

SHUANGXIANGGANG

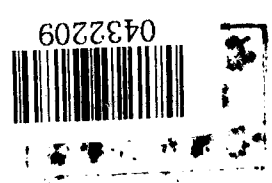
ZHUANJI

双相钢

专辑

中国科学院金属研究所

1979



前 言

近年来,各国从安全,节约能源观点出发,使汽车等结构件走向轻量化,从而使材料向高强度方向发展。本译文集所收集的“双相钢”资料,只是最近几年国外研制成功的一些加工性能优良的高强度钢板方面的,这种钢的组织是由铁素体(塑性相)和低温相变生成物(硬质相)组成。这种钢具有屈服点低,抗拉强度高,无屈服平台及具有烤漆硬化性与缓慢时效性的特点。它适用于冲压加工,作为汽车用钢板尤受重视。日、美、英和西德等都在外产这种钢。目前,日本和美国已进入大工业试生产阶段,生产的产品已列入了工业产品标准。

这种钢的强化机理是相变组织强化型的,主要决定于硬质相体积率,一般在5~20%范围内,这样,要提高钢的一定强度,勿需昂贵的V、Ti、Nb等合金元素,或者只用低量Si、Mn、P等廉价合金元素即可达到目的。

译文集中还介绍了重点的工艺方法,如日本钢管福山厂的“水淬连续退火法”与箱式退火法及控制轧制方法等典型例子。

总之,发展“双相钢”,对我国来说,适于当前情况,在利用或革新现有设备等条件下,只需采用如同上述的各种退火或控制轧制等方法,即可达到节能目的,在提高钢材质量和经济效益上,发展双相钢是具有现实意义的。

目前,国外双相钢正处于研究发展阶段,并逐步日新月异。本译文集中收集的资料尚不够全面,仅供从事钢材生产和科研人员参考。由于译者水平有限,难免出现错误,请批评指正。

目 录

连续退火后的高强度冷轧薄钢板的研究	1
具有高烤漆硬化量和优秀非时效性高强度冷轧钢板的研究	13
低屈服比高强度高延性双相组织冷轧钢板	22
用连续退火生产的高强度冷轧钢板的特性	24
高强度冷轧钢板生产中应用水淬连续退火方法	32
时效硬化型低屈服点高强度冷轧钢板的制造方法及其成型性能	34
用连续退火制造具有烤漆硬化性能的高强度冷轧钢板的方法及其特性	43
关于低强度低屈服比双相组织冷轧钢板制造方法的研究	52
低强度低屈服比双相组织冷轧钢板的组织和加工性能	54
关于烤漆硬化性效果的研究	56
具有铁素体和急冷相变生成物组成的双相高强度冷轧钢板的机械性能	58
关于双相组织高强度冷轧钢板延性的研究	60
双相组织高强度钢板的胀形性和形状稳定性	62
用水淬连续退火法生产高强度冷轧钢板的烤漆硬化性和时效性	64
合金元素对双相组织钢板机械性能的影响	66
制造条件对采用水淬连续退火法的高强度冷轧钢板材质的影响	68

热处理条件对低屈服点高强度冷轧钢板特性的影响	70
热轧卷取温度对连续退火铝镇静钢冷轧钢板材质的影响	72
退火后的冷却速度对高延性高强度冷轧钢板的机械性能的影响	74
铁素体中固溶C、N对双相钢时效行为的影响	76
具有双相组织的高强度钢板的加工硬化	78
混合组织钢的烤漆硬化 (BH) 处理中C、N原子的行为	80
马氏体相变对 $\alpha + \alpha'$ 双相组织钢板的拉伸特性的影响	82
第二相组织对高强度冷轧钢板时效性能的影响	84
母相和硬质相的强度比对双相组织钢板的 r 值的影响	86
关于双相钢拉伸变形行为的研究	88
关于冲压用冷轧钢板连续退火热周期的研究	100
冷轧带钢水淬火技术的开发	110
热轧状态具有双相组织的高强度钢板	122
采用回火热处理开发双相组织高强度钢板	124
用钒强化的双相钢的形变行为	126
马氏体的成份和含量对双相钢性能的影响	138
SKF280结构用管的高强度微合金钢	147

连续退火后的高强度冷轧薄钢板的研究

关于用连续退火线上配置的水淬设备（水淬——连续退火法）生产高强度冷轧钢板的可能性，已进行了研究。采用水淬——连续退火法可以比较方便和经济地得到了韧性良好的冷轧钢板。采用退火的周期是基本的热周期，从临界温度开始进行水淬以至随后的低温回火，借助此法使产品内部形成铁素体——马氏体的显微组织。回火目的是实现热稳定，要求的温度是从 200°C 到 300°C 。对于抗拉强度要保证在 50 公斤/毫米²以上的钢来说，应推荐采用同时加硅和磷，或单独加磷，因为它可以提高韧性。这种产品具有在烤漆——烘干（简称为烤漆），也就是在烤漆——硬化过程中可以提高屈服应力的性质，并在室温下具有良好的抗时效性能。

一、绪 言

汽车工业为了降低车身重量以节约燃料，在采用高强度薄钢板方面出现了一股迅猛发展的潮流。在对于未来的新型车身尺寸加以缩减以此来达到较好地节约燃料目的时要求使用的冷轧薄板占 80% 以上，因此迫切要求对高强度冷轧钢板加以研究。

