

低合金钢 中合金钢 焊接 金属学

〔苏〕B·D·格拉宾 A·B·杰尼先科



上海科学技术文献出版社

- $\sigma_{0.2}$ ——假定屈服极限(公斤力/毫米²)
 $\delta_5(\delta)$ ——延伸率(%)
 ψ ——断面收缩率(%)
 τ ——时间(小时,分钟,秒)
A——奥氏体
 $A_{ocm}(A_{残})$ ——残余奥氏体
B——贝氏体
E——自由能
Ж——液体
M——马氏体
П——珠光体
П_A(П_奥)——奥氏体相变
C——元素浓度(%)
 $C_{zp}(C_{界})$ ——晶界上的元素浓度(%)
 $C_{жл}(C_{液})$ ——液态金属中的元素浓度(%)
 $C_m(C_{晶})$ ——晶粒内的元素浓度(%)
 $C_{ms}(C_{固})$ ——固态金属中的元素浓度(%)
Φ——铁素体

出版者的话

近年来，低合金钢和中合金钢在我国已得到日益广泛的应用，随着工业技术的发展，品种也在不断增加。因此，从焊接金属学角度研究低合金钢和中合金钢的相变特性、可焊性、裂缝形成机理及其防治措施等问题，以及制订最佳焊接工艺和热处理规范就成为十分重要而迫切的任务。目前，国内尚无这方面的专著出版，为此，我们组织翻译出版本书以供从事科研、生产和教学的焊接工作者参考。

本书阐述了低合金钢和中合金钢焊接金属学的理论问题和一般问题；探讨了焊缝金属形成初次组织和二次组织的规律；介绍了焊接应变循环条件下合金元素对组织转变和相变特点的影响的研究成果，以及焊接接头的组织和性能与化学成分和焊接热循环之间的关系。此外，根据现代金属物理学的概念，探讨了焊缝金属及近缝区的化学成分和物理性能的不均匀性的发展特点，及其对焊接接头的组织转变和性能的影响。

本书共八章由赵鄂官译；第七、八两章译文由虞茂林校订；其余各部分译文均由吴祖乾校订。

本书可供从事焊接金属学基础理论、焊接工艺和焊接接头热处理研究工作的科技人员以及从事低、中合金钢焊接结构设计人员参考；对于高等院校焊接专业师生也有参考价值。

前 言

由于我国(苏联)工业的迅速发展,可以预见到低合金钢、中合金钢在产品上的扩大使用,以及焊接技术在生产各类机械、设备和金属结构中的广泛采用。目前,无论在工业建设、管道建设还是重型机械制造业中,都广泛采用着中、高强度钢的焊接结构。例如,1955年到1970年期间上述工业部门中采用珠光体级低合金钢焊接结构的数量,增加了15.8倍^{[122]*}。在构件强度与重量比应保持最大值的新技术设施的特别重要的焊接制造中,贝氏体和马氏体级的中合金钢的使用量急剧上升^[94,154]。

焊接对于扩大中强钢和高强钢焊接结构的生产,会带来很大困难。问题在于焊接接头有较高的裂缝倾向性,并且难以获得与母材金属性能相同的焊缝金属和近缝区金属。尤其是当焊接接头焊后不可能进行热处理时,要获得上述的相同性能,则更为困难。

焊缝金属结晶特点、相变动力学、合金元素对初次结晶和二次结晶的影响以及其他许多因素,决定了焊缝和近缝区各种组织成分的形成。而这类组织成分又决定着焊接接头在焊后状态或热处理状态下的最终性能。

焊接接头的组织是多种多样的,随焊接方法和焊接规范而变化。它们通常与钢材在轧制状态下的组织不同。这些差别可由对相变特性产生影响的焊接热循环和变形过程的特点来解释。在焊接情况下,奥氏体相变是在更加复杂的连续变化条件

* 方括号中的数字为参考文献的编号。——译者

下进行的。这些条件与通常的热处理条件有本质的不同。

相变温度区的变化、不完全的均质、碳化物的缓慢溶解、化学成分不均匀性的扩展等等，均取决于焊接热循环的特性。因此，在制订钢的最佳焊接工艺时，必须首先把关于钢对焊接热变形过程的反应，形成这种或那种组织成分的条件以及组织对钢性能的影响等有一个明确的概念。只有考虑到上述情况，才能正确地着手制订焊接工艺和焊接接头的热处理规范。不过，相变的很多特性，在焊接条件下形成的特点，化学成分不均匀性的扩展及其它现象，还未得到足够的研究，至今仍然是讨论的对象。这类理论上和实践中的重要问题的尽快解决，不仅扩大我们对于焊接接头组织形成的概念，而且也为控制这些过程提供了可能性。同时，也使我们有可能查明产生缺陷的原因和制订出防止各种缺陷的有效措施，以及拟定能获得具有预期性能的焊接接头的新方法。

