

金属学与热处理手册

第七分册

机械制造钢

冶金工业出版社

76.1/3
154
7-1

金屬学与热处理手册

第七分册

机械制造鋼

H.T. 古德佐夫
M.Л. 別伦施捷茵 主編
A.Г. 拉赫施迪特

北京編譯社 譯

吳 兵 校

冶金工业出版社

Н.Т.Гудцов, М.Л.Верништейн, А.Г.Рахштадт
МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА
СПРАВОЧНИК

Металлургиздат (Москва, 1956)

金屬学与热处理手册 第七分册
机械制造鋼

——*——

冶金工业出版社出版 (北京市灯市口甲 45 号)

北京市书刊出版业营业登记证出字第 093 号

冶金工业出版社印刷厂印 新华书店发行

——*——

1959年8月第一版

1959年8月 北京第一次印刷

印数 5,510 册

開本850×1168·1/32·75,000字·印張 $2\frac{33}{32}$ ·插頁·

——*——

統一書号 15062·1793 定价0.40元

本書內容包括金屬與合金的研究試驗方法、鋼的結構和現代的狀態圖。根據各國最近的科學成就敘述鋼的熱處理，其中包括熱處理方法的分類、加熱與冷卻時的轉變、等溫轉變等。對蘇聯工廠廣泛採用的熱處理和表面化學熱處理分別作了研究。

書中列舉了各種鋼特別是合金鋼的詳細特性數據。用了許多的篇幅介紹現代機械製造工業部門必需的具有特殊物理性能和化學性質的鋼與合金。闡述了熱處理的設備與工藝。詳細論述採用成套設備及建立流水作業綫時使用的進步的處理方法。

本書適合冶金和機械製造廠、實驗室、科學研究機關的工程技術人員和高等院校師生閱讀。

全書分十一篇，約有 126 萬字，是由幾個單位共同翻譯的，由於篇幅較大，而且譯者脫稿時間先後不一，不能同時合訂出版。為了及時滿足廣大讀者需要，本書中文譯本分十一冊出版。各分冊內容如下。

第一分冊——試驗與研究方法

第二分冊——鋼的結構

第三分冊——鋼的熱處理

第四分冊——半制品的結構、性能和熱處理

第五分冊——表面處理

第六分冊——建築鋼

第七分冊——機械製造鋼

第八分冊——工具鋼

第九分冊——特殊鋼與特殊合金

第十分冊——鑄鐵的成分與性能

第十一分冊——熱處理車間的設計原理與典型設備

目 录

第七篇 机械制造鋼

第39章 結構鋼（机械制造鋼）	1
§ 1. 鋼的結構强度	1
§ 2. 組織和成分对鋼性能的影响	4
鉄素体的性能	5
塑性形变的阻力	8
抗断强度	11
提高結構强度的方法	19
§ 3. 主要牌号机械制造鋼的性能和热处理	22

第 七 篇

机 械 制 造 鋼

第39章 結構鋼（机械制造鋼）

§ 1. 鋼的結構强度

机器制造用鋼应合乎两个主要要求：具有高的机械性能和良好的工艺性能（一定的淬透性、最小的形变、滿意的加工性等等）。

經過系統的研究証明，零件的强度及其在使用条件中的状态，与零件在實驗室条件下測定的試样强度无关，而在某些情况下，这二个量之間不仅沒有数量上的关系，而且甚至連質量上的关系也沒有。原因是对材料强度发生影响的这些因素，例如零件所处的应力状态的类型、比例因素、应力集中等等，在實驗室試驗时不一定都予以考虑。

同一种材料（例如鑄鉄），在軟应力状态（压縮）下可能由于剪断而发生塑性破坏，而在硬应力状态（拉伸或弯曲）下則可能由于裂断而发生脆性破坏〔1〕。

对小型試样进行試驗时所得的强度值（例如，疲劳极限、抗裂强度等等），在改用大型試样和零件时可能有很大的变化。例如，鋼制曲軸在扭轉試驗时疲劳极限等于8公斤/公厘²，而改用縮