首先，集中精力于建立常规的分批退火工艺，经过深入研究后得出的结果表明：费用高昂和工艺困难。为了使高强度冷轧钢板能够成为减轻汽车自重的有效材料，对有关问题必须加以解决。

1976年，在日本钢管公司福山厂投产的连续退火线上装配了经过特殊设计的水淬设备，它有利于钢的强化，适于生产高强度钢板。我们在这里进行的研究，主要目的是对采用水淬——连续退火法生产高强度钢板的实践进行深入了解，并证明这个方法能够即经济又容易地得到所需产品。

关于采用连续退火法生产高强度薄钢板，已有很多工厂报道过，大多数是针对镀锡薄板提出的。R·G·陶斯及C·J·亚当斯等人曾提出，利用连续退火易于控制温度的条件，采用部分再结晶工艺，据报道产品的机械性能优于二次冷轧钢材。E·W·威廉士等人通过把高于 A_{c1} 一点温度的软钢投入铅——铋共晶体溶液内淬火，已得出较硬的镀锡薄板，他们曾期望用这一工艺代替常规连续退火，因为它能缩短厂房长度，并且有生产较硬的镀锡薄板的可能性。W·H·孟斯弗兰德和K·J·阿尔布特等人通过从奥氏体温度进行水淬，获得了抗拉强度超出 98 公斤/毫米²的低碳马氏体薄钢板，这种牌号的钢材已作为商品钢材出现在市场上，开始应用到诸如缓冲器及车门压接用棒材等汽车部件上。G·贝拉麦等人曾提出“不完全淬火法”，即在冷却速度低于马氏体钢条件下，将软钢从临界温度附近进行淬火，这种不完全淬火钢材在高强度水平上已显示了它的良好韧性。以上四种方法都是很吸引人的，

因为它不需要添加合金元素就可以较容易而又经济地提供了高强度钢。由于高强度钢作为汽车部件的原材料而得到了广泛应用，它们必须具有与分批退火得到的高强度钢至少是同样水平的那种适当的韧性。采用以上各种方法确实都可以提供高于二次冷轧生产的，具有广泛用途的，像较硬镀锡板那样好的韧性钢材，但这样的韧性仍然不足以满足汽车制造业的要求，因而开展了广泛深入的研究。

二、实验步骤

表1中列举了所用的钢样的化学成分；图1中指明了实验步骤。钢样A和B都是为冷轧带钢提供的厚度为2.8毫米的低碳热轧带材；钢样C、D、E、F都是从实验室中容量为150公斤的真空冶炼炉熔炼提供的厚度为2.8毫米的热轧带材。表1中所有钢样，都经过酸洗以后，在实验室中的二辊式轧机上冷轧成0.8毫米的厚度，然后，这些冷轧钢板在不同的热周期和回火的条件下进行1%的平整冷轧。根据日本工业标准第5号（JIS No. 5）规定，从样品上截取的拉伸试样，其拉伸方向垂直于轧制方向。拉伸试验于InStron型拉伸机上进行，在平整冷轧后，取一部分试样进行两种时效处理，即在170℃时涂漆——烘干处理20分钟；在38℃时进行人工应变时效处理。前一种处理目的，是想考察在汽车制造中涂漆——烘干工艺对机械性能影响的结果，从而进一步研究有关机械性能的改善措施。要求在热周期中通过两次盐浴和一种特殊设计的，如同福山厂的连续退火线那样安装具有水喷头的水淬设备来实现。试样在喷头间形成的喷流中淬火，厚度0.8毫米的钢板，其淬火冷却速度超过2000℃/秒。

在热处理中，试样在第一次要求温度为700~850℃的盐浴中加热1分钟，最后进行空气冷却。恒定1分钟加热和再加热的的时间，是根据福山厂连续退火线的处理能力和炉子的长度而确定的。

钢 样 的 化 学 成 分 (重量%)

表 1

钢 样 代 号	C	Si	Mn	P	S	O	N	Al
A	0.05	—	0.30	0.009	0.023	0.043	0.0023	—
B	0.06	0.03	0.34	0.011	0.019	0.004	0.0070	0.035
C1	0.02	—	0.27	0.010	0.015	0.059	0.0018	—
C2	0.05	—	0.27	0.007	0.025	0.038	0.0017	—
C3	0.07	—	0.29	0.012	0.025	0.041	0.0091	—
C4	0.10	0.11	0.41	0.011	0.007	0.004	0.0063	0.051
C5	0.15	0.06	0.65	0.012	0.006	0.004	0.0069	0.035
S1	0.03	0.49	0.28	0.017	0.006	0.011	0.0058	0.049
S2	0.07	0.75	0.33	0.007	0.010	0.009	0.0086	0.061
S3	0.05	1.11	0.50	0.010	0.010	0.008	0.0059	0.004
S4	0.04	1.56	0.29	0.017	0.005	0.012	0.0051	0.091
M1	0.07	0.02	1.00	0.007	0.020	0.082	0.0065	0.029
M2	0.06	0.02	1.47	0.007	0.018	0.009	0.0115	0.040

