

锰钒(铌)氮低合金钢

专 辑

鞍钢钢铁研究所技术情报研究室

一九七五年八月

毛主席语录

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

认真看书学习，弄通马克思主义。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

目 录

Mn—V—N 钢的研究	(1)
新型桥梁钢—15MnVN 钢可焊性的试验总结	(27)
非调质高强度钢的冶金技术研究概况	(47)
非调质型含AlN 高强度钢的特性	(54)
添加铌钒处理的细晶粒钢	(72)
细晶粒 C—Mn 钢	(77)
碳化合物和氮化合物颗粒对铁素体再结晶的影响	(120)
Mn—V 和 Mn—V—N 钢的强化机理	(136)
氮作为平炉锰钒结构钢的合金元素	(145)
氮和铝、钒化合对高强度结构钢机械性能的影响	(168)
焊接结构用低合金钢 16Г2АΦ 厚板的生产经验和研究 ...	(175)
含钒氮低合金钢	(183)
焊接结构用含氮和铝低合金钢	(189)
合金元素对氮钒低合金钢的组织与性能的影响	(195)

Mn—V—N 钢 的 研 究

× × 桥试制阶段技术总结

一 引 言

我国生产低合金高强度钢已有近20年的历史，在“独立自主，自力更生”方针指引下，逐步建立了立足于我国合金资源的低合金钢系统。首先用以矽—锰为基本合金元素的16锰钢成功的代替了30钢，用于冲制汽车大梁，继而用以代替苏联的 CXL—1 用于长江大桥等。随着国民经济建设的高速发展，对低合金高强度钢的强度级别和综合性能提出了更高的要求。屈服点为35公斤/毫米²的16锰钢已满足不了桥梁、容器、造船，以及建筑结构等方面的要求。如用于制作栓焊结构的大跨度桥梁时，为了减少板厚，以利于焊接，要求采用屈服点为45公斤/毫米²级以上的低合金高强度钢；制作氧气机用的贮氧球形罐时，为了简化消除焊接应力的施工工艺，也希望采用屈服点为45公斤/毫米²级以上的钢板等等。因此，结合我国合金资源和设备条件，提供大量屈服点为45公斤/毫米²级可焊性良好的低合金高强度钢是我国工业建设中主要任务之一，是冶金系统贯彻、落实党的多、快、好、省地建设社会主义总路线不可缺少的一部分。

低合金高强度钢根据其合金元素的含量、热处理工艺可得到不同的金相组织和力学性能。各种不同的组织和钢号有其不同的强化机理。常用的屈服点为45公斤/毫米²的低合金钢，大都是在C—Mn基础上加入强化元素，如Cu、Ni、Cr、Mo等微量元素，形成置换型固溶体，和一定的热处理相结合，采用正火、正火+回火或者淬火+回火等方法，从而强化基体，使形成铁素体—珠光体、多边形铁素体、贝茵体、回火索氏体等组织。采用固溶强化的特点是加入微量元素以后，使晶格产生畸变，以及增加珠光体的体积百分比等因素，从而提高钢的强度，但必然降低钢的韧性。在C—Mn基础上加入Mo、B微量元素，使钢在连续冷却中铁素体珠光体相变受到很大的抑制，可在较宽的冷却速度范围内获得贝茵体组织，这种钢在热轧或用简单热处理的方法可使屈服点在45~100公斤/毫米²的范围内变化，强度潜力很大，但这种钢必须加入价值昂贵的Mo、B元素，目前大批量生产上受到一定的限制。

近年来国内外均在研制生产工艺简单、成本较低的屈服点为45公斤/毫米²的低合金高强度钢，通常是在C—Mn基础上加入微量V、Ti、Nb、Zr等元素，代替过去采用的镍铬系统和钨硼系统，如苏联长期所使用的CXL—45钢、英国的fortiweld钢、日本的SM58钢等。

在C—Mn钢的基础上加入细化晶粒元素，同时又能产生碳、氮化物的弥散析出，在冷却过程中能降低 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变温度和在重结晶过程中由于产生第二相质点，增加了重结晶晶粒的成核核心并延缓了晶粒长大的速度，从而获得比通常评级标准8级更细的“超细晶粒”的铁素体—珠光体钢。单独的细化晶粒作用，使强度提高而冲击转变温度不致升高，但伴随着弥散质

点的析出必然提高钢的冲击转变温度，为了获得综合性能良好的屈服点为45公斤/毫米²的低合金钢，需要和热处理相结合、随着轧制、热处理工艺制度的不同，加入合金元素的不同，碳、氮化物析出质点的大小，形状亦不同，并且其中至少有一部分析出相是与母相共格的，这些元素的不同，所得到的力学性能亦不同，据介绍，用 V、Nb、Al 和 C、N 化合，在 A3 点以上反复急热急冷，可以得到晶粒度超过 15 级以上的超细晶粒的钢。

钢中的碳、氮和铝、钒、铌、铈等强烈形成碳、氮化物的元素，能在铁素体基体内产生弥散质点。用这些元素来固定钢中的氮，可以改变钢中氮的形态，使固溶氮（自由氮）变成化合氮，从而消除氮在钢中的不利作用，并使其转变为有利作用，改变了长期以来认为氮虽能提高钢的强度，但降低塑性，增加钢的时效倾向的传统概念。

把氮作为合金元素是较为经济的。氮可在空气中提炼，有取之不尽，用之不竭的资源，使钢中含氮，可在钢的精炼末期直接向溶池中吹氮，或将预先渗氮的铁合金加入钢中，使钢增氮。前者成本较低，但不易控制，含量不稳定。后者比较可靠。

氮在钢中的溶解度，随温度的降低而减少，在冷却过程中将脱溶，在脱溶过程中，钢中有一定数量的合金元素能与氮形成氮化物，这些氮化物在重结晶过程中为核心，或阻止晶粒的长大，或在最终的铁素体中析出，这些析出物的质点的形状、大小、弥散程度对钢的性能影响极大，因此在含氮钢中研究不同热处理温度、时间、轧制工艺、冶炼参数、化学成份等对氮化物沉淀质点的影响，具有非常重要的意义。

