

高碳和低碳馬氏体回火分解产物 的共格性所引起的內耗峰^{* 1)}

馬应良 葛庭燧
(中国科学院)

提 要

已往的研究結果指出,高碳和低碳馬氏体在回火分解过程中分别在 130°C 和 150°C 出現一个內耗峰。本文根据內耗峰的出現和消逝的条件,較有系統地研究了高碳和低碳馬氏体的回火分解和分解产物的形成和破坏,从而指出了这內耗峰确与分解产物与母体的共格性有密切联系。

研究結果指出,無論在高碳或低碳馬氏体的情形,这个內耗峰(內耗表示为温度的函数)的位置并不随測量頻率的改变而改变,內耗峰的高度随着測量內耗时的应变振幅的增大而升高。这說明內耗峰并不是由于一种弛豫过程所引起的。这可能是所有的共格性內耗峰的一个特点。根据这一特点,认为內耗峰可能是由于共格界面在应力感生下的移动所引起来的。对于产生內耗峰的机构提出了初步看法。

一、引 言

在过去,我們用內耗方法研究馬氏体的回火分解时,曾观察到高碳和低碳馬氏体在回火分解过程中分别在 130°C 和 150°C 出現一个內耗峰,并且初步指出这內耗峰可能与回火产物与母体的共格性有联系^[1]。

本文根据这个內耗峰的出現和消逝的条件,研究了高碳和低碳馬氏体的回火分解及其分解产物的共格性的破坏,并且进一步研究了这个共格性內耗峰的特点。

二、实验装置和試样制备

測量內耗的装置是扭摆。試样是用 Armco 鉄制成的。它的原始成分除鉄以外,主要杂质是 0.022% Mn, 0.005% O 和 0.020% S。原始試样經過几次打絲和退火,最后的直径是 1.58 毫米。

試样的加碳是放在通以干氩和苯汽的高温炉中(900°C)进行的,所有的試样在加碳以后都在 900°C 干氩中保温 5 小时,进行均匀化处理。为了使試样得到馬氏体組織,高碳的試样通常从 900°C 淬入水中,低碳試样的热处理过程一般是在 1100°C 干氩中处理 10 分钟,淬入 0°C 的 NaCl 或 NaOH (10%) 水溶液中(根据我們的体验,用 NaCl 和 NaOH 都可以得到同样的效果)。这样的处理可以保证整个試样获得馬氏体組織^[2]。

* 1962 年 12 月 11 日收到,1963 年 5 月 13 日收到修改稿。

1) 本文的实验工作在 1957 年完成,在最近进行整理时曾略作补充。

所有試样中的含碳量都是在处理完毕后用全燃烧分析法測定的。

三、实验的结果与分析

1. 高碳馬氏体的回火分解

过去的工作指出^[1], 高碳馬氏体在回火分解(約在80℃起始)过程中, 由于分解产物具有共格性而在130℃附近出現一个內耗峯。如由170℃降温測量, 这个內耗峯完全消逝不見, 这表示产生內耗所依据的共格性在經過170℃的回火处理以后完全被破坏。因此, 內耗峯表现为在升温过程中出現, 而当測量温度达到170℃以上再降温測量时不出現。但是, 如果这內耗峯是由于共格界面在应力作用下所导致的移动所引起的, 則在共格性尚未被破坏时, 內耗峯应该是稳定的, 即無論在升温測量或降温測量中都应当出現。为了得到稳定的內耗峯, 我們用含碳0.41%的試样进行了观测, 所得的结果如图1所示。图中的曲线I表示試样淬火后在升温过程中測量的內耗。所用的頻率約为2周/秒(以后的振动頻率在沒有特別注明时都約为2周/秒)。由图可見, 在130℃附近出現的內耗峯, 与先前在多种高碳淬硬鋼中所观察到的130℃峯是一致的^[1]。当曲线I測至150℃以后立即降温測量, 仍然有一个內耗峯出現, 如曲线II所示。因此, 在130℃的內耗峯是一个真正的內耗峯, 只要升温測量的温度不超过150℃, 則在升温 and 降温过程中都可以得到一个稳定的內耗峯。值得注意的是, 在降温測量中所得的內耗峯的绝对值(即从所測得的內耗峯高度減去背景內耗)比升温測量时为大。这表示, 如果回火温度不太高(例如不超过150℃), 則共格性不但沒有被破坏, 而分解产物可能由于在較高温度下回火还有所增加, 因而所引起的內耗也增加。

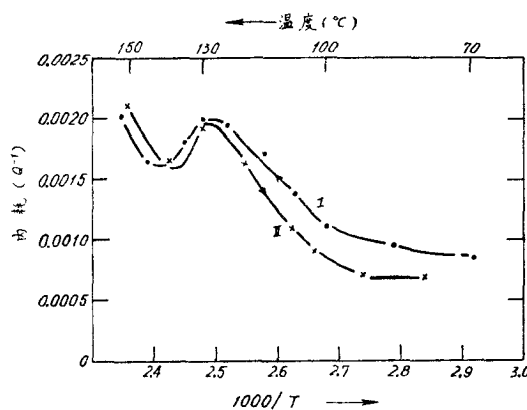


图1 含碳0.41%的馬氏体中所出現的內耗峯
I——升温測量; II——降温測量

为了进一步証实內耗峯的升高是由于回火后分解产物的增加所引起的, 我們用一种含碳較多的試样在較低温度下进行恆温回火, 并測量內耗, 这样一方面可以得到較多的分解产物, 同时又不致于使分解产物的共格性受到破坏。图2表示含碳0.85%的馬氏体在100℃进行恆温分解时所測得的內耗(在100℃測量)。由图可見, 內耗的起始高度約为0.0026, 随着保温時間的增加, 內耗不断增加, 保温5分鐘后, 內耗达到約0.0059。內耗的升高显然是由于在恆温分解过程中分解产物的不断增加, 因为馬氏体的分解程度不但与温度有关, 在同一温度下保温時間越长, 分解的程度也越大; 但是在保温約6分鐘以后, 內耗又开始下降, 例如当保温15分鐘后, 內耗从最高值約0.0060降为0.0048。这里的內耗的降低可能是由两种原因所引起的: 一种是由于共格性的部分地被破坏, 从而使內耗減少, 但由于保温的温度較低, 共格性被破坏的不致太多; 另一种是由于內耗背景本身的降

