

石油化工设备设计参考资料

普通低合金高强度钢高温强度试验研究总结报告

—机部机械研究院机电研究所等编

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

## 毛主席语录

### 要认真总结经验

#### 普通低合金高强度钢高温强度试验研究总结报告

普通低合金高强度钢，是根据毛主席独立自主，自力更生的指示，立足于国内富有资源发展起来的新钢种，与一般碳素钢相比，可以节约大量钢材，提高产品质量，减轻重量，甚至可以部分的代替镍铬钢而且可以简化制造工艺。目前普低钢在我国已得到迅速发展，但由于该钢种问世不久，尚缺少高温强度数据，从而影响它的设计使用。

根据1968年兰州会议协调任务，以及一机部、冶金部，两部联合发文〔（68）一机军三联140号文；（69）一机军技联字1195号文；（69）冶军生钢字第1334号文。〕所下达的任务：要求做出几种普低钢高温机械性能指标，作为设计计算基础。我们遵照毛主席的教导：“打破洋框框，走自己工业发展道路。”大搞群众运动，组织了二十一个协作单位（包括一机部、冶金部、化工部、石油部四个部属单位及工厂）进行此项工作。并于1969年及1971年两次在上海召开座谈会。会上学习毛主席著作和党的基本路线，提高了路线觉悟。同时在会上制订出工作计划，协调了任务，并对各个单位试验结果进行了审核。通过几年的工作，得出下述两项成果。

一 制订了高温拉力试验方法标准草案。（见技术文件之二）。

过去由于各单位试验方法不统一，引起了试验结果的不一致，经两次会议，基本上统一了试验方法。于第二次上海会议通过了高温拉力试验方法标准草案，并已报有关部门审批。

二 制订了五种钢材高温强度设计使用数值。（见技术文件之一）

几年来，我们进行了五种钢材的高温机械性能试验。包括16Mn，15MnV，18MnMoNb，12Cr<sub>2</sub>MoAlV，40MnVB。通过大量的试验，

制订出高温抗拉强度及屈服强度的设计取值。其中前三种钢材，数据充足，试验可靠，现已编入石油化工设计规范，开始试用。40MnVB及12Cr<sub>2</sub>MoAlV为新增钢种，数据尚少，为慎重起见，仅作参考性使用。

上述所取成果，主要是由于上级领导的关怀和支持，各协作兄弟单位的团结一致，按照毛主席群众办科研的教导，通过批林整风提高了路线觉悟的结果。但是由于我们初次进行这类工作，缺少经验，错误和缺点在所难免，希望各级领导同志们，提出批评指正。

一机部机械研究院机电研究所

1974年4月

附技术文件之一

# 普通低合金高强度钢高温强度试验研究

(技术文件之一)

## 普通低合金高强度钢高温强度的研究

普低钢是根据我国自然资源情况，独立自主，自力更生发展的新钢种。目前已广泛应用于锅炉、化工、石油容器及其他构件中。该系钢种虽然试制使用过程中已进行了一定数量的检验，但该钢种多数是用于高温下(600°C)以下长期工作，所以高温性能是一个重要指标。由于该钢种问世不久，高温机械性能数据甚少，从而影响到设计使用。针对此种情况我们组织有关单位，选择了几组钢种(16Mn、15MnV、18MnMoNb以及结构钢40MnVB等)进行了高温机械性能的测试研究工作。其目的在于测出可靠的高温机械性能数据，特别是设计计算的主要指标屈服强度 $\sigma_s(0.2)$ 是本试验的主要内容。同时探索该系钢种在温升过程中强度的起伏，上下波动范围的趋势。找出相应温度区间 $\sigma_s(0.2)$ 、 $\sigma_b$ 之最低值，作为产品设计可靠依据。

在试验过程中考虑到钢材大量生产的复杂性。采用多炉号不同生产厂的钢材，以求取得可靠的统计性的结果。为了消除各单位试验方法系统误差，采取群众做实验的方法，即由几个单位分别试验同种钢材同时又补充相当数量的日常检验积累数据，得出了五种钢材的统计性试验结果。并提出了16Mn、15MnV、18MnMoNb及40MnVB的设计取值。