我国在五十年代就对含氮钢进行了研制，在六十年代已在低合金钢中进行了大规模的试验研究工作。我们鞍钢广大职工，在自力更生的基础上和兄弟单位协作进行了大量的试验研究工作。迄今已炼制了数万吨的含氮钢，用于制作无底架油罐车；轻型桥梁；万立制氧机球形罐；22.5万瓩水力发电机的磁轭冲片等。目前正在就稳定生产工艺，扩大使用范围等工作方面进行进一步的研究。

二 Mn—V—N 钢的生产工艺

在 C—Mn 钢的基础上，加入不同含量的 V—N 可以获得各种强度级别的低合金钢。本文仅研究在正火条件下获得屈服点为 45 公斤/毫米²级的低合金高强度钢，其生产工艺和同级的其他低合金高强度钢相比，较为简单。在冶炼操作上和普通低合金钢 16 锰相似，可按钢厂的现行的优质钢技术操作规程进行冶炼，但出钢温度要求较高，脱氧剂和合金元素加入数量不同。Mn—V—N 钢在一般情况下，在炉内用矽锰进行预脱氧，其它脱氧剂和铁合金均在罐内加入，最终每吨用 400 克铝、600 克矽钙进行脱氧。由于罐内加入的合金元素较多，使罐内钢水温度降低，恶化了浇注过程，因此出钢温度应提高到 1620~1630℃ 以上，其脱氧剂和合金化加入次序：

矽锰→矽钢→氮化锰铁→铝→矽钙→钒铁。

Mn—V—N 钢的合金化，关键是稳定 N 的加入方法和工艺，氮化锰铁可在炉内或罐内加入，在正常情况下，在罐内加入。冶炼时 N 的效率随氮化锰铁生产的方法、品位而变化。用块状的低碳锰铁加热渗氮法生产的氮化锰铁品位低，一般均在 2% 以下，在冶炼时氮的回收率较高。用金属粉末渗氮后，用粘结压合成型的块状氮化锰铁，其品位较高，可使氮化锰铁

中氮的含量增至4%以上。用各种不同含量的氮化锰铁加入到大型倾动式平炉中回收率的统计如图1。可以看出,氮化锰铁的效率随着铁合金中氮的品位增加而降低。

氮化锰铁中氮可和锰形成稳定的氮化锰铁,可以进行烘烤,不会由于加热而产生氮化物的分解。

钢的浇注,采模下注法,浇注速度和水口直径可根据钢锭横的型号,按优质钢技术操作规程进行。

钢锭的表面质量是影响锭到坯的合格率的关键之一。这和钢的氮含量与脱氧剂数量有关。特别是采用铝脱氧时,可使钢中的氮和铝形成 AlN ,当钢在冷却过程中, $\gamma-\alpha$ 体转变时,一定数量的 AlN 沿着晶粒界析出,恶化了钢的表面质量。因此,在 $Mn-V-N$ 钢中应限制加铝量,为了防止形成大量的 AlN ,还可在钢中加入比 Al 和 N 结合能力更强的元素,如 V , Nb , Zr 等。如在钢中加入钒以后,从电解夹杂分析得出 AlN 为痕迹,绝大部分形成 VN ,因此钢中的 Al 的含量应力求减少, Al 、 V 、 N 应有一定的比例。

$Mn-V-N$ 钢锭脱模后,在均热炉内加热,热锭可按二组钢进行加热,冷锭由于合金含量较高,应按三组钢进行凉炉,二组钢加热,按合金钢的操作规程进行压下、轧制、切割等,钢坯可在常温下进行火焰处理。

钢坯在连续式加热炉内进行加热,加热速度可在10—12分/厘米之间,压下、轧制按现行优质钢规程进行,根据钢板的规格采用横轧纵轧、经剪切以后,按钢板的化学成份进行不同温度的正火处理,按有关标准规定进行检验、标志入库。

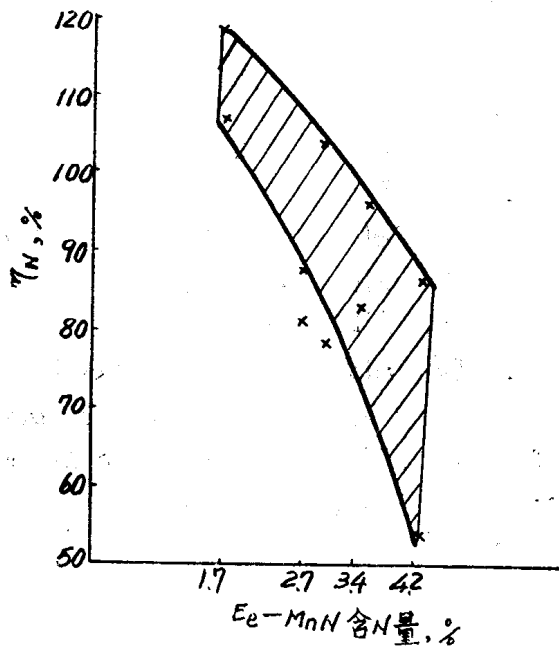


图1 氮化锰铁品位和效率的关系图

三 $Mn-V-N$ 钢的技术条件

$Mn-V-N$ 钢是在 $C-Mn$ 钢的基础上加入微量 V 、 N ,不同含量可以获得不同强度级别的低合金钢,作为屈服点45公斤/毫米²的桥梁,建筑容器用钢,经有关单位协商,规定如下:

1) 化学成份, %

C	Si	Mn	P
0.12/0.20	0.20/0.60	1.30/1.70	≤0.040
S	V	N	
≤0.040	0.10/0.20	0.010/0.020	

注: ① S应小于0.035%

② V、N可以调正

2) 钢板机械性能

σ_s 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	δ_5 %	a_k 公斤·米/厘米 ² —40℃
≥45	≥60	≥19	3.5
a_k 公斤·米/厘米 ² 时效	180°冷弯 $d=3a$		
3.5	完好		

注：① 机械性能按规定 σ_s 降低1公斤/毫米²， σ_b 降低2公斤/毫米²者亦可交货；

② 钢板应以正火状态交货。

3) 钢板断口检查标准：

厚度等于和大于12毫米的钢板做断口试验和断口分层检查。其试样长度不小于250毫米，宽度为60毫米，采用机械加工的方法刻成深度为20毫米的槽，试验在室温（一般在10~25℃）动载下进行，试样断口上不允许存在贯穿的分层和二条三分之二断口长度的分层。