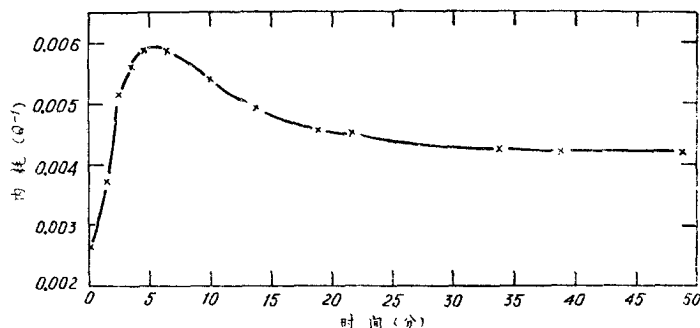


图2 含碳0.85%的馬氏体在100°C进行恒温分解过程中的内耗

低,例如室温的背景内耗便在这个保温期间由0.0023降为0.0019。背景内耗的降低可能是由于试样中的内应力在保温过程中的逐渐被消除。但是,在长时间的保温以后所达到的稳定内耗值,仍比开始保温时的内耗值约高0.0022。因此,最低限度这部分内耗确是由于在保温过程中分解产物的增多所引起的。

2. 低碳馬氏体的回火分解

高碳馬氏体的回火分解发生在80°C左右,而第一个回火阶段所相当的温度范围是80—170°C,但是关于低碳馬氏体的回火分解过程了解得却很少。含碳低于0.25%的馬氏体对于 ϵ -碳化物来说,不是过饱和的,因而它的回火分解过程显然与高碳馬氏体不同。应用X射线、硬度、比容和显微结构等方法对于低碳淬硬钢回火所进行的研究表明,由于各种测量方法的灵敏度不同,所观察到的回火分解的起始温度是极不一致的^[3]。过去我们应用内耗方法所进行的研究指出,在低碳馬氏体中并不发生相当于高碳淬硬钢的第一阶段回火过程。为了对于这个问题进行比较系统的研究,我们在Armco铁中加入0.20%的碳,经过均匀化处理后,在1100°C干氢中保温10分钟淬入0°C的盐水中,然后进行内耗测量。图3的曲线I是从室温起升温作内耗测量,在这曲线上并没有出现由于碳在 α 铁中扩散所引起的内耗峰,说明试样的组织不是铁素体而是馬氏体。曲线II是当曲线I测量

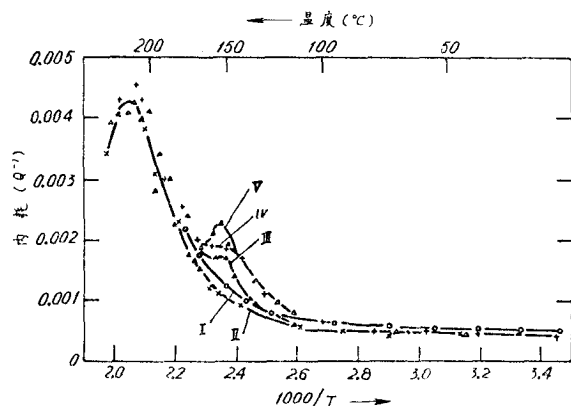


图3 含碳0.20%的馬氏体中的内耗
I——1100°C淬火后升温测量; II——在180°C回火10分钟后炉冷至室温再升温测量; III、IV、V——在233°C、288°C和350°C回火10分钟后炉冷至室温再升温测量

至180°C、并在此保温10分钟后炉冷至室温再重新升温测量。在曲线I和II上并没有出现以前在低碳馬氏体中所观察到的150°C内耗峰^[1]。这表示在180°C以下温度的回火并不能引起低碳馬氏体的分解。曲线II略低于曲线I是由于内耗背景降低的缘故。图3曲线III、IV、V是分别在233°C、288°C和350°C保温十分钟炉冷后再从室温起始作内耗测量所得到的。由这些曲线可以看出,经过高温回火后在150°C附近有内耗峰出现,并且随着回火温度的增高,内耗峰的高度也逐渐

增加, 在 350°C 回火後所出現的 150°C 內耗峯已經很顯著。曲綫上所出現的 220°C 內耗峯的機構在過去已經描述過^[4]。

上述的結果說明, 回火的溫度越高, 產生內耗所依據的分解產物析出得越多, 因而內耗峯也越高。為了了解含碳量不同的低碳馬氏體的回火分解的特點, 我們在 Armco 鐵中加入 0.10% 的碳, 在 1100°C 保溫 10 分鐘後淬入鹽水中, 然後在不同的溫度下回火 10 分鐘, 從室溫起始作升溫內耗測量。圖 4 的曲綫 I 和 II 分別是在 210°C 和 233°C 回火後測量所得的內耗曲綫, 在曲綫 II 上已可以觀察到 150°C 峯開始出現。在 270°C 回火後所得的曲綫如圖中的曲綫 III, 曲綫 IV 是在 350°C 回火後所得到的。