### 一 原始条件

1. 五种钢材的化学成份及机械性能见附件1

2. 样品：由于板厚不同，样品型式有以下几种：

(1) 16mm板，用原轧制面，板状试样。

(2) 10mm以上板材加工成圆形试样，有 $\phi 6$ 、 $\phi 8$ 及 $\phi 10$ mm三种。

(3) 试件的处理条件分别见各节。

3. 试验设备及方法：常温按GB-228，高温按高温拉力试验标准草案规定。

### 二 试验结果与分析

1. 关于16Mn钢

(1) 第一组试验，材料为16mm，板厚16mm，试验状态为原轧

制状态及正火状态，高温机械性能结果如图1所示：

① 轧态有极其明显的兰脆区， $\sigma_b$ 有明显的马鞍形高峰，室温 $\sigma_b$ 为 $58\text{Kg/mm}^2$ （取低值）， $100^\circ\text{C}$ 降到 $54\text{Kg/mm}^2$ 到 $250^\circ\text{C}$ 时强度达峰值 $63.5\text{Kg/mm}^2$ ，超过室温强度达 $5.5\text{Kg/mm}^2$ 。此后随温度的上升而很快的下降，到 $500^\circ\text{C}$ 降至 $39\text{Kg/mm}^2$ 。

② 经正火后兰脆倾向减弱，特别是波峰下降显著，而且兰脆区稍有后移。从延伸率 $\delta\%$ 及断面收缩率 $\psi\%$ 看来当 $\sigma_b$ 升高时塑性相应下降。轧态断面收缩率由室温的 $56\%$ 至 $250^\circ\text{C}$ 而下降至 $41\%$ ，相差达 $15\%$ ， $\delta_5$ 由 $27.5\%$ 降至 $17.5\%$ ，相差 $10\%$ 。此后随温度升高塑性均再升高，与强度的降低相一致。正火后，由于组织改善，晶粒细化 $\delta$ 及 $\psi$ 在兰脆区的下降趋势减弱，绝对值提高。从塑性指标观察，正火后兰脆区后移不明显。

关于屈服强度 $\sigma_s(0.2)$ 从试验结果看来，并不显示兰脆倾向，而是从室温随温度升高较均匀的下降。 $300^\circ\text{C}$ 以前近线性下降。（粗略估计计算下降率 $0.019\sim 0.024\text{Kg/mm}^2/^\circ\text{C}$ 或 $1.9\sim 2.4\text{Kg/mm}^2/100^\circ\text{C}$ 。经正火后室温强度略有升高（ $3\sim 4\text{Kg/mm}^2$ ），但随温度升高而下降较快。在 $250\sim 300^\circ\text{C}$ 兰脆区两线相交，但超过兰脆区正火，回火，强度低于轧态，正火后组织改善晶粒细化，室温强度提高。但晶粒细化对高温抗滑移能力减弱，蠕变性能下降。至于随温度下降趋势相对应值见表1。按轧态及正火后均取综合最低值。

(2) 第二组试验，材料为16Mn，板厚24mm，试验状态为原轧制状态及正火状态两种，试验结果如图2所示。从图中可以看出：随温度升高，两种状态的强度和塑性起伏趋向是一致的。（轧态室温断面收缩率 $\psi\%$ 低，疑有计算误差），轧态延伸率 $\psi\%$ 由 $100^\circ\text{C}$ 的 $71.5$ 至 $250^\circ\text{C}$ ，猛降到 $52.5\%$ ，差 $19.0\%$ 之多，可能由于板的厚度增加，兰脆倾向明显所致。

为了更符合实际生产情况，再分析一下由五个单位所做24mm板综合统计结果，如图3所示。从图中可以看出统计性结果与单组试验结果，其强度和塑性起伏趋向是完全一致的。在 $250\sim 300^\circ\text{C}$ 兰脆区，与16mm板变化也相一致。