4) 其它事项按YB68—70规定。

四 Mn—V—N钢的机械性能

钢的机械性能取决于化学成份和生产工艺，在一定的工艺条件下随化学成份而变化，根据生产实践和标准规定，C—Mn为基础的16Mn钢，屈服点为35公斤/毫米²。加N后性能和16Mn钢基本相似，在16Mn基础上加微量的钒（V=0.05/0.12%）可使屈服点大于40公斤/毫米²。再在此基础上加入0.010/0.020的氮，而成的15MnVN钢，其屈服点就达到45公斤/毫米²，如图2所示。由此可见，合金元素的影响，不是各元素单独作用的叠加，而是超过单独作用的总和。

按钢试制的屈服点为45公斤/毫米²的Mn—V—N钢在大型倾动式平炉上冶炼了七炉15MnVN钢，在初轧机和半连续轧板机上轧成厚度为10~40毫米的钢板，每罐的化学成份和机械性能见表1。

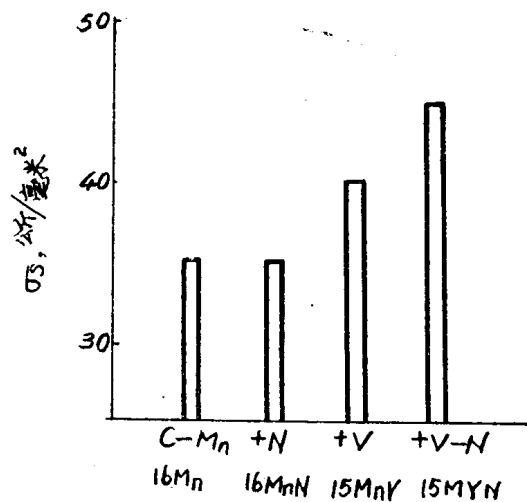


图2 合金元素对屈服点的作用

15MnVN 钢化学成分和机械性能表

表 1

熔 炼 号	化 学 成 份, %							厚 度 毫米	热 处 理 制 度	机 械 性 能		冲击性能, α_k 公斤·米/厘米 ²			180° 冷弯 d=3a	断 口								
	C	Si	Mn	P	S	V	N			Nb	σ_s 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	δ_5 , %	常 温		—40℃	时效	发 纹	分 层					
7310319 乙	0.120	0.381	1.46	0.009	0.021	0.08	0.019	0.024	32	1050℃	2分/毫米	51.0	62.0	25.5	11.2	10.4	9.6	7.7	7.2	7.67.0	7.4	完好	无	无
"	0.120	0.381	1.46	0.009	0.021	0.08	0.019	0.024	20	1000℃	"	40.0	52.5	23.0										
7317489 甲	0.190	0.381	1.56	0.011	0.026	0.19	0.11		20	930℃	"	46.0	60.5	24.0	7.2	7.4	8.4	7.1	7.5	7.25.2	5.2	完好	4/10	无
"	0.190	0.381	1.56	0.011	0.026	0.19	0.11		32	930℃	"	44.5	58.0	22.5	8.0	8.2	8.1	5.3	7.2	6.15.7	5.3	完好	20/30	无
"	0.190	0.381	1.56	0.011	0.026	0.19	0.11		32	930℃	"	46.5	60.0	22.5	8.0	8.0	8.5	7.2	6.8	6.95.7	5.9	完好	15/30	无
7317489 乙	0.150	0.491	1.60	0.012	0.026	0.19	0.0113		20	980℃	"	44.5	58.5	26.0	7.7	8.1	8.2	4.4	4.3	4.04.9	5.3	完好	无	无
"	0.150	0.491	1.60	0.012	0.026	0.19	0.0113		34	1000℃	"	48.0	59.5	26.5	11.0	10.1	11.2	6.1	6.7	6.47.2	16.4	完好	14/22	无
"	0.150	0.491	1.60	0.012	0.026	0.19	0.0113		32	1020℃	"	47.0	60.0	25.0	8.5	7.9	7.7	5.8	5.0	4.55.7	5.5	完好	无	无
7317489 丙	0.200	0.321	1.52	0.012	0.023	0.22	0.016		10	1000℃	"	52.0	64.5	28.0								完好	无	无
"	0.200	0.321	1.52	0.012	0.023	0.22	0.016		12	1000℃	"	52.0	65.5	25.0	12.3	6.6	7.1	7.7	6.5	7.54.7	4.3	完好	6/14	无
7310568 甲	0.140	0.311	1.34	0.008	0.022	0.10	0.014		32	1050℃	"	44.0	57.5	24.0	11.3	11.9	10.2	8.7	7.0	7.48.2	8.8	完	30/70	无
"	0.140	0.311	1.34	0.008	0.022	0.10	0.014		16	1050℃	"	45.0	59.5	25.0	9.9	10.0	9.5	6.4	5.8	6.05.8	6.0	完好	无	无
7310568 乙	0.150	0.301	1.39	0.009	0.023	0.11	0.014		32	1050℃	"	43.0	54.5	27.5								完好		
"	0.150	0.301	1.39	0.009	0.023	0.11	0.014		32	1050℃	"	47.5	61.0	22.5	11.5	10.9	11.6	9.6	8.3	5.49.0	6.2	完好	3/5	无
"	0.150	0.301	1.39	0.009	0.023	0.11	0.014		24	1020℃	"	46.0	60.5	22.0	9.4	8.6	10.4	6.0	6.2	6.96.6	5.8	完好	无	无
7310568 丙	0.170	0.351	1.40	0.009	0.022	0.12	0.014		32	1060℃	"	50.5	65.0	21.0	9.1	9.4	10.2	9.2	9.8	8.83.9	5.6	完好	无	无
"	0.170	0.351	1.40	0.009	0.022	0.12	0.014		16	1000℃	"	46.0	57.5	26.5	7.5	7.2	7.4	10.7	10.0	9.89.7	10.3	完好	无	无
"	0.170	0.351	1.40	0.009	0.022	0.12	0.014		32	1050℃	"	48.0	59.5	23.0	11.3	10.5	10.5	6.9	5.8	7.26.1	8.2	完好		
"	0.170	0.351	1.40	0.009	0.022	0.12	0.014		16	1020℃	"	42.0	55.0	29.0										
7314555 甲	0.170	0.331	1.64	0.010	0.029	0.18	0.015		32	1000℃	2.5分/毫米	54.0	66.5	19.5	7.5	7.4	7.2	4.9	4.8	5.34.8	4.8	完好	无	无
"	0.170	0.331	1.64	0.010	0.029	0.18	0.015		32	1000℃	"	58.0	70.5	19.5	5.5	6.2	5.7	3.7	3.7	3.7	3.7	完好	12/30	无
7314555 乙	0.180	0.341	1.81	0.011	0.029	0.20	0.020		32	880℃	2.0分/毫米	55.5	68.5	22.5	7.5	8.0	7.8	6.3	6.2	7.16.5	6.3	完好	37/58	无

