

天然气井的数量。

(3) 从工程设计上来考虑, 需要增加高强度管的比例, 以满足钻探计划的要求。

(4) 连续加热、喷流(水)淬火和回火过程是生产已有API标准中高强度管的有效办法。此法也有可能用于生产超高强度管——在高压深井中它的工作条件极为恶劣。

(5) 与同等强度的正火合金管比较, 用淬火回火法生产的高强度管其机械性能和

使用性能完全能够相比美, 甚至某些性能还要高些。不止100,000吨的淬火回火管在严格的工作条件下令人满意的现场使用情况更加证实了这一结论的正确性。

知行译《Blast furnace and Steel Plant》June, 1957, P608—613; July, 1957, P721—726, 738。

李澄渠校

石油管的形变热处理

[苏联] M. Л. Бернштейн 等

在生产含0.44% C, 1.10% Mn, 0.32% Si的ДБ钢号和含0.38% C, 1.65% Mn, 及0.58% Si的36Г2С钢号的钢管时, 我们曾采用了热轧条件下的高温形变热处理。

热轧是在车间的生产条件下用“Штифелъ”轧机实现的。ДБ号钢的初轧温度为1260°C, 终轧温度在900°C左右。用直径为130毫米的管坯, 曾生产出尺寸为114×9毫米的钢管。按延伸率计算的总压下量为77.5%, 而定径机的压下量等于12%。整个轧制过程用时110秒, 管子自均整机到定径机的时间为55秒。因为在均整机后的温度约为950°C, 显而易见, 再结晶过程还在进行, 所以, 确切地说, 总压下量小于77.5%。36Г2С钢的管坯直径为90毫米, 而管子的最终尺寸为76×2.5毫米。轧制时间为90秒, 管子自均整机到定径机的时间为15秒。总压下量为78%, 定径机的压下量为12%。

轧制后管头立即切掉, 并自840°C起在水中淬火, 在结束热轧和淬火之间平均历时25—30秒。管子其余部分在静止空气中慢慢冷却。

从ДБ号钢管上切取试样进行机械性能

的试验和金属组织的研究, 所用的试样按下述工艺进行热处理(图1): I—轧制后, 立即淬火和回火(高温形变热处理); II—在空气中冷却的热轧钢管加热到840—850°C, 保温30分钟, 在水中淬火, 然后回火; III—与工艺II同, 但淬火前要在880°C时常化(保温1小时); IV—与工艺III同, 但要在1100°C时常化(保温1小时)。

在880或1100°C时进行常化, 是为了消除轧制时变形对钢管金属性能的影响。所有情况下的最终回火温度均为100—600°C(保温1小时)。

由于热处理而引起的奥氏体晶粒的大小变化示于图1。按垂直于轧制的方向测定晶粒, 每张磨片都有750—800个与晶界相交的交点。所得结果证明, 在终轧和淬火之间的时间内还有某种程度的加工再结晶。但, 聚集再结晶尚未开始。还应指出, 热轧钢管在空气中冷却后, 晶粒继续保持着相当细小的粒度(ДБ号钢中的晶粒平均粒度为18.3微米), 甚至在这种情况下聚集再结晶仍然发展得很弱(图中未示出这种曲线), 只是在为了淬火而对热轧钢管进行二次加热

时，聚集再结晶才强烈地显现出来（曲线Ⅱ）。加热到840℃保温30分钟后，ДБ号钢中的晶粒几乎增加到3.5倍（平均晶粒粒度为62微米）。显而易见，在工艺Ⅲ和工艺Ⅳ下，聚集再结晶是在预先常化的时间内完成的。这时的晶粒仍然相当的细，（在880°或1100℃进行预常化之后，ДБ号钢中的晶粒粒度平均等于16.3和20.4微米）。这因为，晶粒的粒度是根据淬火的二次加热参数来确定的。

以直径为3毫米和工作部分的长度为20毫米的试样进行张力试验。由管壁上切取尺寸为4×10×55毫米，窄面有梅氏（Мензье）切口的试样来确定冲击韧性。机械试验结果示于图2。