钢样代号	C	Si	Mn	P	S	O	N	Al
P1	0.05	—	0.35	0.045	0.007	0.014	0.0030	—
P2	0.04	—	0.27	0.077	0.008	0.022	0.0037	—
P3	0.05	—	0.22	0.098	0.008	0.020	0.0059	0.030
P4	0.04	—	0.39	0.118	0.008	0.015	0.0031	—
S1	0.07	0.63	0.40	0.048	0.006	0.008	0.0025	—
SP2	0.05	1.07	0.41	0.052	0.007	0.006	0.0044	0.017
SP3	0.05	1.07	0.39	0.106	0.007	0.007	0.0032	0.018
SP4	0.06	1.02	0.26	0.154	0.006	0.030	0.0049	—
D	0.06	0.28	1.11	0.011	0.016	0.012	0.0055	0.035
E	0.08	1.14	0.94	0.008	0.014	0.009	0.0058	0.046

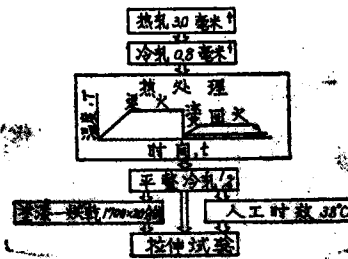


图 I 实验步骤

三、实验结果

实验分为两个部分。第一部分是研究应用水淬——连续退火法生产高强度钢的可能性；第二部分是探索这一处理过程对机械性能产生的影响。

1、应用的可能性

1) 淬火强化的可能性

图 2 表明淬火强化材料的抗拉强度和淬火温度间的关系以及涂漆——烘乾对钢样 A 的抗拉强度的影响。在淬火强化状态下，钢的抗拉强度高达 60~70 公斤/毫米²，远远超过分批退火状态下的数值（这个数值假定在 32 公斤/毫米²附近），从而证明了在特殊设计的淬火装置内进行淬火强化的高度可能性。但是，淬火强化材料也有一个很大的缺点，即在涂漆——烘乾处理中，抗拉强度和屈服应力分别下降 15 和 5 公斤/毫米²，从实用的观点来看，由于汽车车身经常处在涂漆——烘乾处理的条件下，这种下降是很不利的。淬火强化材料的显微组织除了在 700 °C 淬火的以外，都是铁素体基体和马氏体的双相组织（即一种双相显微组织）。

照片 1 是这种组织的典型实例。白色区域相当于铁素体，黑色区域为马氏体，用电子显微照相可以清楚地予以区别。马氏体是由部分奥氏体在退火阶段转化生成的，在涂漆——烘

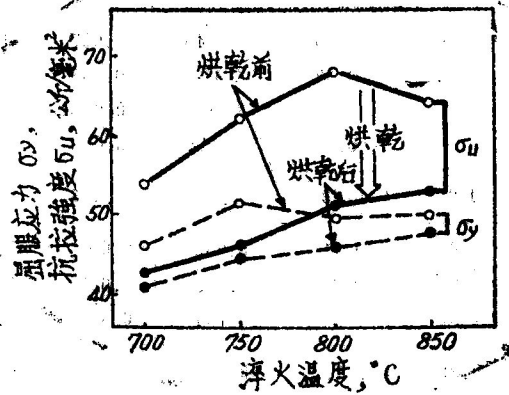
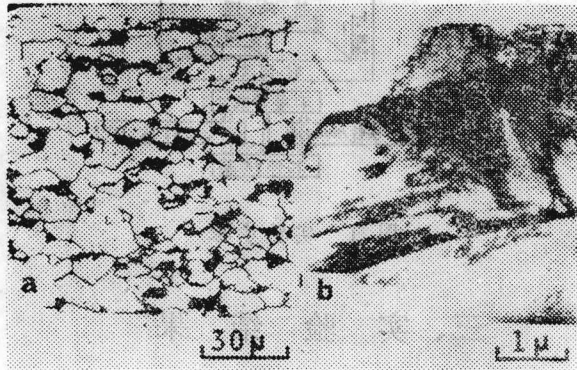


图 2 淬火强化钢在涂漆——烘干时抗拉强度和屈服应力的变化。



a — 光学显微组织，乙醇液腐蚀。
b — 对a中的暗黑区改用电子显微照相。

照片 1 从临界温度内淬火的钢板的显微组织 (钢样 A, 800°C 淬火)

乾时抗拉强度的降低，可能是由于铁素体基体的软化所引起的，这一点将在下面加以讨论。

2) 回火的效果

为了避免涂漆——烘干处理后的软化，对热周期、化学成分进行了多种试验，其中最有效果的一种方法是对淬火材料作短时间的回火。图 3 指明从 800 °C 淬火，在淬火——回火状态时涂漆——烘干的钢样 B 的屈服应力及抗拉强度的变化。很明显，尽管在 255 °C 时只进行 1 分钟的回火，也可以完全避免软化。更有甚者，图 3 还告诉我们其它令人感兴趣的事实，即作为烤漆——硬化性的一个结果，特别是在低温范围内回火，能够增加屈服应力。例如，在 250 °C 回火后，屈服应力可以提高 10 公斤/毫米² 之多。图 4 指出，平整冷轧状态和涂漆——烘干后的应力——应变行为都接近于屈服点。由于汽车部件的强度通常取决于屈服应力，并经常处在涂漆——烘干处理条件下，可以提高屈服应力。因此，这个特徵从实用观点来说，是很有利的。