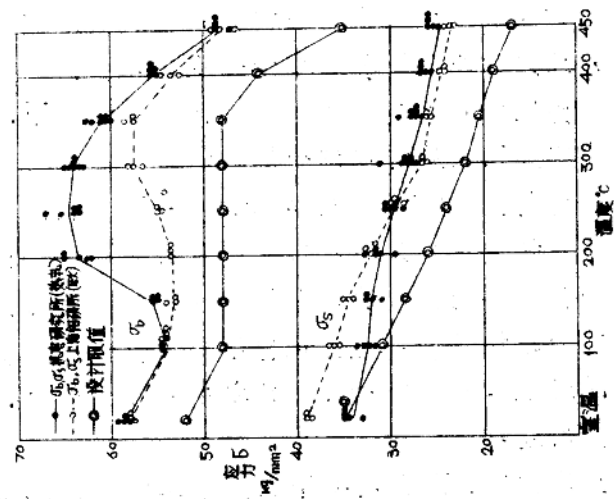


图 1a 16Mn 高温机械性能 (16mm板)

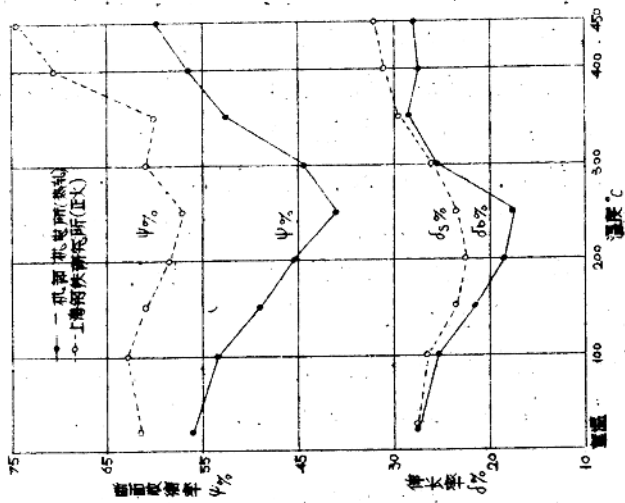


图 1b 16Mn 高温机械性能 (16mm板)

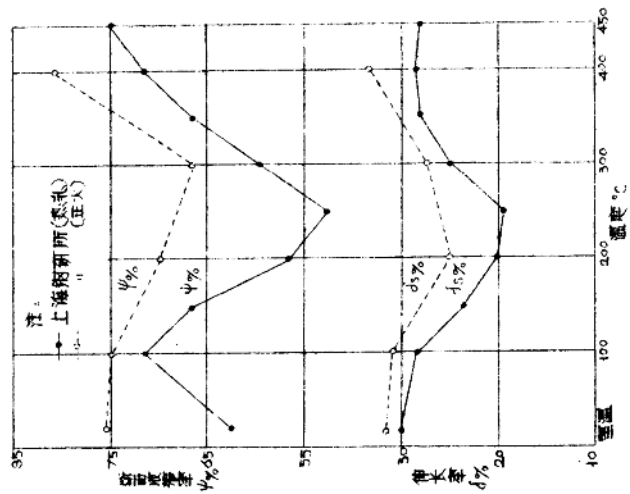


图 2a. 16Mn 高温机械性能 (24mm板)

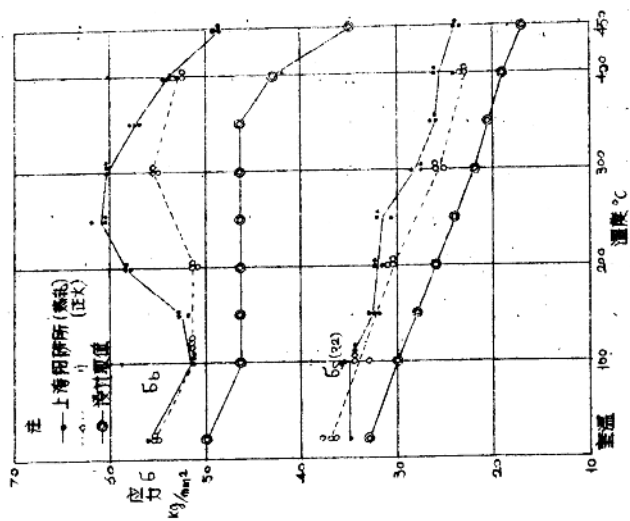


图 2b. 16Mn 高温机械性能 (24mm板)



