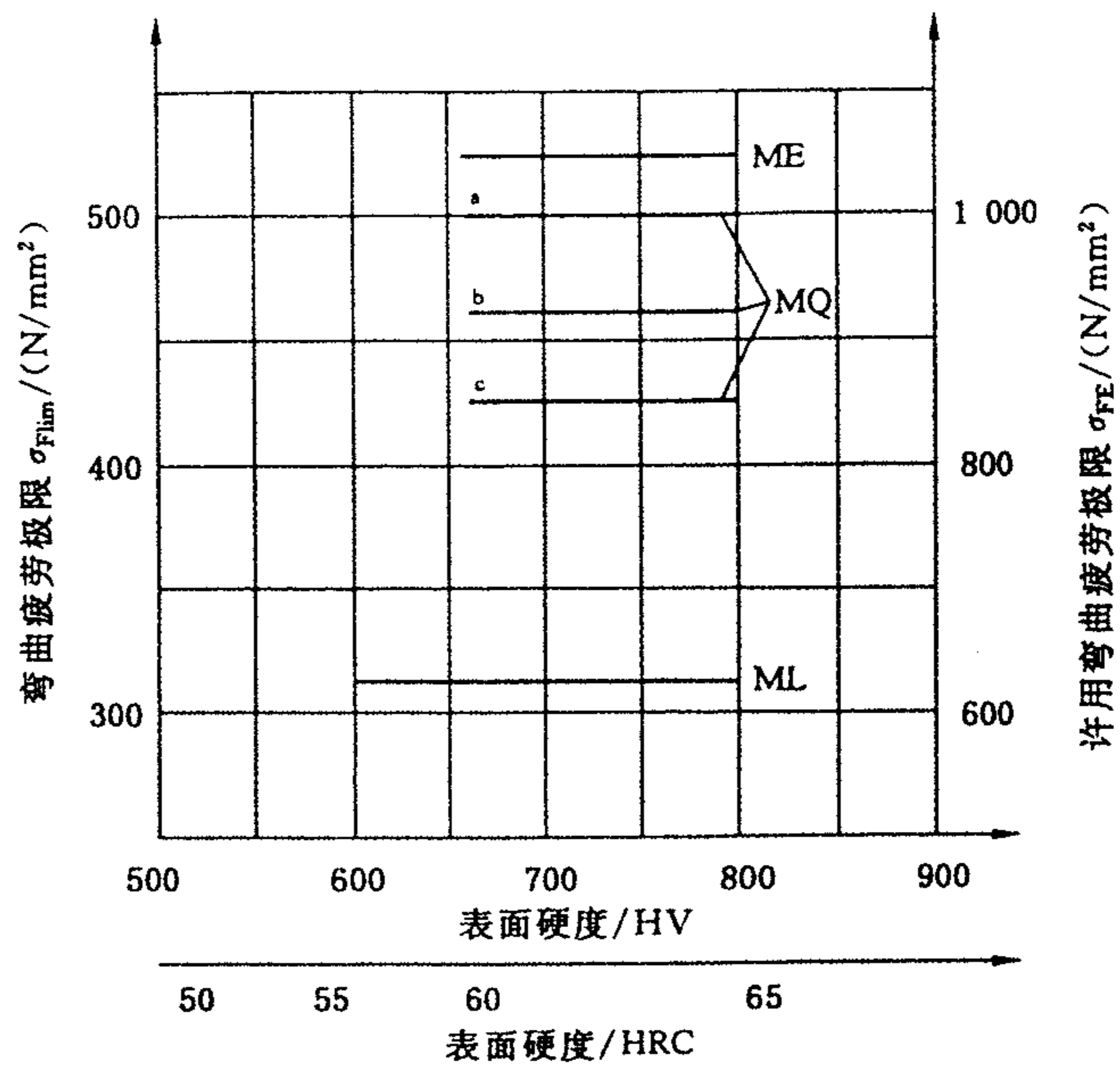


图 8 调质铸钢的 σ_{Flim} 和 σ_{FE} (见表 4)



注：要求有合适的硬化层深度，见 5.6.1。

图 9 渗碳钢的 σ_{Flim} (见表 5)

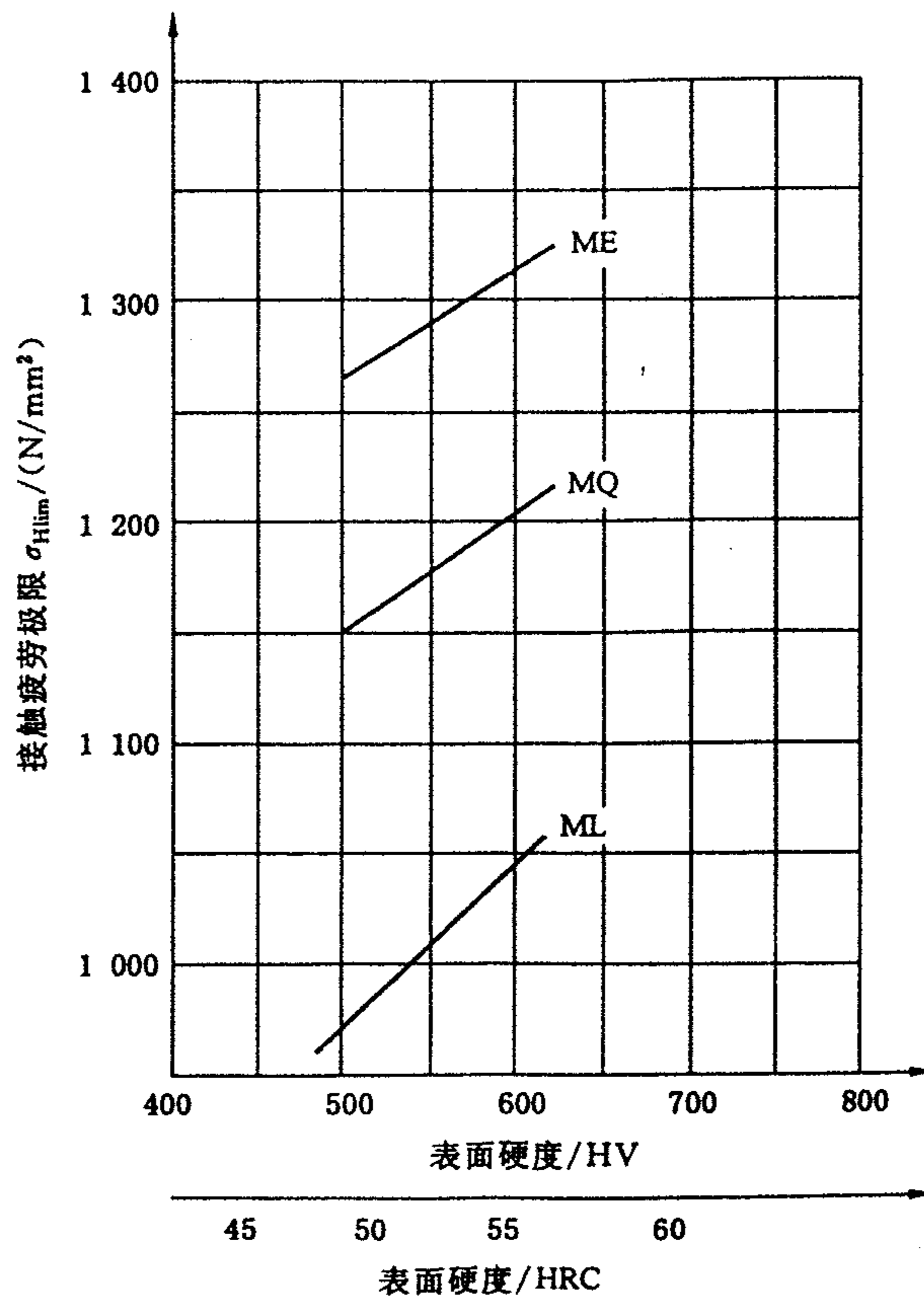


- a 心部硬度 ≥ 30 HRC。
- b 心部硬度 ≥ 25 HRC, $J=12$ mm 处 ≥ 28 HRC。
- c 心部硬度 ≥ 25 HRC, $J=12$ mm 处 < 28 HRC。

注 1: 合适的硬化层深度, 见 5.6.2。

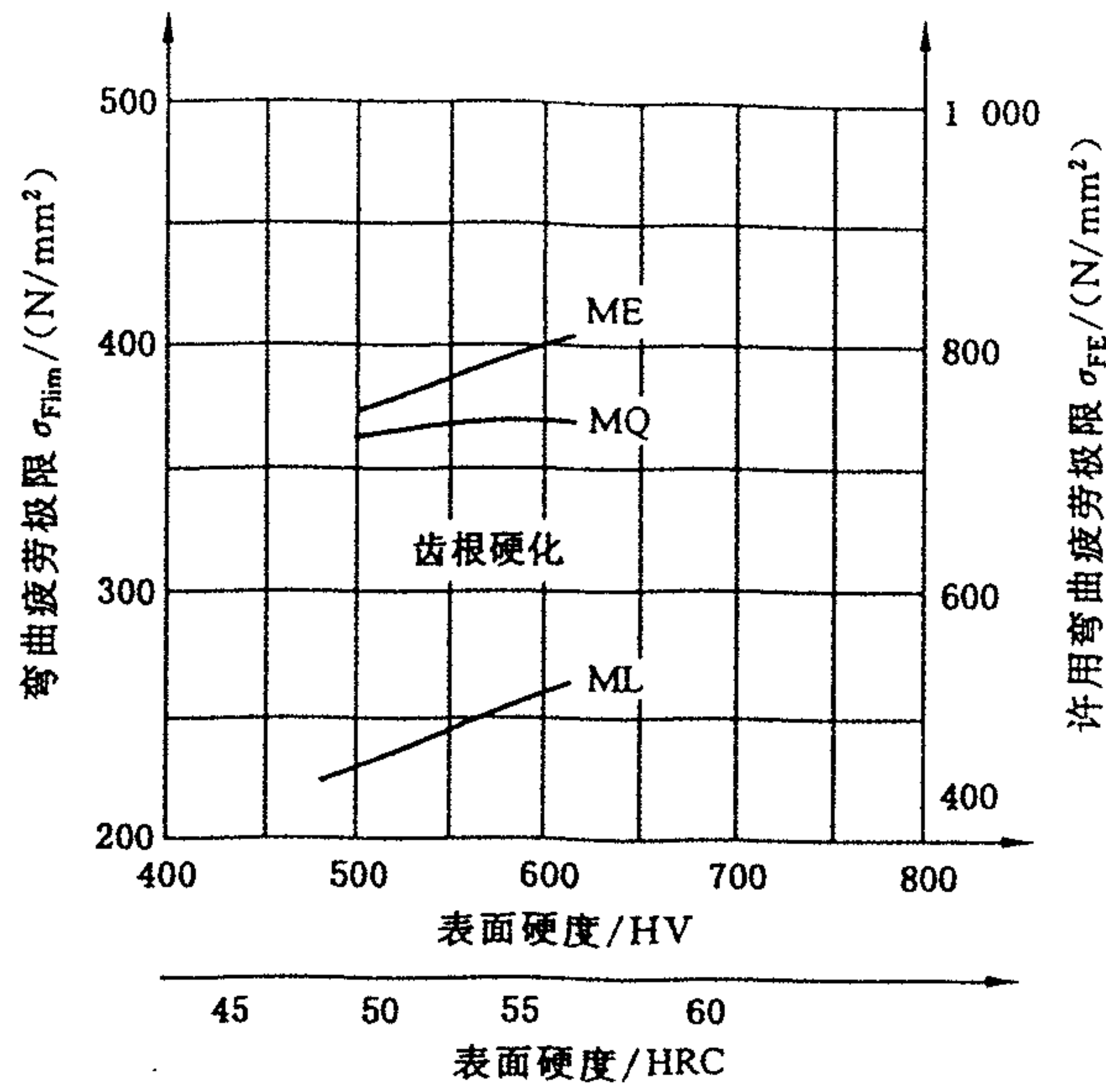
注 2: 见 6.6。

图 10 渗碳锻钢的 σ_{Flim} 和 σ_{FE} (见表 5)



