

北京图书馆藏

N · 23827

中文资料

全国稀土推广应用会议

资料汇编

稀土在钢中应用部分

(内部资料·注意保存)

包钢冶金研究所资料汇编小组

1975

7-12-107
6
3

全国稀土推广应用会议

资 料 汇 编

稀土在钢中应用部分

(内部资料 注意保存)

6/11/124

包钢冶金研究所资料汇编小组



A794484

编 者 的 话

由国家计委、科学院和冶金部在包头共同主持召开的“全国稀土推广应用会议”已经胜利地结束。会议期间代表们认真地学习了毛主席和中央首长的重要指示，总结了十多年来稀土工作所取得的成绩，广泛地交流了第二次“4.15”会议以来的丰富经验。大家一致认为通过这次会议开扩了眼界，统一了思想，提高了认识，并决心在毛主席革命路线的指引下，协同作战，努力奋斗，争取在较短的时间内，把我国稀土科研、生产、应用提高到一个新的阶段，达到一个新的水平，为社会主义革命和建设作出更大的贡献。

鉴于会议期间交流的技术资料份数有限，未能满足各单位的需要，特别是会后对稀土推广应用工作积极性很高，许多单位来函索取有关资料。根据上级指示，我们汇编了这套资料，按专业分为：稀土湿法冶金部分、稀土火法冶金部分、稀土在钢中应用部分，稀土在铸铁中应用部分、稀土在磁性材料等方面应用部分，共五个分册。

我们选编的原则是普及与提高相结合，所选资料内容基本未做修改。但因收藏的资料有限，可能有些资料未收集入内，望同志们谅解。

由于我们水平有限，时间短促，工作难免有缺点和错误，希望同志们批评指正。

（包钢冶金研究所资料汇编小组）

一九七五年十一月于包头

毛主席语录

一个粮食，一个钢铁，有了这两个东西就什么都好办了。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来赶上或超过世界先进水平。

独立自主，自力更生。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

目 录

用稀土元素控制硫化物形态提高钢板横向塑性的研究

.....北京钢铁学院 鞍山钢铁公司 (1)

利用电子探针微区域分析仪对稀土重轨钢的夹杂物分析

.....北京钢铁研究院电子探针组 (23)

纯铁中稀土夹杂物形态的研究.....沈阳金属研究所 (30)

金属铈在纯铁中的作用.....包钢冶金研究所 (56)

用示踪原子研究铁液中稀土去向及其与耐火材料的作用.....北京钢铁学院物化教研组 (69)

稀土元素对铁的内耗的影响.....宁夏大学 (84)

10MnPNbR普通低合金钢试制总结.....包钢冶金研究所 (90)

改善 16Mn 桥梁钢板断口质量工艺试验和试生产情况.....武钢炼钢厂、轧板厂、钢研所 (109)

稀土18—8Ti 不锈钢钢的研究和生产.....广州重型机器厂 (118)

一九六六年试制含稀土碳素重轨钢总结.....包钢中央试验室 (131)

1100°C $\text{Cr}_{17}\text{Ni}_7\text{Si}_4\text{R}$ / $\text{Cr}_{13}\text{Ni}_7\text{Si}_5\text{R}$ 炉底辊用耐热钢试验总结.....上海第三钢铁厂 扬州冶金建筑机械修造厂 上海材料研究所 (148)

稀土对弹簧钢疲劳性能的影响.....包钢冶金研究所 (157)

60Si₂Mn 弹簧钢中添加稀土元素的试验.....首都钢铁公司*包钢冶金研究所 (165)

农用硅锰稀土新轴承钢.....包钢冶金研究所 (175)

12NbPA1、14NbVA1、14NbVA1R耐海水腐蚀用钢试验小结.....包钢中央试验室 (190)

稀土元素在 65SiMnR 犁铧钢中的应用.....鞍钢钢铁研究所 (202)

稀土钢浇注结瘤试验研究报告.....上海第三钢铁厂 上海材料研究所 (205)

稀土钢粘水口及堵汤道问题阶段报告.....包钢冶金研究所 上钢三厂 (215)

稀土元素在Fe-22Cr-6Al-0.5Mo-0.1Zr 高温电热合金中的作用

.....西安钢厂金属材料研究所 包钢冶金研究所 (225)

利用放射性同位素 Ce^{141} 研究铈在纯铁中的扩散.....包钢冶金研究所 (233)

用稀土元素控制硫化物形态 提高钢板横向塑性的研究

北京钢铁学院 鞍山钢铁公司

提 要

试验在连轧16MnR钢中进行。在11.4吨的上注锭内加入不同量的混合稀土金属。研究了钢中残留的稀土和硫含量之比(R/S)与钢中夹杂物形态的变化,以及相应的拉伸、冲击、冷弯性能和汽车零件冲压结果之间的关系。分析讨论了夹杂物对韧性断裂过程的影响。

试验表明:沿轧向显著延伸的MnS夹杂,引起横向塑性和韧性大大降低,使性能呈现明显的方向性。加入稀土元素能显著脱硫,特别是能使细长条MnS变为粒状稀土硫化物,从而使横向塑性和韧性显著提高,方向性得以消除。

试验指出:钢中残留的(R/S)是一个重要参数,当它约为3时,细长条MnS全部变为粒状稀土硫化物:效果最佳。

一、试 验 目 的

连轧钢板横向塑性差,塑性和韧性显示明显的方向性,这是生产中带有普遍性的问题。随着连轧生产的产量和品种不断增加和扩大,问题更为突出。

我们的有关工作[1]以及国内外生产实践经验和试验研究工作初步表明;这种塑性和韧性的方向性,主要是由于钢中夹杂物,特别是硫化物(MnS)沿轧向显著延伸引起的。目前解决连轧低合金钢板的方向性,主要有以下二个根本途径:

(一)大幅度降低钢中的含硫量[2]。一般认为须使含硫量降低到0.01%以下,才能满足对横向塑性的要求。

(二)在目前通常平炉钢生产的含硫量(0.020—0.030)的水平上,加入少量R.E.、Ti、Zr、Ca等合金元素,取代MnS,形成更稳定、熔点更高、热加工时基本不变形的硫化物[3][4],从而显著地提高钢板的横向塑性。

近年来,英美关于用Zr和R提高钢板横向塑性方面的研究有所报导[4][5][6]。加Ti热处理的连轧低合金钢方面也有成功的实例。关于Ca的作用也有某些研究[4][7],但由于Ca在钢液中溶解度低,易挥发,效率较差。

稀土是我国的富有资源,加入钢中不仅能脱硫,而且能显著地改变硫化物夹杂的形态和

• 本文是在1972年冶金部和一机部联合组织,有鞍钢,北京钢铁学院和长春汽车厂参加的,关于连轧汽车大梁板试验的基础上,并参考16Mn桥梁钢板断口试验工作,通过进一步分析研究提出的。

分布。过去对16MnR钢曾有过某些研究[8][9][10],取得了初步成果,但在生产上不稳定。这次试验在16MnR钢中进行。试验目的在于:进一步确定在大生产条件下,用稀土控制硫化物形态,提高钢板横向塑性的良好效果;找出必须的稀土加入量及其在钢中残留量的范围;并在此基础上开展深入的研究工作,为稳定生产和推广稀土的应用提供依据。

二、试验过程

二炉试验钢在鞍钢250吨平炉上冶炼。出钢温度1620°—1630°C,炉内部分脱氧,炉外脱氧及合金料加入顺序为:Si-Mn铁→Al→稀土一号合金。一号合金(含稀土约20%)加入量为6kg/T。钢水镇静十分钟后注成11.4吨扁锭。罐内取样成分见表1,二罐钢中稀土残留量均较低。为了提高和变化钢中的稀土量,采用在上注锭内补加混合稀土金属的办法,稀土金属(含混合稀土≥98%)在浇注初期分批投入模内,约注锭1/2时加完。稀土加入量分别为0.45kg/T、0.9kg/T和1.8kg/T(3号、2号和6号锭)。二罐中各取一个锭内未补加稀土的下注锭(1号和4号锭)以进行对比试验。

试验锭开坯后切成头尾二段然后连轧成6mm板卷。各锭板卷取样成分见表2(表中A样相当于锭头部位,B样相当于锭中部位)。开卷后各项试验的取样方案和编号见图1。相应部位的成分见附表1。拉伸、冲击、宽冷弯及金相检验结果分别见附表2和3。钢板开卷后在长春汽车厂进行了车架零件的实冲。

表1 试验钢成分*

炉罐号	C	Si	Mn	P	S**	R	Ti
72 12572甲	0.14	0.53	1.38	0.015	0.021	0.006	0.001
72 11625乙	0.15	0.59	1.57	0.014	0.027	0.005	

* 罐内取样分析。

** 出钢时炉内取样S分别为0.028和0.030

表2 试验钢板卷取样成分

炉罐号	锭内稀土加入量* 公斤/吨	取样部位	化 学 成 分								稀土/硫 R/S	锭内脱硫**	
			C	Si	Mn	P	S	R	Ti	AlS		绝对值	脱S率 %
72 12572甲	0	A(锭头)	0.15	0.54	1.33	0.014	0.021	0.005	0.001	0.026	0.25	0	0
"	1.80	A(锭头)	0.14	0.51	1.33	0.014	0.010	0.044	0.001	0.037	4.40	0.011	52
"	1.80	B(锭中)	0.14	0.51	1.29	0.013	0.010	0.044	0.001	0.043	4.40	0.011	52
72 11625乙	0.90	A(锭头)	0.16	0.59	1.64	0.015	0.010	0.029		0.030	2.90	0.013	56.5
"	0.90	B(锭中)	0.15	0.59	1.63	0.015	0.012	0.039		0.030	3.20	0.011	48
"	0.45	A(锭头)	0.19	0.62	1.64	0.017	0.016	0.012		0.029	0.80	0.007	30
"	0.45	B(锭中)	0.16	0.60	1.65	0.015	0.016	0.021		0.028	1.30	0.007	30
"	0	A(锭头)	0.16	0.58	1.57	0.015	0.023	0.009		0.054	0.40	0	0
"	0	B(锭中)	0.16	0.58	1.57	0.013	0.023	0.010		0.027	0.40	0	0

* 钢锭重11.4吨。

** 与同罐参考锭对比。

在上述成分和性能检验的基础上,我们重点研究了稀土元素加入后钢中夹杂物形态的变

化规律，并与性能变化对比进行综合分析。对典型稀土夹杂物进行了电子探针分析。为了进一步探讨稀土的作用以及夹杂物性质和形态的变化对塑性和韧性影响的本质，注意观察了拉伸和冲击试样断口的形貌，并逐步开展了电子显微镜断口研究以及动态冲击示波的试验工作**。