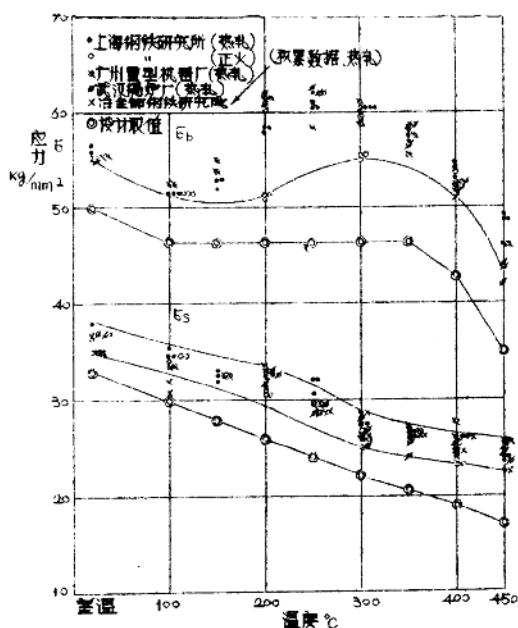


图3 16Mn 高温机械性能 (24mm板)

(3) 第三组试验，材料为16Mn板厚6mm，试样为板状试样，板面不加工。试验结果如图4所示，(统计性结果)结果表明：

- ① 薄板强度均普遍偏高。
- ② 由于是原板取样，数据分散性较大。

(4) 第四组试验，材料为16Mn，板厚40mm，试验结果表明，数据分散性增大，这是由于材料的不均匀性增大，轧制时喷水冷却条件不一致等原因造成。虽然单组的试验值与薄板的趋向尚一致，如图5所示，但综合性的试验结果分散性很大(见附件第25~33页图略)。

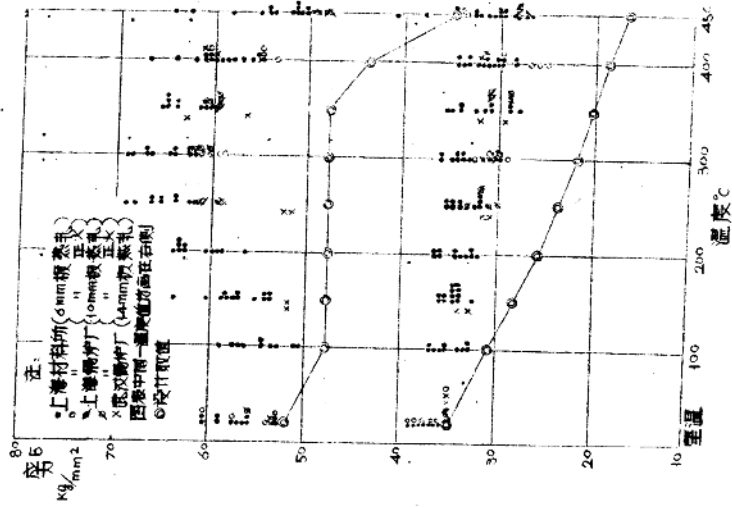


图4 16Mn 高温机械性能 (6mm-14mm板)