与其他热处理工艺比较，高温形变热处理在所有的回火温度下都能促使强度提高。低温回火后强度差别最大，对ДБ号钢来说，与工艺Ⅳ相较，强度差为113公斤/毫米²、与工艺Ⅲ相较为45公斤/毫米²，与工艺Ⅱ相较为26公斤/毫米²。对36Г2С号钢来说，最大差值为55公斤/毫米²，其值比高温形变热处理与工艺Ⅲ和Ⅳ相较时还更大一些，而与工艺Ⅱ相较，强度差别较小。在比较高的回火温度下高温形变热处理和一般淬火后强度差别逐渐缩小，但对ДБ号钢来说，与工艺Ⅱ和Ⅲ相较，差别保持在6—15公斤/毫米²的范围之内，与工艺Ⅳ相较时，保持在8—80公斤/毫米²的范围之内。

我们进行试验的条件下高温形变热处理和按工艺Ⅱ与Ⅲ处理之后，屈服点和比列极限的差别并不高；在高温形变热处理和按工艺Ⅳ处理之后，其间的差值为10—35公斤/毫米²。通常在高温形变热处理之后发现延伸率和压缩率有所提高，但只有在回火温度保持在400℃以下才是这样。

按各个工艺热处理后，在100—600℃回火时，冲击韧性变化的特性是相同的。高温形变热处理之后，并不降低非可逆回火脆性温度下的冲击韧性。冲击韧性在高温形变热处理后比预先常化再淬火后高，但低于（除300℃回火以外）不预先常化热轧钢管的一般淬火后的冲击韧性。高温形变热处理后的硬度，在所有的回火温度下均大HRC 1—2度。

在前述的热处理条件下，高温形变热处理后所获得的很高综合性能再次证明，消除应力或开始再结晶的过程提高了可塑性。低温回火可获得比较高的塑性性能（质量系数 $\sigma_b \cdot \varphi$ ），高温形变热处理后进行低温回火（质量系数6700）比一般淬火后低温回火的（质量系数4900）塑性还高得多。

应当指出，高性能是在工艺Ⅲ，特别是工艺Ⅱ之后获得的。45、40Г、40X号钢和ДБ号钢（例如在工艺Ⅱ之后）的机械性能的对比表明，在≤400℃的温度回火后，ДБ号钢的试样，比同类钢的强度高30—35公斤/毫米²；同时，塑性亦提高了。辊道上冷却