表 3 锭内不同稀土加入量典型部位的夹杂物和组织特征

炉 罐 号	锭内 R 加入量 kg/T	部位	R/S	组 织			夹 杂 物 特 征
				晶粒度	带状	图号	
72 12572甲	0	A	0.25	8.7	2.5		以细长条状的MnS为主，出现少量纺锤状含稀土的硫化物（图2和3）。纺锤状硫化物中往往含有氧化物颗粒（图4）。
72 11625乙	0	A	0.4	8.9	2.0		
		B	0.4	8.9	3.0	16	
	0.45	A	0.8	8.9	3.0		A段中细长条硫化物比参考锭少，纺锤状硫化物增多（图5）。 B段中细长条硫化物显著减少，出现较多灰色纺锤形和不规则形状的含稀土夹杂物（图6和7）。
		B	1.3	9.8	3.0	17	
	0.9	A	2.9	8.9	3.0		细长条硫化物全部消失（图8和9）。试样中以小圆球状灰色稀土夹杂物（图10）和不规则形状的灰色稀土夹杂物（图11）为主。钢中还存有少量亮桔红色的稀土夹杂物与灰色夹杂相复合（图12）。尺寸较大的灰色夹杂中常复合有深灰相。不规则灰色夹杂物在轧制过程中碎裂，略成小串。
		B	3.2	9.8	3.0	18	
72 12572甲	1.8	A	4.4	8.7	4.0		细长条硫化物全部消失（图13和14）。试样中以紊乱外形的小点状亮桔红色的稀土夹杂物为主，并有一些灰相夹杂与之复合。出现了一些规则形状紫褐色的夹杂物（图15）。点状稀土夹杂物往往沿轧向排列成串。
		B	4.4	8.7	4.0	19	

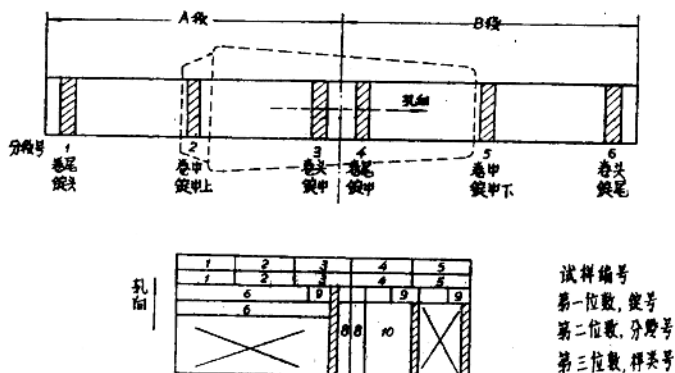


图 1 开卷取样方案及编号图

样类号：1—5—冷弯试样；6—纵向拉伸试样；8—纵向拉伸试样；9—金相试样；

10—纵向冲击试样

注：试样编号，第一位数—锭号；第二位数—分段号；第三位数—样类号。

** 电子探针和冲击示波的试验工作，分别得到钢铁研究院，矿冶研究院，交通部科学研究院金化所的大力支持和帮助。

三、稀土元素控制硫化物形态的效果

从表2含硫量的变化中显示了稀土的强烈脱硫作用。锭内加入0.45kg/T, 0.9kg/T和1.8kg/T稀土金属, 其脱硫率分别为30%, 52%和52%。

试验着重研究了钢中不同的稀土量和硫含量的比值(R/S)与硫化物形态变化的关系。结果见表3和图2—15。对应的金相组织情况也见表3和图16—19。

对灰色球状稀土夹杂用电子探针作了定量分析。结果为: Ce46.6%, La9.5%, Pr4.8%, Nd8.0%, S27.3% (对吸收校正后为29.2%), 夹杂中不含O、Mn、Fe。初步鉴定系 R_2S_3 型的稀土硫化物。其Ce和S的面分布图见图20。对不规则形状灰色稀土夹杂及亮桔红色稀土夹杂进行了半定量分析。结果都不含O、Mn、Ti、Fe只含有R和S。它们和球状夹杂的区别, 可能是各个稀土元素间的比例不同或含硫量不同。对应金相图12的桔红相和灰相复合稀土夹杂的Ce和S的面分布图见图21。

对典型的纵向和横向试样进行了定量金相统计。测定了单位面积上硫化物的数目(稀土硫化物数目 N_R , 细长条硫化物数 N_{MnS} 和总数 N)及硫化物的平均长度(稀土硫化物平均长度 l_R , 细长条硫化物平均长度 l_{MnS} 和总平均长度 l), 还计录了最长的硫化物尺寸 l_{max} 。结果列于表4。

表4 定量金相统计结果

样号	R/S	视场数*	总面积 mm ²	夹杂物总数 N 个/mm ²	MnS夹杂数目 N_{MnS} 个/mm ²	稀土夹杂数目 N_{RE} 个/mm ²	夹杂平均长度 l (mm)	MnS夹杂平均长度 l_{MnS} (mm)	R、Fe夹杂平均长度 l_{RE} (mm)	最长的MnS夹杂 (mm)	最长的稀土夹杂 (mm)	备 注
4A纵	0.4	33	6.93	51.6	44.9	6.7	0.0525	0.0575	0.0186	1.2	0.06	<0.005mm不计
4A横	0.4	50	2.27	388	356	32	0.0056	0.0056	0.0052	0.040	0.025	<0.0011mm不计
3A纵	0.8	32	6.76	68	31.4	36.6	0.0198	0.0325	0.0087	0.43	0.04	<0.005mm不计
2A纵	2.9	48	2.18	117	9	117	0.0040		0.0040		0.018	<0.0011mm不计
2A横	2.9	51	2.31	156	0	156	0.0039		0.0039		0.018	同上
6A纵	4.4	45	2.04	198	0	198	0.0037		0.0037		0.013	同上

注: *4A纵和3A纵在200倍下测量外, 其余均在450倍下测量。

试验结果表明: 随着钢中R/S不断增加, 细长条硫化物不断消失; 当 $R/S \approx 3$ 时, 细长条硫化物全部消失, MnS型的夹杂全部被分布较均匀的主要是 R_2S_3 型的稀土夹杂所代替, 与此同时硫化物沿轧向的平均长度急剧减小, 在纵向样上2A ($R/S=2.9$) 的平均长度约为4A ($R=0.4$) 的1/3, 最大长度约为1/68; R/S 更高的6A样 ($R/S=4.4$) 中稀土硫化物的尺寸略有减小, 但数目有所增加。试验所得的钢中稀土硫化物全部取代MnS时的 R/S 与 R_2S_3 分子式中的关系相当。