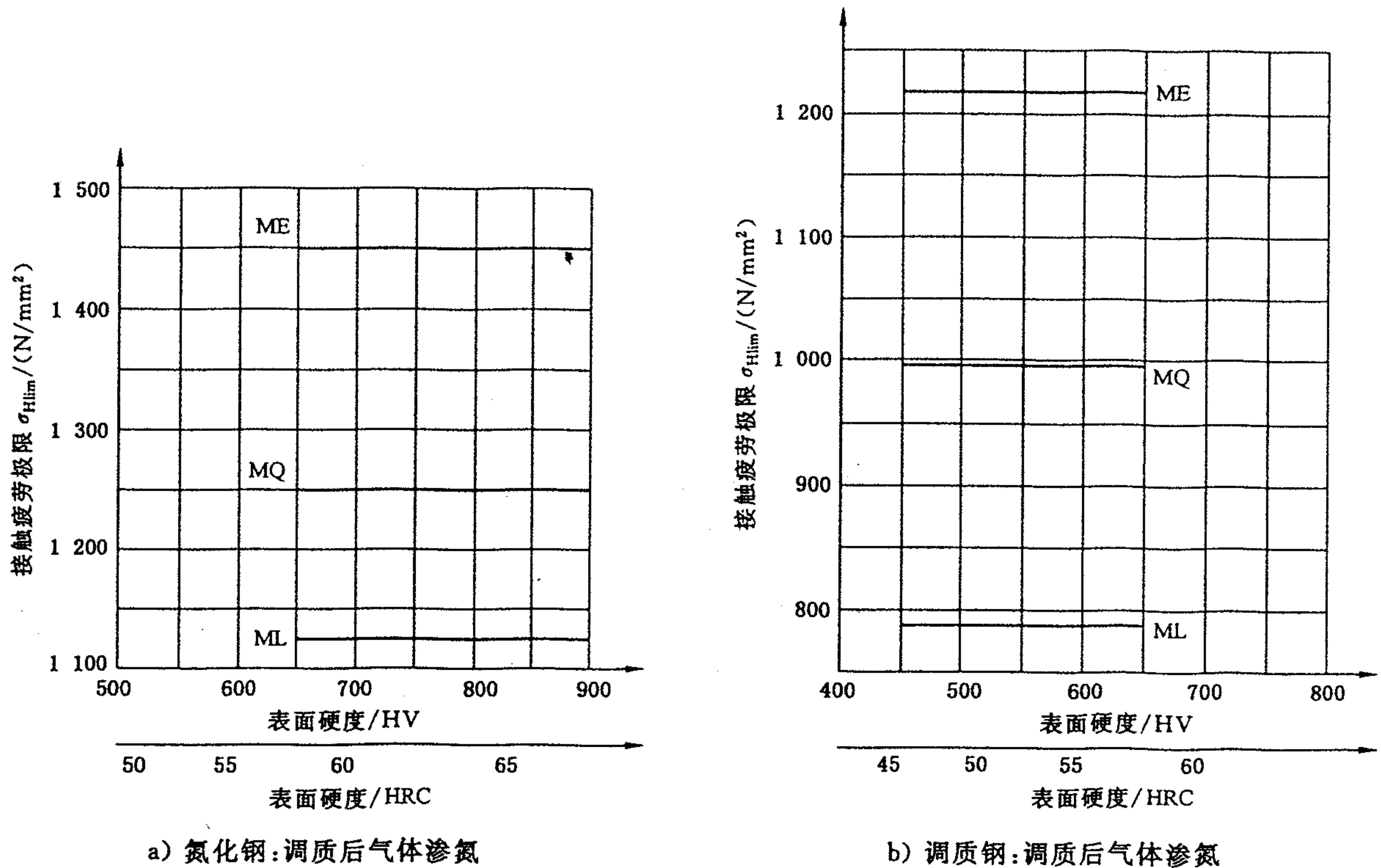
注: 要求有合适的硬化层深度, 见 5.6.2。

图 11 火焰或感应淬火铸、锻钢的 σ_{Hlim} (见表 6)



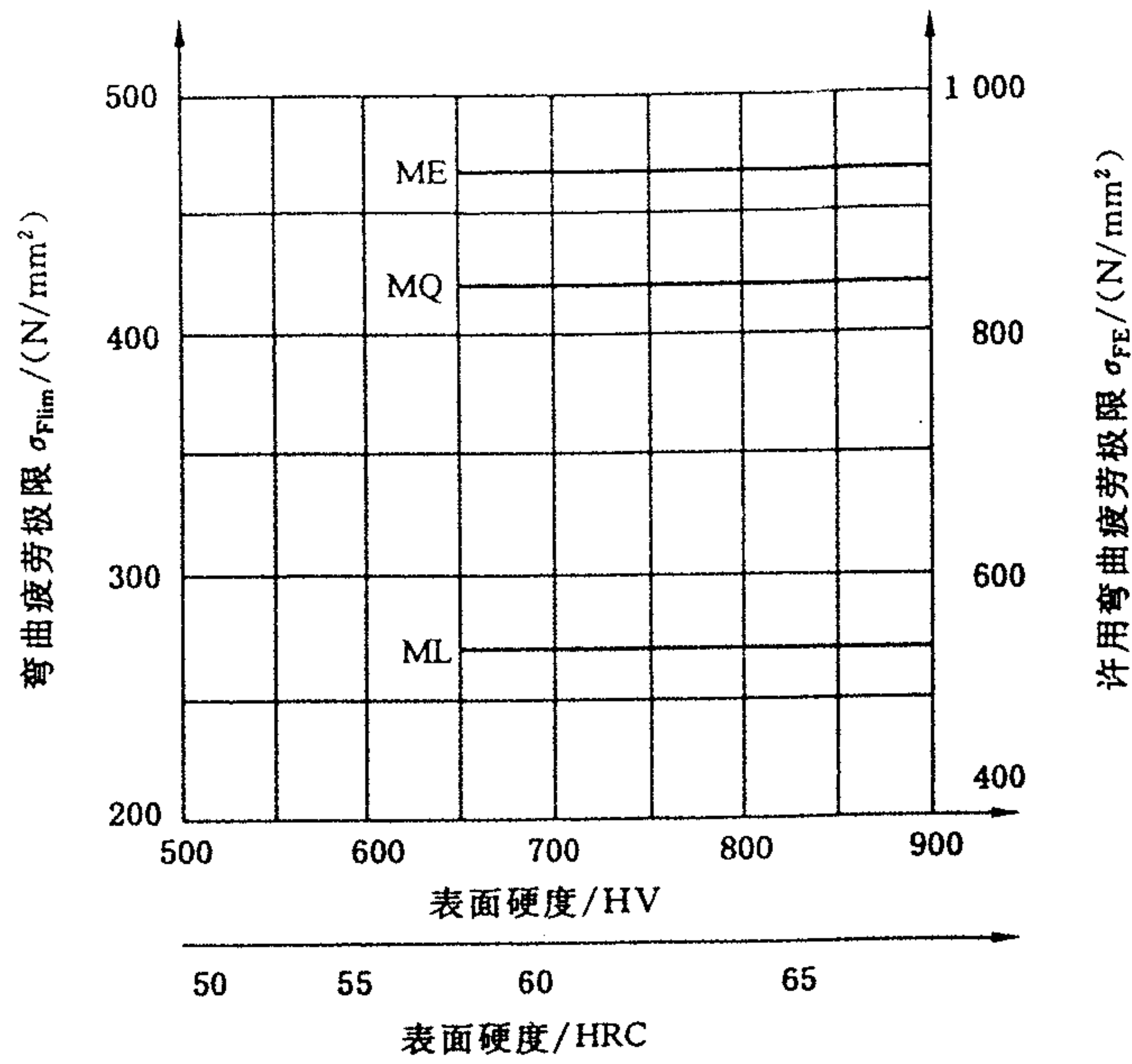
注：仅适用于齿根圆角处硬化的齿轮，未提供齿根圆角处未硬化的数据。要求有适当的硬化层深度。

图 12 火焰或感应淬火铸、锻钢的 σ_{Flim} 和 σ_{FE} (见表 6)



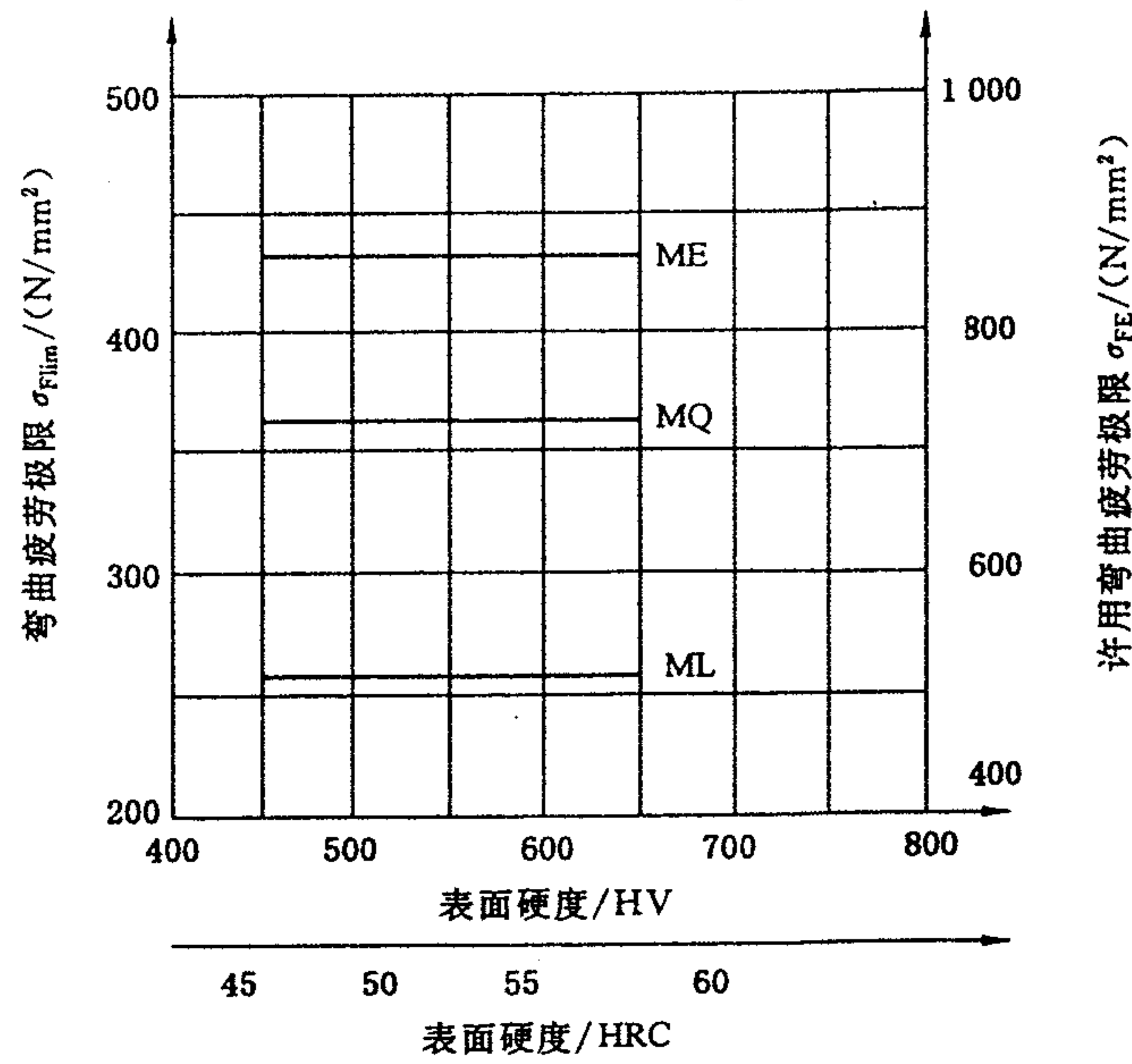
注：建议进行工艺可靠性试验。要求有适当的硬化层深度，见 5.6.3。

图 13 氮化钢和氮化调质钢的 σ_{Hlim} (见表 7)



注：建议进行工艺可靠性试验。对齿面硬度 $HV1 > 750$ ，当白亮层厚度超过 $10 \mu m$ 时，由于脆性， σ_{FE} 会减低。要求有合适的硬化层深度，见 5.6.3。