在生产低合金钢和中合金钢的焊接结构时，所有的焊接方法实际上都得到应用，但是本书主要着重于探讨埋弧焊、电渣焊、电子束焊和气体保护焊（即最为常见的钢的焊接方法）的金属学问题。

作者力图在可能范围内，首先对焊接结构制造中常用钢的组织变化的基本特性加以阐明，并力图用插图说明焊接接头的各种不同组织及其对焊接接头性能的影响。

本书系根据在苏联乌克兰科学院巴东电焊研究所从事多年研究工作所取得的资料写成，并列出了其它文献资料。笔者期望书中提供的资料，能有助于解决有关低合金钢、中合金钢的可焊性研究、熔化焊接工艺的制订与完善化等课题。

本书采用的符号

- $\alpha_{\mu}(\alpha_{\text{冲}})$ ——冲击韧性(公斤力·米/厘米²)
 $\alpha_{\text{裂}}(\alpha_{\text{裂}})$ ——形成裂缝所需的功(公斤力·米/厘米²)
 $\alpha_{\text{扩}}(\alpha_{\text{扩}})$ ——裂缝扩张所需的功(公斤力·米/厘米²)
 $\alpha_{\text{蜂}}(\alpha_{\text{蜂}})$ ——蜂窝组织截面(宽度)尺寸(微米)
HB——布氏硬度(公斤力/毫米²)
HV——维氏硬度(公斤力/毫米²)
HRC }
HRB }——刻度为 C、B、A 的洛氏硬度
HRA }
 H_{μ} ——显微硬度(公斤力/毫米²)
 $I_{\text{电}}(I_{\text{电}})$ ——电流强度(安培)
 $l_{\text{膨}}(l_{\text{膨}})$ ——膨胀仪的偏移量(毫米)
 $l_{\text{屈}}(l_{\text{屈}})$ ——屈光仪的偏移量(毫米)
 $\eta_{\text{机}}(\eta_{\text{机}})$ ——机率
 q/v ——单位长度内所需的焊接能(卡/厘米, 千卡/厘米)
 t ——温度 °C
 $U_{\text{弧}}(U_{\text{弧}})$ ——电弧电压(伏特)
 V ——质量传递位势(%)
 $v_{\text{焊}}(v_{\text{焊}})$ ——焊接速度(米/小时)*
 w ——冷却速度(°C/秒, °C/分钟)
 ε ——变形率(%)
 $\sigma_{\text{拉}}(\sigma_{\text{拉}})$ ——瞬时抗拉强度(拉伸强度极限)(公斤力/毫米²)
 $\sigma_{\text{屈}}(\sigma_{\text{屈}})$ ——物理学上的屈服极限(公斤力/毫米²)

* 原书误为 °C/秒。——译者

目 录

前言

本书采用的符号

第一章 焊接结构用钢及其可焊性	1
1. 低合金钢	1
2. 中合金钢	16
3. 钢的可焊性概念及其性能的测定方法	21
第二章 钢在加热与冷却过程中的相变	31
1. 相变的分类	31
2. 加热时奥氏体的形成	33
3. 珠光体相变	40
4. 马氏体相变	47
5. 贝氏体(中间)相变	55
第三章 焊缝金属的初次结晶	62
1. 焊接熔池的形成及其结晶特征	62
2. 合金元素对初次组织和化学成分不均匀性的影响	73
3. 冷却速度对初次组织和化学成分不均匀性的影响	87
4. 焊缝金属中的二次晶界	92
第四章 焊缝金属中的组织转变	101
1. 化学成分不均匀性对奥氏体分解动力学的影响	101
2. 合金元素对相组织成分的影响	113
第五章 近缝区金属中的相变	124
1. 近缝区的结构	124