由于MnS在热加工时的塑性很好, 连轧后在空间呈细长片状排列, 因而方向性十分明显。在纵截面上呈细长条状(图3), 在横截面上则呈短线状(图22)。纵向的平均长度约为横向的10倍, 最大长度约为30倍。稀土硫化物的显著特点是熔点高, 轧制时基本不变形(图10), 有些则被轧成不规则的碎块(图11), 因而当钢中全部形成的是稀土硫化物以后, 硫化物形态的方向性也就随之消失。在2A ($R/S=2.9$) 试样中, 硫化物的平均尺寸仅比横向大4%。

四、夹杂物形态变化对钢板塑性和韧性的影响

试验测定了相应于钢锭和各板卷不同部位的纵横向拉伸、纵横向20°C和-40°C冲击以及横向宽冷弯性能。结果详见附表2和3。锭内不同稀土加入量的平均力学性能与相应的平均R/S的关系,整理在表5上。

表5 锭内不同稀土加入量的平均力学性能与相应的平均R/S的关系

炉罐号	锭内R 加入量 kg/T	平均 R/S	σ_s	σ_b	$\delta_s\%$	$\psi\%$	a_K 常温	$a_K - 40^\circ\text{C}$	普通冷弯 合格率 %		毛边冷弯合格率 %		
			kg/mm ² 横/纵	kg/mm ² 横/纵	纵/横	横/纵	kg·M/mm ² 横/纵	kg·M/mm ² 横/纵	d=a	d=0	d=2a 120°	d=a	d=0
72 11625乙	0	0.4	44.5/41	57/57	26/30	49.5/65.5	6.0/17.8	4.9/12.4	40	0	0	0	0
	0.45	1.4	43/40.5	57/56	26/29.5	57.5/65.5	9.9/18.8	7.6/14.3	100	97	53	6	0
	0.90	3.5	42.5/40	56/55.5	28.5/30	63/66	16.6/20	12.5/14.8	100	97	100	100	92
72 12572甲	1.8	4.6	37.5/35	50.5/51	29/32	64/67	16.0/18.5	12.9/15.2	97	94	100	72	65
	0	0.25	39/37.5	53/53	29/30.5	47/64			87	47	0	0	0

(一) 拉伸和冲击性能

试验结果表明R/S变化引起的夹杂物形态的变化,对屈服强度(σ_s)和抗张强度(σ_b)没有什么影响,对延伸率(δ)的影响也不明显。但对表征钢材断裂前所能承受的总变形量——断面收缩率(ψ)和冲击值(a_K)却有显著的影响。从图23、24和25上可以看到,随着钢中R/S的增加,夹杂物沿纵向平均尺寸不断减小的同时,钢板的横向塑性和韧性(ψ 、 $a_{20^\circ\text{C}}$ 和 $a_{-40^\circ\text{C}}$)急剧提高,而纵向性能无明显变化,塑性和韧性的方向显著减轻。当钢中R/S达到3左右,细长条MnS全部消失时,性能升高到最大值,性能的方向基本消除。R/S再增加,性能不再上升。这种变化规律,在国外试验室规模的试验中也有类似报导[4]。

图26给出的是典型试样的冲击示波曲线,它描述了冲击过程中试样的形变和断裂的发展过程。其纵座标为力的变化幅度,横座标为位移,曲线下的面积表示冲击破裂功的大小。从曲线的对比中,进一步显示了细长条MnS使冲击韧性呈现明显的方向性;当它被稀土硫化物取代以后冲击韧性大大提高,方向性基本消除。