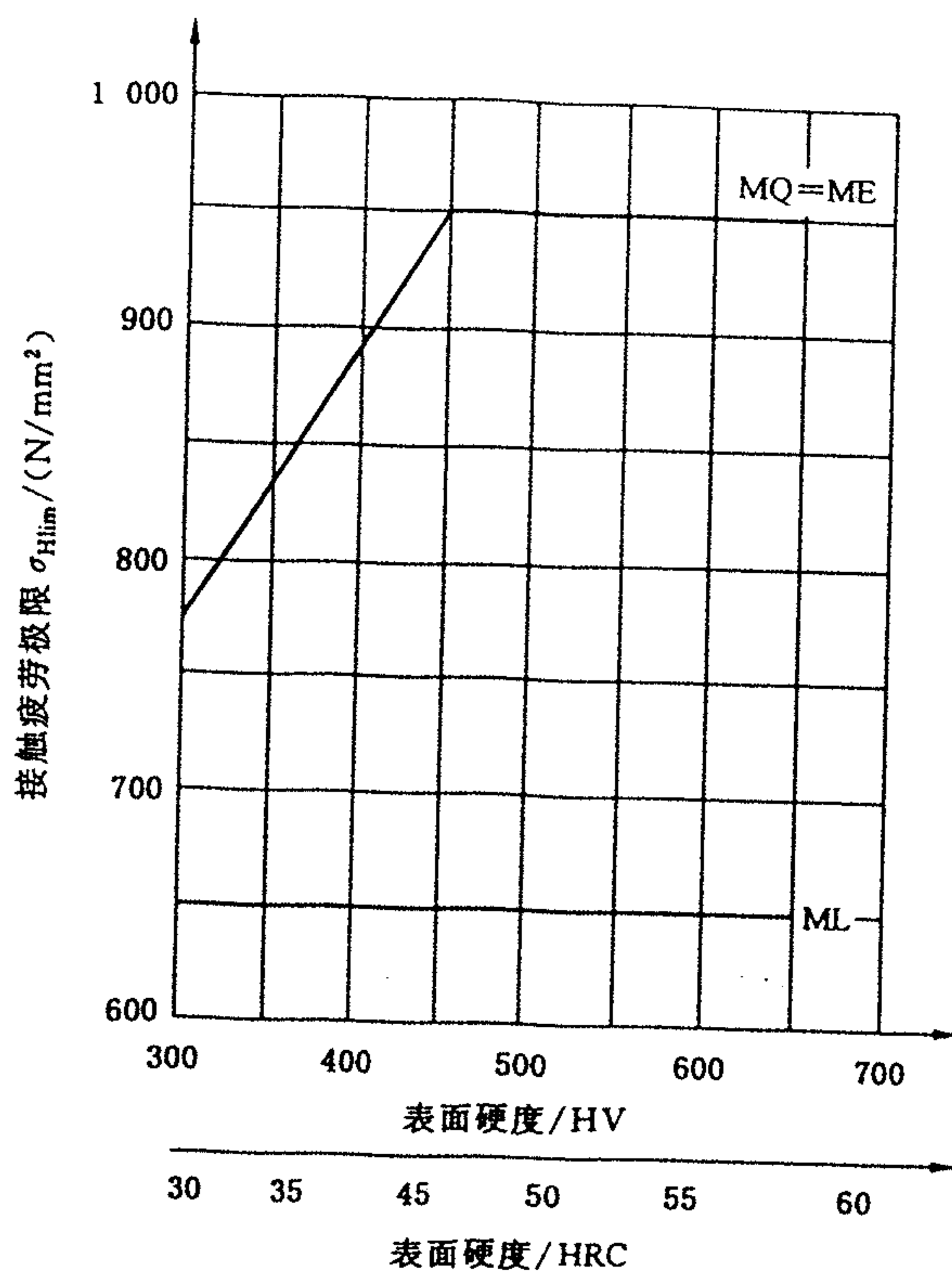
a) 氮化钢：调质后气体渗氮



b) 调质钢：调质后气体渗氮

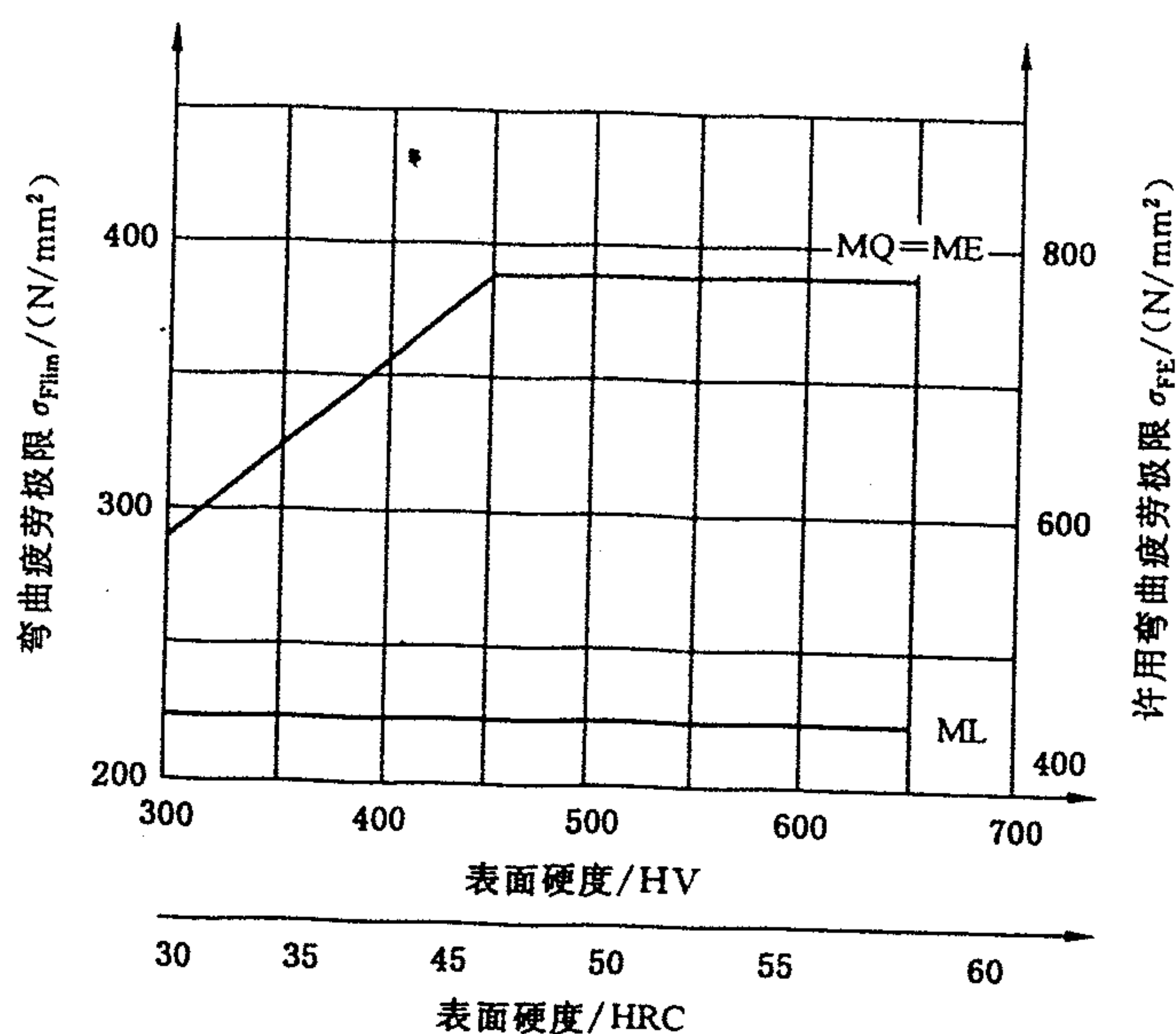
注：建议进行工艺可靠性试验。要求有适当的硬化层深度，见 5.6.3。

图 14 氮化钢和氮化调质钢的 σ_{Flim} 和 σ_{FE} (见表 7)



注：建议进行工艺可靠性试验。要求有适当的硬化层深度，见 5.6.3。

图 15 氮碳共渗钢的 σ_{Hlim}



注：建议进行工艺可靠性试验。要求有适当的硬化层深度，见 5.6.3。

图 16 氮碳共渗钢的 σ_{Flim} 和 σ_{FE} (见表 8)

5.6 表面硬化齿轮的渗层深度

5.6.1 总则

表面硬化齿轮的轮齿需要适当的渗层深度以承受外加载荷，渗层深度的最小值和最大值都应在图纸上标明。在规定最小渗层深度时，要注意弯曲强度与接触强度对应的最佳渗层深度值不一样。不能

超过规定的最大渗层深度值,否则齿顶有脆裂的危险²⁾。

5.6.2 渗碳淬火齿轮的硬化层深度³⁾

- a) 防止点蚀失效的硬化层深度推荐值 $Eht_{H\ opt}$:如图 17 所示, $Eht_{H\ opt}$ 是磨齿后分度圆上在许用接触应力下能达到持久寿命的最佳硬化层深度。

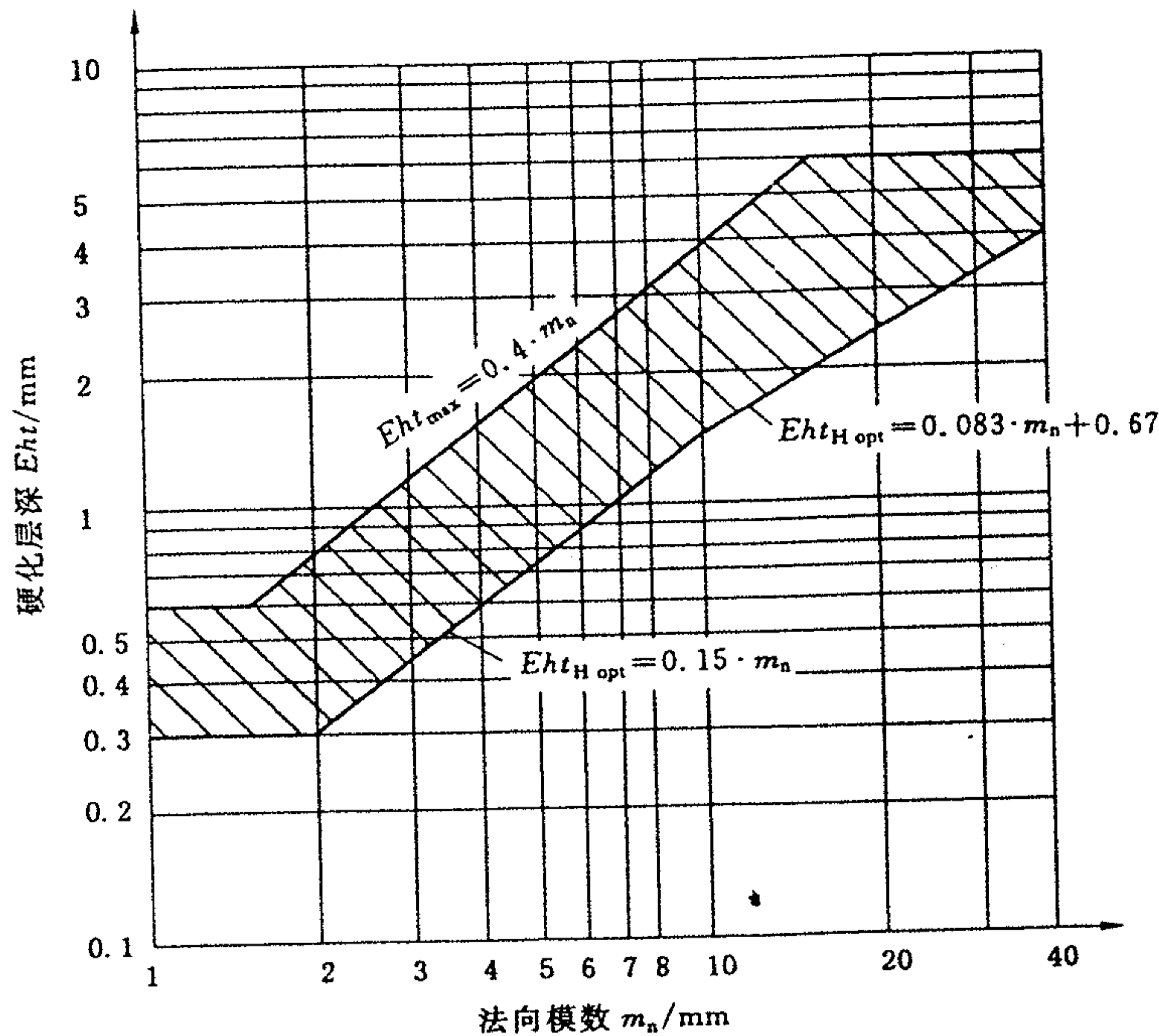


图 17 接触强度的最佳硬化层深度推荐值 $Eht_{H\ opt}$ 和综合考虑弯曲强度和接触强度的最大硬化层深度 Eht_{max}

- b) 防止断齿失效的硬化层深度推荐值 $Eht_{F\ opt}$: $Eht_{F\ opt}$ 是磨齿后在许用弯曲应力下能达到持久寿命的最佳硬化层深度,检测位置在齿宽中部齿根圆角处 30° 切线(外齿时)或 60° 切线(内齿时)的垂直方向上。

$$Eht_{F\ opt} = (0.1 \sim 0.2)m_n \quad \dots\dots\dots(3)$$

- c) 防止齿面剥落的硬化层深度推荐值 Eht_c : Eht_c 是磨齿后分度圆上基于接触载荷引起的最大剪应力深度而确定的最小有效硬化层深度。

注:对于齿面剥落,目前尚无标准计算方法。

$$Eht_c = \frac{\sigma_H \cdot d_{w1} \cdot \sin\alpha_{wt}}{U_H \cdot \cos\beta_b} \cdot \frac{z_2}{z_1 + z_2} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

d_{w1} ——小轮节圆直径;

α_{wt} ——端面节圆压力角;

$U_H = 66\ 000\ \text{N/mm}^2$ (对于 MQ 和 ME 质量等级);

$U_H = 44\ 000\ \text{N/mm}^2$ (对于 ML 质量等级)。

- d) 有效硬化层深度最小极限值和最大极限值: $Eht_{min/max}$ 是磨齿后分度圆上的有效硬化层深度值 (见图 17): $Eht_{min} \geq 0.3\ \text{mm}$, $Eht_{max} \leq 0.4\ m_n (\leq 6\ \text{mm})$ 。

5.6.3 氮化齿轮的硬化层深度⁴⁾

- a) 有效氮化层深度推荐值 Nht (见图 18):

2) 5.6 的数据不适用于锥齿轮;

3) 硬化层深度的定义见表 5 第 9 项。

4) 氮化层深度的定义参阅表 7 第 7 项。

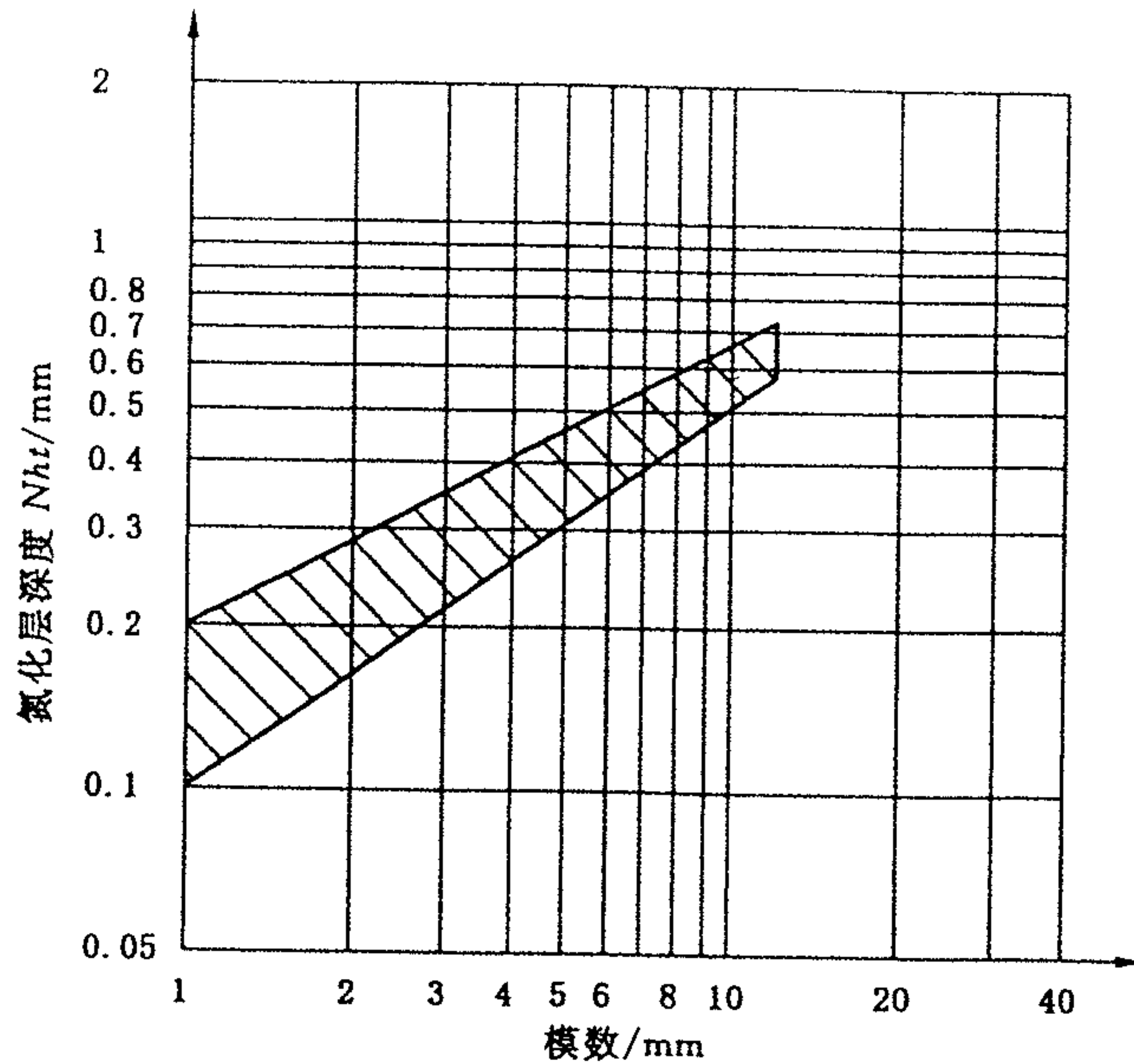


图 18 氮化层深度推荐值 N_{ht}

b) 防止齿面剥落的氮化层深度推荐值 N_{htc} : N_{htc} 是指氮化齿轮硬化层深度的最小值, 是基于接触载荷引起的最大剪切应力深度。如果 N_{htc} 值小于图 18 中的氮化层深度 N_{ht} , 则采用图 18 中所示的最小值。