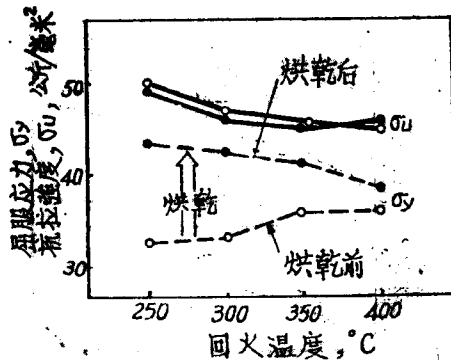


图 3 淬火——回火钢中涂漆——烘干的屈服应力和抗拉强度的变化。

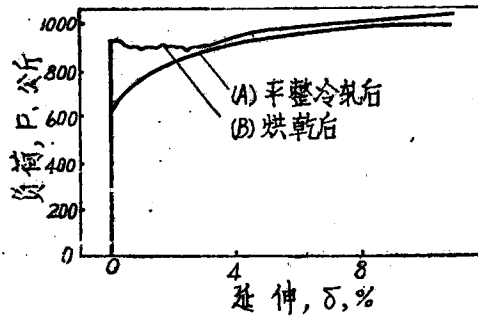


图 4 经平整冷轧和涂漆——烘干后的连续退火、淬火——回火钢的负荷——延伸曲线

利用低温回火可使烤漆硬化，从而提高了屈服强度，使屈服点延伸表现得极为明显。基于上述事实，烤漆——硬化现象一般认为由于呈弥散状态固溶于铁素体中的碳时效的一定效果〔图 4 (B)〕。

大量的固溶碳有利于烤漆硬化，它可能在室温条件下增加应变时效。由于高强度钢可以用于汽车的外板，因而不希望产生这种现象。对淬火——回火钢中的应变时效行为进行了研究，其结果如图 5 所示（钢样 A，从 800°C 淬火，300°C 回火）。与作为比较的商品钢行为相反，它既没有屈服点延伸的再现，也没有屈服应力的增加，这种时效现象在试验过程中是可以观察到的。这是一种奇异现象，通常认为在铁素体中如碳和氮这些溶质的存在当达到较大数量时，对应变时效产生不利。而烤漆——硬化性和良好的抗时效性的同时出现，这是淬火——回火钢的一个值得引人注意的特性，被认为是由于溶质原子和双相显微组织之间的内部作用所引起的。

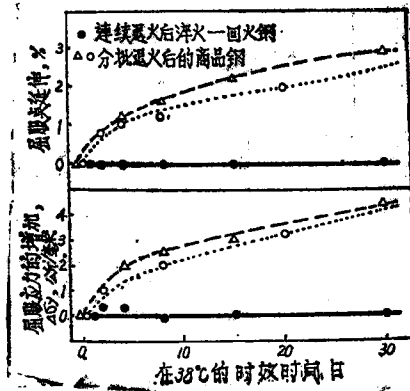


图 5 连续退火后淬火——回火及分批退火后的商品钢的应变时效行为。

2、处理条件的影响

从上节的实验中可以明显地看出：采用水淬——连续退火法，对便于生产高强度的冷轧钢板来说，是具有很大现实性的，因而对于处理条件的影响，尚需加以研究讨论。

1) 化学成分的影响

用表 1 中从 C_1 到 SP_4 的钢样作为原材料。其中钢样 $C_1 \sim C_5$ 、 $S_1 \sim S_4$ 、 $M_1 \sim M_2$ 、 $P_1 \sim P_4$ 和 $SP_1 \sim SP_4$ 分别用来研究碳、硅、锰、磷和硅与磷含量所起的作用，选择这些元素是因为它们是钢的基本元素，而且价格便宜。

考虑到与轧前操作相互配合，硅和磷含量的上限，分别规定为 1.5% 和 0.15%，也就是说，如果它们的含量超出这个数值时，将使钢的冶炼、酸洗和冷轧工作条件恶化。此外，当磷的含量超过 0.15% 时，将对焊缝——焊接性能带来不利影响。

铌、钛、钒等都是人们所熟悉的特殊强化元素在这里未加考虑，这是因为从上述（三、1 节）的初步研究中已经表明，不需要这些元素，只用水淬——连续退火法就可以利用快速加热促使晶粒细化，并由于淬火形成较硬的第二相，从而使钢强化。

采用的热周期为：从 800°C 水淬和在 300°C 回火相结合，其结果如图 6 所示。图的下半部是抗拉强度——延伸关系。这个关系的描述虽然提供了若干情况，但仍然不能准确地分析各种处理条件对强度——韧性关系的影响。在进行过的有关测定和评定韧性与强度关系的试验中，已经发现采用抗拉强度和延伸率的乘积（抗拉强度 × 延伸率）可以作出合适的度量。图 6 上方为抗拉强度 X 延伸率与抗拉强度的对比的曲线；图 7 所示为合金元素含量对抗拉强度 × 延伸率的影响；图 6 与图 7 指明了添加元素的影响。加入碳和锰虽然能够强化钢，却导致抗拉强度 × 延伸率的恶化，反之，加入磷和硅以及单独加硅或磷不但有利于钢的强化，而且能改善强度——韧性的关系。