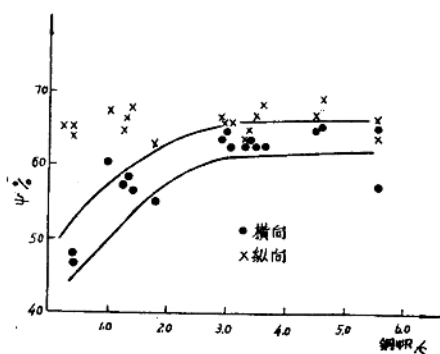


图23 钢中R/S对断面收缩率(ψ)的影响

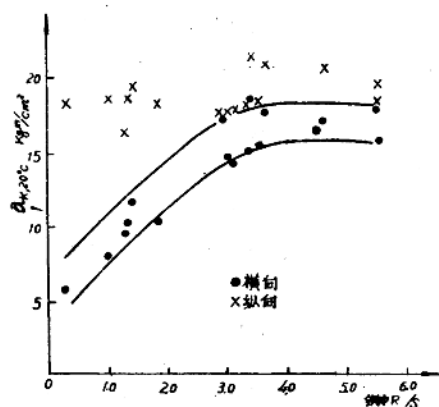


图24 钢中R/S对20°C冲击值的影响

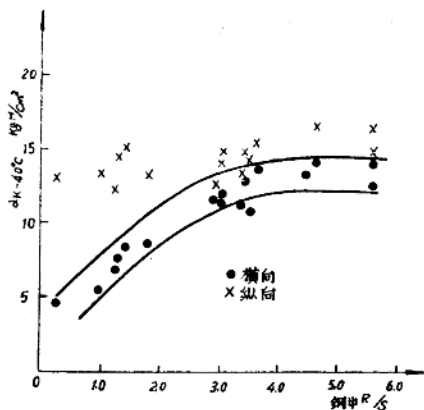


图 25 钢中 R/S 对 -40°C 冲击值的影响

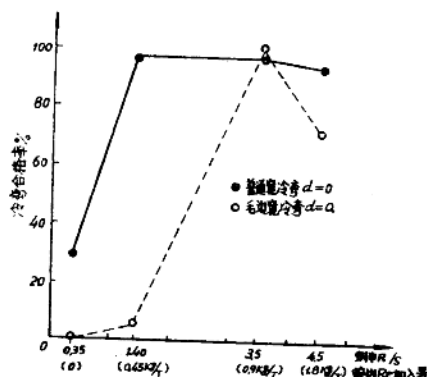


图 27 钢中 R/S 对宽冷弯性能的影响

(二) 宽冷弯和汽车零件实冲结果

普通宽冷弯 ($B=5a$) 和毛边宽冷弯* ($B=8a$) 性能随钢中 R/S 的变化示于图 27。典型的实物照片见图 28 和 29。结果表明, 在用稀土改变了夹杂物的形态后, 冷弯性能显著提高。细长条 MnS 对冷弯性能的有害影响, 反映在毛边宽冷弯上尤为突出。锭内未加稀土的钢板, 用弯心直径 $d=2a$ 未压到 180° , 边部毛刺裂纹就猛烈扩展, 甚至使试样裂为两半 (图 28)。锭内加 0.45kg/TR 的钢板, 硫化物形态部分改变, 普通宽冷弯性能大为提高 (可以通过 $d=0$), 但毛边宽冷弯性能仍很差, 这是因为毛刺裂纹仍能沿细长条 MnS 迅速发展的缘故。当锭内加入 0.9kg/TR 时 (钢板中平均 $R/S \approx 3.5$), 普通冷弯和毛边冷弯均达最佳值, 由于不存在细长条 MnS, 毛刺裂纹基本上不扩展, 仅略有张开 (图 29)。这表明 MnS 夹杂被稀土硫化物取代后, 能显著地提高钢板抗裂纹扩展的能力。在冷弯试验和实冲零件时, 往往可以看到处于受弯处的明显划伤或其它表面缺陷, 成型后并无明显扩展。

试验钢板试冲了汽车零件中承受横向弯曲的车架角撑梁、车架中横梁 (难冲件) 和少量汽车大梁**。结果列于表 6。试冲结果进一步显示了稀土元素控制硫化物形态, 从而大大提高横向冲压性能的良好效果。当钢中 R/S 约为 3 时效果最佳。R/S 超过 3 (锭内加入 1.8kg/TR) 的钢板, 毛边冷弯和汽车大梁试冲结果略逊的原因是这批钢板表面质量较差, 也可能与夹杂物数量过多有关, 有待进一步研究。

(三) 断口形貌

断口形貌反映了钢材断裂过程的特点。试验中, 在拉伸和冲击试样的断口上也显示出夹杂物形态变化的显著影响。图 30 是锭内不同稀土加入量、相应于钢锭头中尾部位的纵横向 20°C 和 -40°C 的典型冲击断口。不同 R/S 的试样, 其纵向断口形貌基本一致, 试样断面收缩

* 宽冷弯性能是钢板冷加工成型的重要塑性指标。实际生产中, 另件均带剪切毛边冲压成型, 毛边处不仅严重加工硬化, 且带有许多毛刺裂纹, 生产中常在毛边处开裂。为了模拟生产实际情况, 设计了 $B=8a$ (B —宽度, a —板厚) 的毛边宽冷弯试样, 试验时毛边处于拉力面上。

** 不加稀土的连轧 16Mn 钢板不能满足车架零件横向冲压的要求。65 年试冲大梁 54 件, 成品率仅为 11%。中横梁是有代表性的难冲件, 汽车厂认为, 只要能通过它的考验, 就能满足汽车大梁等零件的要求。

和切变唇边区均很显著，它们之间的差异主要反映在横向试样上。锭内不加稀土试样的横向断口与纵向有显著的区别，断面收缩和切变区小，并呈现明显的层状结构。这种层状结构在相应于钢锭头部比尾部更为严重，甚至出现沿硫化物条带状集中区撕开而产生的裂口。在-40°C的试样上，横向试样断口结晶度较少，但尾部明显增加。在钢锭不同部位上断口形貌上的这种差异，在16Mn桥板断口试验中已经注意到了[1]，它是由于硫化物在钢锭上部偏析所造成的。加入0.45kg/TR的钢板，仍具有上述特点，但层状结构减轻，沿钢锭头尾的差异减小。但钢中R/S达到或超过3以后，层状结构完全消失，纵横向试样以及相应于钢锭不同部位的断口特征和结晶度的差异也随之消失。拉伸试样断口的宏观形貌如图31所示，它与冲击试样的断口形貌有相似的变化规律。

表 6 汽车零件试冲结果

冲压零件	锭内R加入量 kg/T	平均 R/S	正常冲压 (毛边朝里)					加 严 试 验 (毛边朝外)					
			冲压 总数	正品	小型	大型	正品率 %	冲压 总数	完好	毛边麻 纹型	小型	大型	正品率 %
车 架 角撑梁	0	0.4	211	192	0	19	91	28	0	2	17	9	7
	0.45 (A段)	1.3	141	139	2	0	98.5	100	15	54	31	0	69
	0.90 (A段)	3.4	10	10	0	0	100	220	217	3	0	0	100
车 架 中横梁	0.45 (B段)	1.5	15	15	0	0	100	90	14	51	20	5	72
	0.9 (B段)	3.6	47	47	0	0	100	109	98	9	1	1	98
大 梁	1.8 (A段)	5.3	共11件，5件完好，2件因表面划伤而微裂，4件因表面缺陷而微裂，										