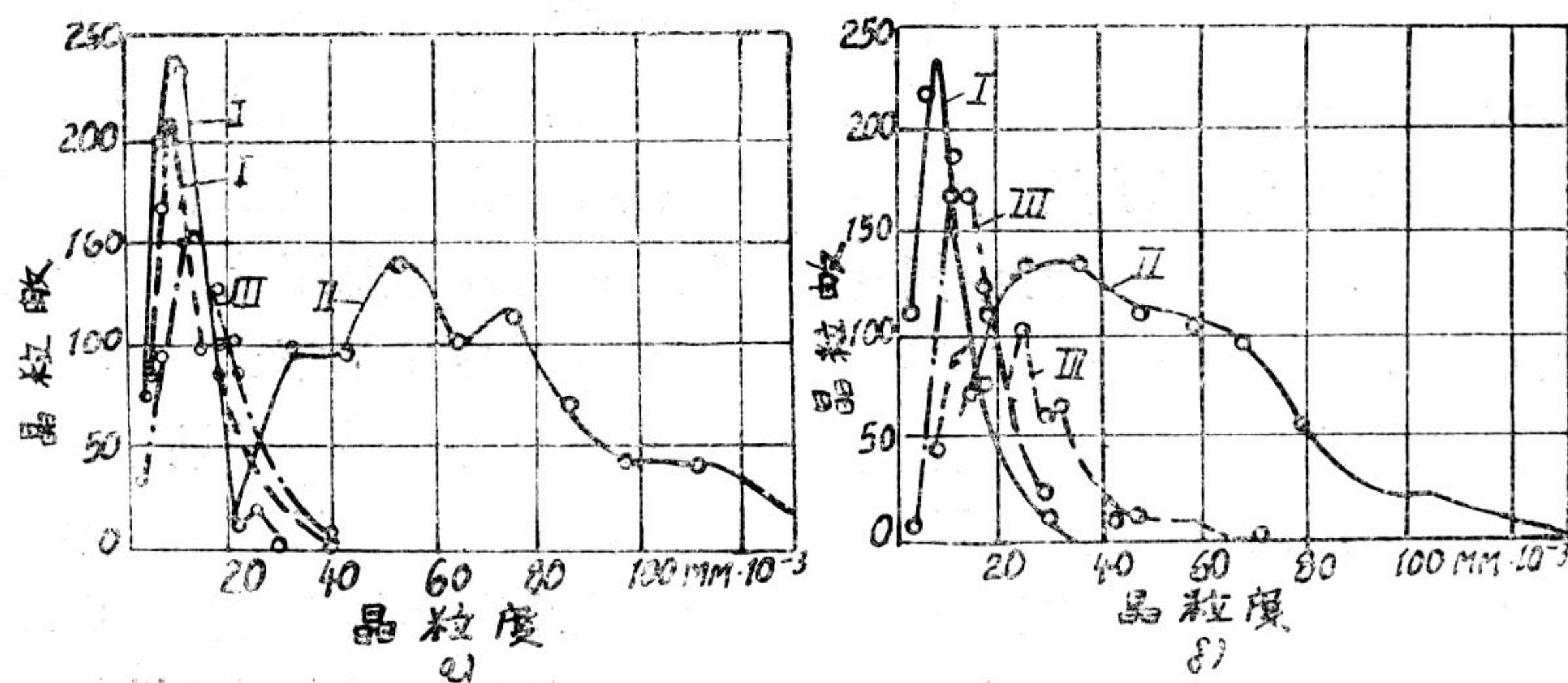


图1 鋼管中晶粒度的曲綫分配图

a—ДБ号鋼；

b—36Г2С号鋼；

I—Ⅳ—热处理工艺