续表 1

熔 炼 号	化 学 成 份, %					厚 度 毫米	热 处 理 制 度	机 械 性 能		冲击性能, σ_k 公斤·米/厘米 ²		180° 冷弯 $d=3a$	断 口							
								σ_B 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	$\delta_5, \%$	常 温			-40℃	时效					
	C	Si	Mn	P	S											V	N			
7314555 丙	0.190	0.371	1.76	0.016	0.029	0.20	0.020	54.0	68.5	22.0	7.2	7.4	7.7	6.5	6.7	7.0	4.2	4.6	完好	无
7413014 甲	0.170	0.351	1.41	0.013	0.022	0.20	0.016	45.0	60.0	25.0	6.4	7.3	6.4	5.5	5.6	5.4	4.8	4.8	完好	无
"	0.170	0.351	1.41	0.013	0.022	0.20	0.016	44.0	57.5	26.0	9.3	9.5	8.7	6.3	5.9	5.6	7.0	7.0	完好	无
7413014 乙	0.180	0.361	1.50	0.014	0.021	0.21	0.017	46.0	63.0	23.0	7.2	7.3	7.3	5.9	6.9	5.5	5.0	5.0	完好	无
"	0.180	0.361	1.50	0.014	0.021	0.21	0.017	44.0	60.0	27.0	7.5	7.1	7.0	6.5	5.5	5.6	5.7	5.0	完好	无
"	0.180	0.361	1.50	0.014	0.021	0.21	0.017	41.5	58.5	23.0	9.4	9.4	10.1	5.7	5.8	5.1	6.9	7.0	完好	无
"	0.180	0.361	1.50	0.014	0.021	0.21	0.017	50.0	64.5	23.0	8.6	8.4	8.7	6.5	6.2	5.5	5.0	6.3	完好	无
7413014 丙	0.170	0.351	1.43	0.016	0.022	0.130	0.0145	45.5	59.0	24.5	7.1	7.0	8.1	6.3	6.2	6.8	5.3	5.1	完好	无
"	0.170	0.351	1.43	0.016	0.022	0.130	0.0145	44.0	60.0	24.5										无
"	0.170	0.351	1.43	0.016	0.022	0.130	0.0145	42.5	56.5	24.5	9.8	9.6	9.2	5.9	4.5	6.6	5.0	6.0	完好	无
"	0.170	0.351	1.43	0.016	0.022	0.130	0.0145	42.5	56.5	26.5	8.5	8.6	8.8	6.0	6.1	6.2	6.4	7.2	完好	无
7416101 甲	0.160	0.321	1.57	0.016	0.027	0.20	0.0165	47.5	68.0	26.5	7.0	7.2	6.6	4.9	5.3	4.5	8.9	4.1	完好	一条
"	0.160	0.321	1.57	0.016	0.027	0.20	0.0165	47.0	60.0	25.5	8.1	9.2	9.1	5.8	5.7	6.1	6.3	6.3	完好	无
7416101 乙	0.160	0.381	1.70	0.016	0.028	0.20	0.017	46.0	60.0	26.5				6.6	7.3	6.7	6.3	6.2	完好	无
"	0.160	0.381	1.70	0.016	0.028	0.20	0.017	49.5	64.0	25.5	5.0	5.2	5.5	5.0	5.2	5.5	5.0	5.2	完好	无
"	0.160	0.381	1.70	0.016	0.028	0.20	0.017	46.5	58.5	26.5	7.4	5.8	6.7	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	完好	无
7416101 丙	0.160	0.391	1.64	0.018	0.028	0.20	0.017	46.5	59.5	25.0				6.9	6.4	6.4	5.3	5.6	完好	无
"	0.160	0.391	1.64	0.018	0.028	0.20	0.017	53.5	64.5	21.5	6.9	6.9	6.9	5.0	4.4	4.4	5.4	5.3	完好	无
7416101 甲	0.160	0.321	1.57	0.016	0.027	0.20	0.0165	48.5	61.5	24.0	7.4	6.6	8.0	5.5	5.7	5.3	5.3	5.4	完好	无
7413278 乙	0.160	0.361	1.56	0.014	0.025	0.15	0.018	43.5	57.5	27.0	9.3	9.1	9.4	6.1	6.0	6.1	7.0	6.5	完好	无
"	0.160	0.361	1.56	0.014	0.025	0.15	0.018	44.0	57.5	24.0				4.8	5.6	6.5	4.6	4.7	完好	无
"	0.160	0.361	1.56	0.014	0.025	0.15	0.018	44.5	57.5	27.0				6.0	5.8	6.3	5.6	5.5	完好	无

钢板经过辊底式常化炉正火以后，韧性较好，延伸率、 -40°C 的低温冲击韧性、时效冲击、韧性都合乎技术条件要求，而且屈服点、抗拉强度随着化学成份和热处理制度的变化而变化。其中除个别批号外，均可满足技术条件的要求，特别是在一定的化学成份下，热处理对性能影响较大，第一次正火处理温度较低，不合，第二次用较高温度处理后即满足了技术条件的要求。在试制的15MnVN钢中，主要是 σ_s 和 σ_b 达不到技术条件要求，为了保证Mn—V—N钢的正常生产，必须研究不同工艺因素对性能的影响。

五 不同工艺因素对机械性能的影响

1. 不同热处理制度对机械性能的影响

Mn—V—N钢经正火后，钢的 σ_s 、 σ_b 下降， δ_5 和 a_k 值上升，特别是经过正火后冲击转变温度显著下降，可达 -100°C 左右，从而改善了钢的综合性能。为了研究不同热处理制度对钢的机械性能的影响，在试验室内用KIX—15—9型和K010.5型电炉中进行不同温度、时间正火处理。用15MnVN钢的7314555乙罐厚度为32毫米的钢板在 $700\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 间隔 50°C 进行加热，时间按1、2、3分/毫米，工艺曲线如图3。