小到 $\frac{1}{16}$ 的曲軸精密模型時，疲勞極限則為22公斤/公厘²。

試樣尺寸的增大，能使鋼的抗裂強度（ $S_{0.7P}$ ）減小，而在某些情況下能使鋼的塑性和韌性（ σ_K 、 δ ）減小。

實驗室試驗所得的數據和鋼的結構強度之間沒有單值聯系的主要原因之一，在於很難將材料在使用條件下的組織狀態以及力學狀態相當精確的模造出來。切口的影響在這一方面具有很大的意義，因為在實際結構中切口實際上總是以截面的突變、倒圓、孔、显微裂紋等等形態存在的。切口所引起的複雜應力狀態和應力的不均勻分布，大大影響着零件的結構強度。如果材料依靠塑性變形使應力重新作有利分布的能力很小，或材料的抗斷強度的值很小，那末在尖銳切口邊緣上應力的大量集中，可能達到使金屬破裂的數值。因此，在零件使用條件下，所謂的鋼對切口的敏感性就具有非常大的意義。

切口所引起的應力集中，是以應力集中系數（最大縱向應力與平均縱向應力之比 $\alpha = \frac{\sigma_{最大}}{\sigma_{平均}}$ ）代表；在一般情況下，鋼的強度極限愈大和塑性愈小，則應力集中的危險性也愈大。

在塑性材料（例如，高溫回火後的鋼）中，可以發現切口的“強化”作用，這種作用是與切口試樣的體積效應和比光滑試樣小的收縮量有關。

例如，在中碳鉻鎳鉬鋼的等溫回火過程中，光滑試樣和切口試樣的抗張強度極限都減少，但是在任意不同時間的保溫下，切口試樣的抗張強度極限都是最大（表1）。

在室溫下的大部分純金屬（銅、鋁、鎳、鐵），以及退火或高溫回火的鋼，對切口都沒有敏感性。中等和較高含碳量的鋼，在低溫回火後對切口非常敏感。

因此，某一種鋼在光滑試樣試驗時較另一種鋼優越，但在使用中由於應力狀態的類型、切口的存在、零件的形狀和尺寸，可能表現出較低的強度。

表 1

鉻鎳鉬鋼的性能在回火过程中的变化

回 火 条 件		試 样 的 强 度 极 限 σ_B (公斤/公厘 ²)		
温 度 (°C)	时 間 (小时)	光 滑 試 样	切 口 試 样	带切口和8°斜口的試样
600	1	148	210	86
600	6	134	190	101
600	25	98	145	122

一种鋼在室溫下比另一种鋼的强度好，而在溫度降低或增高时可能就不如該种鋼。

如果利用一些基本特性量来表示鋼的机械性能，則根据现代概念，可将鋼为了保証高的强所应具有的主要机械性能，分列于下：

1) 高的塑性形变阻力 σ_T 、 σ_B 、 H_B 、 D （强化系数），因为材料在外界負荷作用时不应该有残余形变；

2) 高的抗断强度：高的抗剪强度 (t_K) 和更高的抗裂强度 (S_{OTP})；

3) 在塑性形变过程中高的应力重新分布能力，这对于减小应力集中是很重要的，因为結構中应力分布是不均匀的，在个别体积中应力的值要大于平均值；

4) 高的抗变向应力能力，也就是具有高的疲劳极限和抗过载能力；这对于承受相当大变向負荷的零件，是重要的。

試驗的数据証明，材料的强度也和它所处的介質有关，例如，經过热处理的鋼的强度，在湿介質中要比在干介質中低些。

材料所应具有的各种性能的复杂綜合，是所以要采用各种各样牌号結構鋼的原因。

鋼的性能决定于鋼的組織，而鋼的組織我們知道是决定于鋼的成分和热处理。

因此，就要概略的研究一下表明鋼的构造的基本参数对于机

械性能的影响。

§ 2. 組織和成分对鋼性能的影响

鋼中加入合金元素,会使机械性能发生重大的变化。一般对两种合金的性能,是在它們經過相同的热处理之后加以比較的。这种比較方法具有实践的意义,但不一定能够直接显示出决定性能的基本因素的影响。只有将处于相同組織状态的各种合金进行比較,才能直接显示出合金化的作用。

例如,将不同含錳量的鋼給以相同的处理(如正火),那末由于鋼的奥氏体的稳定性不同,可以得到不同的組織。由于这个緣故,随着正火鋼中含錳量的增加,硬度就发生急剧的变化(图 1, A)。如果以不同的速度将鋼冷却使其获得相同的組織,那末在錳的含量变化时鋼的性能改变就很小(图 1, B)。由此可见,在鋼的組織相同同时进行比較,才能确定合金元素——錳——对性能所起的真正影响。