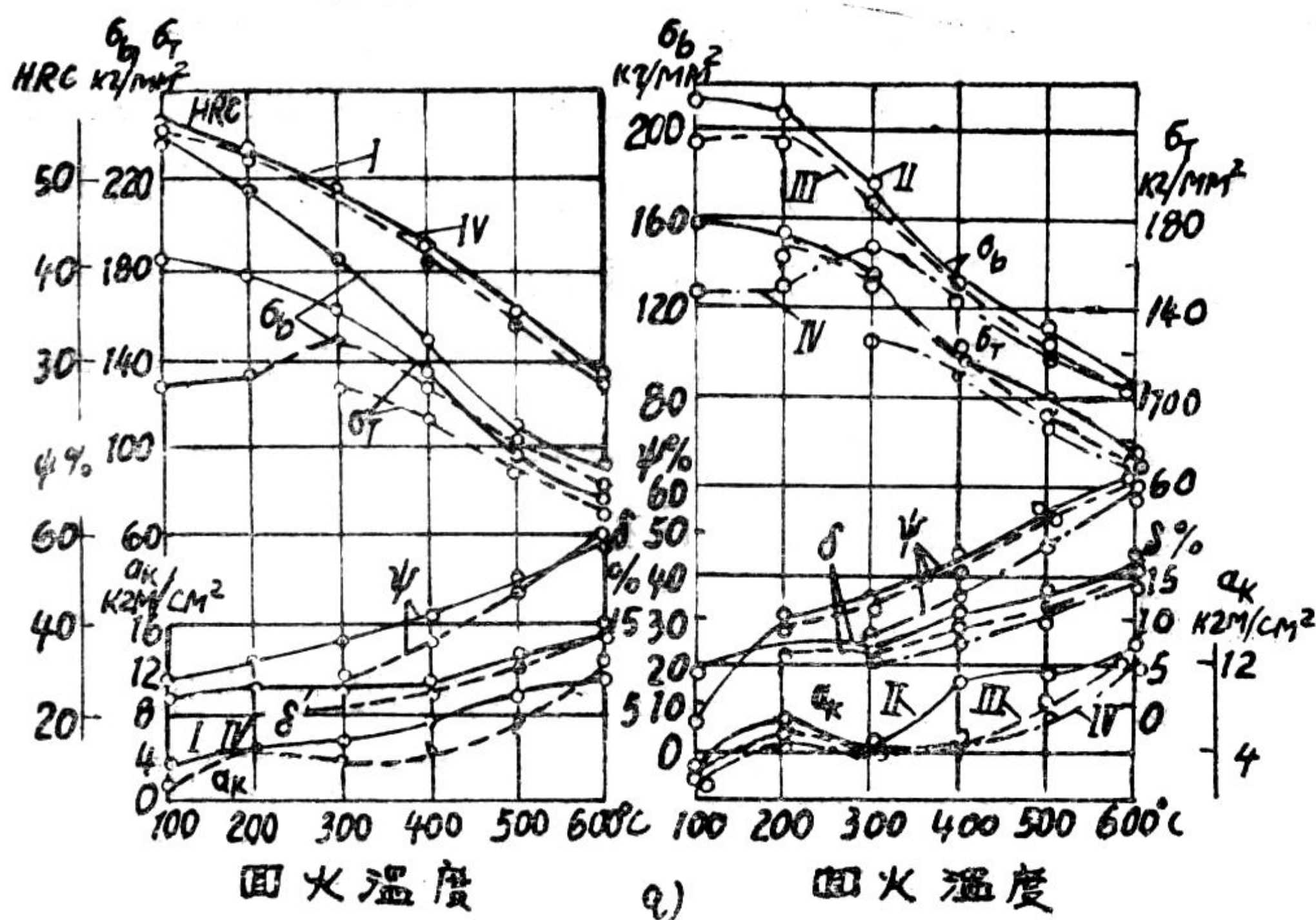
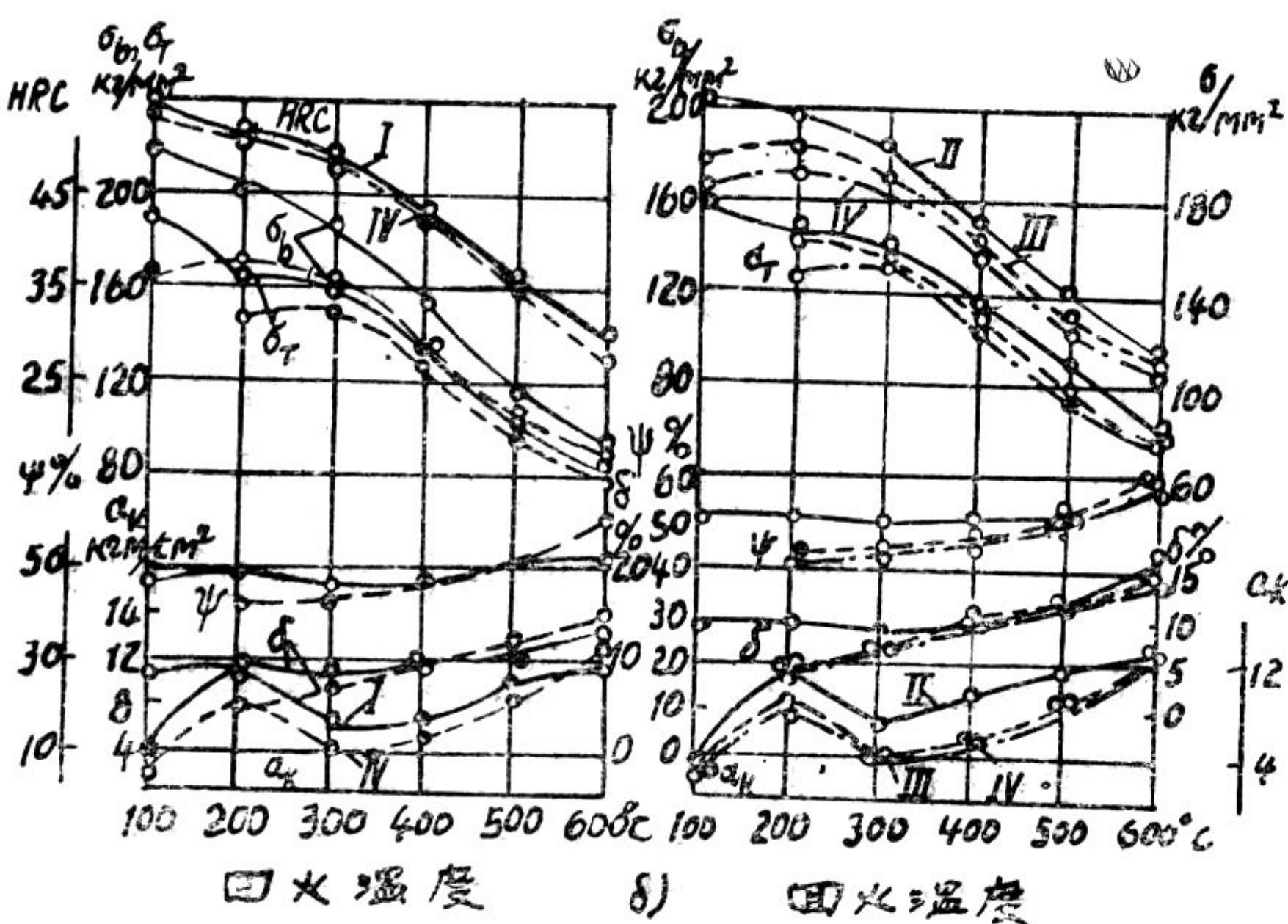