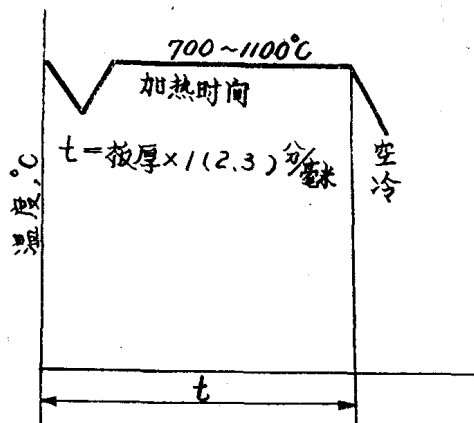


图3 正火（加热）工艺曲线

试验结果在表2和图4中绘出，在热轧状态强度高，韧性较差。经 $700\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 范围正火处理，15MnVN钢的 σ_s 、 σ_b 在 800°C 左右为最低值，从金相显微镜观察，当加热温度低于 AC_3 （ 850°C 左右）时，没有充分奥氏体化，而使部分铁素体晶粒长大，正火后冷却过程中得到大块的铁素体晶粒和奥氏体共析分解的珠光体。随着正火温度的提高， σ_s 、 σ_b 亦随之增加，当正火温度高于 AC_3 50°C ，即达到 $950\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 时，其强度和韧性都有所提高，综合性能最为理想，金相观察得到细化的铁素体——珠光体组织，基本上消除了带状组织，晶粒细化到8—10级以上。当正火温度继续提高到 1050°C 时，铁素体晶粒开始长大，个别达到7级，在 1100°C 时即产生轻微的魏氏组织。 σ_s 、 σ_b 同时随着温度的上升而增高，超过 1100°C 时基本上接近于热轧时的性能和组织。

为了验证在试验室内结果的正确性，用15MnVN钢7314555甲罐厚度为32毫米的钢板，在 1000×1000 毫米²用煤气加热的试样炉进行不同温度的正火处理，温度从 $850\sim 1150^{\circ}\text{C}$ ，间隔 50°C ，时间2分/毫米，结果如图5，其规律和试验室内结果相同。

为了研究不同化学成份的钢板的机械性能随正火温度不同而变化的规律，用二罐不同炉号，不同化学成份，相同厚度规格的钢板，放在同一炉内同时加热进行正火处理，其结果如表3。

根据上述试验结果，钢的机械性能在化学成份一定的情况下热处理制度是主要因素。将大生产中不同炉罐号的钢板，研究分析热处理前后机械性能的影响，钢板的热处理在常化炉内进行，其结果如表4。

热轧钢板经正火以后，使 σ_s 、 σ_b 下降，冲击韧性得到显著的改善，与电炉、煤气试样

表 2

不同正火制度 (加热制度) 处理性能表

加温 温度	保 温 时 间 32分			保 温 时 间 64分			保 温 时 间 96分													
	σ_B 公斤/毫米 ²	σ_b	$\delta_5, \%$	冲击值, a_k 公斤·米/厘米 ²		σ_B 公斤/毫米 ²	σ_b	$\delta_5, \%$	带粗 晶粒 组织											
				冲击值, a_k 公斤·米/厘米 ²																
				+20℃	-40℃					+20℃	-40℃									
700℃	45.5	66.5	21.0	5.0	3.7	2.8	48.0	65.0	21.0	4.4	2.4	4.9	7~8	~3	45.5	94.5	19.0	6.2	3.2	1.5
	50.0	66.5	21.0	4.5	3.1	2.1	46.0	64.5	21.5	4.7	3.6	1.9			46.0	65.0	21.0	3.7	3.2	0.8
				5.0	2.5					5.0	3.3							4.4	2.5	
750℃	45.5	65.5	22.0	5.5	2.7		43.0	67.0	20.5	7.6	2.8	3.2	7	~2	44.5	66.0	22.0	6.0	5.2	
	45.0	66.0	19.0	5.2	3.6		46.0	66.0	19.5	5.5	3.8	3.0			44.0	65.5	22.0	6.6	4.1	
				5.7	3.9					5.7								5.1		
800℃	42.0	61.0	24.0	6.9	4.3	4.0	38.5	61.0	24.5	6.4	4.3	3.1	7	~2	36.5	60.0	26.0	6.7	3.6	
	40.5	61.0	23.0	5.7	4.4	3.0	39.5	61.0	24.5	6.7	5.3				39.0	61.0	25.0	6.2	4.3	
				6.6	4.9					7.3	4.1							7.2	4.6	
850℃	42.5	62.0	28.5	7.3	5.1		42.0	61.0	26.5	7.9	5.6		7	~2	40.0	60.5	26.5	8.2	6.4	
	40.5	60.5	27.0	8.1	5.6		40.5	61.0	25.5	8.4	6.0				40.0	60.5	25.5	8.7	5.2	
				7.9	5.3					7.7	5.4				40.0	60.5	25.5	8.5	5.9	
900℃	47.5	62.5	29.0	8.2	5.5	5.2	46.5	61.0	25.5	8.2	7.0	5.5	>10	~3						
	44.0	62.5	27.0	8.5	5.5	6.0	44.5	62.5	25.5	7.6	6.8	5.7								
					5.4	5.2					6.2	5.5								
950℃	48.5	64.5	26.0	8.1	5.8	5.3	50.5	65.0	25.0	8.7	6.3	4.0	11~10	0	45.0	59.5	26.5	8.8	6.5	4.0
	48.5	63.0	26.0	7.4	6.4	5.4	48.0	62.5	21.0	8.7	5.5	6.0			45.5	60.0	26.5	9.1	7.4	5.9
				6.2	6.2	4.2					5.5	5.2						6.4	5.2	
1000℃	53.5	64.5	25.0	7.1	5.2	3.7	52.0	64.0	23.5	8.3	5.0	4.7	>10	~4	49.5	63.5	24.5	8.5	5.7	4.8
	52.0	65.5	25.0	6.3	5.2	4.0	50.5	63.0	26.0	7.4	6.1	4.5			50.5	63.5	24.5	8.4	4.1	5.2
																		5.8	4.2	
1050℃	55.0	66.0	20.0	7.7	4.9	4.5	53.5	69.5	19.0	9.3	6.1	4.9	9~10	3~4	50.5	64.5	22.0	8.3	4.2	5.4
	52.0	66.5	23.5	7.3	4.5	5.5	53.5	69.0	19.0	8.7	5.6	7.2			51.0	64.5	21.0	8.4	4.3	4.0
																		5.0	4.7	
1100℃	53.5	73.0	18.0	4.5	3.6	1.7	54.0	73.0	18.5	6.2	3.4	3.8	8~10	3	54.5	72.0	21.0	5.6	4.9	2.5
	57.0	74.5	20.0	5.4	3.6	1.2	55.0	71.5	18.0	6.2	4.3	3.0			56.0	73.5	19.5	6.1	5.4	4.2
					2.6	1.0					5.0	5.5						5.1	2.2	
热轧	58.0	76.0	16.0										7~6	3~2						
	59.0	78.0	15.0																	