注: 对于齿面剥落, 目前尚无标准计算方法。

$$E_{htc} = \frac{U_c \cdot \sigma_H \cdot d_{wl} \cdot \sin \alpha_{wt}}{1.14 \times 10^5 \cdot \cos \beta_b} \cdot \frac{z_2}{z_1 + z_2} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

U_c ——心部硬度系数(见图 19)。

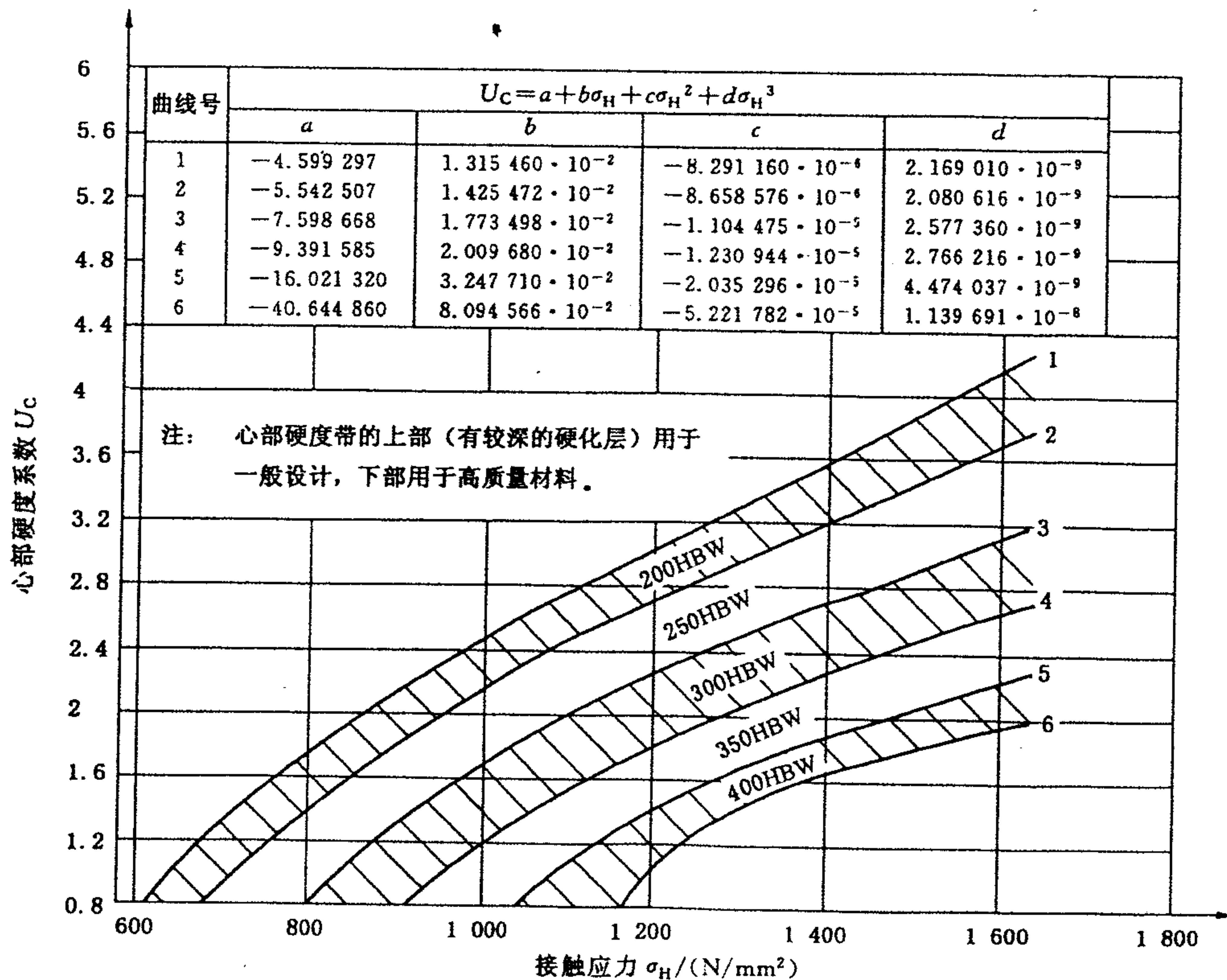


图 19 氮化齿轮的心部硬度系数 U_c

6 材料质量及热处理工艺要求

6.1 一般原则

图 1~图 16 中所示的 ML、MQ 和 ME 三个材料质量等级是按 B⁵⁾ 确定的疲劳极限值来区分的,见 4.3、5.2 和 5.3。

ML 表示对齿轮加工过程中材料质量及热处理工艺的一般要求。

MQ 表示对有经验的制造者在通常成本下可达到的质量等级。

ME 表示必须具有高可靠度的制造过程控制才能达到的等级。

注:本标准中的疲劳极限图不允许外延。

通常,采用特殊质量的材料,如用真空感应冶炼(VIM)和真空电弧重熔(VAR)冶炼的材料来保证高可靠性或高承载能力。

采用常规焊接工艺拼焊齿轮,拼焊后需经消除应力处理。

6.2~6.4 所给出的内容已经过实用验证,可用作指导性文件。当采用这些疲劳极限值时,材料等级的各项要求应该保证⁶⁾。当然根据各自的经验,制造者也可采用其他的方法或数据。齿轮供需双方对细节应达成协议,尤其是对于大型齿轮。

6.2 正火低碳钢或铸钢、无合金元素的普通碳钢(见图 1、图 2)

由于这些钢材对化学成分不作规定,冶炼方法也不明确,因此 MQ 线位于强度下限(ML 线,即 MQ = ML)。正火低碳钢只用于轻载齿轮和不重要的齿轮。当钢材可达到高质量要求或经过实用验证时,亦可采用 ME 线数据。

6.3 可锻铸铁(见图 3、图 4)

热处理工艺控制得当时,可得到高质量材料;但是由于这种材料通常用于小型轻载齿轮,从可靠性考虑,MQ 线位于下限(ML 线),若经过实践验证,也可采用 ME 线数据。

6.4 其他材料(见图 5~图 16)

其他材料的质量及热处理工艺要求列于表 2~表 8。

表 2 铸铁材料(灰铸铁和球墨铸铁)

序号	项 目	灰口铸铁(图 3、图 4)		球墨铸铁(图 3、图 4)	
		ML, MQ	ME	ML, MQ	ME
1	化学成分	不检验	100%检验 提交铸造合格证	不检验	100%检验 提交铸造合格证
2	冶炼	不规定	电炉或相当设备	不规定	电炉或相当设备
3	力学性能	只提供 HBW 值	σ_b 值,针对同炉号独立的试样做检验报告	只提供 HBW 值	按 ISO 10474 标准检验 σ_s ($\sigma_{0.2}$), σ_b , δ_5 , ψ ; 由铸锭切割代表性试样,切割前同炉热处理;靠近实际轮齿部位检验 HBW
4	石墨形态	规定但不必检验	限制	不检验	限制
	基体组织	不规定(对于灰铸铁,铁素体含量=5%)	铁素体含量=5%	不规定	

5) 调质锻钢的许用应力经过修正,GB/T 8539—2000 中存在的 MX 材料等级已由 ME 线代替。

6) 选材时可参照 ISO 683-1, ISO 683-9, ISO 683-10 或 ISO 683-11 推荐资料或相关国家标准规定。

表 2 (续)

序号	项 目	灰口铸铁(图 3、图 4)		球墨铸铁(图 3、图 4)	
		ML, MQ	ME	ML, MQ	ME
5	内部缩孔(裂纹)	不检验	检验气孔、裂纹、砂眼、限制缺陷	不检验	检验气孔、裂纹、砂眼、限制缺陷
6	消除应力	不规定	推荐(500℃~530℃)×2 h, 对灰口合金铸铁(530℃~560℃)×2 h	不规定	推荐(500℃~560℃)×2 h
7	补焊	在轮齿部位不允许补焊, 其他部位只能在认可工艺下进行。		在轮齿部位不允许补焊, 其他部位只能在认可工艺下进行。	
8	表面裂纹	不检验	供需双方同意时做着色渗透探伤	不检验	不允许有裂纹, 100%经磁粉或着色渗透探伤, 大批量产品可抽样检查

表 3 非表面硬化调质钢(锻造或轧制)(图 5、图 6)

序号	项 目	ML	MQ	ME						
1	化学成分 ^{a,b}	不检验	100%跟踪原始锻件, 按 ISO 10474 标准, 提供检验报告							
2	热处理后力学性能	HBW 值	建议, 提供 HBW 值和力学性能或淬透性数据	按 ISO 10474 对同炉号切割试样检验 σ_s ($\sigma_{0.2}$)、 σ_b 和 ψ ; 试样同工件一同热处理, 全部工件须检验表面硬度 HBW, 也可按供需双方协议进行; 关键截面实例列于附录 A						
3	按 GB/T 10561 检验材料纯度 ^c	不规定	钢材在钢包中脱氧及精炼, 并应经过真空脱气; 浇铸过程应有防氧化措施, 经用户同意, 钢在熔炼时最多可加钙 15ppm(15 $\mu\text{g/g}$); 最大氧含量 25 ppm(25 $\mu\text{g/g}$), 按 GB/T 10561 方法 B 检验 II 区纯度, 检验面积近 200 mm ² , 下表为夹杂当量尺寸允许值, 按 ISO 10474 提供检验报告							
			A		B		C		D	
			细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系
			MQ	3.0	3.0	2.5	1.5	2.5	1.5	2.0
ME	3.0	2.0	2.5	1.5	1.0	1.0	1.5	1.0		
4	按 ISO 643 检验晶粒度	不规定	细晶粒, 以 5 级或更细晶粒为主, 按 ISO 10474 提交检验报告							
5	无损检测									
5.1	超声波检测(粗加工后)	不规定	锻后检测, 按 ISO 10474 提交报告, 对于大直径工件, 建议在切齿前检查缺陷, 按 ASTM A388 中背反射或参考块 8-0400, 3.2 mm 平底孔进行探伤(GB/T 13304); 探伤时由外圆至中径 360°扫描, 不指定距离大小的修正曲线(单点 DAC); 在保证同等质量前提下允许采用供需双方协议的检测方法							
5.2	表面裂纹检测(喷丸前精加工后)	不允许存在锻造或淬火裂纹按 ASTM E1444 进行荧光磁粉或着色检验		不允许存在锻造及淬火裂纹, 磨削齿轮应检查表面裂纹, 按 ASTM E1444 进行, 检查方法由供需双方协商						
6	锻造比 ^d	不规定	至少 3 倍							

表 3 (续)

序号	项 目	ML	MQ	ME
7	显微组织	不规定	不规定,对于强度大于 800 N/mm ² (硬度 240HBW)的齿轮要经淬火和回火	最低回火温度 480 °C,齿根硬度应满足图样要求;轮缘部位显微组织应以回火马氏体为主 ^a
注:采纳本表数据时,建议大轮、小轮硬度差不大于 40HV。				
<p>^a 见第 6 章脚注 8。</p> <p>^b 0 °C 以下工作的齿轮: 考虑低温夏比(冲击)性能的要求; 考虑断口形貌转化温度或无塑性转变温度性能的要求; 考虑采用高镍合金钢; 考虑将碳含量降至 0.4% 以下; 考虑用加热元件提高润滑剂温度。</p> <p>^c 材料纯度检验只针对切齿部位,位于最终齿顶圆下 2 倍齿高以上的深度。对于外齿轮,齿坯的这段区域通常不超过半径的 25%。</p> <p>^d 只针对由铸锭锻件,对于连铸材料,最小锻造比为 5:1。</p> <p>^e 在齿轮截面上,至 1.2 齿高深处的显微组织以回火马氏体为主,允许混有少量共析铁素体、上贝氏体、细小珠光体,不允许存在未溶块状铁素体。对于控制截面 = 250 mm 的齿轮,非马氏体相变产物不可超过 10%,控制截面 > 250 mm 的齿轮,不可超过 20%。</p>				

表 4 非表面硬化调质铸钢(图 7、图 8)