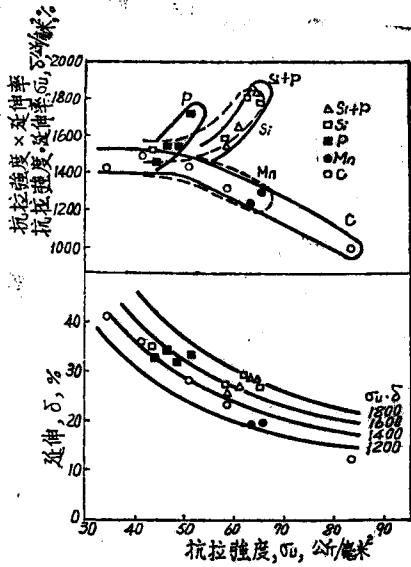


图 6 添加元素对抗拉强度—延伸关系的影响

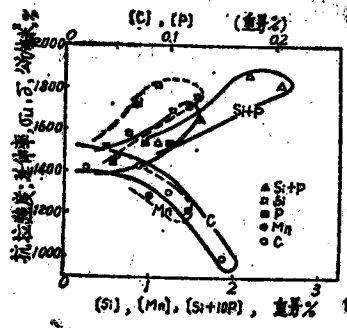


图 7 添加元素含量对抗拉强度×延伸率的关系

2) 热周期的影响

用钢种SP3作关于热周期影响的研究。图 8 表示淬火温度在 300℃ 恒温回火下对机械性能的影响；图 9 表示在 800℃ 恒温淬火下的回火温度对机械性能的影响。很明显，750~850℃ 的淬火温度对抗拉强度×延伸率和烤漆——硬化性两者都十分有利，其数值分别高出 1800 公斤/毫米²·% 和 10 公斤/毫米²。关于回火温度的影响，在回火温度大于 200℃ 时完全可以防止烤漆时的强度下降。为了保证良好的烤漆——硬化性，回火温度必须控制在 300℃ 以下。由于抗拉强度×延伸率受到温度的严重影响，理想的回火温度范围应为 200~300℃。

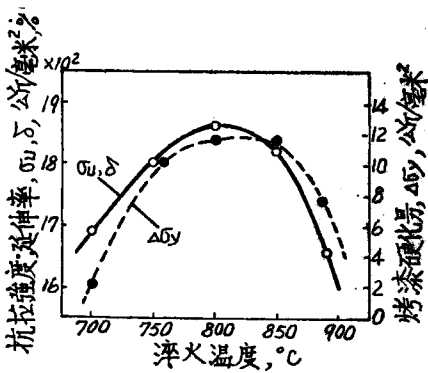


图 8 淬火温度对机械性能的影响

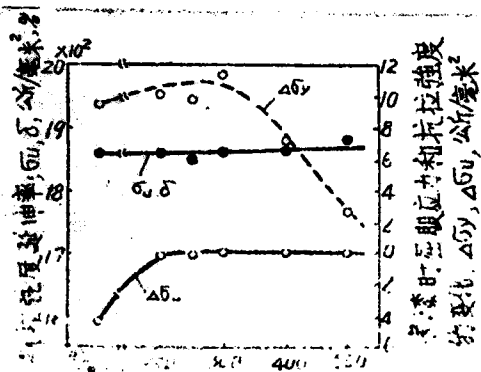


图 9 回火温度对机械性能的影响

四、讨 论

1、在烤漆——烘干中淬火强化钢的抗拉强度的降低。

概括说来，具有双相显微组织的钢的抗拉强度 (δu) 是由铁素体的抗拉强度 (δu_F)、马氏体的抗拉强度 (δu_M) 及马氏体的体积率 (f_M) 决定的，可用 (1) 式表示：

$$\delta u = (1 - f_M) \delta u_F + f_M \cdot \delta u_M$$

f_M 在烤漆过程中不改变，因此，改变 δu_F 和 δu_M ，或改变 δu ，将影响到 δu 的降低。

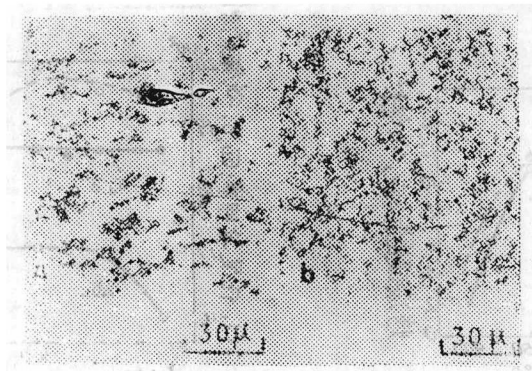
从 700 °C 淬火的只含有马氏体的钢，在烤漆中 (图 2) 也出现了强度降低。对这样的钢，可以把它作为类似于从临界温度淬火以后钢中的铁素体是被烤漆而获得软化，这个软化过程大家都知道是由于在 100 °C 温度以上发生过时效现象所引起的。

与铁素体基体的这种行为相反，马氏体部分被视为不因烤漆而软化，因为马氏体和铁素体比较，它的热稳定性要高得多。许多研究工作者曾经报道，低碳马氏体在低于 200 °C 温度范围内进行短暂时间回火并不软化。因此，可以认为，抗拉强度 (δu) 的降低，主要是由于铁素体强度 (δu_F) 的降低，而不是因马氏体强度 (δu_M) 降低而引起的。

2、化学成分的影响

根据我们的另一份研究报告，具有双相显微组织的钢的抗拉强度 × 延伸率主要是由 f_M 低于 0.2 时的铁素体基体所决定的。更确切地说，由于铁素体基体的抗拉强度 × 延伸率的改善，而使钢的双相显微组织获得了同样程度的改善。此外，铁素体高强度冷轧钢中的添加元素对抗拉强度——延伸起的影响表明，作为强化剂的元素之溶解要优于它的沉淀，因此，可以得出结论，在双相显微组织内，加入硅和磷或单独加磷对抗拉强度 × 延伸率的改善是由于这些强化元素固溶到铁素体基体中所起作用的结果。