图2 回火温度对机械性能的影响

a—ДБ鋼号; b—36Г2С鋼号 I—Ⅳ—热处理工艺



的36Г2С热轧钢管在淬火后的性能，与经同样热处理后的35ГГ和35ХГ2号钢的标准性能相比较时，也可以看出同样的情形来。这一点说明了管子在空气中冷却后，保持着热加工硬化。应当指出，钢管试样比如ДБ号钢的断裂，按工艺Ⅱ和Ⅲ在200℃甚至在100℃时回火后，基本上仍是韧性断裂，可是，ДБ号钢试样的断裂，按工艺Ⅳ在1100℃时中间常化和在200℃时回火后则完全是脆性断裂的。这个说明，加工硬化作用的效果不仅保持到淬火的二次加热之后，而且保持到预加热达880℃后。因此，我们曾采用规定在1100℃下进行中间加热的工艺Ⅳ。正如试验表明，通过这种工艺后，获得了与相当于一般性能

的机械性能。

在不同热处理工艺之后（见图2）的机械性能对比表明，按工艺Ⅳ热处理之后所得的性能，比按工艺Ⅲ处理后所得的性能低。但按工艺Ⅲ热处理后，比按工艺Ⅱ处理后的性能低。在按工艺Ⅲ热处理时，试样自880℃起进行补充常化照说是机械性能应当获得改善。然而，结果却发现不进行中间常化的热处理试样的机械性能还要更高一些。显然，这决定于对机械性能有良好作用和二次淬火后保持的加工硬化的高

度稳定性。

Колесник Б. П. 发表在本刊1964, №2上的文章谈到，推荐用36Г2С号钢钢管试验的结果，此结果就是热轧钢管在徐缓冷却后，保持加工硬化效果的间接论证。虽然，在工艺Ⅱ之后的机械性能水平高于工艺Ⅲ和工艺Ⅳ之后的。但，奥氏体的晶粒度在第一种情况下大了3—3.5倍（见图1）。

由所获的资料证实了其他研究者文章中提及的，由于高温形变热处理而引起的晶粒细化，并不是强化的决定因素。但却难以预料聚集再结晶之后保持加工硬化的情况。大多数的研究者都认为，聚集再结晶会导致奥氏体软化。然而，无论在那一个文献内也没有作出这种软化程度的定量估计。其实，如Сахин С. И. 及Соколов О. Г. 发表在本刊1962, №1上的文章已表明，在中间加热的低温形变热处理之后，强度仅比在无中间加热而有同样总压缩比的低温形变热处理后小3—5公斤/毫米²。

我们所获得的结果证明，高温形变热处理时，不完全进行所谓“聚集再结晶”（晶粒的大小和形状变化）。Бокштейн С. З 等发表在1964年《金属的性能、组织及扩散过程》、《冶金机械制造》上的文章已说

明，与晶界迁移及新晶粒形成有关的再结晶：不至使亚结构发生根本变化。而在加工硬化下所形成的结构缺陷原是稳定的，且在再结晶之后被保留了下来。作者们发现了再

结晶晶体的痕迹对加工硬化时预先形成缺陷的有趣作用。

因为高强度合金的性能完全取决于亚结构的特性，缺陷的密度和分布，在一较小的

热处理工艺	回火强度 ℃	σ_b	$\sigma_{0.2}$	σ_P	φ	φ	a_K 公斤米 厘米 ²	HRC
		公斤/毫米 ²			%			
高温形变 热 处 理	100	240	182	173.5	7	27.5	3.3	57
1		237.5	179.5	174	6.5	35	2.0	57.5
2		236	180.5	172.5	6	25.5	2.0	58
3		—	—	—	—	—	—	—
4		199	脆 性 断 裂				1.6	57.5
高温形变 热 处 理	200	214.5	176.5	171	8	31.5	5.0	35.5
1		208	179.5	170	8	36	5.7	53
2		209.5	176	169.5	7.5	36	6.5	53.5
3		207.5	177	172.5	6	34	6.8	52.7
4		194	163	155.5	5.5	24.7	6.2	53
高温形变 热 处 理	300	184.5	162	153.5	8	36	5.5	49
1		182	160.5	156.5	8	40.5	5.7	49
2		181	164	158.5	7.5	39	6.1	49
3		180	164	159	6.5	54	4.3	48.4
4		175.5	152	147	8	34	4.0	48.4
高温形变 热 处 理	400	149	134.5	128.8	8.5	41	7.2	42.5
1		144	134.5	127.5	9	55	8.4	44
2		143.5	133.5	131	9	55.5	9.0	42.5
3		144	133	128.5	10.5	55.5	8.0	43
4		141	132	127.5	7.5	54.5	9.2	41.5
高温形变 热 处 理	500	108	95	90.5	11	50	9.4	34.5
1		108.5	101.5	98	12	56.5	11.6	35.5
2		109	103	98	13	55.5	11.0	32.5
3		110	104	100.5	11	62.5	9.5	34.2
4		102.5	95	91	9.5	55	12.2	33.5