從圖 3 和圖 4 的各曲綫可以看出, 含碳 0.10—0.20% 的馬氏體必須約在 200°C 以上的溫度回火以後才能出現 150°C 內耗峯, 如果這內耗峯是由於分解產物的共格性, 那就指明, 低碳馬氏體中所含的碳必須在 200°C 以上的溫度才能從固溶體中析出來。

為了進一步證明 150°C 內耗峯是由於碳化物析出所引起的, 又研究了低碳淬硬鋼在不同溫度回火後硬度的改變。圖 5 的曲綫

I 和 II 分別表示含碳 0.20% 和 0.10% 的淬硬鋼在不同溫度下回火 10 分鐘後維氏硬度的變化(曲綫上的每點是 3 次硬度測量的平均值)。由圖可見, 對於含碳 0.20% 的試樣, 在 200°C 以上的溫度回火後, 硬度才開始下降, 而對於含碳 0.10% 的試樣, 硬度開始下降的回火溫度是在 230°C 以上。硬度開始下降的溫度大約相當於圖 3 和圖 4 中的 150°C 內耗峯

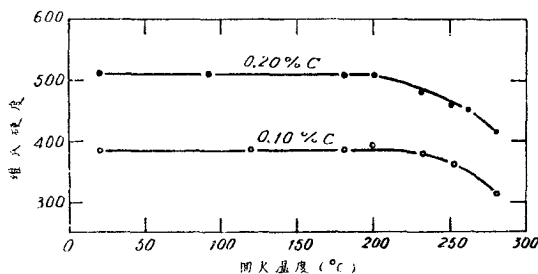


圖 5 含碳 0.20%(I) 和 0.10%(II) 的淬硬鋼在不同溫度下回火後的硬度變化

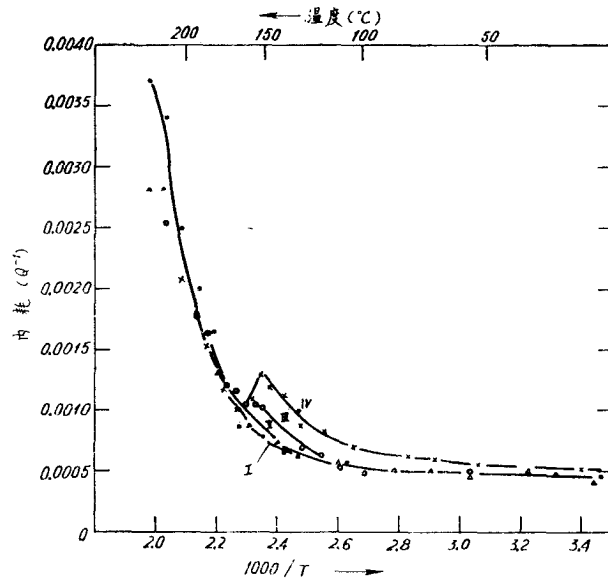


圖 4 含碳 0.10% 的馬氏體中的內耗
I, II, III, IV 分別是在 210°C, 233°C, 270°C 和 350°C
回火 10 分鐘後冷至室溫後再升溫測量

起始出現所需的回火溫度。一般來說, 硬度降低的主要原因是碳從馬氏體中析出的結果, 因而兩種觀測結果的吻合有力地證明了 150°C 內耗峯是與碳從馬氏體中析出時所形成的分解產物有關的。

3. 分解產物共格性的破壞

如果馬氏體的回火溫度太高, 則分解產物(碳化物)與母體在結構上的彈性聯繫被消除, 即共格性被破壞, 從而與分解產物相聯系的內耗峯應該降低或消逝。根據圖 1 所示的結果來看, 高碳馬氏體在 150°C 回火並不至於破壞分解產物的共格性。關於不同含碳量的高碳馬氏體中的回火產物

的共格性破坏的情况,在以前的工作^[1]中已有描述. 现在让我们进一步研究低碳马氏体中的碳化物与母体的共格性被破坏的回火温度范围. 图6的曲线I表示含碳0.20%的试样在350℃回火后所得到的稳定的150℃内耗峰. 曲线II, III, IV分别是在370℃, 400℃和430℃保温40分钟后所得的内耗曲线. 由图可见, 150℃内耗峰的高度随着回火温度的增加(在350℃以上)而逐渐降低, 而在430℃回火后, 内耗峰完全消逝不见. 显然, 这是由于产生内耗所依据的回火产物的共格性在高温回火后逐渐被破坏的结果. 对于含碳0.10%的淬硬试样也得到了类似的结果. 图7的曲线I, II, III, IV分别表示含碳0.10%的淬硬试样经过350℃, 370℃, 400℃和430℃回火5分钟后所测得的内耗曲线. 由这些曲线可见, 150℃内耗峰也是随着回火温度的增高而降低, 并且在430℃回火后内耗峰即消逝不见.