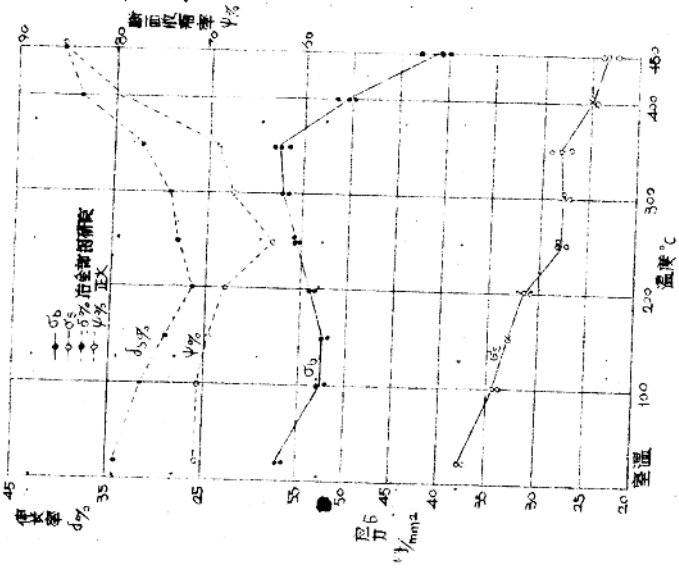


图5 16Mn 钢高温机械性能 (40mm板)

根据上述试验结果，按统计性得出16Mn钢几种板厚高温屈服强度梯度(取综合下限值)如表1。

材料	板厚	屈服强度 $\sigma_s$ 及相邻温度之差值 $Kg/mm^2$										
		室温	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
16 Mn	16mm	35.0	31.5	30.5	29.5	28.5	26.0	25.5	24.0	23.0	21.0	
	(单组)	差值	3.5	1.0	1.0	1.0	2.5	0.5	1.5	1.0	2.0	
16 Mn	24mm	35.0	33.0	31.5	30.5	27.5	25.0	24.0	23.0	22.0	20.5	
	(单组)	差值	2.0	1.5	1.0	3.0	2.5	1.0	1.0	1.0	1.5	
16 Mn	24mm	35.0	33.0	31.5	30.5	27.5	25.0	24.0	23.0	22.0	20.0	
	(多组)	差值	2.0	1.5	1.0	3.0	2.5	1.0	1.0	1.0	2.0	
16 Mn	6 mm	35.0	33.0	32.5	32.0	31.0	29.0	28.0	25.0	24.0		
	(多组)		2.0	0.5	0.5	1.0	2.0	1.0	3.0	1.0		

## 2 关于15MnV

15MnV单组试验结果如图6，积累统计数据如图7，其趋势与16Mn大体相似，但其特点是正火加回火状态比轧态强度有所下降，室温 $\sigma_S$ 与轧态接近，而高温 $\sigma_S$ 亦因晶粒细化而下降较快。仅从强度观察，此钢正火状态不如轧态数值高。

## 3. 关于18MnMoNb(见图8；图9)。

18MnMoNb随温度升高，强度起伏总的曲线趋势与16Mn基本一致。但也有其特点：

- (1) 强度均高于16Mn。随温度升高强度下降趋势较平缓。
- (2) 由于试样是厚板(115mm)加工而成的小试样及热处理等影响，数据有一定的分散。
- (3) 兰脆区屈服强度也有上升之势，但在设计取值时不取高值而取低值。
- (4) 设计取值见表(3)，此值系样品试验结果不代表实物强度。

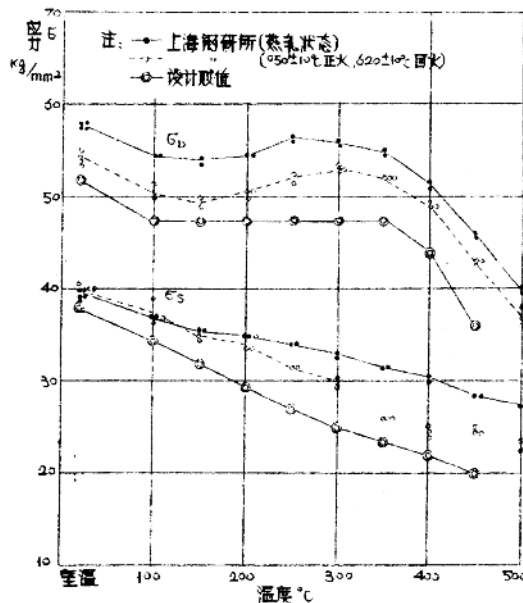


图6 a 15MnV 高温机械性能(20mm板)