2. 焊接时的热循环和相变过程特征	130
3. 连续冷却过程中的相变规律	134
第六章 近缝区微熔部分的不均匀性	143
1. 微熔区晶界形成的特点	143
2. 硫化物在初次晶界形成时的作用	153
3. 初次晶界和二次晶界对焊接接头性能的影响	157
第七章 碳钢与低合金钢焊接接头的组织和性能	162
1. 碳钢	162
2. 锰钢	183
3. 硅锰钢	192
4. 多元合金钢	210
5. 热稳定钢	220
第八章 中合金钢焊接时的组织变化	229
1. 冷裂缝及其预防方法	229
2. 焊缝金属的组织和性能	242
3. 近缝区金属的组织和性能	258
参考文献	273

焊接结构用钢及其可焊性

1. 低合金钢

虽然,目前采用的金属和非金属结构材料种类很多,但是,其中仍以钢为主。

全世界每年消耗大量钢材,其中用于工业建筑、民用建筑、机械制造、桥梁建设等方面的,大部分为低碳钢。这些钢可以采用改善强度性能的办法来降低其单位消耗量。本世纪四十年代初期,已在这方面迈出了第一步,就是将含碳量提高到 0.23% 同时加入某些合金元素,首先是锰。然而,用这种方法获得的钢,其可焊性不能令人满意。

在四十年代至五十年代间提出的位错理论,不仅能解释金属材料的理论强度和实际强度之间不一致的情况,而且也能为提高实际强度拟定主要的方法^[193]。要提高强度,或用获得具有少量缺陷的结晶,或用获得具有大量线性不完整性的组织等方法来实现。对于钢来讲,可以采取第二种方法按下述几个方面来达到这一目的。

- 1) 合金化(在基体中加入能阻止位错迁移的原子);
- 2) 细化晶粒(可以用它来缩短晶界间距离,从而达到缩短位错自由运动长度的目的);
- 3) 弥散性增强(在晶格中引入或形成会阻止位错运动的微

粒);

4) 冷变形(位错的聚集及其相互区截)。

目前,以及最近几十年来,合金化仍然是获得中强度和高强度新钢种的主要方法。虽然可以认为,为了保证所需的性能,将来还将使用少量的像铬、钼、镍、钨这类元素,但是,工艺过程的作用却在增加。

根据钢种的不同,合金元素的影响,取决于它对铁素体的增强作用、碳化物(或其它具有增强作用的)相的数量和弥散程度、晶粒尺寸、淬透性及其它因素。

现时用于制造焊接结构的大部分低合金钢,均具有铁素体-珠光体组织。

软钢(热轧钢、退火钢或正火钢)的屈服极限取决于在铁素体结晶中开始宏观滑移时的应力,而与珠光体在整个体积内的含量无关^[179]。

与铁形成嵌入固溶体的碳,较之能形成置换固溶体的元素,能更多地使铁素体获得增强。对于碳在室温时在 α -铁中的溶解度,目前尚无统一的看法^[80, 90, 237]。根据B.奥恩(Оуэн)^[179]的数据,溶解度为0.0011%。高于这一含量的碳进入珠光体成分,珠光体的含量随碳浓度的上升而增大。珠光体含量增大时,钢的强度提高。铁素体-珠光体钢中的碳,对瞬时抗拉强度的影响,要比对屈服限的影响大得多,因此, $\sigma_{\text{瞬}}/\sigma_{\text{屈}}$ 比值下降。这一比值在一定程度上是结构可靠性的指数。由于含碳量增大,钢的塑性和韧性都下降,而且其抗脆性破坏能力也变坏。如果再考虑到含碳量大幅度增高会使钢的可焊性恶化,那么,就可以理解,为什么用碳进行合金化来使钢增强的可能性会受到限制。碳在低合金钢中的含量不超过0.25%。

低合金钢中最常用的合金元素为锰、硅、铬和镍。如果必须

提高抗腐蚀性能,则向钢中添加铜。这类元素(铬和镍除外)能提高强度极限,使塑性略有变化,降低冲击韧性^[122]。

锰在珠光体级的低碳钢和低合金钢中的含量通常为1.1~1.8%,当含碳量为0.15%时,这一含锰量可使屈服极限提高到39公斤力/毫米²(无锰钢的屈服极限为31公斤力/毫米²)。这类钢中的含锰量超过1.8%,将使塑性、冲击韧性及可焊性恶化。