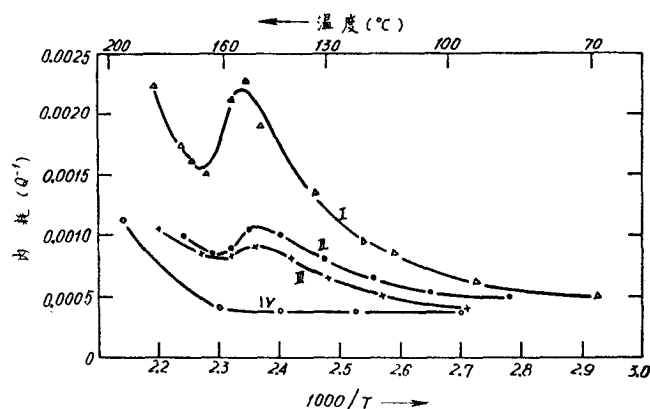


图6 含碳0.20%的淬硬试样中的150℃内耗峰由于高温回火而降低的情况
回火温度: I—350℃; II—370℃; III—400℃; IV—430℃

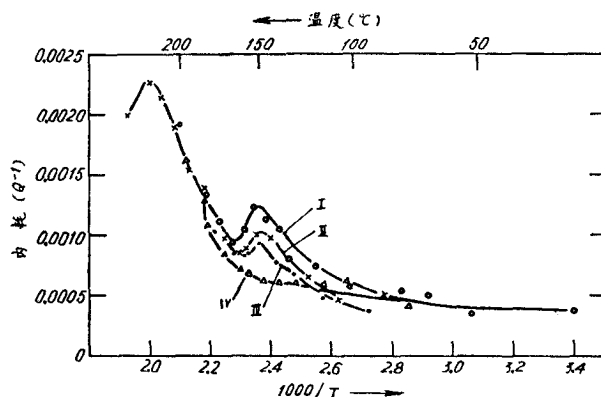


图7 含碳0.10%的淬硬试样中的150℃内耗峰由于高温回火而降低的情况
回火温度: I—350℃; II—370℃; III—400℃; IV—430℃

4. 共格性内耗峰的特点

为了阐明所观测的共格性内耗峰的机构, 我们尝试了用改变测量频率的方法来测定与这个内耗峰相联系着的激活能.

用不同频率使内耗峰移动的方法测定激活能时, 必须保证在换用频率的过程中, 内耗

峯的巔值(或形狀)不由於其它原因而發生變化。前文曾經指出,高碳馬氏體的共格性內耗峯出現在 130°C 左右,但當測量溫度達到 170°C 以後,內耗峯即降低或消逝^[1]。因此,對於內耗峯的高溫部分很難用一般的辦法改變頻率來測定。

我們採用了特別的手續來進行含碳 0.80% 的淬硬鋼的內耗測量。圖 8(a) 的曲線 I 和 II 是分別用兩種不同頻率所測得的內耗曲線。在 130°C 以下的內耗值是試樣經過 130°C 回火後用 0.40 周/秒的頻率測量的,測量至 130°C 以後把試樣爐冷至室溫,然後再用另一頻率(2.75 周/秒)重新升溫測量。這樣就保證了在兩次測量過程中試樣的組織結構都沒有發生變化,因為事先都經過了 130°C 回火。對於 130°C 以上的內耗測量,都是在每改變一個溫度時,先後用上述兩種頻率進行測量,然後再升高到較高溫度,如是重複地進行下去。這樣可以保證在每一溫度下用兩種頻率測量內耗时,試樣的組織結構一致,因而內耗的改變只能是由於頻率的改變。由圖可見,在曲線 I 和 II 的高溫部分所出現的 220°C 內耗峯,迭加在 130°C 內耗峯上,這使我們難以確定 130°C 內耗峯的巔值溫度。為了克服這種困難,我們在測完了曲線 I 和 II 以後,把試樣進行高溫回火,使 130°C 峯消逝不見,而只剩下 220°C 峯。圖 8 的曲線 III 和 IV 便是在曲線 I 和 II 測至 250°C 爐冷至室溫後再重新用上述兩種頻率升溫測量所得到的。如果從曲線 I 和 II 的內耗值分別減去曲線 III 和 IV 的內耗值,就得到圖 8(b) 所示的曲線。這時所得的內耗峯值即表示 130°C 內耗峯的絕對值。值得注意的是,兩種頻率所測得的 130°C 內耗峯的位置和形狀竟完全一致,這表明內耗峯(當內耗表示為溫度的函數時)的位置並不由於測量頻率的改變而改變。

為了進一步判定上述的令人注意的結果的可靠性,我們用含碳 0.41% 的試樣進行了相同的試驗。用這種試樣的目的是,一方面它的含碳量較低,因而受 220°C 內耗峯的干擾較小,另一方面正如同圖 1 所指出的,這種試樣在 150°C 回火後, 130°C 內耗峯仍然是穩定的,這就保證了在以後改變頻率測量內耗时,內耗峯的巔值不會發生變化。圖 9 表示含碳 0.41%