程度上也取决于晶粒的形状与粒度，所以，在处理的一定条件下，甚至这种处理与再结晶有关。如果在亚结构中留下组织缺陷，那么所形成的强化也就保留下来了。也可以设想热加工硬化的稳定性与晶内织构之间也存在一定关系。

甚至在二次加热到 1000°C 后， $18 \times 1\text{H}4$ MA 钢中晶内织构并未消除，不管保温时间多长（达9小时），只有加热到更高温度后，晶内织构才会消失。

为了研究在管子形变热处理下强化的遗传影响，曾用ДБ号钢试样按下列工艺进行热处理：1— 400°C 时回火1小时的高温形变热处理，在盐浴槽中加热至 840°C 保温3分钟，水中淬火，最终回火；2—与1同，但在高温形变热处理之后于 500°C 时回火并保温1小时；3—高温形变热处理，在盐浴槽中加热至 840°C 保温3分钟，水中淬火，最终回火；4—在空气中冷却的热轧钢管于 880°C 时常化，保温1小时，在炉中加热至 840°C 后在水中淬火，保温30分钟， 500°C 时回火1小时、 840°C 时在盐浴槽中加热并保温3分钟，水中淬火，最终回火。

钢管热处理后的机械性能列于表中。从大量试样中获得的性能证明：在高温形变热处理之后，规定在 400° 或 500°C 时进行回火，快速加热随即淬火，或快速加热以后再淬火的二次热处理（工艺1—3），几乎使高机械性能得到了完全恢复；有时，与高温形变热处理相较甚至提高了塑性。因此，在此情况下，表明有可能利用由于高温形变热处理而达到的强化遗传影响。

工艺4规定消除高温形变热处理的作用。当然，在这些条件下，包括快速加热的淬火和相应的回火都不会获得表征高温形变热处理的高机械性能。因此，得到的结果表明，高温形变热处理和相应的热处理之后的机械性能高水平，是加工硬化强化作用的结果，而不是二次淬火的结果。通过不同的热

处理之后（包括高温形变热处理之后），在比较质量系数（ $\sigma_{0.2} \cdot \varphi$ ）时，发现在利用高温形变热处理和加工硬化的遗传作用之后，获得了机械性的最佳组合（8300）。

結 語

1. 钢管的高温形变热处理保证在低温回火后获得机械性能：a) ДБ号钢管， $\sigma_b = 220-240$ 公斤/毫米²， $\sigma_{0.2} = 175-182$ 公斤/毫米²， $\delta = 7-8\%$ ， $\varphi = 30\%$ ， $a_k = 3-5$ 公斤米/厘米²；b) 36Г2С号钢管 $\sigma_b = 200-220$ 公斤/毫米²， $\sigma_{0.2} = 170-190$ 公斤/毫米²， $\delta = 8-9.5\%$ ， $\varphi = 46-48\%$ 和 $a_k = 4-10$ 公斤米/厘米²。

2. 轧管时热加工硬化的强化作用效果是稳定的；这种作用仅在从 1100°C 起在中间常化后才被消除。保持热加工硬化的强化作用，能使在空气中冷却的热轧钢管在淬火和回火后获得高的机械性能。

3. 在所获得的机械性能水平和晶粒数值之间，保持热加工硬化作用时，不存在相互关系。而当晶粒度发生变化，但，表征加工硬化所形成的缺陷高密度的亚结构被保留下来时，聚集再结晶，完全不软化。

4. 高温形变热处理—— $400-500^{\circ}\text{C}$ 时中间回火——快速加热——淬火——低温下最终回火这个系统热处理，几乎能完全恢复强度与高温形变热处理相比甚至能获得更高的塑性，因而，这就证实了高温形变热处理*强化作用的遗传效果。

蔺 娴 译 《Металловедение и термическая обработка Металлов》
1965, 6期, №5—11.

陈贞元 校

* 原文誤为高温热处理——譯者注。