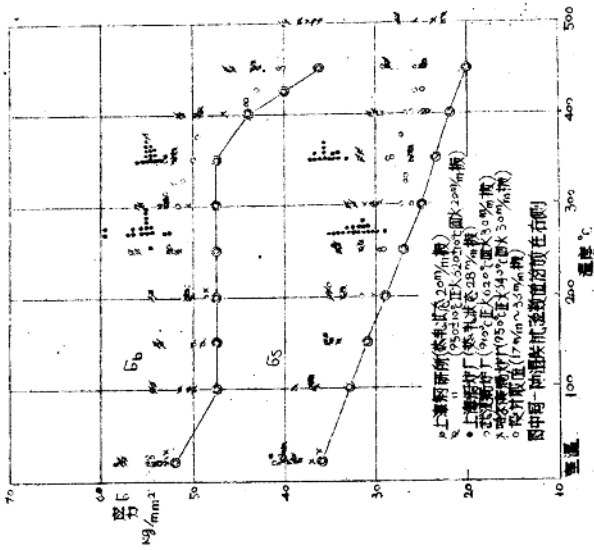


图 7 15MnV 高温机械性能

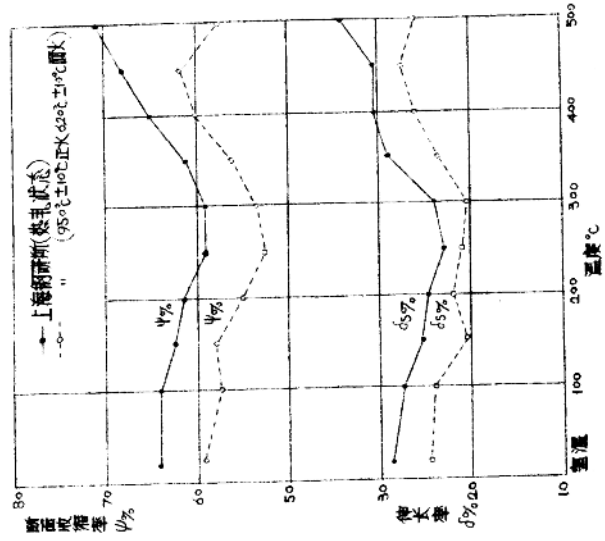


图 6 b 15MnV 高温机械性能 (20mm板)

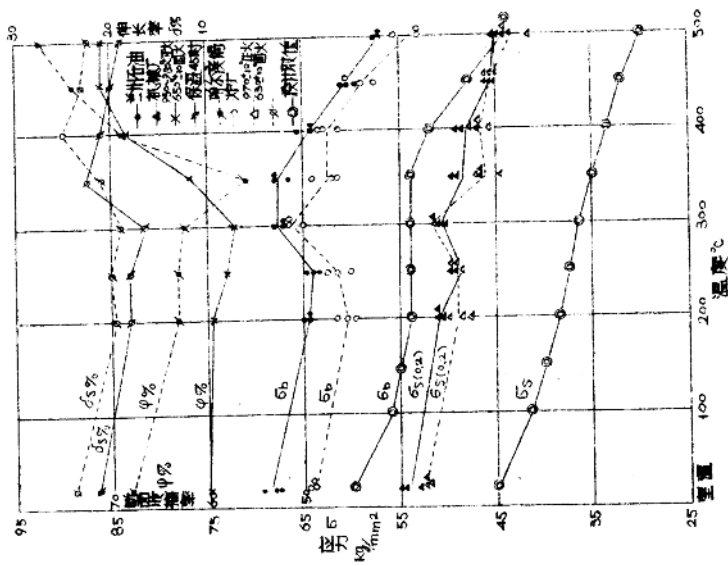


图 8 18MnMoNb 钢高温机械性能 (板厚 15mm)