如果碳素鋼和鈳鋼經過相同的回火(加热到 650°C , 保温 1 小时),那末在碳素鋼中碳化物的分散度这低于鈳鋼,鈳鋼的硬度相应地要比碳素鋼大(图 2)。在比較平衡的条件下当碳化物的分散性相同时来比較碳素鋼和鈳鋼,則它們硬度的差別就不很大了。

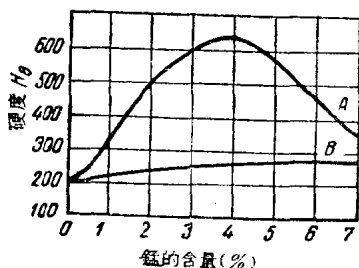


图 1 錳对鋼硬度的影响

在鋼中 α -相是基体。在結構鋼中,也就是在含碳量很少和中等含碳量(0.5% 以下)时,鉄素体的数量(按重量和容积)約为 95%。

所以首先研究鉄素体的性能和在各种因素影响下鉄素体性质的变化,是很重要的。

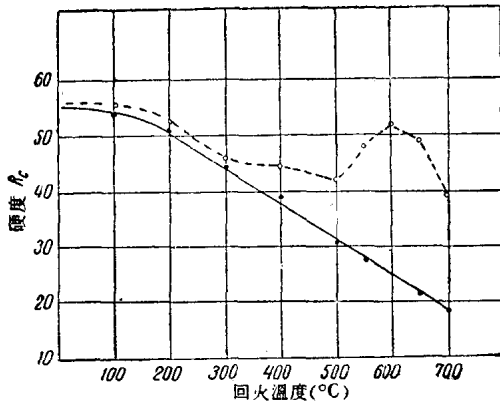


图 2 回火对碳素鋼和鈦鋼硬度的影响 (19)

—— 碳素鋼； ---- 鈦鋼

鉄素体的性能

鉄素体机械性能的变化，可能与下列組織特性的变化有关：晶粒大小，嵌鑲块的尺寸(也就是精細組織的尺寸)和由于 α -固溶体成分的变化、热处理或塑性形变的結果而引起、晶格的畸变。

純金屬和固溶体的塑性形变阻力，在晶粒大小变化时改变比較小。

从图 3 列示的曲綫上可以看到，随着晶粒尺寸的增大，鉄的硬度減低。

在晶粒的尺寸增加时，鉄素体的塑性也減低。

脆性破坏的傾向对于机器制造用鋼的强度有重大的意义。

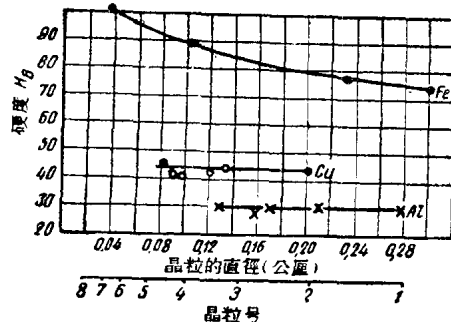


图 3 晶粒的尺寸对鉄素体硬度的影响

實驗証明，随着晶粒的增大，鉄素体的抗裂强度大大降低（图 4），而当晶粒的大小相同时，鉄素体的成分对于抗裂强度不发生影响〔2，3〕。鎳的溶能使鉄素体的晶粒細碎，并相应地增加

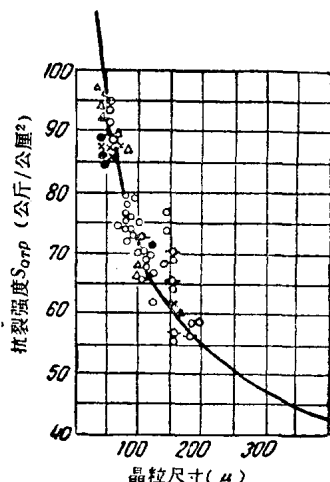


图 4 晶粒大小对鉄素体抗裂强度的影响〔3〕

抗裂强度。同时又証明，即使在鉄的晶粒大小相同时，鎳也能減低鉄的冷脆性界限。相反的鉄中加入合金元素硅則引起 $S_{0.2}$ 值的降低，这是因为晶粒粗化的緣故。硅能提高鉄的比例极限 ($\sigma_{0.2}$) 和强化系数 (D)，因而增加脆性破坏的傾向。X-射綫研究也同样証明硅能使鉄的滑移面的数目減少〔21〕。