增加碳或锰含量，将造成过多的马氏体第二相 (f_M) (照片 2)，使抗拉强度 × 延伸率恶化。我们从另外一份研究报告中已经证明，当 f_M 超过 0.2 时，将使抗拉强度 × 延伸率的突



a — 钢样 C4, $f_M=0.25$ 苦醌液腐蚀

b — 钢样 M1, $f_M=0.40$ 乙醇液腐蚀

照片 2 高碳或高锰钢的显微组织

然下降，曾提议当 f_M 超过0.2时，要防止发生近于较硬的第二相的诱发作用，以控制双相显微组织中的抗拉强度 \times 延伸率。在含有较高的碳或锰的钢中， f_M 必定会超过0.2的情况在照片2内表现得很清楚。

按马休依等人指出，锰和硅和磷同样，能提供抗拉强度——延伸关系良好的铁素体钢，因此，希望通过对淬火温度进行适当控制，以使 f_M 降到0.2以下，从而有助于改善加锰钢的抗拉强度——延伸关系，即改善得与加硅或加磷钢那样。事实上，尽管钢样D的锰含量较高，但为使 f_M 低于0.2经过较低淬火温度的热处理，即在730℃水淬和在300℃回火以后获得了一种1570公斤/毫米²·%的良好、符合要求的抗拉强度 \times 延伸率，并具有60公斤/毫米²高抗拉强度钢。不管怎样，从实用观点来看，仅用锰作添加剂是不行的。因为加锰钢的 f_M ，受淬火温度的影响很大，需要对淬火温度加以严格控制。加锰钢对淬火温度的敏感性高，可以通过加入硅来防止，一般认为这是由于加入硅降低了奥氏体转变温度。

如图6所示的单独添加硅或磷得到的强度水平能保证最高的60公斤/毫米²抗拉强度，但如果要保证得到的抗拉强度为70公斤/毫米²时，则推荐联合添加锰和硅、或单独添加锰、硅、磷。例如，高锰和高硅含量的钢样E，在800℃淬火和随后250℃回火的条件下，即具有75.7公斤/毫米²的高抗拉强度和一个1795公斤/毫米²·%的理想的抗拉强度 \times 延伸率。

3、 f_M 的控制

当 f_M 超过0.2时，抗拉强度 \times 延伸率虽然降低，例如在四、2节中曾讨论到在较高碳的或锰含量时，抗拉强度 \times 延伸率的恶化能影响到 f_M ，即使之大量增加；在淬火温度超过850℃时，抗拉强度 \times 延伸率的降低一般认为也会出现同样的情况。因此，为了保证一个好的抗拉强度 \times 延伸率，办法之一是控制 f_M 低于0.2，而另一方面，为了得到一个尽可能高的强度，又希望 f_M 较高。从实用观点看，理想的 f_M 值为0.1~0.15。

f_M 受化学成分和淬火温度的强烈影响。在钢样SP₃中，如图8所示，最合适的淬火温度在800℃附近，但是，合适的温度自然也与化学成分有关，碳和锰，或锰含量的增加，具有需要降低淬火温度，以增加奥氏体部分加热温度的倾向，而另一方面，这些元素含量的降低，又需要提高淬火温度。

4、水淬——连续退火法强化钢的优点

钢样B经过分批退火和包括典型的水淬——连续退火法在内的连续退火，并对它进行了不同退火方法强化可能性的研究(图10)。A循环是一个典型的水淬——连续退火循环，它包括在800℃退火，从退火温度在喷射水流中淬火，随后即在250℃进行回火。在B和C循环中，淬火和回火温度与A循环相同，但淬火方法与A循环不同。B循环是淬入纯蒸馏水内，C循环则是在沸腾水中淬火。按A至C顺序，淬火速度逐步减慢。D循环为一种常规的连续退火循环，材料都在700℃退火1分钟，随后进行空冷。E循环是在700℃分批退火30分钟，接着进行炉冷。图10表明水淬——连续退火法对钢的强化具有很高的可能性。经过这一循环处理过的钢，较B循环高出10公斤/毫米²，较C循环高出15公斤/毫米²。即使是把厚0.8毫米的极薄钢板淬入纯蒸馏水或沸腾的水中，也得不到这样高的强度。

G·贝拉米等人曾对含碳量为0.09%，厚度为0.45毫米的薄钢板，进行过淬火法对抗拉

强度影响的研究，得出的结果是经盐水淬火的材料，其强度要高于用纯水淬火的材料。在报道中已提到造成强度差别的原因，是基于盐水淬火使退火中的奥氏体部分完全转变成马氏体这一事实。在纯水淬火中，则不能全部转变成马氏体，而产生有诸如先共析体 α 的其它淬火组织。根据G·贝拉米等人的测定，对厚为0.4毫米的钢板进行盐水淬火的冷却速度为6600℃/秒，相当于厚0.8毫米的钢板的3000℃/秒，这种冷却速度与淬入喷射水流中所得到的情况不相上下。因此，我们可以认为钢淬入喷射水流内和用其它两类方法淬火之间的抗拉强度差别，可以认为是由于它们具有以较硬的第二相为基础的组织不同而引起的结果。