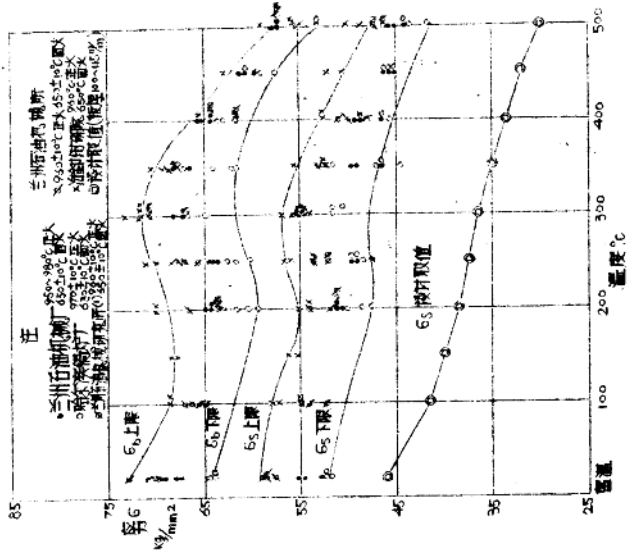


图 9 18MnMoNb 钢高温机械性能 (板厚 115mm)

4 关于102钢(12Cr<sub>2</sub>MoAlV)，见图12。

102钢的高温机械性能与前述钢种有相类似的结果，有明显的兰脆区，而屈服强度 $\sigma_s$ 则随温度升高而下降，高温强度较好，在450℃时 $\sigma_b$ 仍有46 Kg/mm<sup>2</sup>， $\sigma_s$ 为26 Kg/mm<sup>2</sup>。高温硬度与强度趋势相一致。经过正火处理塑性指标变化却较平缓，断面收缩率 $\psi$ %只下降8%，而且绝对值又很高，均在70%以上，延伸率 $\delta_5$ %在20%以上。由于只有一组试验结果，尚难于得出确切结论，试验数据仅供设计参考使用。

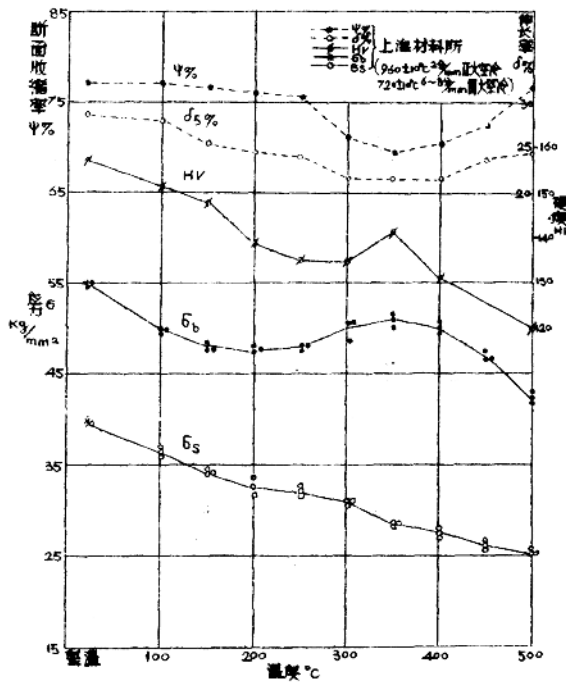


图12 102钢(12Cr<sub>2</sub>MoAlV)高温机械性能(14mm板)

5. 关于40MnVB(见图10、11)

40MnVB钢系中碳低合金调质钢。经淬火+回火后使用。在化工容器中做紧固件材料。高温性能如图10及11所示,从结果可看出以下几点:

(1) 40MnVB钢对淬火温度比较敏感,淬火温度偏低时,强度下降。850℃淬火,550℃回火有相当高的室温强度, $\sigma_b$ 及 $\sigma_s$ 分别达103Kg/mm<sup>2</sup>及95Kg/mm<sup>2</sup>以上,320℃淬火600℃回火,其室温 $\sigma_b$ 仅达85Kg/mm<sup>2</sup>, $\sigma_s$ 仅达75Kg/mm<sup>2</sup>,说明热处理温度虽然相差很小,但强度数据相差较大。

(2) 高温性能的趋势,低于300℃, $\sigma_b$ 变化不大,高于300℃时, $\sigma_b$ 急剧下降。

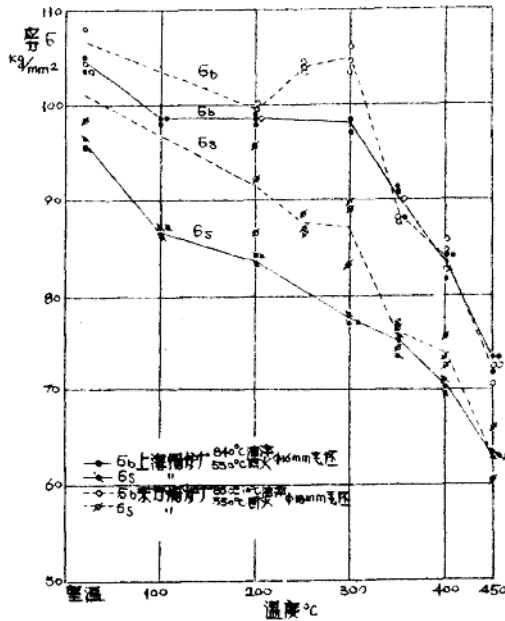


图10a 40MnVB 高温机械性能



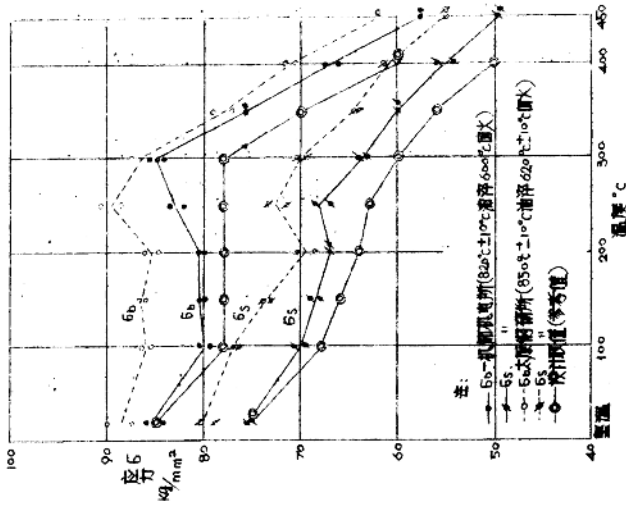


图 11a 40MnVB 高温机械性能 ( $\phi 18\text{mm}$  直径)

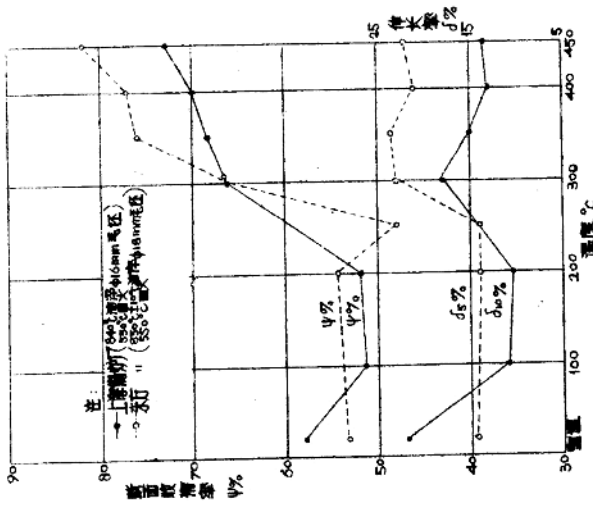


图 10b 40MnVB 高温机械性能