合金鉄素体与非合金鉄

素体不同的，是在退火状态中或在淬火和高溫回火后照

例具有較高的塑性形变阻力 (H_B 、 σ_B 、 σ_T 、 $\sigma_{0.2}$) 和較低的塑性（图 5），但鉄素体抗断强度 (S_K) 的变化极小。錳和硅对于提高塑性形变阻力的作用比其他元素为强，但这两种元素却較之其他元素更使塑性降低。图 6 說明合金元素对鉄素体冲击韌性的影响。

合金鉄素体的强化，是因为鉄在溶解特殊元素时由于它們原子构造之間的差別而引起的晶格时变所造成的。

鉄素体在合金化时的强化，显然也可能与嵌鑲块尺寸的減小有关。

多次試驗証明，合金鉄素体經過热处理，也就是从 A_3 以上的溫度淬火后大大强化。加入能显著降低 $\gamma \rightarrow \alpha$ 转变溫度的元素（鎳、鉻、錳），促使在实际上不含碳的鉄中形成馬氏体型的組

織，并使硬度特別增大。当加入能提高轉变溫度的合金元素（鈷、硅）或使轉变溫度微微降低的合金元素（鉬、鎢）时，鉄素体在淬火后不发生明显的强化作用。在沒有 $\gamma \rightarrow \alpha$ 轉变时，鉄素体完全不强化。

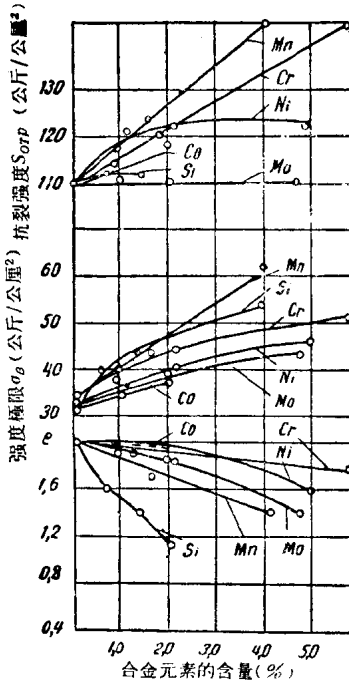


图 5 合金元素对鉄素体机械性能的影响〔9〕

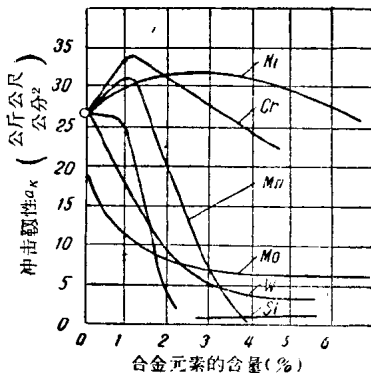


图 6 合金元素对鉄素体冲击韧性的影响（根据古里亚耶夫和叶美里娜〔В.П.Емельяна〕的資料）

在較高的溫度（500°和更高）下回火后，可以使淬火的鐵素体发生軟化。同时，合金鐵素体的軟化溫度是与它的成分有关。例如，鉻、鉬、錳、鈦、鉬能提高鐵素体的軟化溫度。

由淬火所引起的合金鐵素体的强化，可以保持到非常高的回火溫度（图 7）。

因此，通过晶粒大小、嵌鑲块尺寸和晶格畸变程度的各种变化，鐵素体的机械性能可随成分和热处理的不同而在相当广泛的范围内变化。

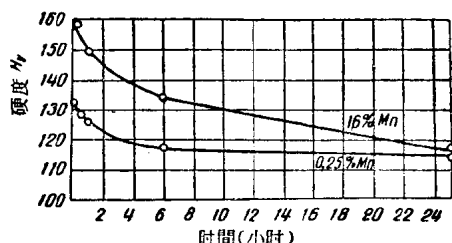


图 7 淬火鐵素体在等溫回火过程中硬度的变化 [19]

鐵素体組分的状态，在頗大程度上决定着鋼的性能。

虽然鐵素体的性能由于合金化和热处理的结果而提高，但是与鋼的性能相比还是相当低的。經過热处理的合金鐵素体，强度极限約为 100 公斤/公厘²，抗断强度約为 175 公斤/公厘²，而經過热处理的鋼强度极限为 200 公斤/公厘²，抗断强度为 350 公斤/公厘²，也就是大一倍左右。