硅使钢强化的程度与锰相同。然而,它在大多数低合金钢中的含量被限制在0.8%。这是因为含硅钢的冲击韧性较低,特别是低温冲击韧性更低。硅的较大的偏析倾向,使得这种性能更为特出,而且对钢的可焊性也有不良作用。

低合金钢的含镍量不超过1%。这一元素对钢的增强不够显著,而对塑性及冲击韧性却有良好的影响,并且能提高钢的抗脆性破坏性能。镍的含量往往由于它的稀缺而受到限制。

在多元合金化的情况下,铬能增加钢的强度,并对低温稳定性有良好的影响。在低合金钢的一般含量($\leq 0.9\%$)情况下铬对可焊性没有不良作用。

低合金钢中通常加入0.3%的铜。在这种含量下,铜能改善耐腐蚀性能,并使强度性能有所提高。此外,这样的含铜量对钢的可焊性无不良作用,而且不会引起红脆现象。这种红脆现象在含铜量高的情况下才会出现,这时需要在XCH Π 型钢中加入中和元素(例如,镍与铜的比例为1:2)^[122]。

冶金工作者今后的努力方向是研制强度相当高的、可焊性良好的、冷脆温度较低的钢种。用少量的硼、钼、钒、铌、钛等元素进行严格比例的单一合金化或多元合金化时,可制成新型的钢种。

用钒、铌及钛进行微量合金化的方法,同样能使钢具有良好

的综合性能，这类元素通过使晶粒的弥散硬化和晶粒细化等两个途径，使铁素体显著增强(塑性和冲击韧性不明显降低)。上述元素形成稳定的碳化物(NbC、TiC和VO)，在铁素体晶粒内以极细小的粒子(直径为几十埃级)析出^[179]。由于上述元素以及铝和铈所形成的氮化物相或碳氮化物相的结果，同样能使钢得到增强。

由于弥散状碳化物有可能强化钢材，已成功地制成了新的钢种，即少珠光体钢(含碳量达0.08%)和无珠光体钢(含碳量达0.03%)^[18, 262]。含铌的少珠光体钢具有经典(C-Mn-Si)钢一样的强度极限(50~62公斤力/毫米²)，但其屈服极限较高(42公斤力/毫米²)，而且在纵、横两个轧制方向上的塑性也较大。这种成分的钢无冷裂缝倾向。用高的焊接线能量获得的焊接接头，在-20°C时的冲击韧性不低于3.5公斤力·米/厘米²。

由于少珠光体钢含碳量降低所导致的强度下降，可用加入锰或同时加入锰和铌的办法来补偿^[68, 201]。对于含碳量为0.07%的钢，可用2~2.5%锰进行合金化，以提高其强度，而其冲击韧性又不致恶化。然而，进一步提高含锰量，将导致晶粒明显长大。用氮化物形成元素进行补充的微量合金化时，不仅会使强度提高，而且消除了锰钢的晶粒长大倾向。适用于焊接结构的低碳低合金钢03Г4 АФ(0.05% C、4.0% Mn、0.07~0.15% V、0.015~0.022% N)在热轧后的回火状态下，能保证获得下列机械性能： $\sigma_{\text{B}}=70$ 公斤力/毫米²； $\sigma_{\text{S}}=60$ 公斤力/毫米²； $\delta=20\%$ ； $\psi=60\%$ ； $a_{\text{K}}=5$ 公斤力·米/厘米²(-60°C时)。

将低合金钢中的氮结合成稳定性的细弥散性氮化物，不仅能抵消溶于铁素体中的氮所引起的钢的时效作用与蓝脆性，而且能提高屈服极限与韧性^[94, 272]。

在氮化物形成元素中，虽然也可以采用钛、铈等元素，但铝、

钒和铌用得更为广泛。这类元素与氮生成牢固的氮化物(VN、AlN、NbN)。既然一些碳化物与某些氮化物形态相同(例如NbN——NbC),有可能形成碳氮化合物。氮化物和碳氮化合物的特点,是高硬度和高熔点。

已经查明,氮与形成氮化物的元素同时加入后,会使晶粒明显细化,并提高奥氏体晶粒长大的起始温度^[171,172,249]。也可以通过控制奥氏体相变动力学和弥散硬化的方法,使氮化物对钢的性能产生影响。