五、讨 论

试验结果显示了夹杂物的形态对钢板塑性和韧性的显著作用。这种作用通过它对韧性断裂过程的影响而产生的。关于金属韧性断裂过程的许多研究工作已经揭示了夹杂性的重要作用[11][12][13]。一般认为，在含有夹杂物的工业材料中，韧性断裂过程是这样发生和发展的：首先由于金属的范性形变，在最严重的变形区域内脆性的夹杂物裂开或夹杂物与金属界面发生分离，在其周围逐渐形成显微孔洞，这些孔洞随着形变过程不断长大、联接，最后形成大的裂纹而导致材料的最终破断。在碳素钢形变和断裂过程的研究中[14][15]，对硫化物夹杂的影响曾有所涉及。我们在对16Mn桥板断口的试验工作中，集中注意和研究了条带状硫化物的作用[1]。试验结果表明，条带状集中分布的硫化物是产生断口“撕裂”现象的原因。图32所示是断口上“撕裂”裂口的前端，尚待连接的显微孔洞产生在浅灰色的硫化物周围，断口撕裂就是沿着条带状的硫化物，通过显微空洞的发展连接而向钢材内部扩展的。在有断口撕裂的16Mn桥梁钢板的拉伸断口上，呈现明显的与轧向平行的层状结构。截取断口的横截面进行金相观察，在图33中可以清楚地看到层状断口上的高低起伏，对应着围绕条带状硫化物所产生的显微空洞串。这些显微空洞与硫化物的形态相应，在与断口平行（轧向）的截面上比较长。正是由于这些显微空洞的发展过程而导致材料的最终破断，因而在断口上呈现出层状结构。在图34中可以更清楚地看到显微空洞与硫化物夹杂的关系，由于拉伸试样缩颈区内的集中变形，硫化物碎裂以及硫化物与基体界面的分离，在其周围产生了显微空洞。在16Mn桥梁钢板的试验中，我们与鞍钢、武钢共同协作，采用了以少量稀土一号合金和硅钙合金代替铝进行终脱氧的二种不同方案，在钢中获得了含氧、塑性较差、分散

分布的第Ⅰ类硫化物，在改善断口质量，消除撕裂现象的同时，横向塑性和韧性(ψ 和 a_K)也获得明显的提高。

在这次试验中，我们除了观察拉伸和冲击试样的宏观断口特征外，还用电子显微镜观察了常温冲击试样的断口。锭内未加稀土的层状断口试样，其显著特征是在电子显微镜的断口复型上存有大量裂开的硫化物薄片，经电子衍射鉴定为 MnS ，如图35所示，这种片状 MnS 很容易被复型直接粘下来，在这些片状物的周围存在一个相当大的平坦区域。这些特征进一步说明 MnS 与基体的结合很差，在变形过程中易碎裂，并与母体脱开，显微空洞便在其周围发生和发展起来，看来试样的最终破裂，主要是通过这些显微空洞的连接而造成的。锭内加入0.9kg/TR的试样，细长条状硫化物完全消失，在电子显微镜的断口复型上也未发现这种薄片状的硫化物，如图36所示，在断口上出现的是颗粒状夹杂物，并呈现典型的泪珠状结构，与宏观断口特征相一致。

所有上述结果，充分说明了硫化物夹杂在低碳钢板韧性断裂过程中所扮演的重要作用。这也就是细长条硫化物的危害以及用稀土控制硫化物形态，提高钢板横向塑性和韧性的原因所在。

钢中的硫化物夹杂主要对断裂过程发生作用。而且在拉断试样缩颈区的金相截面上可以看到，硫化物周围产生的显微空洞主要出现在断口附近，表明它们是在材料出现缩颈，发生严重的集中变形以后显著地发生和发展起来的。这样就不难理解，在夹杂物形态变化的同时，与断裂过程密切连系的一系列性能指标(ψ 、 a_K 和冷弯)有显著的变化，然而强度指标(σ_s 和 σ_b)却没有什麼变化，对表征材料均匀变形能力的指标(δ)影响也不显著。

钢中的珠光体，也会在严重的变形区域内，或者由于本身的裂开，或者在其附近产生微裂纹而成为显微空洞的发源地，对韧性断裂过程造成影响[12][15][16]。但是与硫化物相比，由于硫化物与基体性能的显著差异，与基体界面结合差以及性脆等原因，因而在含有一定量的硫化物的低碳钢中，硫化物对韧性断裂过程不能不起主要的危害作用。诚然，当钢中含硫量明显地降低，硫化物的作用显著地削弱以后，珠光体的作用将会逐渐显示出来[2]。在低碳钢板中的珠光体和铁素体的带状组织是由于钢中S、P、Mn等元素的偏析，在一定的加热和冷却条件下出现的[17]。在这次试验中可以看到，在锭内不同稀土加入量的钢板中，都存在有明显的带状组织(详见附表2和图16—19)，而且锭内加入0.9kg/T和1.8kg/TR的钢板带状组织更严重，有的部位甚至达到4级以上，但是钢板的横向塑性却随夹杂物形态的变化而显著地提高。这充分说明，钢板塑性和韧性的方向性主要是由于钢中硫化物夹杂所引起的，它与珠光体的带状组织没有明显的连系。

试验充分显示了稀土在提高钢板横向塑性和韧性方面的良好作用；找到了改变硫化物形态，提高钢板性能与钢中R/S之间的关系。只要在生产上采取相应措施，把稀土加进去，使钢板中的R/S达到一定的水平，就能获得良好的效果。

在过去16MnR钢的生产和试验过程中曾出现过水口结瘤等工艺问题[18]。试验中由于采取了一定措施，浇注过程未出现问题。但曾在罐内加稀土的钢坯表面出现过纵向裂纹，但低倍组织却十分致密(图37)，未见任何宏观夹杂物的聚集及其他缺陷。板坯裂纹的特征也与国外曾经报导的由于热脆性所造成的横向角裂[19]不同。看来注温高，注速过快，可能是产生这种缺陷的重要原因，有待进一步试验研究。这罐钢6mm板卷的金相试样上，在钢板表面有网纹出现，并有如图38所示的夹杂物。电子探针分析结果，这种夹杂物中不含R、E和

S, 系FeO夹杂。这些表面缺陷看来是由于板坯表面清理过深以及板坯裂纹未清理干净所造成的。为了保证稀土钢的稳定生产, 这类工艺上可能出现的问题, 是值得注意和解决的。