序号	项 目	ML, MQ	ME
1	化学成分	不检验	100%跟踪原始铸件,按 ISO 10474 提交报告
2	热处理后的力学性能	HBW	检验 σ_s ($\sigma_{0.2}$)、 σ_b 、 δ_5 、 ψ , 100%跟踪原始铸件,按 ISO 10474 提交报告;检验 HBW;可按供需双方协议进行
3	按 ISO 643 晶粒度	不规定	5 级或更细晶粒,按 ISO 10474 提交报告;可按供需双方协议进行
4	无损检测		
4.1	按 ISO 9443 超声波检查(粗车状态)	不规定	只检查轮齿及齿根部位,按 ISO 10474 提交报告,推荐但不要求,对于大直径工件,在切齿前检查发裂;按 ASTM A609 采用 3.2 mm 平底孔法,合格标准: I 区(外圆至齿根以下 25 mm 处)为 1 级, II 区(轮缘其余部位)为 2 级,或采用背反射法的相当标准
4.2	表面裂纹检测(喷丸前精加工状态)	不允许存在裂纹,按 ASTM E1444 标准 100%经磁粉或着色渗透探伤检查,对于大批量产品可抽查	
5	焊补	可按规定工艺进行	只允许在热处理前的粗车状态进行,切齿后不能焊补
<p>注:当铸钢件质量达到锻钢件(锻造或轧制)质量标准时,对与锻钢小齿轮配对的铸钢齿轮,也可采用锻钢的许用应力值计算其承载能力,但这种情况须经试验数据或应用实例验证。</p> <p>锻钢纯度及锻造比标准不可用于铸钢,夹杂物含量与形状应控制为以球状硫化锰夹杂物(I型)为主,但不允许存在晶界硫化锰夹杂物(II型)。</p>			

表 5 渗碳钢(锻造或轧制)(图 9、图 10)

序号	项 目	ML	MQ	ME							
1	化学成分 ^a	不检验	100% 跟踪原始铸件, 按 ISO 10474 提交报告	对同一钢坯切割试样检验, 按 ISO 10474 提交报告							
2	端淬淬透性(按 GB/T 225)	不检验									
3	纯度及冶炼 ^b	不规定	钢材在钢包中脱氧及精炼处理, 并经真空脱气, 浇铸过程应有防氧化措施, 经用户同意, 钢在熔炼时最多可加钙 15 ppm (15 μg/g); 最大氧含量 25 ppm (25 μg/g), 按 GB/T 10561 方法 B 检验 II 区纯度, 检验面积近 200 mm ² , 允许采用满足相当洁净度的其他规范, 按 ISO 10474 提交报告; 下表为夹杂当量尺寸允许值								
				A	B	C	D				
				细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系
			MQ	3.0	3.0	2.5	1.5	2.5	1.5	2.0	1.5
ME	3.0	2.0	2.5	1.5	1.0	1.0	1.5	1.0			
4	锻造比 ^c	不规定	至少 3 倍								
5	晶粒度按 ISO 643	不规定	细晶粒, 以 5 级或更细组织为主, 按 ISO 10474 提交检验报告								
6	粗加工状态超声波探伤, ASTM A388	不规定	推荐, 对于大直径工件在切齿前检查缺陷	要求, 五件以上产品可抽查							
			按 ASTM A388 中背反射或参考块 8-0400 检测; 3.2 mm 平底孔进行探伤(GB/T 13304); 探伤时由外圆至中径 360°扫描, 不指定距离大小的修正曲线(单点 DAC), 在保证同等质量前提下允许采用供需双方协议的检测方法								
7	表面硬度										
7.1	工件代表性表面硬度 ^d (见附录 B: 维-洛氏硬度换算)	最低 55HRC 或 600HV, 抽查	(58~64) HRC 或 (660~800) HV, 抽查	(58~64) HRC 或 (600~800) HV, 同炉热处理件数 ≤ 5 时全部检查, 否则抽查, 检查方法要与工件尺寸相称							
7.2	模数 ≥ 12 mm 时齿宽中部齿根区域的表面硬度 ^d	不规定	满足图样要求, 抽查代表性试样	满足图样要求, 每件小齿轮或大齿轮均须检验, 或检查代表性试棒							
8	心部硬度(测量位置: 齿宽中部处齿根 30°切线的法向上, 深度为 5 倍硬化层深, 但不小于 1 倍模数), 或按 6.5 检查代表性试棒	检验但不规定 ≥ 21HRC 以上	≥ 25HRC, 按淬透性曲线计算或按 6.5 检查代表性试棒	≥ 30HRC 检查工件或按 6.5 检查代表性试棒							
9	按 GB/T 9450 检查精加工态硬化层深度, 按 6.5 检查代表性试棒或在齿宽中部位于齿顶圆以下的齿顶高上检查	有效硬化层深度是指表面到 550HV 或 52HRC 硬度处的距离; 最小值和最大值应在图纸上标出, 在规定硬化层深度时, 应注意到对于弯曲强度和接触强度的最佳值是不一样的 ^e									
10	各种显微组织检查均可按 6.5 检查中代表性试棒, 这种检查对 MQ 任选, 对 ME 必须检查(对 ML 不要求)										

660

不是分度圆

表 5 (续)

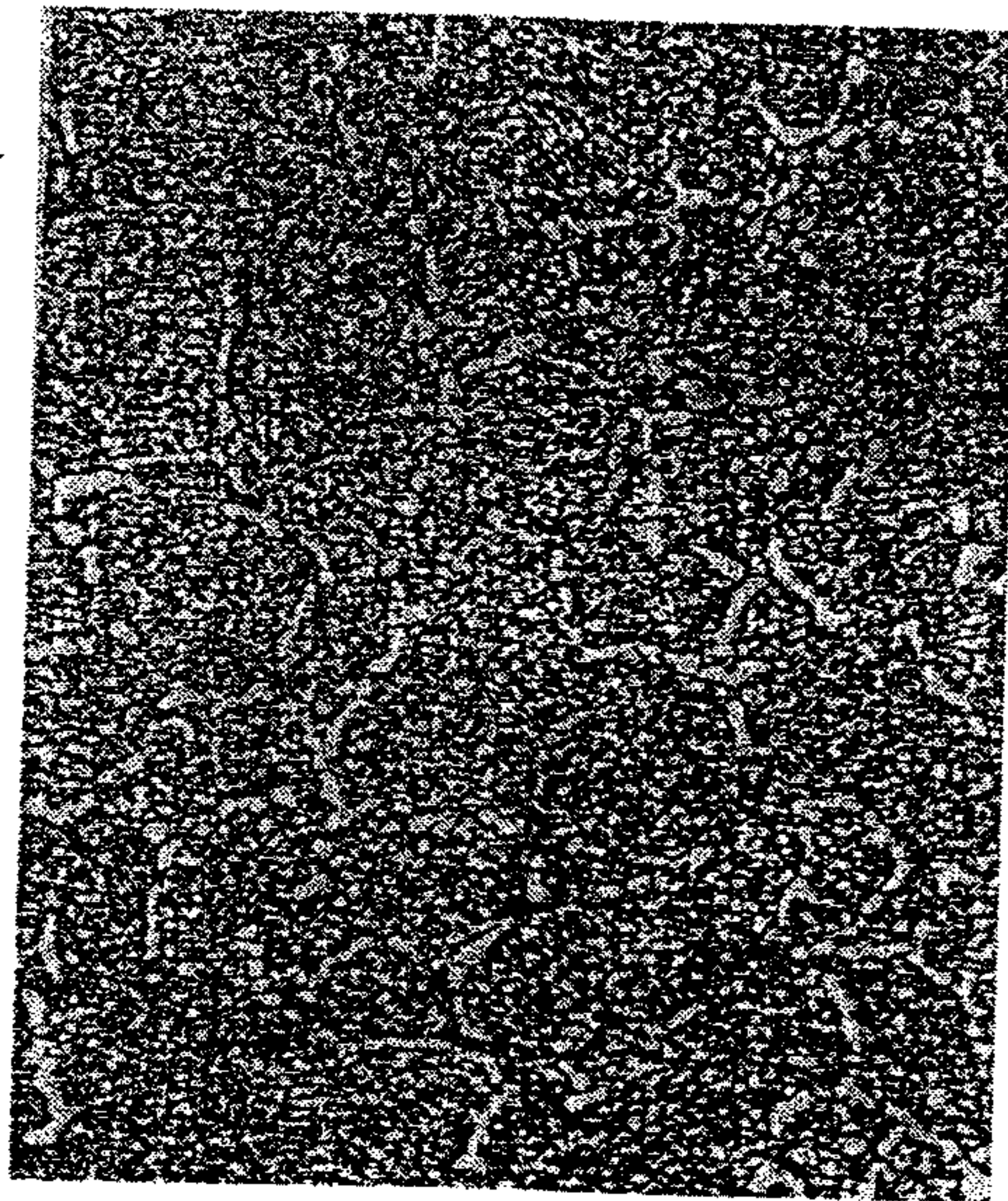
序号	项 目	ML	MQ		ME	
10.1	表面含碳量限制	不规定	合金元素总含量 $\leq 1.5\%$ 时,建议为 $(0.7\% \sim 1.0\%)C$,合金元素总含量 $> 1.5\%$ 时,建议为 $(0.65\% \sim 0.90\%)C$			
10.2	表层显微组织,比较理想的显微组织中贝氏体含量小于 10%	不规定	推荐, 代表性试棒中以细针状马氏体为主	要求, 代表性试棒中为细针状马氏体		
10.3	齿根以外部位表层 0.1 mm 范围内的硬度降低(由于脱碳、残余奥氏体及非马氏体组织 ¹⁾)	不规定	对于工件或代表性试棒,硬度降低不超过 40HV			
10.4	碳化物析出	按图 20a) 允许有半连续状碳化物网;如果需要,在代表性试棒上检查	按图 20b) 允许不连续的碳化物,所有碳化物长度不超过 0.02 mm (如果需要,在代表性试棒上检查)	按图 20c) 允许弥散状碳化物,按 6.5 检查代表性试棒		
10.5	金相法检查残余奥氏体	不规定	检查随炉试样,25%以下	按 6.5 检查代表性试棒,25%以下且细小弥散		
10.6	对非磨削面晶界内氧化(IGO)要求,对未腐蚀试样金相法检查,允许深度(μm)与渗层深度有关	不规定	渗层深度 $e/$ mm	IGO/ μm	渗层深度 $e/$ mm	IGO/ μm
			$e \leq 0.75$	17	$e \leq 0.75$	12
			$0.75 < e \leq 1.50$	25	$0.75 < e \leq 1.50$	20
			$1.50 < e \leq 2.25$	38	$1.50 < e \leq 2.25$	20
			$2.25 < e \leq 3.00$	50	$2.25 < e \leq 3.00$	25
			$e > 3.00$	60	$e > 3.00$	30
若超差,可与用户协调采用控制喷丸或其他合适的措施进行补救						
11	表面裂纹,在不影响齿轮完整性并经用户同意可去除表面缺陷 ²⁾	不允许有裂纹,用磁粉探伤或干粉渗析法抽样检查	不允许有裂纹,按 ASTM E1444 对 50% 零件进行磁粉探伤,根据批量进行抽查	不允许有裂纹,按 ASTM E1444 全部零件进行磁粉探伤,批量 ≥ 5 件可抽查		
12	齿部磁粉探伤,ASTM E1444 ³⁾	不规定	模数/mm	缺陷最大尺寸/mm	模数/mm	缺陷最大尺寸/mm
			≤ 2.5	1.6	≤ 2.5	0.8
			$2.5 < m \leq 8$	2.4	$2.5 < m \leq 8$	1.6
			> 8	3.0	> 8	2.4

表 5 (续)

序号	项 目	ML	MQ	ME
13	磨削回火控制,按 GB/T 17879 硝酸溶液腐蚀 ^h	所有功能部位 (FB3) 允许 B 级回火,建议不要求抽查	25% 功能部位 (FB2) 允许 B 级回火,要求抽查 若超差,可与用户协调采用控制喷丸进行补救	10% 功能部位 (FB2) 允许 B 级回火,要求抽查
14	心部显微组织(位置同第 8 项)	不规定	马氏体,针状铁素体及贝氏体,不允许有块状铁素体(见第 8 项)	马氏体,针状铁素体及贝氏体,不允许有块状铁素体,按 6.5 检查代表性试棒