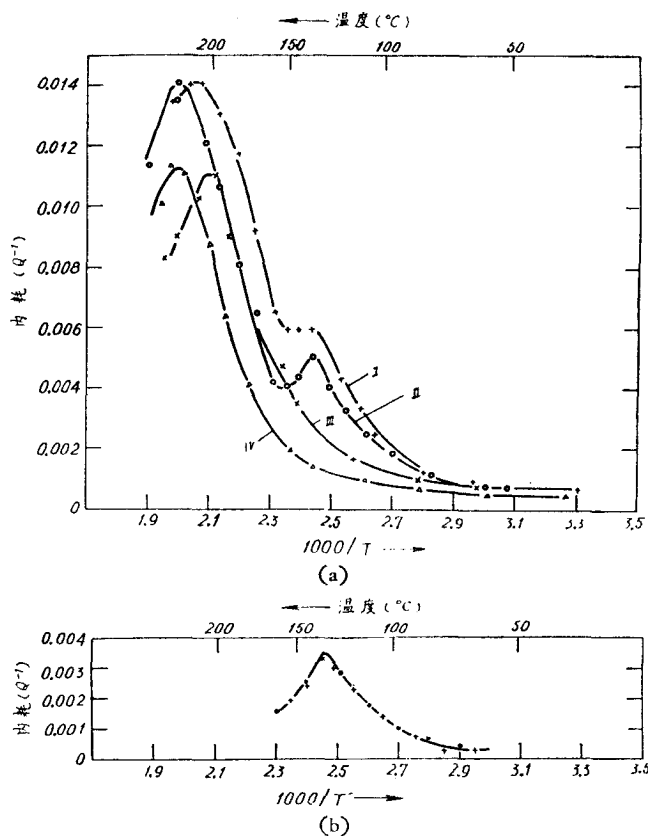


圖 8

(a) 含碳 0.80% 的馬氏體用兩種頻率測量時所得的內耗曲線: I 和 II 的測量頻率分別是 0.40 和 2.75 周/秒; III 和 IV 是經過 250°C 回火以後再分別用上述兩種頻率進行測量所得的內耗曲線。(b) 從曲線 I 和 II 的內耗值分別減去曲線 III 和 IV 的內耗值以後所得的 130°C 內耗峯。

的试样在 150°C 回火后分别用两种频率 (0.23 和 2.53 周/秒) 所测得的内耗曲线。由图可

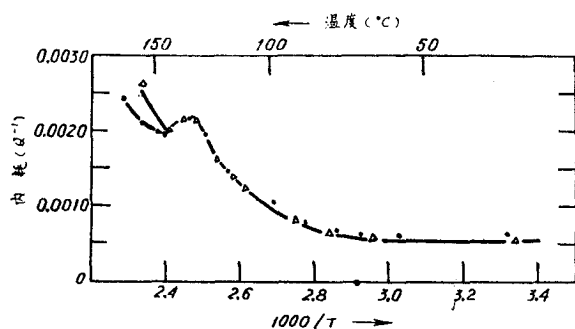


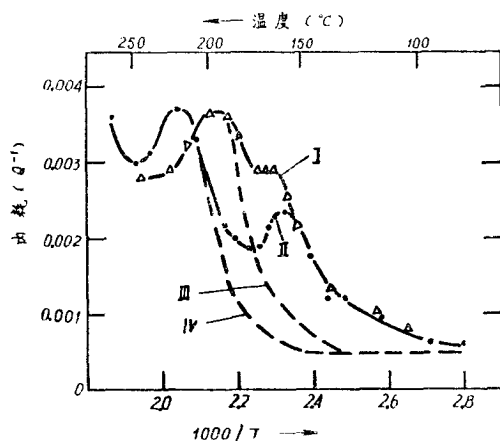
图 9 含碳 0.41% 的淬硬试样在 150°C 回火后用两种频率测得的内耗曲线
△——0.23 周/秒；○——2.53 周/秒

见,即使测量频率改变了 11 倍之多,内耗峰并没有移动,这就证明了 130°C 内耗峰确实不随频率的改变而改变。内耗峰的高温部分所表现的移动,显然是由于 220°C 内耗峰的移动所引起的。

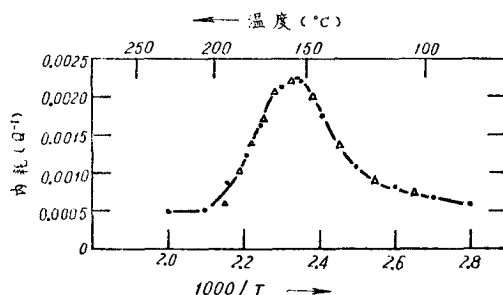
我们也观察到低碳淬硬试样中的 150°C 内耗峰并不由于测量频率的改变而改变。

将含碳 0.20% 的试样淬硬后在 350°C 回火 1.5 小时,以得到较多的

分解产物,然后用两种不同频率 (0.58 和 3.0 周/秒) 测量内耗,所得的结果如图 10(a) 的曲线 I 和 II 所示。由图可见, 150°C 内耗峰的峰值温度并没有发生变化,而 220°C 内耗峰则因频率的增加而向高温方面移动。如果单纯考虑 220°C 内耗峰,则可以根据已知的测量频率以及这个内耗峰的激活能 ($\sim 30,000$ 卡/克分子)^[4] 得到图中的曲线 III 和 IV。从曲线 I 和 II 的内耗值分别减去曲线 III 和 IV 的内耗值,得到一个两边很对称的 150°C 内耗峰如图 10(b) 中的曲线所示。用两种不同频率所得的 150°C 内耗峰几乎是完全重叠在一起,正如同图 8(a) 和 8(b) 所示的高碳马氏体中的 130°C 内耗峰的情形一样。



(a)



(b)

图 10 (a) 含碳 0.20% 的淬硬试样用两种频率测量时所得的内耗曲线: I 和 II 的测量频率分别是 0.58 和 3.0 周/秒; III 和 IV 是根据测量频率和已知的激活能所算出来的纯粹的 220°C 内耗峰。(b) 从曲线 I 和 II 的内耗值分别减去曲线 III 和 IV 的内耗值以后所得 150°C 内耗峰。

上面实验所用的试样是在 Armco 铁中加碳所制成的。为了与以前所得的结果作比较,我们又采用了一种原来含碳 0.22% 的低碳钢作试样,研究了在共格产物形成时以及共格性破坏以后的内耗变化。低碳钢的成分与以前的相同^[1]。图 11(a) 的曲线 I 和 II 表示用两种测量频率 (0.20 和 2.0 周/秒) 所测得的含碳 0.22% 的低碳淬硬钢在 350°C 回火 5 分钟后的内耗。由图可以看出,即使测量频率改变了 10 倍之多, 150°C 峰的峰值温度并没有