机器制造用鋼照例是在热处理之后，主要是在淬火和回火之后使用的，在这种状态下鋼的組織中含有 α -相和碳化物（在結構鋼中残余奥氏体的数量不多，不超过 3~4%）。因此，回火鋼的性能实际上由 α -相和碳化物相的状态决定。

塑性形变的阻力

我們知道，淬火或低溫回火鋼下的主要特点是具有很高的塑性形变阻力。鋼在这种状态下 H_b 、 σ_b 、 σ_T 的值很高，几乎完全是决

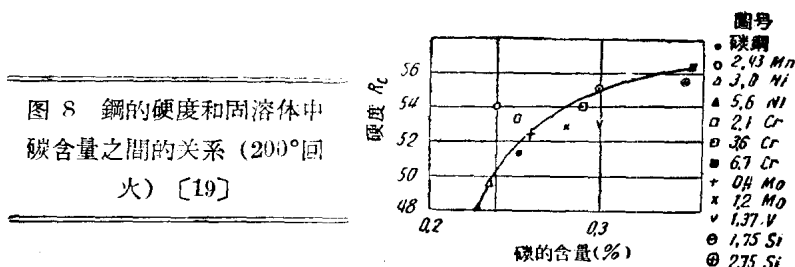
定于馬氏体中的碳含量。鋼的硬度随着含碳量的增加而急剧增大，但在合金化时变化則非常小。

不同成分的鋼在 200° 以下的溫度回火后，硬度是不同的，但是当 α -固溶体中碳的含量彼此一样时，鋼的硬度实际上也就相同（图 8）。

不同含碳量（0.25~1.25%）的鋼在 100 、 150 和 200° 回火后，如果固溶体中碳的含量相同，則硬度大致相当而与析出的碳化物数量无关（原始含碳量不同的鋼經過相同的热处理后，析出的碳化物数量当然不同）。

因此，鋼的塑性形变阻力（ H_B 、 σ_B 、 σ_T ）在淬火和不超过 200° 的溫度回火后，实际上是由 α -固溶体中碳的含量来决定，而与回火时析出的碳化物。总量，以及鋼的合金度并无多大关系。

合金元素对塑性形变阻力的影响在提高回火溫度时开始显示出来。在 $200 \sim 500^{\circ}$ 回火时，鋼的塑性形变阻力由固溶体中碳的含量和碳化物微粒的分散性决定。合金元素决定馬氏体的分解速度，因而也就决定固溶体中碳的含量和碳化物的分散性。



在高溫（ $500 \sim 650^{\circ}\text{C}$ ）回火后， α -固溶体中碳的含量非常少，可以不能决定鋼的硬度，而不同成分的鋼，硬度变化的范围很广。

合金鋼中碳化物的分散性与碳素鋼不同，它不是决定塑性形变阻力的唯一因素，因为即使在碳化物分散性相同的情况下，不

同成分。高溫回火鋼的硬度也是不同的。

高溫回火合金鋼的塑性形變阻力，是由碳化物相的分散性和鐵素體組分的狀態，特別是鐵素體組分的軟化過程所決定。這個軟化過程是與晶格畸變程度的減小，以及由於元素在鐵素體相和碳化物相之間重新分布而使 α -固溶體中合金元素的含量減少有關。只有在高溫經過長時間回火後，固溶體大大貧化，晶格的畸變得到消除，在這條件下當碳素鋼和合金鋼中碳化物的分散性相同時，它們的硬度才實際上相同（圖9）。

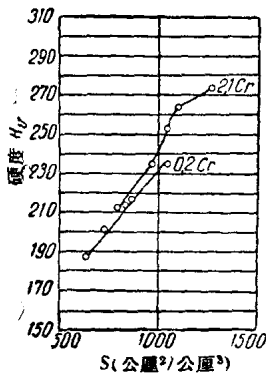


圖 9 鉻鋼硬度和碳化物分散性之間的關係（700°回火）〔19〕

鉻能增加高溫回火鋼的硬度，因為它增加了碳化物的分散性，並使鐵素體組分的硬度提高。

錳和硅主要影響着鐵素體組分的硬度，因為這二種元素雖然也增加碳化物的分散性，但其程度不大。

鉬和鎢由於增加了碳化物微粒的分散性而使硬度提高，這二種元素主要存在於碳化物微粒中。

鎳由於增加了鐵素體的硬度而使鋼的硬度提高，因為鎳是在於固溶體中，而碳化物的分散性在加入鎳之後不但不增加，反而減少。

對於合金鋼來說，塑性形變阻力和碳化物分散性之間的關係更為複雜。除了碳化物分散性的變化外，還應該考慮由於晶格畸變的消除和 α -固溶體中合金元素的貧化，甚至在高溫回火時還繼續