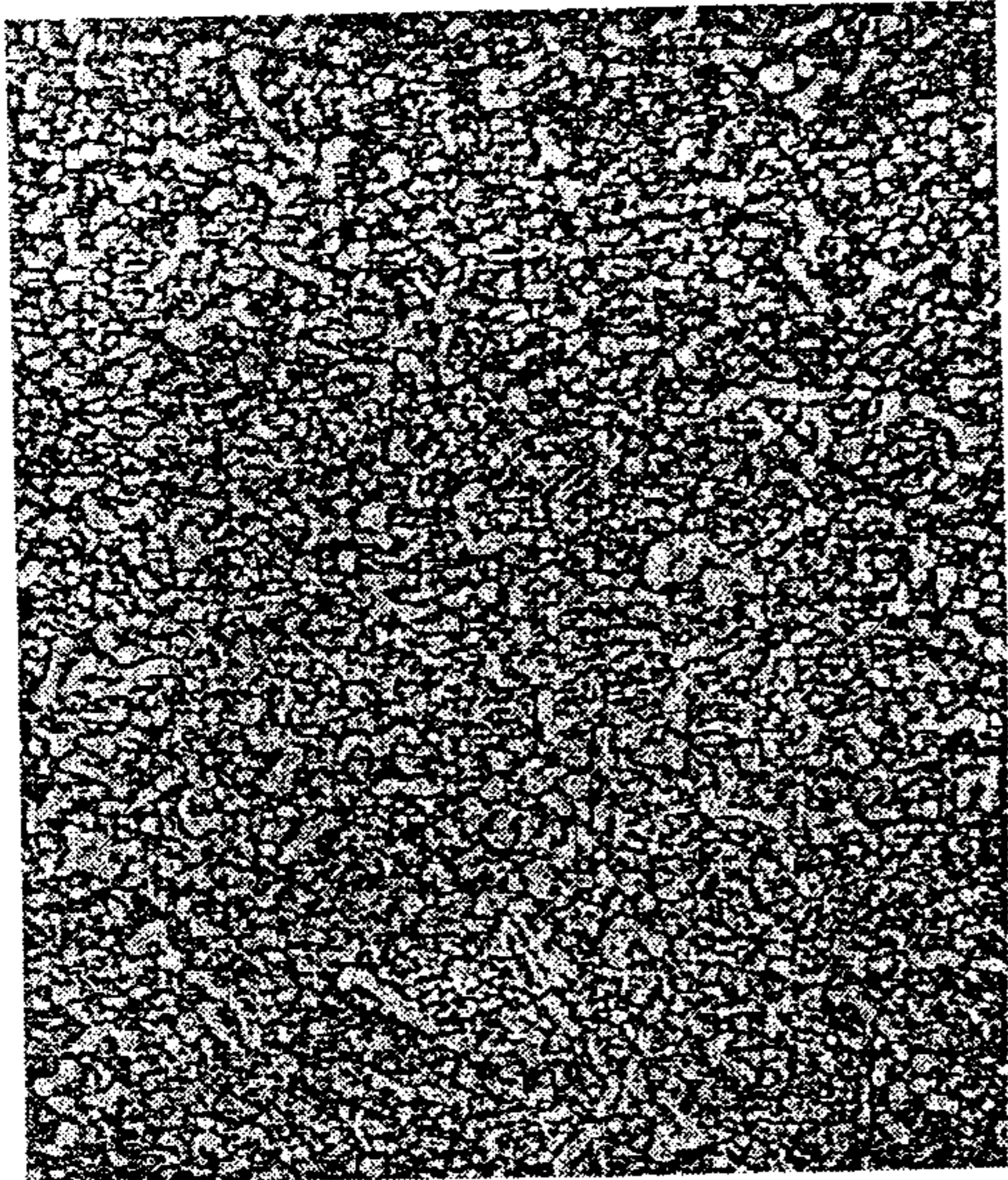
注: 对于碳氮共渗钢目前在标准中还未给出。

^a 第 6 章脚注 6。
^b 洁净度规定只针对齿坯的两倍齿高区域内,对于外齿轮,该区域一般小于半径的 25%。
^c 锻造比是指总的锻造比,而与方法无关,对于连铸材料,最小锻造比为 5:1。
^d 有时齿根硬度与齿面硬度有差别,与齿轮大小及工艺有关,该差值可由供需双方协商。
^e 其他硬化层深度规定可参考文献[10]等资料。
^f 检查表面硬度,允许采用锉刀法,见附录 E。
^g 任何级别齿轮的轮齿部位都不能存在裂纹、破损、疤痕及皱皮;每 25 mm 齿宽最多只有一个,每个齿面不能超过 5 个,半齿高以下部位不能允许存在;对于超标缺陷,在不影响齿轮完整性并征得用户同意情况下可以去除。
^h 经供需双方同意,可采用其他磨削回火控制方法。

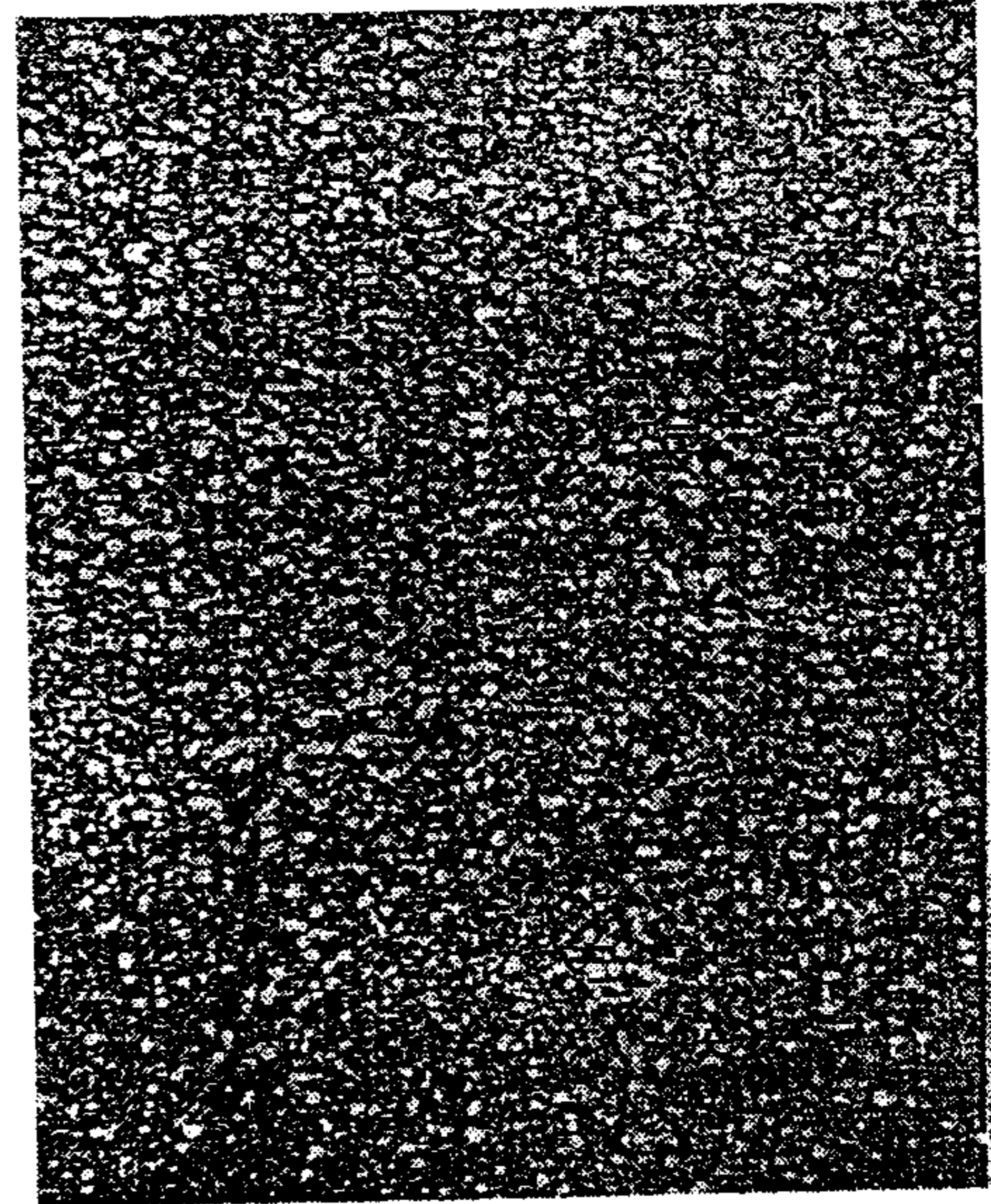


a) 半连续网状碳化物:对 ML 级允许存在

图 20 渗碳淬火齿轮渗层中允许的碳化物类型
(5%硝酸溶液腐蚀,放大倍数 400×)



b) 不连续碳化物:对 ML 及 MQ 级允许存在



c) 弥散状碳化物:对 ML、MQ 和 ME 级允许存在

图 20 (续)

表 6 感应或火焰淬火锻钢和铸钢(图 11、图 12)

序号	项 目	ML	* MQ	ME	
1	化学成分	不规定	同表 3 中第 1~6 项或表 4 中第 1~3 项		
2	热后力学性能				
3	纯度				
4	晶粒度				
5	超声波探伤				
6	锻造比				
7	表面硬度(所有感应淬火 齿轮均须经回火)	(485~615)HV 或 (48~56)HRC	(500~615)HV 或 (50~56)HRC		
8	硬化层深度* 按 GB/T 5617 检验	硬化层深度是指从表面到相当于最低表面硬度规定值 80% 的硬度处的距离,要对 每件齿轮经验性认定硬化层深度			
9	表层组织	不规定	抽查,以细针马氏体为主	严格抽查,细针马氏体, ≤10%非马氏体组织,不 允许游离态铁素体存在	
10	无损检测				
10.1	不允许表面裂纹 (ASTM E1444)	抽查首批工件 (磁粉探伤或干粉渗析方法)	抽查首批工件 (磁粉探伤或干粉渗析方法)	全部检查 (磁粉探伤或干粉渗析方法)	
10.2	齿部磁粉探伤 ^b (ASTM E1444)	不规定		模数/mm	缺陷最大 尺寸/mm
				≤2.5	1.6
				2.5 < m ≤ 8	2.4
				>8	3.0

表 6 (续)

序号	项 目	ML	MQ	ME
11	预备组织	淬火及回火态组织		
12	过热现象(尤其是齿顶)	禁止	严格禁止(<1 000 °C)	

注：本表适用于套圈式火焰淬火、套圈式或逐齿感应淬火工艺，齿根部位经过硬化，硬化层形状如图 21、22 所示。

^a 为了得到稳定的硬化效果，硬度分布、硬化层深、设备参数及工艺方法应该建档，并定时检查，另外用一个与工件形状及材料相同的代表性试样来修正工艺。设备及工艺参数应足以保证硬化效果的良好复现性，硬化层应布满全齿宽和齿廓，包括双侧齿面、双侧齿根和齿根拐角。

^b 最终加工后的齿轮轮齿区域内，任何质量级别的材料都不允许存在裂纹、爆裂、折皱。限制：25 mm 齿宽内不超过 1 个，一侧齿面内不超过 5 个，在工作齿高中线以下不允许存在。对于超标缺陷，在不影响齿轮完整性并征得用户同意情况下可以修复。