改變。曲線 III 和 IV 是當試樣在 420°C 回火 20 分鐘使分解產物的共格性全部被破壞以後用上述兩種頻率所測出來的。按照如圖 8 和圖 10 的同樣步驟所得出來的純粹的 150°C 內耗峯如圖 11(b) 所示。峯的形狀和位置也不因測量頻率之不同而發生變化。這就進一步証明了，在高碳和低碳馬氏體中的共格性內耗峯都具有同樣的特點，即內耗峯的形狀和位置與測量頻率無關。

四、討 論

1. 關於所觀測的內耗峯是否確由回火分解產物的共格性所引起的問題

根據前文^[1]和本文所得的實驗結果和分析，可以肯定，所觀測的內耗峯是與分解產物的出現密切相關的。但是這內耗峯是否確由分解產物的共格性所引起，是一個需要進一步加以分析的問題。在高碳馬氏體的情況，已知

分解產物 (ϵ -碳化鐵) 與母體具有共格性^[5]，因而很容易使人聯想到所觀測的內耗峯與這種共格性有聯系。已經有人觀察到共格界面移動能夠引起內耗峯，例如 Worrell 等曾在錳銅合金 ($\sim 12\%$ Cu) 中觀察到由於孿晶界面的應力感生運動所引起的內耗峯^[6]，但他們並沒有測定這內耗峯是否由於振動頻率的改變而改變，因而還不能肯定我們所觀察到的內耗峯是否與 Worrell 等所觀察到的屬於同一個類型。

最近我們關於馬氏體相變所進行的內耗研究，對於上述的問題提供了一個有力的旁証^[7]。我們用具有 $\gamma \rightleftharpoons \epsilon$ 的正反馬氏體相變的鐵錳 (18.5% Mn) 合金作實驗，觀察到在正反相變過程中都有一個內耗峯出現。曾在許多金屬和合金中觀察到馬氏體型相變過程中引起內耗^[8]。由於在這種相變條件下奧氏體和馬氏體之間是具有共格性的，所以這種內耗峯很可能與共格界面有聯系。值得注意的是，我們觀察到，鐵錳合金中馬氏體相變過程中所出現的內耗峯 (在變為穩定以後) 的位置也不隨着測量頻率的改變而改變^[7]。因此，內耗峯的位置與頻率無關的這個現象可能是所有的共格性內耗峯的特點。

如果可以把這個推論加以普遍化的話，則我們不但可以認為高碳馬氏體的 130°C 內耗峯是一個共格性內耗峯，也可以認為低碳馬氏體的 150°C 內耗峯也是一個共格性內耗峯。

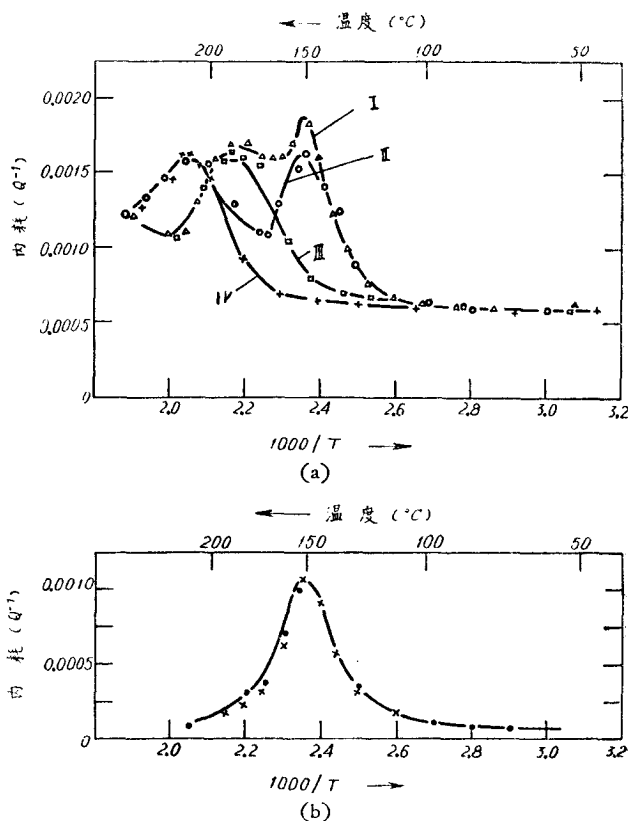


圖 11 (a) 含碳 0.22% 的淬硬低碳鋼試樣用兩種頻率測量時所得的內耗曲線：I 和 II 的測量頻率分別是 0.2 和 2.0 周/秒；III 和 IV 是經過 420°C 回火以後用上述兩種頻率進行測量所得的內耗曲線。(b) 從曲線 I 和 II 的內耗值分別減去曲線 III 和 IV 的內耗值以後所得的 150°C 內耗峯。

由于目前还没有其它的实验确切指出低碳马氏体的回火分解产物具有共格性, 我们有可能根据这种共格性内耗峰的出现来作出这种推测。

2. 关于产生共格性内耗峰的初步看法

如果所观测的 130°C 内耗峰和 150°C 内耗峰是与共格性有联系的, 那便应该能够提出一个说明共格性如何能够产生内耗峰的模型, 并且必须说明为什么这个内耗峰的位置与测量频率无关的这一特点。

首先, 我们可以假定这内耗峰是共格界面在应力感生下的移动所引起的。这种界面的移动与众所周知的非共格界面 (如晶粒间界) 的粘滞性滑动不同, 因为后一种过程是一种弛豫过程, 包含着一种激活能^[9]。可以想象, 在马氏体的回火分解或相变过程中所产生的共格界面在许多方面都与共格性孪晶界面相类似, 当共格性孪晶界面移动时, 只是各原子的位置发生有规律的变化, 而且所变化的距离只是点阵间距的一部分, 并没有原子交换位置发生, 因此在界面移动时并不需要原子扩散, 也就是说, 并不是一种热激活过程^[10]。