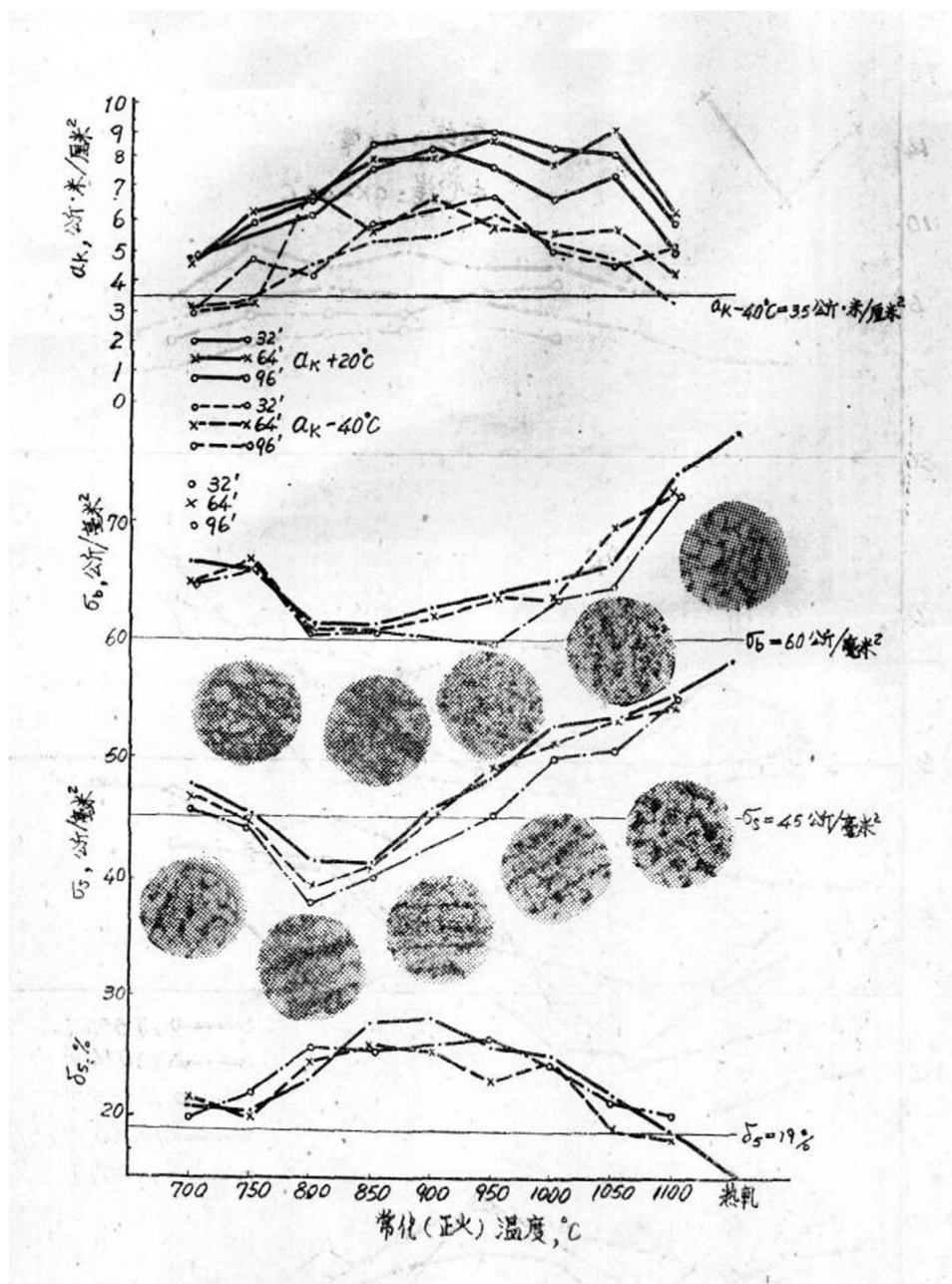


图 4 7314555 乙罐经不同温度常化后机械性能与组织

炉、常化炉内处理的规律是一致的，机械性能决定于正火处理的温度，在800~850℃左右进行正火（加热）处理，其屈服点最低。具体的数据见表 3。从试验结果可以看出，在一般情况下， σ_s 下降15~20公斤/毫米²左右，用950~1000℃时， σ_s 下降6~10 公斤/毫米²左右，其规律与图 3 的规律基本相符。