感应圈或火焰喷嘴

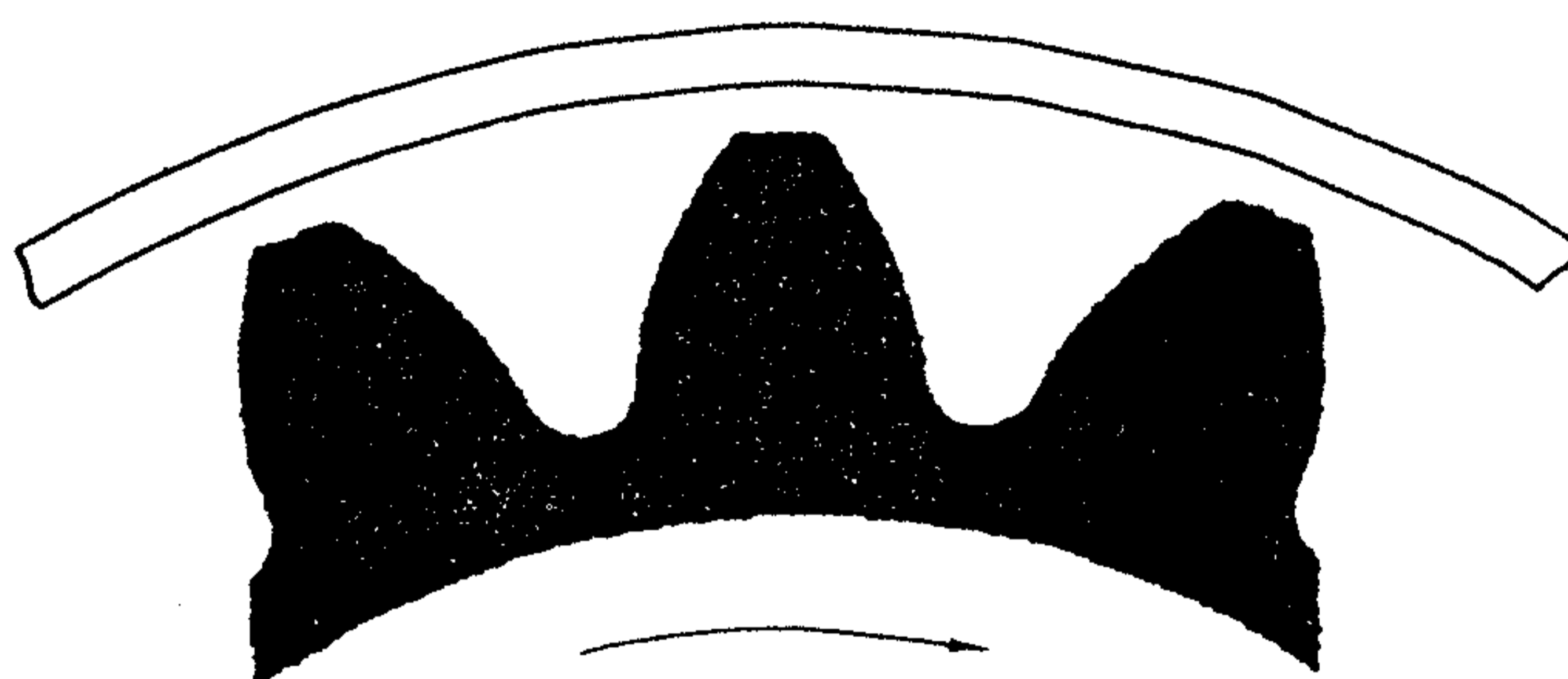


图 21 非齿廓硬化型

感应器或火焰喷嘴

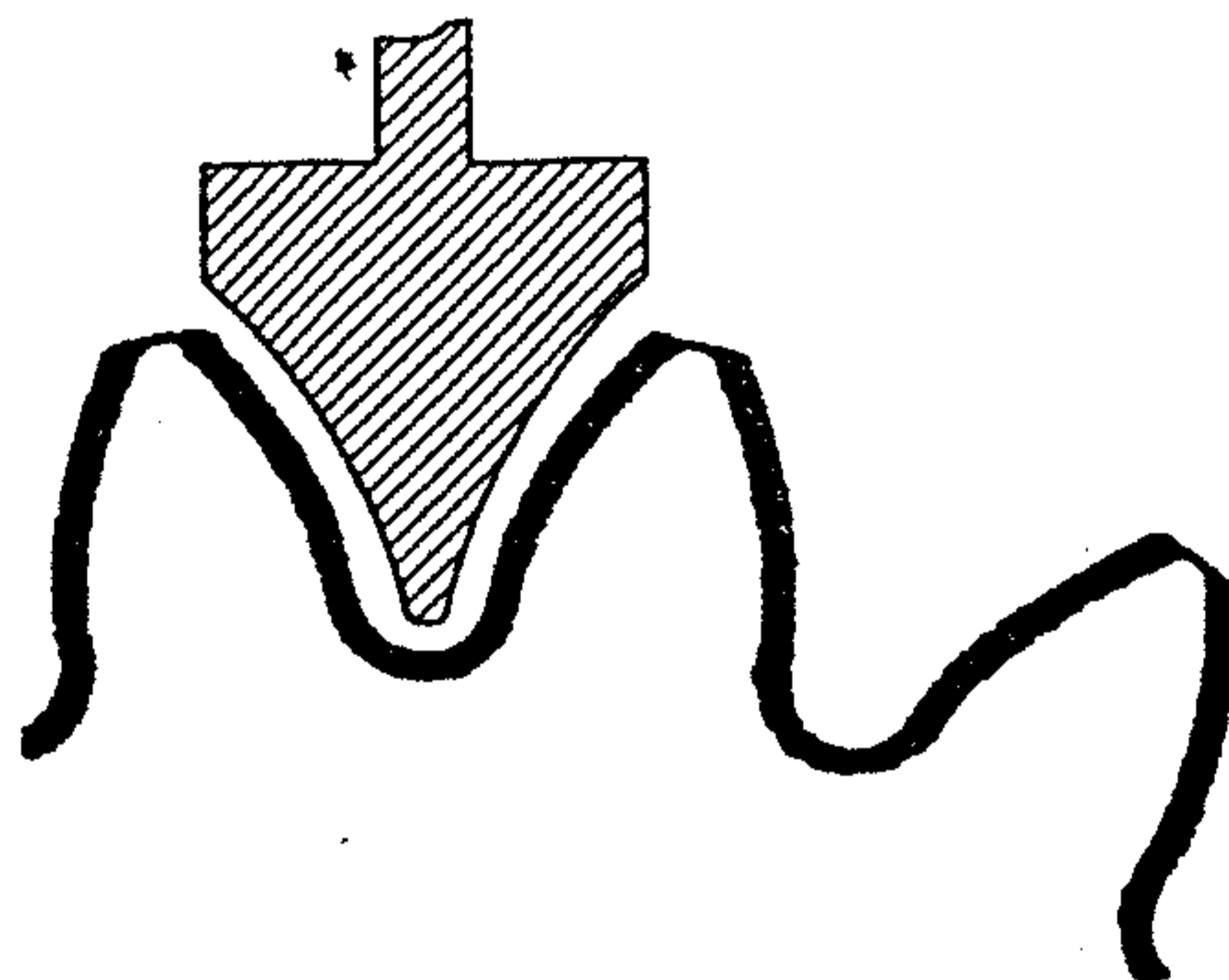


图 22 齿廓硬化型

表 7 渗氮钢及渗氮调质钢(图 13、图 14)

序号	项 目	ML	MQ	ME
1	化学成分	同表 3(调质钢 1~6 项)		
2	热后力学性能			
3	纯 度			
4	晶粒度			
5	超声波探伤			
6	锻造比			

表 7 (续)

序号	项 目	ML	MQ	ME
7	渗氮层深	有效渗氮层深度是指从表面到 400HV 或 40.8HRC 硬度处的垂直距离;如果心部硬度超过 380HV,那么心部硬度+50HV 可作为界限硬度		
8	表面硬度			
8.1	渗氮钢 ^{a,b,c}	最低 650HV,最高 900HV ^d		
8.2	调质钢 ^a	最低 450HV		
9	预备热处理	在无表面脱碳情况下淬火回火,其中回火温度要超过后续氮化温度		
10	表面要求 (白亮层)	≤25 μm	白亮层≤25 μm,且以 ε-相为主,含有少量 γ'氮化物	白亮层≤25 μm,且以 ε-/γ'氮化物比率>8,若渗氮后磨齿,应考核抗点蚀能力
11	心部要求	σ _b ,不检查	σ _b >900 N/mm ² ;一般情况下铁素体含量<5%	
12	渗氮后加工精度		特殊情况下磨齿,但应防止表面承载能力的降低,并推荐按 ASTM E1444 标准进行磁粉探伤	特殊情况下磨齿,但应防止表面承载能力的降低,并要求按 ASTM E1444 标准进行磁粉探伤
<p>^a 测量表面硬度时应注意垂直于表面,试验载荷应同渗层深度及硬度相称。</p> <p>^b 渗氮齿轮抗过载能力较低,由于 S-N 曲线形状平缓,因此在设计前应考虑好其冲击敏感性。对于含铝的合金钢,当渗氮周期较长时,晶界有形成连续网状氮化物的可能,使用这种钢材,应在热处理时列出特别注意事项。</p> <p>^c 含铝氮化钢或类似钢材,只限于 ML 和 MQ。这类材料的齿根应力值 $s_{F_{lim}}$ 限制是:对于 ML 级,250 N/mm² 以下;对于 MQ 级,340 N/mm² 以下。</p> <p>^d 当由于白亮层(>10 μm)而使硬度增加时,疲劳强度反而由于脆性原因而降低。</p>				

表 8 氮碳共渗锻钢(图 15、图 16)

序号	项 目	ML	MQ	ME
1	化学成分	同表 3(调质钢 1~6 项)		
2	热后力学性能			
3	纯度			
4	晶粒度			
5	超声波探伤			
6	锻造比			
7	氮碳共渗保温时间	(1~8)h		
8	表面硬度			
8.1	合金钢 ^a	>500HV		
8.2	非合金钢 ^a	>300HV		
9	预备热处理	无表面脱碳情况下淬火回火,其中回火温度要超过后续共渗温度		
10	表面组织(白亮层)	不规定仔细检查	白亮层(5~30)μm,基本上为 ε-相	
11	氮碳共渗设备:如液态氮碳共渗	带有风冷的镍铬合金坩锅或钝化炉时,禁止铁元素溶入熔盐中		
<p>^a 测量表面硬度时应注意垂直于表面,在一个截面上的测量值可能较高。试验载荷应与渗层深度及硬度相称。</p>				

6.5 试样

试样由代表性等级材料制成,锻钢或铸钢试样的选择主要考虑其所代表的齿轮和工艺。试样要按表 2~表 6 或表 7 伴随齿轮经过所有热处理工序。试样的选用要能检测热处理工艺并尽量能代表工件的性能。根据经验,通过标准试样最终的金相组织和性能,可评价工件的性能。

关于试样加工,应以供需双方协议为准。

推荐两种试棒:

- a) 过程控制试棒:可以是任何合金材料和形状,它用于检测热处理工艺的稳定性,其显微组织并不代表产品齿轮的显微组织,但可根据实际经验来推断产品齿轮的状态,这种推断应该存档备查。
- b) 代表性试棒:主要考虑能反映产品齿轮的冷却速度,试样心部硬度和显微组织应接近表 5 中第 8 项、第 14 项规定的指标,其推荐尺寸为:

最小直径: $6 m_n$;

最小长度: $12 m_n$ 。

经用户同意,可采用小型试棒:

最小直径: $3 m_n$;

最小长度: $6 m_n$ 。

另外,试样钢材在化学成分及淬透性方面应当与工件相当,但不一定取自同一炉号。

6.6 机械清理

机械清理主要是去除热处理后的残渣或涂层。常用方法是用 Al_2O_3 、石英砂抛磨或用钢丸、切丝球及玻璃珠喷射工件表面。清理工件表面还带来对残余应力的影响,有时非常明显。残余应力的变化对弯曲强度及使用性能会产生影响。图 10 中 MQ 弯曲强度就是在进行了适当的机械清理后测得的,而仅仅进行热处理并不一定能达到这个水平。

6.7 喷丸

喷丸是用小尺寸丸粒轰击工件表面的冷作工艺,可在工件表面形成高幅值残余压应力薄层。喷丸处理可提高残余压应力,从而改善齿根部位的弯曲强度。喷丸与上述 6.6 中的机械清理不能混为一谈。

喷丸后可进行切削、热处理或热装等工序,但有可能改变残余压应力和弯曲强度,所以喷丸工艺应当控制,建议按参考文献[8] AMS-S-13165:1997 规定进行最低程度控制。若经供需双方协商,亦可采用其他控制技术。

喷丸处理可提高弯曲疲劳强度,提高的幅度如下:

- a) 对 ML 级——0%;
- b) 对 MQ 级——10%;
- c) 对 ME 级——5%。

上述数值只限于渗碳淬火齿轮。

附录 A
(规范性附录)

调质齿轮控制截面尺寸的确定

本附录介绍调质(淬火回火)齿轮近似最大控制截面尺寸以及影响最大控制截面尺寸的因素,图解确定最大控制截面尺寸的方法,以及部分低合金钢件的推荐最大控制截面尺寸。

所谓工件的控制截面是指在淬火过程中对工件有力学性能(硬度)要求部分的冷却速度有决定性影响的截面。某种钢材的最大控制截面尺寸主要取决于其淬透性,规定硬度、理想硬化层深及淬、回火温度等因素。

图 A.1 表示几种热处理后切齿的淬火齿坯控制截面。

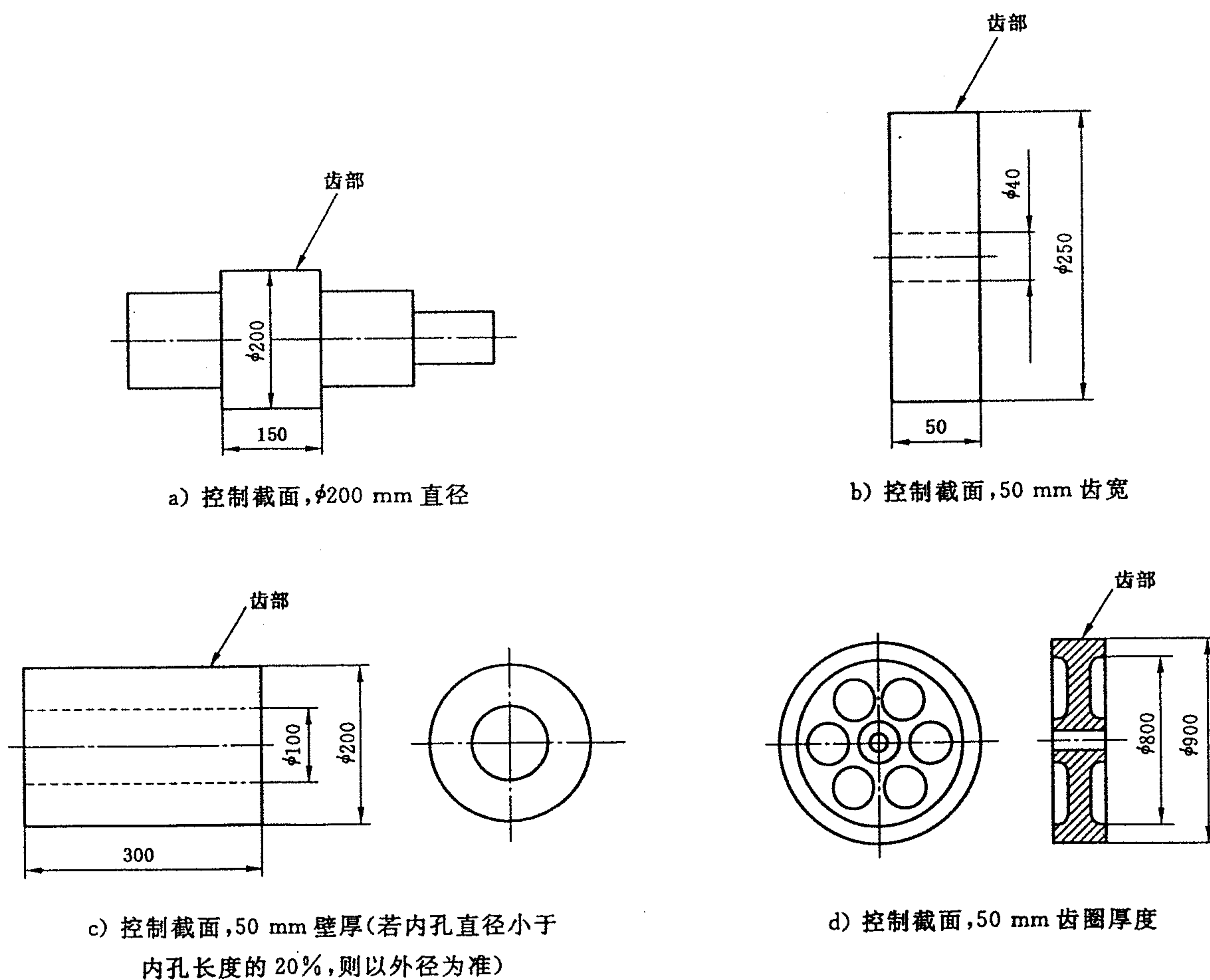
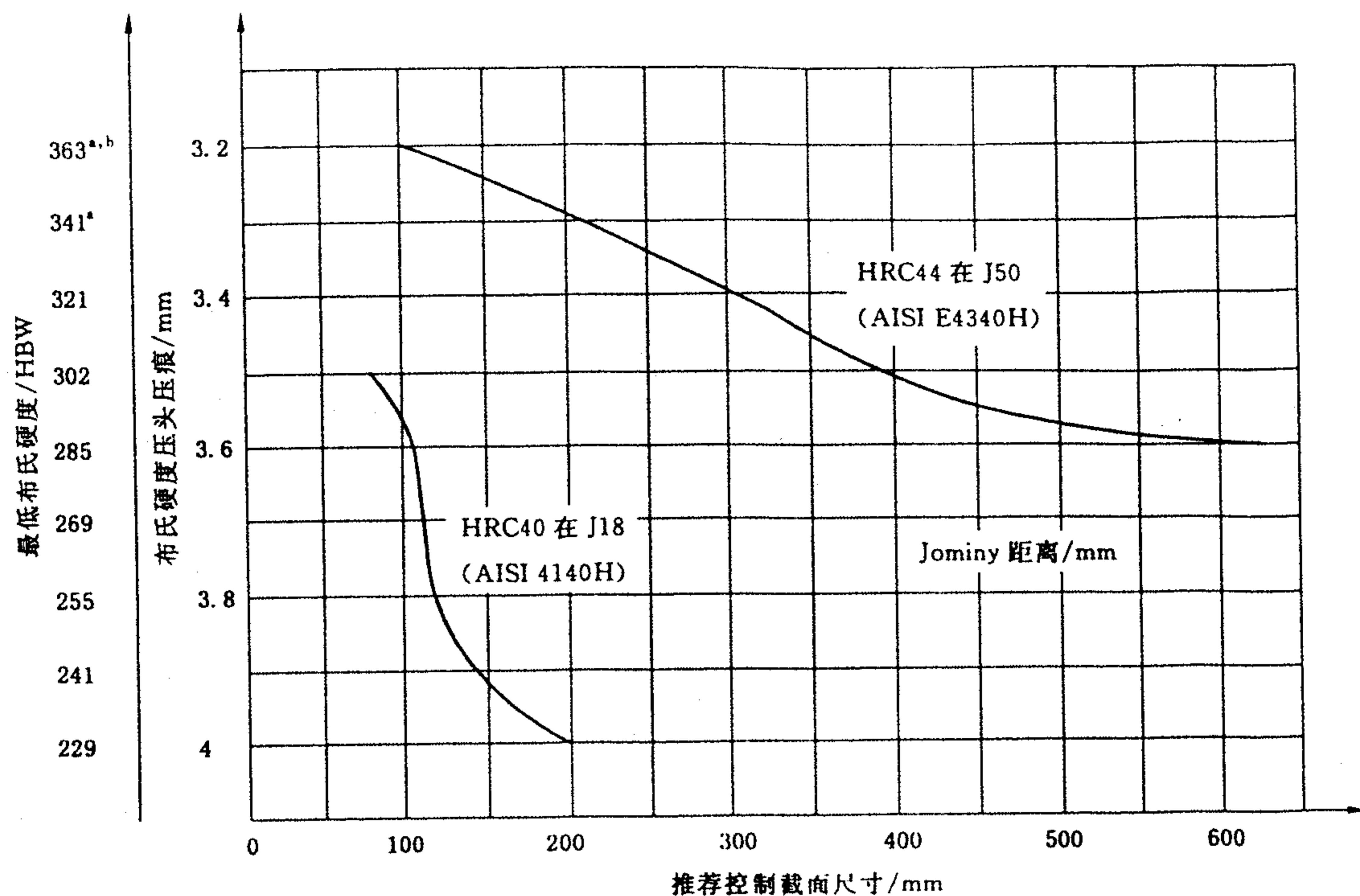