关于共格界面内耗随着温度的改变而出现一个峰值的原因, 可能与共格区域的材料变形阻力之随着温度的增高而减小有关。可以认为, 共格界面被允许移动的最大距离决定于共格产物的组织状态, 特别是它的颗粒大小, 而在一定的外加应力下, 共格界面究竟能够移动多少, 则决定于共格区域的材料变形阻力。如所周知, 内耗是与变形阻力和所移动距离的乘积成正比。当温度较低时, 变形阻力很大, 在一定的外加应力的作用下, 不能使共格界面移动, 因而内耗很低。当温度很高时, 变形阻力很小, 使共格界面移动到最大距离所作之功很小。唯有在中間温度, 当变形阻力和所移动的距离都不很低时, 内耗才具有较高的数值。

才具有较高的数值。

根据以上的看法, 温度对于共格区域的材料变形阻力的影响可以由在测量内耗时所加的应力对于界面移动距离所能够发生的影响来补偿。因此, 共格界面内耗的高度应该随应变振幅的增大而升高, 而且用大应变振幅测得的内耗峰应该向低温移动。为了验证这种看法, 我们测量了低碳和高碳马氏体共格性内耗峰的“振幅效应”。图 12 所示的曲线是用 0.22% 碳钢试样测得的, 试样由 1100°C 淬于盐水中, 然后在 360°C 回火十分钟。图中的曲线 V 是用较低的应变振幅测得的 (本文中以前各图的内耗曲线都是用这种振幅测得的), 试样表面的最大应变振幅是 0.35×10^{-4} 。曲线 IV, III, II, I 所相应的最大应变振幅分别是 0.56, 0.85, 1.41, 1.69×10^{-4} 。由图可见, 在内耗峰出现的温度范围内, 这种振幅效应非常显著。我们也用不同的应变振幅测量了与共格性无关的 220°C 内耗峰, 发现它并不呈现振幅效应。我们又用另一根含碳 0.22% 的试样测量了这种振幅效应, 发现这种现象具有很高的再现性。

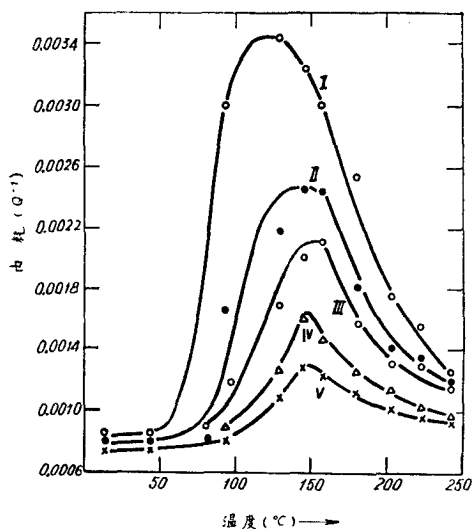


图 12 含碳 0.22% 的淬硬钢试样共格性内耗峰的振幅效应。最大应变振幅: I, II, III, IV, V 分别是 1.69, 1.41, 0.85, 0.56, 0.35×10^{-4}

$\times 10^{-4}$ 。由图可见, 在内耗峰出现的温度范围内, 这种振幅效应非常显著。我们也用不同的应变振幅测量了与共格性无关的 220°C 内耗峰, 发现它并不呈现振幅效应。我们又用另一根含碳 0.22% 的试样测量了这种振幅效应, 发现这种现象具有很高的再现性。

高碳試样的共格性內耗峯也出現同样的振幅效应。图 13 所示的曲线是用 0.8% 碳鋼試样(750℃水淬)測得的。由图可見,当应变振幅增大时,內耗峯显著升高。可是,由于低温背景內耗(原因見前)的影响和掩盖作用,在这里并没有明显地观察到內耗峯巔值温度随着应变振幅的增加而移向低温的情况。

此外,我們观察到,在鉄錳(18.5% Mn)合金中, $\gamma \rightleftharpoons \delta$ 转变的內耗峯也具有这种振幅效应^[7]。

为了考察在出現共格性內耗峯的温度范围内,共格区域的材料的变形阻力是否随着温度的增高而出現突然減小的現象,我們測量了試样振动频率的平方值(与切变模量成正比)随着温度而变化的情况。图 14 所示的是相当于图 12 中的曲线 I 的情况,图中把內耗曲线 I 画了出来作比較。正如所預料的,切变模量在出現共格性內耗峯的温度范围内发生显著的变化。