含氮化物的钢,其良好的塑性、细晶粒和晶粒长大所需的高温,能使厚度为20毫米(含氮化铝的钢)到100毫米(含氮化钒的钢)的板材获得优质的焊接接头。用氮化物强化的低合金钢,在冷态和热态下都有良好的变形能力。这类钢的特点是具有高的抗脆性破坏性能和相当低的冷脆转变温度。

过冷奥氏体的无扩散(马氏体)相变是取得极高强度钢的最有效的办法。马氏体级钢是很难焊接的。从这方面来讲,贝氏体级钢的工艺性要好得多。这类钢在具有令人满意的塑性与韧性的情况下,强度可达60~110公斤力/毫米²。

采用使贝氏体相变能在较宽冷却速度范围内进行的合金化办法,可使钢材从轧制温度连续冷却的条件下,或在正火处理后,获得贝氏体组织。现有的贝氏体钢所采用的主要合金元素为钼(0.35~0.5%)、硼(0.001~0.004%)和锰(~1%)。钼在使等温分解曲线上部向右推移的同时,能防止奥氏体在珠光体区内相变。硼能有效地阻止游离多面形铁素体在贝氏体形成之前的区域中析出。锰能保证必要的强度。为了进一步提高强度,贝氏体钢可用铬、钒和其它元素进行补充合金化(用0.3%左右的含钒量,可保证进行第二次硬化过程——碳化钒V₄O₃细粒在回火时析出)。

目前已提供了大量的贝氏体级钢种。根据合金化系统的不同,按贝氏体动力学,相变可在 $620\sim 640^{\circ}\text{C}$ 范围内(上贝氏体)和 $450\sim 420^{\circ}\text{C}$ 范围内(下贝氏体)进行。下贝氏体具有很高的强度(达 119 公斤力/毫米²)和令人满意的韧性。强度为 60 公斤力/毫米²的上贝氏体,具有较低的冲击韧性和抗脆性破坏能力^[94]。

将氮和氮化物形成元素加入贝氏体钢,可使其性能有很大改善。将碳钢和低合金钢从轧制温度进行热硬化处理,可显著地提高其强度。钢的各种热力处理法与机械热处理法都是很有发展前途的^[18]。

目前,在制造各种焊接结构、焊接零件和焊接构件中,采用了大量的符合ГОСТ 380-71、5521-67、6713-75、1050-74、19282-73等标准和技术条件以及部颁标准*的低碳钢和低合金钢。

焊接用的低碳钢的化学成分列于表1,其机械性能列于表2。低碳钢属于可焊性良好的钢,中碳钢(Ст4、Ст5、30、35、40号钢等)和高碳钢(含碳量高于 0.45%)属于可焊性不良的钢。这些钢焊接接头不同部位中的相变特性和组织,将在以后作简要叙述。

按照ГОСТ 19282-73,供工业建筑、民用建筑和机械制造焊接结构使用的低合金钢,规定为28个品种(表3和表4)。用以制造工作温度达 585°C 的锅炉汽轮机装置的焊接零、部件的珠光体级耐热钢,也属于低合金钢(表5和表6)。

在实践中,马氏体级和贝氏体级低合金高强钢,获得日益广泛的应用^[100]。屈服极限为 $60\sim 90$ 公斤力/毫米²的低合金热强钢,用于制造重载荷焊接结构方面,很有发展前途^[97]。这些钢

* 按焊接技术中所采用的分类法,含碳量在 0.25% 以下的钢属于低碳钢;合金元素总含量不超过 2.5% 的钢属于低合金钢^[235]。

表1 低碳钢的化学成分(%)

IOCT	钢种	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	As	
											不 大 于
380-71	BCt2 沸腾	0.09~0.15	0.25~0.50	0.07	0.04	0.05	0.30	0.30	0.30	0.30	0.08
	BCt2 沸腾	0.09~0.15	0.25~0.50	0.05~0.17	0.04	0.05	0.30	0.30	0.30	0.30	0.08
	BCt2 半镇静	0.09~0.15	0.25~0.50	0.12~0.30	0.04	0.05	0.30	0.30	0.30	0.30	0.08
	BCt2 镇静	0.09~0.15	0.25~0.50	0.12~0.30	0.04	0.05	0.30	0.30	0.30	0.30	0.08
	BCt3 沸腾	0.14~0.22	0.30~0.60	0.17	0.04	0.05	0.30	0.30	0.30	0.30	0.08
	BCt3 沸腾	0.14~0.22	0.40~0.65	0.05~0.17	0.04	0.05	0.30	0.30	0.30	0.30	0.08
	BCt3 半镇静	0.14~0.22	0.40~0.65	0.12~0.30	0.04	0.05	0.30	0.30	0.30	0.30	0.08
	BCt3 镇静	0.14~0.22	0.80~1.10	0.15	0.04	0.05	0.30	0.30	0.30	0.30	0.08
	BCt3 Γ 半镇静	0.14~0.20	0.50~0.80	0.12~0.35	0.04	0.04	0.30	0.30	0.30	0.30	—
	BCt3 Γ 半镇静	0.12~0.19	0.70~1.00	0.17~0.37	0.04	0.04	0.25	0.25	0.25	—	—
5521-67	C	0.17~0.24	0.70~1.00	0.17~0.37	0.04	0.04	0.25	0.25	—	—	
1050-60	15Γ										
	20Γ										