六、结 论

(一) 在钢材的韧性断裂过程中夹杂物起着显微空洞发源地的重要作用。试验证明, 沿轧制方向显著延伸的硫化物是造成16Mn类型普通低合金钢板横向塑性降低, 塑性和韧性明显方向性的主要原因。

(二) 稀土元素加入普通低合金钢中, 能显著地脱硫, 特别是能够有效地控制硫化物的形态, 从而消除钢板塑性和韧性的方向性, 使横向性能获得显著提高。试验表明, 在经过充分脱氧的镇静钢中, 钢中残留的稀土和硫含量的比值(R/S)是一个重要的参数。在平炉钢通常含硫量的水平下, 钢中的R/S达到3左右, 细长条硫化物完全消失时, 效果最佳。

(三) 在生产中采取措施把稀土加进去, 使钢中的R/S达到一定的水平, 并在工艺上防止浇注和板坯表面质量方面可能出现的问题, 是生产和推广稀土应用中值得注意的问题。同时也应进一步对稀土作用以及夹杂物对钢材断裂过程的影响, 进行深入研究。

参 考 文 献

- (1) 关于16Mn“钢板断口问题的资料汇编”, 1973, (待出版)。
- (2) A.G.Franklin, et al., JISI, 202(1964), 7, 588—592。
- (3) C.E.Sims, AIME, Trans., 215(1959), 6, 367—393。
- (4) L.Luyckx, et al., Met. Trans., 1(1970), 12, 3341—3350。
- (5) A.Broconrigg, F.M.Chambers, JISI, 208(1970), 12, 1078—1082。
- (6) J.L.Mihelich, et al., JISI, 209(1971), 6, 469—475。
- (7) 白岩俊男, 藤野允克, 铁と钢, 57(1971), 13, 1990—2009。
- (8) 鞍山钢铁公司, “稀土元素对16锰钢性能的影响”, 1965, 12。
- (9) 鞍钢钢研所, 沈阳金属所, “稀土16Mn钢锭解剖和机械性能对比试验阶段总结”, 1966, 10, 6。
- (10) 中国科学院地球化学研究所, “稀土16Mn钢夹杂物鉴定的几点补充工作”, 1969, 10, 1。
- (11) H.C.Regers, AIME, Trans., 218(1960), 498。
- (12) J.Gurland, J.Plateau, ASM, Trans., 56(1963), 3, 442—454。
- (13) H.W.Hayden, S.Floreen, Acta Met., 17(1969), 3, 212—224。
- (14) T.Gladman, et al., JISI, 208(1970), 2, 172—188。
- (15) L.E.Miller, G.C.Smith, JISI, 208(1970), 11, 998—1005。
- (16) K.W.Burn, F.B.Pickering, JISI, 202(1964), 11, 899—906。
- (17) E.T.Turkdogan, R.A.Granger, JISI, 208(1970), 5, 482—492。
- (18) 鞍钢钢铁研究所, 稀土应用论文汇编(钢种部分), 冶金工业部钢铁司, 1965, 40—51。
- (19) J.V.Russell, J.Met., 6(1954), 3, 438—442。

一九七三年五月

附表 1 钢锭各部位取样成分(S,R,R/S)

锭 号	分段号	板 卷 边 部 (边)			板卷横向 1/4 处 (中)			板卷横向 1/2 处 (心)		
		S	R	R/S	S	R	R/S	S	R	R/S
3 号锭内 0.45kg/TR	31	0.017	0.021	1.2	0.015	0.015	1.0	0.016	0.016	1.0
	32	0.016	0.025	1.6	0.016	0.019	1.2	0.016	0.020	1.3
	33	0.017	0.025	1.5	0.017	0.021	1.2	0.016	0.023	1.4
	35	0.017	0.027	1.6	0.017	0.029	1.7	0.017	0.033	1.9
	36	0.017	0.026	1.5	0.017	0.024	1.4	0.017	0.023	1.4
2 号锭内 0.90kg/TR	21	0.010	0.037	3.7	0.009	0.025	2.8	0.008	0.024	3.0
	22	0.009	0.039	4.3	0.010	0.034	3.4	0.010	0.033	3.3
	23	0.012	0.038	3.2	0.012	0.032	3.2	0.011	0.040	3.6
	25	0.010	0.036	3.6	0.011	0.040	3.6	0.017	0.058	3.4
	26	0.012	0.046	3.8	0.011	0.037	3.4	0.010	0.038	3.8
6 号锭内 1.8kg/TR	61	0.009	0.042	4.7	0.007	0.042	6.0	0.007	0.036	5.1
	62	0.009	0.058	6.4	0.009	0.051	5.7	0.008	0.043	5.4
	63	0.009	0.050	5.4	0.010	0.042	4.2	0.010	0.047	4.7
	64	0.010	0.043	4.3	0.011	0.052	4.7	0.010	0.045	4.5
	65	0.010	0.042	4.2	0.015	0.041	2.7	0.015	0.050	3.3
	66	0.010	0.051	5.1	0.013	0.041	3.2	0.015	0.044	2.9

各锭其它成分变化范围 (C,Si,Mn,P)

锭 号	C	Si	Mn	P
1 号0kg/TR	0.16~0.17	0.51~0.55	1.34~1.39	0.013~0.015
3 号0.45kg/TR	0.14~0.19	0.56~0.59	1.53~1.60	0.015~0.017
2 号0.90kg/TR	0.14~0.17	0.56~0.59	1.52~1.59	0.015~0.016
6 号1.80kg/TR	0.13~0.15	0.49~0.51	1.27~1.33	0.013~0.014