图 A.1 控制截面尺寸实例

当为了合理选材和/或规定硬度而考虑控制截面尺寸时,无需考虑正常的粗加工余量,而其他加工余量(如为了减小热处理变形而留余量)则应考虑。

图 A.2 表示油淬(淬火烈度 $H=0.5$)及回火的两种低合金钢的推荐最大控制截面尺寸,主要考虑硬度要求范围、淬火前的正常加工余量以及为得到最低齿根硬度而采取的最低 480°C 回火温度。

注:若经过试验数据(热处理)验证,也可采用高于上述数据的最大控制截面尺寸。



^a 为了达到这些硬度要求,可采用最低 480 °C 回火温度。

^b 对某些特殊齿轮可以规定更高的硬度值[如(375~415)HBW,(388~421)HBW 及(401~444)HBW],但应注意因加工性能下降而使成本增加。

图 A.2 两种 0.40%C 合金钢的控制截面尺寸

对于 $\phi 200$ mm 以下棒材的最大控制截面尺寸与截面硬度要求的对应关系,可参考文献[7]中“淬火圆棒横截面硬度值预测图”及其他已发表的回火效应和淬透性数据。

对于 $\phi 200$ mm 以上棒材的最大控制截面尺寸,一般要求先对大截面试件进行热处理试验,然后进行解剖及横截面硬度检测。

有些大尺寸齿轮结构不允许淬火处理而要求正火及回火处理,也要考虑最大控制截面尺寸。但是在同样材质(淬透性)条件下所能达到的硬度值就很低,因此需要改用更高淬透性的钢材,而且要求试验性正火、回火处理和硬度检测。

附录 B
(资料性附录)
硬度值换算表^[9]

抗拉强度/ (N/mm ²)	维氏硬度/ HV (F≥98 N)	布氏硬度/ HBW	洛氏硬度		抗拉强度/ (N/mm ²)	维氏硬度/ HV (F≥98 N)	布氏硬度/ HBW	洛氏硬度	
			HRC	HR(30N)				HRC	HR(30N)
770	240	228	20.3	41.7	1 740	530	(504)	51.1	69.5
785	245	233	21.3	42.5	1 775	540	(513)	51.7	70.0
800	250	238	22.2	43.4	1 810	550	(523)	52.3	70.5
820	255	242	23.1	44.2					
835	260	247	24.0	45.0	1 845	560	(532)	53.0	71.2
					1 880	570	(542)	53.6	71.7
850	265	252	24.8	45.7	1 920	580	(551)	54.1	72.1
865	270	257	25.6	46.4					
880	275	261	26.4	47.2	1 955	590	(561)	54.7	72.7
900	280	266	27.1	47.8	1 995	600	(570)	55.2	73.2
915	285	271	27.8	48.4	2 030	610	(580)	55.7	73.7
930	290	276	28.5	49.0	2 070	620	(589)	56.3	74.2
950	295	280	29.2	49.7	2 105	630	(599)	56.8	74.6
965	300	285	29.8	50.2	2 145	640	(608)	57.3	75.1
995	310	295	31.0	51.3					
1 030	320	304	32.2	52.3	2 180	650	(618)	57.8	75.5
						660		58.3	75.9
1 060	330	314	33.3	53.6		670		58.8	76.4
1 095	340	323	34.4	54.4					
1 125	350	333	35.5	55.4		680		59.2	76.8
1 155	360	342	36.6	56.4		690		59.7	77.2
1 190	370	352	37.7	57.4		700		60.1	77.6
1 220	380	361	38.8	58.4					
1 255	390	371	39.8	59.3		720		61.0	78.4
1 290	400	380	40.8	60.2		740		61.8	79.1
1 320	410	390	41.8	61.1		760		62.5	79.7
1 350	420	399	42.7	61.9					
						780		63.3	80.4
1 385	430	409	43.6	62.7		800		64.0	81.1
1 420	440	418	44.5	63.5		820		64.7	81.7
1 455	450	428	45.3	64.3					
1 485	460	437	46.1	64.9		840		65.3	82.2
1 520	470	447	46.9	65.7		860		65.9	82.7
						880		66.4	83.1
1 555	480	(456)	47.7	66.4					
1 595	490	(466)	48.4	67.1		900		67.0	83.6
1 630	500	(475)	49.1	67.7		920		67.5	84.0
1 665	510	(485)	49.8	68.3		940		68.0	84.4
1 700	520	(494)	50.5	69.0					

附 录 C
(资料性附录)
表面硬度锉刀检测法

C.1 应用

锉刀法作为表面硬度的一般检测方法,主要用于整体淬硬工件,其优点是:

- 便携性;
- 可检测由其他仪器无法检测的部位;
- 快速性;
- 对表面状态(如脱碳及组织缺陷)具有敏感性;
- 不损伤受检部位。

某些只能用锉刀法检测表面硬度的场合:

- 工作齿廓和齿根部位的表面硬度;
- 淬火件的脱碳检验。

C.2 原理

锉刀检测法就是用一把锉刀将受检工件表面试锉感觉与某一基准块的手锉感觉相比较。“锉硬”是指锋利锉刀对于受检部位的试锉比最低要求硬度的基准块更硬。这种比较只能依赖于工件试锉与基准块试锉的感觉差异。

C.3 工具

C.3.1 锉刀

优质锉刀要淬硬至洛氏硬度(66~68)HRC,一般从稍低硬度(65HRC)锉刀开始,锉刀齿部锋利,其锋利程度影响锉削能力,标准锉刀有必要经过硬度检验。

- a) 锉刀大小应与工件尺寸相称,常用锉刀长度为(100~200)mm;
- b) 锉刀锋利性很重要,有经验的检验人员可以断定钝化失效的锉刀,比较可靠的方法是将锉刀定期在基准块上试锉。

C.3.2 基准块

基准块尺寸为 $\phi 50 \times 6$ mm 盘状,经过渗碳淬火处理接近最低要求硬度值,也可将已知硬度的试件作为基准块。阶差 2HRC 的成套基准块可组成标准系列。另外,基准块表面粗糙度应类似于工件。

C.4 程序

受检表面的划痕和锈蚀对锉刀有阻滞作用,导致检测结果偏差。

检测高硬度工件时,磨削面比一般加工面难于锉削。

试锉时用手握紧锉刀手柄,食指沿锉刀平背面紧压,使动作平稳,锉刀也可用拇指压紧,锉刀缓慢移动,以便弄清锉刀是否有效锉削,锉第一刀后应暂停进行观察,动作幅度应尽量小以延长锉刀寿命。另外,压力和接触面积应保持一致,这对锉削也有影响。

如果试锉某一工件表面比试锉规定的最低硬度基准块更难,则称该工件为“锉硬”。

参 考 文 献

- [1] ISO 54:1996, Cylindrical gears for general engineering and heavy engineering—Modules.
- [2] ISO 10300-1:2001, Calculation of load capacity of bevel gears—Part 1: Introduction and general influence factors.
- [3] ISO 10300-2:2001, Calculation of load capacity of bevel gears—Part 2: Calculation of surface durability (Pitting).
- [4] ISO 10300-3:2001, Calculation of load capacity of bevel gears—Part 3: Calculation of tooth root strength.
- [5] ANSI/AGMA 2001-C95, Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute spur and Helical Gear Teeth, January 1995.
- [6] Niemann/Winter, Maschinenelemente II, Springer Verlag, Berlin, 1989.
- [7] Practical Data for Metallurgists, 14th Ed., The Timken Steel Co., Canton, Ohio, U. S. A., 1999.
- [8] AMS-S-13165, Shot Peening of Metal Parts, 1997.
- [9] DIN 50150, Umwertungstabelle für Vickershärte, Brinellhärte, Rockwellhärte und Zugfestigkeit. Beuth Verlag, 1976.
- [10] FVA-Arbeitsblatt Nr. 8/1: Härtetiefe, Forschungsvereinigung Antriebstechnik e. V., Dezember 1976.
-

GB/T 3480.5-2008 直齿轮和斜齿轮承载能力

计算 第5部分：材料的强度和重量

编制说明

1 任务来源

根据国家标准化管理委员会的要求，由郑州机械研究所负责修订 GB/T 8539—2000。

2 修订原则

根据国家标准化政策，等同采用 ISO 6336-5: 2003《直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第5部分：材料的强度和重量》。

3 工作过程

工作组提出征求意见稿后，发往全国标准化技术委员会委员单位及其他有关单位征求意见。工作组根据返回的意见，对征求意见稿进行了修改，提出了本标准送审稿。

2008年4月11日至15日，全国齿轮标准化技术委员会对本标准（送审稿）进行了审查，工作组根据审查意见对（送审稿）进行了修改，提出了本标准（报批稿）。

4 ISO 强度计算标准情况

对于渐开线圆柱齿轮承载能力计算，ISO 发布了 ISO 6336 标准，ISO 6336 是在“直齿轮和斜齿轮承载能力计算”的总标题下包括下列5部分：

第1部分：基本原理、概述和通用影响系数；

第2部分：齿面接触疲劳（点蚀）强度计算；

第3部分：轮齿弯曲强度计算；

第5部分：材料的强度和重量

第6部分：变载荷条件下的使用寿命计算。

可以看出，正式发布 ISO 6336 标准体系中缺第4部分。原来 ISO 6336 的第4部分为“胶合强度计算”，由于胶合强度计算比较复杂，而且有关技术问题有较大争议，ISO 于2000年以技术报告的形式发布了 ISO/TR 13989-1 和 ISO/TR 13989-2，分别是用于胶合计算的“闪温法”和“积分温度法”。到目前为止，这两项技术报告仍未上升为 ISO 正式标准。

5 有关情况说明

根据国家标准化管理委员会对标准清理整顿的要求，课题组认为我国的渐开线圆柱齿轮承载能力计算体系应和 ISO 一致，即和 ISO 一样也分为 5 个部分，将“材料的强度和质量”作为 GB/T 3480 的第 5 部分，将“变载荷条件下的使用寿命计算”作为 GB/T 3480 的第 6 部分。

6 修订的主要内容

与 GB/T8539-2000 相比主要作了下列修订：

- 1、标准的名称改为“GB/T 3480.5-2008《直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第 5 部分：材料的强度和质量》”；
- 2、增加疲劳极限的确定方法部分；
- 3、增加表面硬化齿轮的硬化层深的确定方法。

1 范围

本标准规定了用化学浸蚀方法对磨削表面的局部过热进行检验及其分类的标准操作程序和要求。

本标准适用于齿轮、轴、花键和轴承等钢制零件。

本标准不适用于氮化零件和不锈钢零件。

化学浸蚀方法对表面硬度的变化的反应比大多数硬度测试方法更为敏感。

表面回火浸蚀检验应在表面磨削后,并在进一步精加工工序前进行。

2 设备

2.1 容器的材料

容器的材料与容器中的溶液不得发生反应,也不得损伤被处理的零件。所有容器都应贴上所盛溶液的标签,并在不用时盖好。

2.2 被检验区域照明

被检验区域应有充分的照明,没有阴影和反射。推荐被检验区域的光照度应不低于 3 200lx。

2.3 计时装置

应使用适当的计时装置,保证一组中的所有零件处理过程一致。

2.4 清洗装置

应采用去碱清洗器、蒸汽去油器、溶液清洗装置或相应的清洗装置。

3 试剂

所有的化学试剂应为工业级或更纯的等级。

3.1 清洗材料

所有清洗材料应保证能去除所有的污渍、磨粒和油渍,使被检表面可形成不破水膜。不破水膜是指表面用低于 40℃ 的清水漂洗干净后,水膜至少能在 15s 内保持不破。

3.2 硝酸

密度: $\rho = 1.42\text{kg/L}$ 。

3.3 盐酸

密度: $\rho = 1.19\text{kg/L}$ 。

3.4 酒精

应使用清洁的、不含油等杂质的甲醇或变性乙醇。

3.5 水

清洁、无杂质。

3.6 碱溶液