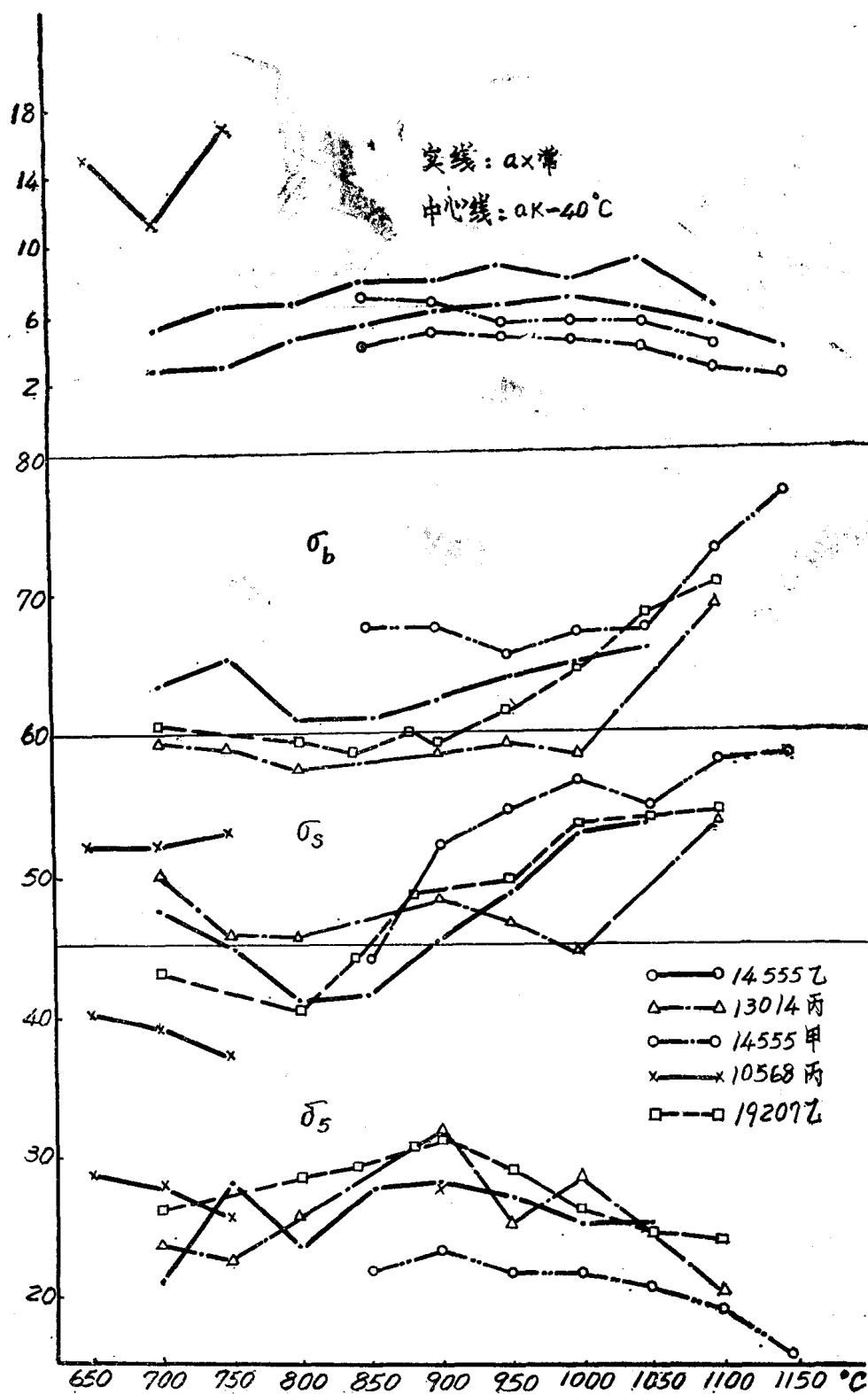


图 5 五罐不同常化温度和机械性能比较图

不同化学成份和热处理的影响

表 3

				化 学 成 份, %						
		炉罐号	批号	C	Si	Mn	P	S	V	N
		7314555乙	250	0.18	0.34	1.81	0.011	0.029	0.20	0.020
		7413014丙	445	0.17	0.35	1.43	0.016	0.012	0.13	0.015

批 号	热 处 理 制 度	σ_s	σ_b	$\delta_5\%$	冲击值, α_k 公斤·米/厘米 ²					
		公斤/毫米 ²			20℃			-40℃		
T250—7	930℃ 保温一小时	47.5	63.0	20.0	8.5	8.3	7.4	7.5	6.6	6.8
		46.5	61.5	24.5	7.5	7.7	7.3	6.1	6.3	6.6
T445—3		44.5	60.5	22.0	7.6	8.3	7.6	5.0	5.0	5.7
T250—1	920℃ "	45.5	60.5	23.0	6.8	8.4	7.8	6.5	6.5	6.1
		47.5	62.0	24.0	7.5	7.6	7.4	6.4	5.8	6.1
T445—2		44.5	59.5	23.5	9.4	9.0	10.0	6.2	5.8	6.1
T250—9	910℃ "	47.5	62.0	22.0	8.7	10.0	9.9	6.8	5.3	6.2
		46.5	62.0	25.5	8.2	7.4	8.1	6.7	6.8	7.1
T445—1		44.5	60.0	22.0	8.8	9.3	8.3	6.3	6.0	6.3
T250—8	900℃ "	46.5	60.5	22.5	7.2	7.5	8.0	7.2	7.3	7.2
		47.5	63.0	20.0	8.5	8.5	7.4	7.5	6.6	6.8
T445—4		45.5	59.0	25.0	9.3	9.4	8.6	6.7	6.0	6.3
T250—3	880℃ "	43.0	60.5	22.0	7.8	8.1	8.3	7.4	5.8	5.3
		42.0	60.5	24.5	8.8	7.4	8.0	6.8	6.4	6.7
T445—5		42.0	59.0	25.5	9.9	8.9	9.4	6.5	5.5	5.0
T250—6	870℃ "	47.5	63.0	21.0	8.9	8.2	8.6	7.5	7.5	6.8
		48.0	62.5	24.0	8.2	8.6	8.7	6.3	6.2	7.4
T445—8		45.5	61.0	22.0	8.2	8.1	8.2	4.9	4.1	5.7
T250—2	860℃ "	40.0	59.5	23.0	8.1	10.0	9.9	6.8	5.3	6.2
		43.5	61.0	23.0	7.3	7.5	7.5	6.0	5.5	5.1
T445—7		43.0	60.0	20.0	8.3	7.3	8.1	5.0	5.6	5.4
T250—5	850℃ "	39.5	61.0	23.0	7.8	8.6	7.4	6.0	5.1	5.6
		40.0	60.5	23.0	8.4	8.8	9.4	6.4	6.3	6.6