着的鉄素体組分的軟化过程。

由此可见，經過高溫回火的合金鋼，其塑性形变阻力是由碳化物的分散性和鉄素体組分的状态决定的。

合金元素的影响應該和下列各过程联系起来研究：

a) 碳化物的聚集；

б) 鉄素体由于合金元素在各相之間重新分布时其成分的变化而发生的軟化；

в) 鉄素体由于消除在热处理时产生的晶格畸变和 α -組分嵌塊的增大而发生的軟化。

抗断强度

評定鋼的强度一般常用的特性——硬度、屈服点和强度极限，在說明材料受負荷时强化过程的形变图上只处于比較狹窄的范围，这些特性并不能完全决定材料的机械强度。整个强化过程，特别是表明材料极限状态——破坏——的强化过程的最后阶段，才具有着重要的意义。

为了这个目的，在研究眞应力图时可以发现，經過淬火和低温而回火的鋼在变形最初阶段和发展阶段强化特別猛烈(图10)，因而可获得很高的抗断强度 (S_k) 值(达200~250公斤/公厘²)。

低温回火碳素鋼 (200°C 回火) 的眞应力曲綫，在极限变形量比較小 ($\epsilon \approx 15 \sim 20\%$) 时即中断，因而决定它的破坏应力的数值比較低。

加入合金元素后，低温回火鋼的塑性照例增加：这时强化的过程加强，抗断强度增加。大部分元素各有其最合适的浓度 (例如含碳0.3~0.4%的中碳素合金鋼中，含硅約1.5%，錳約1.5%，鉻約2.0%)，超过此浓度，回火馬氏体的塑性和抗断强度即行下降。加入錳至5.5%时能使塑性增加 (ϵ 从15%增加到65%)，抗断强度也相应地得到增加 (S_k 从190增加到260公斤/公厘²)。低温回火鋼中加入2.5%Si时，使极限塑性和抗断强度減低，但

加入較少量的硅則可以起有利的作用。

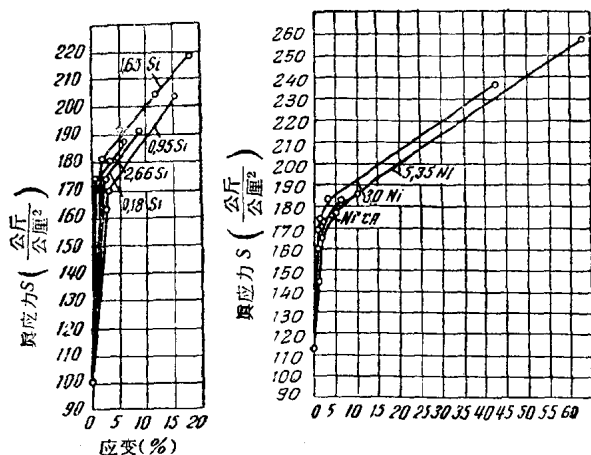


图 10 碳素鋼和合金鋼的真应力图 (200°回火) [6]

必須指出，在成分复杂的鋼中合金元素的影响在量上可能与三元鋼中元素的影响不同。例如，将碳素鋼中鎳的含量增加到5%和将赫罗曼西里型鉻硅錳鋼中鎳的含量增加到1.5~2.0%，能使低溫回火鋼的塑性和强度等值增加 [6]。

試驗証明，用多种元素綜合合金化的鋼，在淬火和低溫回火后获得的机械性能，要高于用少数元素而每种元素含量很高的合金鋼 (表2)。

但是，如果合金元素的含量过高，会引起回火馬氏体塑性变形的能力减小，并使抗断强度减低 (图11)。

低溫回火鋼在合金化时抗断强度的提高，在頗大程度上是与合金元素对塑性的影响有关，而塑性則由馬氏体中碳的含量和回火鋼組織的均匀程度决定。

通过实验可以确定，回火鋼結構的特点在于具有显著的不均匀性，这种不均匀性可能发生在超显微体积内，或发生在宏观区域内。合金成分和組織的不均匀性，可以引起应力的不均匀分布、个别地点上应力的集中和产生显微裂紋 (在达到极限状态的