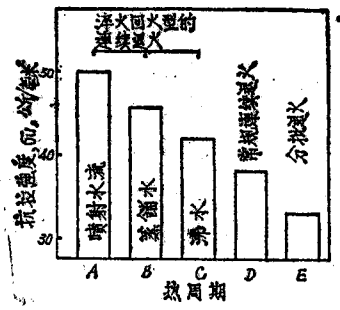


图 10 用的同热周期处理后钢的抗拉强度比较

水淬——连续退火法的强化机理被认为是由快速加热和短时均热使晶粒细化而强化以及因较硬的第二相存在而强化。前者是连续退火固有的特性，后者则只能在水淬——连续退火法中得到。在A和D周期之间的这一强化差异大约为10公斤/毫米²。总之，可以这样说，在水淬——连续退火法中出现60~70%的强化效果是由于形成较硬的第二相所获得的，30~40%则是由于晶粒的细化而获得强化效果，这里的抗拉强度是以分批退火的抗拉强度作为基础的。在以上讨论中，对微细的沉淀物和溶质碳的作用予以忽略，因为与第二相和晶粒度相比较它们的作用比较小。

在气流喷射冷却后退火时其冷却速度在30℃/秒以下，它远远低于水淬——连续退火法的冷却速度，但也有可能因双相显微组织的形成而强化，在这种情况下要求通过增加添加材料含量来补偿冷却速度的降低。桥口等人曾报道说在冷却速度为5~30℃/秒时，从高于 A_{r1} 的温度冷却C0.06%、Mn1.2%、Cr0.5%的钢中可以得到双相显微组织。此外，根据羽山等人的报告在临界温度退火，随后空冷C0.1%、Si0.3~1.5%、Mn1.0~1.6%的钢，也可以生成双相显微组织。

5、工艺处理及其产品的特点

1) 处理的特点

水淬——连续退火法是与从电解清洗到卷取工艺的许多作用相联系着的。作为方法本身的结果，它具有节省能耗、减少定员、缩短处理时间等优点。当生产高强度冷轧薄钢板时，除以上基本优点之外，还具有以下优点：

首先是节约合金元素费用。费用的节省来源于大量降低添加材料含量和使用廉价的合金元素——磷。在分批退火中是不希望添加磷的，因为在退火后极为缓慢地冷却情况下，由于磷的晶界偏析造成冲压部件因加磷而产生脆性断裂。但在连续退火中由于采用快速冷却而不致产生上述现象。

其次一个优点是在工艺处理上较为容易控制。这个结论是根据下述事实得出的，即同样的热带钢，由于采用水淬——连续退火和分批退火的不同方法，而获得了不同抗拉强度的产品。图10指明用前一方法处理的产品一般要比后一方法高出15公斤/毫米²。换句话说，在水

淬——连续退火法中我们可以利用比分批退火软15公斤/毫米²的热带钢来获得同样抗拉强度的产品。从实用观点来看，很希望在热轧、酸洗、冷轧和电解酸洗中使用较软的材料。

2) 产品的特点

第一个特点是在涂漆——烘干（烤漆——硬化）中屈服应力的增加。对屈服强度的临界部分而言，屈服应力增加时，则明显地反映到该部分强度的增加上，因此，使用连续退火的钢就可能得到与用增加烤漆——硬化量来使分批退火钢变得较硬时的同样强度。由于高强度薄钢板随冲压操作往往出现断裂、粘结、弹性复层等缺陷。因此，扩大较软材料的使用范围是十分有利的。

第二个特点是良好的抗时效性能。如图4所示，烤漆——硬化是随屈服点延伸的再现而产生屈服应力的增加。因此，当时效先于冲压进行，将导致一个不完全的烤漆——硬化。为了保证高的烤漆——硬化性，钢材必须在环境温度中具有良好的抗时效性能。此外，高强度冷轧钢板很可能用于汽车的外板，为此，也必须有一个良好的抗时效性能。被雷威所发现的氮化钢在涂漆——烘干条件下增加的屈服应力，与采用水淬——连续退火法得到的增加相类似，但是这种增加很容易被认为是钢的应力时效增大，从而对它的使用加以限制。此外，由于强化添加材料如钛、铌、钒等，以及使用铝脱氧的钢，都不允许把氮作为一种溶质留下，氮化处理有可能不适用于抗拉强度保证超出50公斤/毫米²的钢的产品。

第三个特点是良好的屈服应力——延伸关系。如图11所示，它对用水淬——连续退火法（福山厂的连续退火线）和用其它两种包括分批退火在内的方法所得到的屈服应力——延伸关系进行了比较。对用水淬——连续退火法处理的钢在涂漆——烘干之后（而不是之前）的屈服应力和延伸之间的关系按照烤漆——硬化性划出了 σ_r 和 σ 的关系曲线。供给汽车的冲压件在烤漆处理中使用，该曲线可提供较多的实用知识。为了精确地测定压力成型能力，还必须对延伸以外的有关特性进行试验，图12为冷加工硬化指数（ n 值）和塑性各向异性比较值（ r 值），图13为连续退火钢的断裂极限曲线图，图中也指明了分批退火钢的性质以供比较，