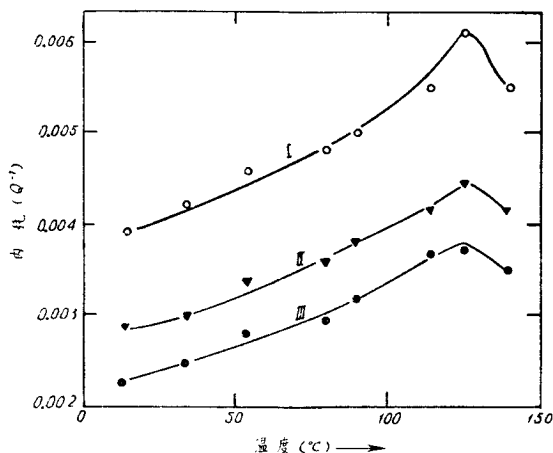


图 13 含碳 0.8% 的淬硬鋼試样的共格性內耗峯的振幅效应。最大应变振幅: I, II, III 分别是 1.69, 0.85 和 0.35×10^{-4}

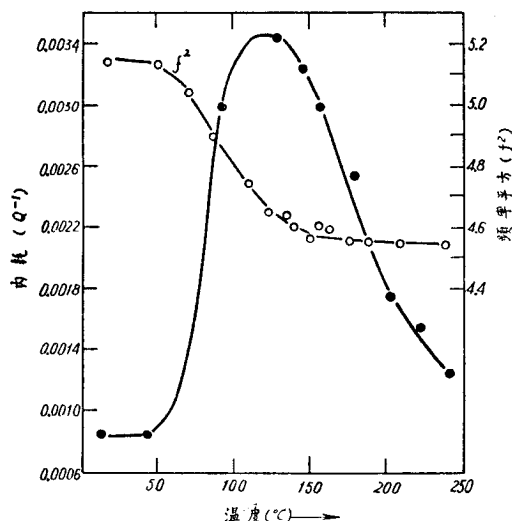


图 14 含碳 0.22% 的淬硬鋼試样的切变模量在出現共格性內耗峯的温度范围内的变化(f^2 的曲线), f 是振动频率(周/秒)

共格性破坏的温度似乎可以看作是共格区域的材料的变形阻力的一种量度,共格性破坏的温度越高,則这种变形阻力应该越高,也就是說,內耗峯越应该出现在較高的温度。这一点也与我們的实验結果相合。高碳馬氏体回火产物的共格性約在 170℃ 被破坏^[1],它的內耗峯巔值温度是 130℃;低碳馬氏体回火产物的共格性約在 430℃ 被破坏,它的內耗峯巔值温度是 150℃。

3. 关于初級馬氏体問題的看法

在高碳馬氏体所进行的实验中,无论它的含碳量是多少,共格界面內耗峯的巔值温度都是 130℃,这說明各种高碳馬氏体的回火产物与母体的共格联系是相同的。

这个結果強有力地支持了庫尔久莫夫等所提出的作为高碳馬氏体回火分解的中間相的初級馬氏体(含碳約 0.25%)的看法^[11]。根据这个看法,則我們在各种含碳量不同的高碳馬氏体回火分解过程中所观察到的共格界面內耗峯都是初級馬氏体(含碳 0.25%)与它的回火产物之間的共格性所引起的。关于这个問題的另一証据是,当淬硬鋼中的含碳量小于 0.25% (例如在 0.22% 以下)时,所观察到的共格界面內耗峯便不再出现在 130℃,而是出现在 150℃。这时,試样中不会出現含碳

0.25%的低碳馬氏体,因而与內耗峯有关的共格界面的性質也就不同。

参 考 文 献

- [1] 葛庭燧、馬应良, 物理学报, **11** (1955), 479.
- [2] Курдюмов, Г. В., Перкас, М. Д., Шапов, А. Е., ДАН СССР, **92** (1953), 555; Проблемы металловедения и физики металлов, **4** (1955), 228.
- [3] Kuo Kehsin (郭可信), *Särtryck ur Jernkontorets Annaler*, **140** (1956), 854.
- [4] 葛庭燧、容保粹、王业宁, 物理学报, **11** (1955), 91.
- [5] Jack, K. H., *J. Iron Steel Inst.*, **169** (1951), 26.
- [6] Siefert, A. V., Worrell, F., *J. App. Phys.*, **22** (1951), 1257; Zener, C., *Elasticity and Anelasticity of Metals* (Univ. of Chicago Press, 1948), p. 159—163.
- [7] 馬应良、葛庭燧, 1963年8月已投稿物理学报.
- [8] Scheil, E. 等, *Arch. Eisenhüttenwes.*, **12** (1938/39), 103; *Z. Metallkde.*, **36** (1944), 63; *Arch. Eisenhüttenwes.*, **27** (1956), 801; Köster, W., *Z. Metallkde.*, **39** (1948), 1; Bratina, W. J., Winegard, W. C., *Trans. AIME*, **206** (1956), 186; Постников, В. С., *ФММ*, **4** (1957), 344; 王业宁, 朱建中, 物理学报, **15** (1959), 341.
- [9] Kê, T. S. (葛庭燧), *Phys. Rev.*, **71** (1947), 533.
- [10] Гарбер, Р. И., ДАН СССР, **21** (1938), 233.
- [11] Курдюмов, Г. В., Лысак, Л., *ЖТФ*, **19** (1949), 525.

INTERNAL FRICTION PEAKS ASSOCIATED WITH THE COHERENCY OF THE DECOMPOSITION PRODUCTS OF HIGH-CARBON AND LOW-CARBON MARTENSITE

Y. L. MA T. S. Kê

(Academia Sinica)

ABSTRACT

Previous studies showed that internal friction peaks appear around 130°C and 150°C in the process of tempering of high-carbon and low-carbon martensite respectively. These peaks have been assumed to be associated with the coherency existing between the decomposition product and the parent phase. In the present work, systematic studies are made on the appearance and disappearance of the respective internal friction peaks in correlation with the formation and the destruction of the coherent decomposition products of high-carbon and low-carbon martensite.

Results show that these peaks are definitely related with the coherency of the decomposition products.

Experimental results show further that, in the case of high-carbon as well as low-carbon martensite, the position of the internal friction peaks (when expressed as a function of temperature) does not change with a change of the frequency of measurement, but the height of the peaks increases with a raise of the stress amplitude used in the measurement. This indicates that the observed internal friction does not involve a relaxation process, and this may be characteristic for all internal friction peaks associated with a coherency phenomenon. On the basis of the behaviour of the peaks, we may assume that the peaks are associated with the stress-induced movement of the coherent boundaries. The origin of the temperature variation of this internal friction is discussed.