附表 2 试验钢各部位纵, 横向拉力, 冲击, 及金相检验结果

锭 号	分 段 号	σ_s kg/mm ² 横/纵	σ_b kg/mm ² 横/纵	$\delta_s\%$ 横/纵	$\psi\%$ 横/纵	a_k (常温) 横/纵	a_k (-40℃) 横/纵	带状 级别	晶 粒 度
1号锭内 0kg/TR	11	41.5/40.0	54.7/55.0	27.3/30.3	43.7/65.5	5.8/18.3	4.9/13.1	2	10
	13	37.3/36.3	51.3/51.7	29.5/32.3	46.3/65.5	6.7/18.2	5.2/11.8	2	9
	16	38.5/36.5	52.5/52.0	29.5/30.0	52.5/62.0	6.8/16.6	4.6/12.5	2.5	10
3号锭内 0.45kg/TR	31	47.5/44.3	60.5/60.3	24.0/29.0	60.5/67.5	8.0/18.5	5.5/13.5	2.5	10
	32	39.0/36.7	54.7/54.0	28.7/30.5	57.0/64.7	9.5/16.2	6.9/12.4	5	8
	33	47.5/39.3	59.7/55.7	23.3/27.5	58.0/66.5	10.2/18.8	7.8/14.5	3.5	9
	34	43.2/43.0	57.0/57.5	25.5/30.3	57.5/68.7	9.5/20.8	8.6/16.1	3.0	10
	35	40.0/37.3	53.5/53.3	26.3/31.3	55.0/62.7	10.3/18.2	8.7/13.4	4.5	8
	36	42.3/42.3	55.3/56.5	27.5/28.7	56.5/68.0	11.7/19.5	8.3/15.1	4.0	8
2号锭内 0.90kg/TR	21	47.0/45.7	59.7/60.0	28.0/27.7	63.5/66.3	17.2/17.2	11.7/12.7	3.0	8
	22	38.3/36.5	53.3/53.0	31.5/32.3	63.0/63.5	15.1/18.1	11.2/13.2	5.0	8
	23	52.0/41.3	62.0/56.0	21.5/27.0	63.5/64.7	18.7/22.4	13.1/14.8	2.0	10
	24	43.3/42.0	57.0/57.7	26.0/30.5	64.3/68.7	17.6/22.2	14.1/17.0	3.0	8
	25	39.5/36.7	53.0/52.7	29.3/32.0	62.3/66.5	15.4/18.6	10.9/15.4	4.5	8
	26	40.0/38.5	54.3/54.3	29.5/31.7	62.5/68.3	17.7/20.9	13.8/15.5	4.5	8
6号锭内 1.80kg/TR	61	37.3/35.0	52.7/52.3	30.3/31.5	65.0/65.3	17.8/19.6	14.2/16.4	3.5	10
	62	35.3/34.0	48.7/49.0	34.3/33.7	57.0/64.3	15.4/18.2	12.3/14.6	4.0	8
	63	39.3/37.3	52.5/52.0	26.3/31.5	65.0/66.5	16.4/	13.3/	2.5	10
	64	41.3/36.7	52.3/51.7	29.5/31.0	65.3/69.3	17.0/20.4	14.2/16.5	3.0	10
	65	36.3/33.0	48.3/48.5	32.0/32.5	64.5/65.0	14.7/17.3	11.3/14.0	4.5	8
	68	35.5/33.5	48.7/49.0	25.3/34.3	62.5/65.5	14.5/17.4	12.1/14.8	4.5	8
4号锭内 0kg/TR	41	45.7/45.0	58.5/58.7	24.3/29.3	48.0/65.0			2.5	10
	44	45.7/43.7	57.5/56.0	26.7/30.3	47.3/64.5			3.0	8
	46	42.5/38.5	55.3/54.3	27.7/30.3	53.7/64.5			3.5	8

附表3 试验钢各部位冷弯性能

锭号	分段号	普通冷弯 B=35						毛边冷弯 B=8a					
		d=2a			d=0			d=2a (120°)			d=a		
		好	裂	断	好	裂	断	好	微	裂	好	微	裂
1号锭内 0kg/TR	11	5/5	0	0	3/5	1/5	3/5	0	0	5/5			
	13	5/5	0	0	5/5	0	0	0	0	5/5			
	16	5/5	0	0	5/5	0	0	0	0	5/5			
	16	5/5	0	0	5/5	0	0	0	0	5/5			
3号锭内 0.45kg/TR	31				5/5	0	0	0	2/5	1/5	2/5	0	5/5
	32				5/5	0	0	1/5	3/5	1/5	0	0	5/5
	33				5/5	0	0	4/5	1/5	0	0	0	5/5
	34				5/5	0	0	5/5	0	0	1/5	4/5	0
2号锭内 0.90kg/TR	21				5/5	0	0	5/5	0	0	2/5	1/5	2/5
	22				5/5	0	0	5/5	0	0	5/5	0	5/5
	23				5/5	0	0	4/5	1/5	0	0	0	5/5
	24				5/5	0	0	5/5	0	0	1/5	4/5	0
6号锭内 1.80kg/TR	61	5/5	0	0	5/5	0	0	5/5	0	0	5/5	0	5/5
	62	5/5	0	0	5/5	0	0	5/5	0	0	5/5	0	5/5
	63	5/5	0	0	5/5	0	0	5/5	0	0	5/5	0	5/5
	64	5/5	0	0	5/5	0	0	5/5	0	0	5/5	0	5/5
4号锭内 0kg/TR	41				1/5	3/5	0	0	5/5	0	0	5/5	0
	44				1/5	3/5	1/5	0	0	5/5	0	0	5/5
	46				4/5	1/5	0	0	3/5	2/5			
	46				4/5	1/5	0	0	3/5	2/5			

毛边冷弯评级：毛边裂口<2mm为好，≤5mm为微，>5mm为裂，>10mm为断。
表内各数斜划下面为试验样数，斜划上面为相应于该种情况样数。