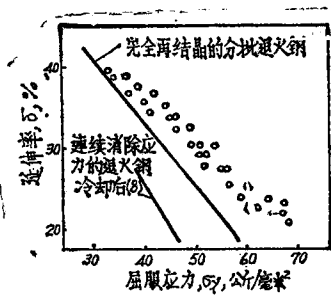


图 11 连续退火、淬火——回火钢与其它两种钢的屈服应力——延伸关系对比

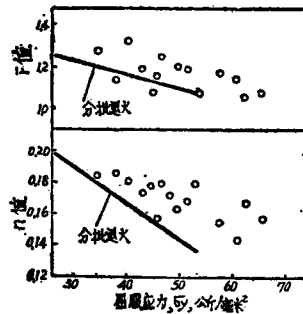


图 12 连续退火钢的塑性变形比值（ r 值）及冷加工硬化指数（ n 值）的改变与分批退火钢的比较（此处的屈服应力是涂漆——烘干处理以后的）

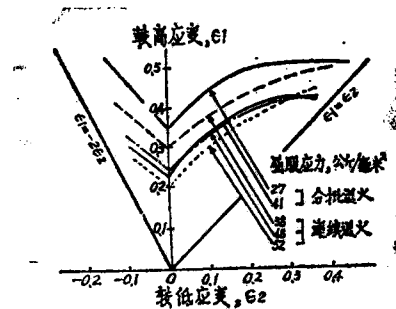


图 13 连续退火和分批退火的断裂极限值（此处的屈服应力都是涂漆——烘干处理以后的）。

对于 n 值和断裂应变而言，连续退火钢明显地优于分批退火钢，至于 r 值，则不认为连续退火钢是优越的。

五、结 论

关于采用连续退火线上配置水淬设备（水淬——连续退火法）生产高强度冷轧钢的可能性，已经加以研究，得出结果是：

1、采用水淬——连续退火法能容易而经济地得到比分批退火钢要良好的屈服应力——延伸关系的高强度冷轧钢产品。

2、基本热周期包括从临界温度水淬和随后在低温下的回火，导致生成铁素体——马氏体的双相显微组织。获得高强度和良好韧性的淬火温度是取决于化学成分的，通常在 $750 \sim 850^{\circ}\text{C}$ 之间为好。回火带来了钢的热稳定性，合适的回火温度为 $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 。

3、对于抗拉强度保证超出 50 公斤/毫米²的钢，应推荐加硅和磷或加磷，因为它们可以通过改善铁素体基体的抗拉强度——延伸关系来改善钢的韧性。

4、产品具有在涂漆——烘干，即在烘烤——硬化条件下增加了屈服应力，同时在室温条件下，具有良好抗时效性能的特点。这些性质从实用观点来看，都是合乎理想的。

罗汉译自《TRANSACTIONS OF THE IRON AND STEEL INSTITUTE OF JAPAN》1977年17卷、第12期

菲国浩 校

具有高烤漆硬化量和优秀 非时效性高强度冷轧钢板的制造方法

一、专利范围

1、实际熔炼成分含C—0.02~0.12%、Mn— $10 \times [S]$ ~2.00%、N—0.003~0.002%最理想是0.004~0.015%、Al— $< 5 \times 10^{-4} / [N]$ %的钢。将这种钢按通常的生产工序热轧、酸洗、冷轧成带材，经连续加热到 A_{c1} ~900℃、并在该温度范围内保温5~180秒之后，置于喷流水中冷却到室温，接着再加热到150~450℃，并在该温度范围内保温5~300秒，然后冷却到室温、进行卷取。

2、钢的化学成分为：以C—0.02~0.12%、Mn— $10 \times [S]$ ~2.00%、N—0.003~0.02%最理想是0.004~0.015%、Al— $< 5 \times 10^{-4} / [N]$ %为基本成分，再从P—0.03~0.20%、Si—0.2~2.0%、Cu—0.2~1.5%、V—0.05~0.20%、Nb—0.02~0.20%诸元素中取一种或二种以上加入钢中，将熔炼完成的这种钢按通常的生产工序进行热轧、酸洗后冷轧成带材。将此带钢连续地加热到 A_{c1} ~900℃并保温5~180秒之后，置于喷流水中冷却到室温，接着再加热到150~450℃并保温5~300秒，冷却到室温后卷取。

以上两种工艺就是生产具有高烤漆硬化量和优秀非时效高强度冷轧钢板的特征。

二、专利内容说明

本专利系生产高强度冷轧钢板的改良方法，特别是通过对钢的成分系和按通常生产工序轧制后的连续退火工艺规程作了特定的改革，依此来生产具有高烤漆硬化量和优秀非时效高强度冷轧钢板。

众所周之，关于冷轧钢板，过去一直是针对低屈服点，即所谓软质钢板而进行研究的。最近，在车辆特别是对客车的安全程度进行研究的过程中，对高强度冷轧钢板的要求越来越高，例如，客车车体的冲压部件使用这种高强度冷轧钢板时有很多问题，尤其是在冲压形状（形状稳定性）和冲压成型方面有很多难点，不用说，如果是软质钢板就不存在这些问题了。因此，可以说，人们所希望的冲压加工用冷轧钢板在冲压成形时必须是在软质的、而在喷涂烤漆处理时有硬化效果才行。为达此目的所采取的具体改进措施是在钢中固溶多量的氮，并在喷涂烤漆工序中使氮在自由位错处析出，以此提高屈服点。例如，在炼钢时特意添加100PPm的氮，冲压加工后通过热处理强度比原来提高了许多。美国内陆钢公司发表的AA（快速时效）钢板就是其中一例。但是这种钢板事实上是不能普遍适用于车体镶板的，其理由固然很多，其中主要因素是这种钢板时效很严重，在冲压部分易于产生滑移线。这是由于