注: 在半连轧试样炉内进行。

15MnVN 钢热处理前后性能的变化

表 4

炉罐号	批号	厚度 毫米	热 轧						热 处 理							
			σ_s	σ_b	δ_5 %	冲击值, a_k			批号	热处理制度	σ_s	σ_b	δ_5 %	冲击值, a_k		
						公斤·米/厘米 ²								公斤·米/厘米 ²		
						公斤/毫米 ²	+20℃	时效						-40℃	公斤/毫米 ²	+20℃
7310319 乙	1611	32	59.5	78.0	13.0	3.9	1.6	0.3	T1611	1050℃ 2分/毫米	51.0	62.0	25.5			
						3.9	0.9	0.1								
						3.0		0.1								
7317489 甲	112	32	49.5	66.5	14.0	4.7	2.9	4.2	T112	950℃ "	44.5	58.0	22.5	8.1	5.3	6.3
						5.0	2.7	3.7						8.2	5.7	6.1
						6.3		3.4						8.4		7.2
"	113	20	48.5	63.0	21.0	6.6	5.3	3.8	T113	"	44.5	61.0	24.0	7.2	5.2	7.1
						6.9	5.3	3.4						7.4	5.4	7.5
						6.9		3.3						8.4		7.2
7317489 丙	114	12	60.5	75.5	19.0	5.4	2.3	2.1	T114	"	52.0	65.5	25.5	12.9	4.7	7.7
						4.6	2.0	1.7						6.6	4.3	6.5
						5.3		2.3						7.1		7.1
"	115	10	61.0	74.5	28.5	5.3	3.3	2.9	T115	"	52.0	64.5	28.0			
						5.4	3.3	3.1								
						5.3		3.4								
7314555 乙	250	32	58.0	76.0	16.0				T250	1010℃ 3"	56.5	72.5	18.5	7.5	6.5	6.3
			59.0	78.0	15.0									7.8	6.3	6.2
														8.0		7.1
"									TT250	890℃ "	52.0	65.0	22.0	7.4	4.3	5.5
														7.6	4.7	6.3
														8.6		5.7
7314555 甲	2788	32	61.5	78.5	15.5	2.5			T2788	1000℃ 2分/毫米	54.0	66.5	19.5	7.5	4.8	4.9
						3.1								7.4	4.6	4.8
						3.1								7.2		5.3
7413014 甲	443	32	60.0	77.0	12.5	2.3	3.0		T443	880℃ "	45.5	61.0	23.0	8.8	5.6	5.6
						1.5	3.0							7.8	5.4	6.1
							4.0							8.6		5.2

续表 4

炉罐号	批号	厚度 毫米	热 轧						热 处 理							
			σ_s 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	δ_5 %	冲击值, a_k 公斤·米/厘米 ²			批号	热处理制度	σ_s 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	δ_5 %	冲击值, a_k 公斤·米/厘米 ²		
						+20℃	时效	-40℃						+20℃	时效	-40℃
7413014乙	444	40	57.5	70.5	12	9.4	2.1	3.0	T444	880℃ "	41.5	48.5	28.0	9.4	6.9	5.7
						9.4	2.4	4.0						9.4	7.0	5.8
						8.9		2.3						10.1		5.1
								2.7	TT444	920℃ "	50.0	64.0	23.0	7.1	5.0	6.5
								1.7						7.0	6.3	6.2
								2.2						8.1		5.5
7413014丙	437	16	54.0	68.5	18.5	5.5	2.5	2.7	T437	"	45.5	59.0	24.5		5.3	6.3
						5.2	2.5	1.7						5.1	6.2	
						5.6		2.2								6.8
7416101甲	914	32	68.0	81.0	11.0				T914	900℃ "	47.5	65.5	26.5		4.3	
														3.9		
	915	32	61.0	74.0	13.0				T915	"	49.5	64.0	25.5		5.0	5.0
														5.2	5.2	
															5.5	
	916	32	68.0	84.0	11.0				T916	"	46.5	59.5	25.0		5.3	6.9
														5.6	6.4	
															6.4	

2. 轧制因素对正火钢板性能的影响

(1) 终轧温度的影响

为了研究终轧温度对正火钢板性能的影响, 用7314555乙罐, 厚度为32毫米的钢板热轧成16毫米的钢板, 将其终轧温度控制在850~1050℃范围, 检验其热轧性能, 然后用各种不同终轧温度的钢板用同一炉次, 同一温度进行正火处理, 其制度为950℃, 保温一小时, 结果如表5。

表 5

终轧温度, °C	热 轧						950°C—一小时正火处理					
	σ_s	σ_b	δ_5	冲击值, a_k 公斤·米/厘米 ²			σ_s	σ_b	δ_5	冲击值, a_k 公斤·米/厘米 ²		
	公斤/毫米 ²		%	+20°C	-40°C	-60°C	公斤/毫米 ²		%	+20°C	-40°C	
850°C	61.0	74.5	23.0	11.7	4.0	3.2	52.0	65.0	28.5	14.1 12.0 13.0	14.0 15.0 17.1	
				12.3	3.0	1.2						
				8.7	1.0	0.7						
900°C	61.0	74.0	22.5	8.4	2.5	0.7				10.5 14.2 14.7	17.5 15.1 17.4	
				10.4	1.9	0.7						
				12.8	2.5	2.0						
950°C	61.0	76.5	22.0	6.0	6.3	2.2	50.5	64.0	31.0	16.5 15.5 17.4	16.6 16.1 17.6	
				8.9	2.5	3.5						
				9.6	4.2	0.7						
1000°C	60.0	75.5	21.0	6.9	4.0	2.2	55.5	68.0	26.0	12.8 10.8 11.9	13.9 16.3 16.0	
				11.0	2.7	1.3						
				12.1	3.4	1.7						
1050°C	65.0	76.5	22.0	7.4	3.7	0.7	53.0	64.0	31.0	15.2 16.1 11.9	16.7 15.3 15.4	
				7.2	1.5	1.7						
				8.7	3.0	1.7						
1050°C	61.5	79.0	20.5	7.7	2.1	2.7	49.5	63.0	29.0	15.9 15.3 15.7	13.4 16.2 16.1	
				9.4	6.5	1.5						
				9.9	2.7	1.5						
1050°C	60.5	73.5	23.5	11.9	5.6	1.5	52.0	63.5	30.0	12.1 13.1 8.9	15.2 14.0 14.5	
				13.0	0.9	1.5						
				12.5	3.0	1.5						
1050°C	63.0	78.5	18.5	1.7	2.0	0.7	52.5	64.5	30.5	17.1 12.4 6.3	17.1 12.4 6.5	
				5.2	0.6	1.2						
				4.9	0.7	1.2						

注: 均为纵试样。