中某些钢的化学成分及经淬火和 620~700°C 高温回火后的机械性能列于表 7。也提出了一系列其它牌号的贝氏体级高强度钢——15ГСХМФР、15ХГ2СФР、15Г2СФМР、15Г2СМФ、14ХГСМФР、14ХГСНМФР^[94]。

表 2 低碳钢的机械性能

钢 种	$\sigma_{\text{强}}$ (公斤力/毫米 ²)	$\sigma_{\text{屈}}$ (公斤力/毫米 ²)				δ (%)		
		板材厚度(毫米)				板材厚度(毫米)		
		≤20	20~40	40~100	>100	≤20	20~40	>40
		不 大 于						
BC _T 2 沸腾	33~42	22	21	20	19	33	32	30
BC _T 2 半镇静	34~44	23	22	21	20	32	31	29
BC _T 2 镇静								
BC _T 3 半镇静	38~49	25	24	23	21	26	25	23
BC _T 3 镇静								
BC _T 3Г 半镇静	38~50	25	24	23	21	26	25	23
C 热轧或 正火状态	41~50	24	—	—	—	24	—	—
15Г正 火状态	42			25			26	
20Г正 火状态	46			28			24	

注: 15Г 和 20Г 钢的性能以其厚度为 80 毫米的钢板测定。

供运输液化天然气(-120°C 时)和过冷天然气(-80°C 时)的长距离管道,要求采用比较经济的耐低温钢,而 06Г2А 和 06Г2НАБ 少珠光体钢^[121]很有发展前途。在 06Г2А 和 06Г2НАБ 少珠光体钢正火后的铁素体组织中,珠光体含量不超过 5%,

表3 低合金钢的化学成分(ГОСТ 19282-73) (%)

钢 种	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V	其它元素
09Г2	≤0.12	0.17~0.37	1.4~1.8	≤0.30	≤0.30	≤0.30	—	—
09Г2Д	≤0.12	0.17~0.37	1.4~1.8	≤0.30	≤0.30	0.15~0.30	—	—
14Г2	0.12~0.18	0.17~0.37	1.2~1.6	≤0.30	≤0.30	≤0.30	—	—
12ГC	0.09~0.15	0.5~0.8	0.8~1.2	≤0.30	≤0.30	≤0.30	—	—
16ГC	0.12~0.18	0.4~0.7	0.9~1.2	≤0.30	≤0.30	≤0.30	—	—
17ГC	0.14~0.20	0.4~0.6	1.0~1.4	≤0.30	≤0.30	≤0.30	—	—
17Г1C	0.15~0.20	0.4~0.6	1.15~1.6	≤0.30	≤0.30	≤0.30	—	—
09Г2C	≤0.12	0.5~0.8	1.3~1.7	≤0.30	≤0.30	≤0.30	—	—
09Г2CД	≤0.12	0.5~0.8	1.3~1.7	≤0.30	≤0.30	0.15~0.30	—	—
10Г2C1	≤0.12	0.8~1.1	1.3~1.65	≤0.30	≤0.30	≤0.30	—	—
10Г2C1Д	≤0.12	0.8~1.1	1.3~1.65	≤0.30	≤0.30	0.15~0.30	—	—
15ГФ	0.12~0.18	0.17~0.37	0.9~1.2	≤0.30	≤0.30	≤0.30	0.05~0.12	—
15ГФД	0.12~0.18	0.17~0.37	0.9~1.2	≤0.30	≤0.30	0.15~0.30	0.05~0.12	—