

An illustration at the top of the cover depicts a stylized industrial landscape in shades of orange and yellow. It features various factory buildings, tall chimneys emitting smoke, and a complex network of pipes and structural frameworks.

初級
自學 科学技术丛书

钢的淬火与回火

何維勤編著

江苏人民出版社

· 內 容 提 要 ·

本书讲述鋼的淬火与回火的基本理論和操作方法，并扼要地闡述了鋼的冰冷处理，可供从事热处理工作的干部和技工閱讀。

初級科學技術叢書

鋼 的 淬 火 与 回 火

何維勤編著

*

江苏省书刊出版业营业许可証出〇〇一號

江 苏 人 民 出 版 社 出 版

南 京 湖 南 路 十 一 号

新华书店江苏分店发行 南京印刷厂

*

开本 787×1092 1/32 印張 3 11/16 字數 8

一九五八年七月第一版

一九五八年七月南京第一次印刷

印數 1—5,000

統一書號：15100·39

定 价：(7)三角四分

目 录

一、淬 火	1
1. 淬火的一般知識	1
2. 淬火硬化的理論	3
3. 奧氏体等溫轉變和C曲綫圖	7
4. 淬火時鋼的特性	11
5. 淬火時應注意的問題	12
6. 快速加熱法	21
7. 工件在淬火劑中的冷卻原理	24
8. 淬火劑(冷卻劑)	25
9. 冷卻方法	31
10. 淬火的操作方法	35
11. 淬火方法小結	55
二、回 火	57
1. 回火的一般知識	57
2. 回火時鋼中組織的轉變	58
3. 回火對鋼的機械與物理性能的影響	59
4. 回火的種類和應用	61
5. 回火脆性	63
6. 回火的操作步驟	66

三、冰冷处理.....78

附 录

附表1. 鋼在加热和冷却时的临界点温度.....	83
附表2. 优质碳素结构鋼的机械性质与热处理规范...	85
附表3. 合金结构鋼的机械性质与热处理规范.....	88
附表4. 高速鋼的硬度与热处理规范.....	92
附表5. 弹簧鋼的硬度与热处理规范.....	92
附表6. 滚珠轴承鋼的硬度与热处理规范.....	93
附表7. 碳素工具鋼的硬度与热处理规范.....	94
附表8. 合金工具鋼的硬度与热处理规范.....	95
附表9. 高合金不锈钢耐热鋼的机械性质与热处理规范.....	99
附表10. 各种工具制造用鋼号回火温度与硬度.....	101
附表11. 盐浴炉用的加热盐.....	114

一、 淬 火

1. 淬火的一般知識

大家都知道淬火是可以把鋼件的硬度从很低($Rc20$ 以下)淬到很高($Rc60$ 以上),可用来作刀具切削鋼件,既鋒利而又耐磨;也可使机件变得非常坚强,能够担负很大的力量,而不至于变形和损坏。因此可以说淬火在所有热处理操作中是非常重要的工序。淬火的操作只是把燒紅了的鋼件(低碳鋼除外)很快地浸到水中或油中去冷却,看起来非常简单,但是这里面的理論却很多。要想把淬火淬好,又不使鋼件变形和损坏,就必须知道哪类鋼应该加热到什么温度,保持多久时间,淬什么样的火(就是用什冷却剂,水、油或盐水淬火),怎样来淬火等等。

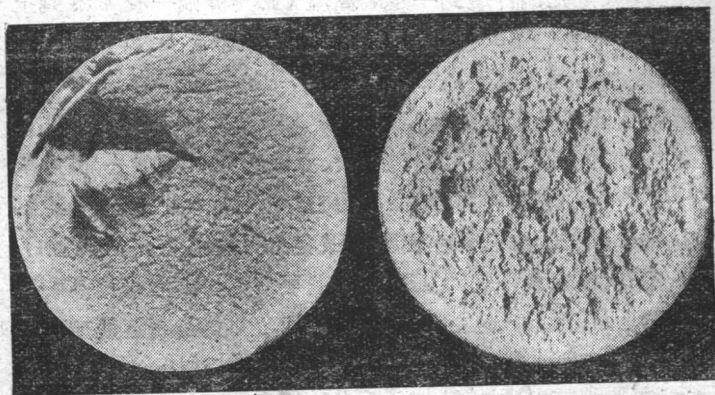
淬火是把鋼件燒到一定的高温(亚共析鋼一般加热到上临界点 $*Ac_3$ 以上 $30^{\circ}-50^{\circ}C$ 的温度——完全淬火。共析鋼和过共析鋼加热到下临界点 Ac_1 以上 $30^{\circ}-50^{\circ}C$ 的温度——不完全淬火,即部分成奥氏体組織。),在这个温度停留一段时间,使工件各部分受热到温度均匀一致,里面的結核組織全部(或部分)变成奥氏体后,再用很快的冷却速度在水、油或盐水等冷却剂中急冷下来,使它具有硬度和强度很高的馬氏体組織(图1)。

淬火也有人叫它为“硬化”,主要是因为淬火能提高硬度(但不全面,因正火也能提高一些硬度,尤其是高速鋼提高得较多)。高碳鋼和中碳鋼很容易淬火硬化,得到相当高的硬度,高碳鋼通常可以淬到 $Rc55$ 以上,中碳鋼也能淬到 $Rc35-55$

* Ac_3 , Ac_1 温度可參攷附表1。



图 1. 馬氏体 ($\times 1000$)



甲

乙

图 2. 淬火鋼的断面

(見表1)低碳鋼硬化性最差,簡直淬不上火。因为硬度提高得很少,所以一般不作淬火处理。含有某些合金元素(如錳、鉬、鉻、鎢等元素)的合金鋼,硬化性能更好,小的零件几乎可以全部硬化。經過淬火的鋼,它的淬硬部分要求得到最高硬度的馬氏体組織,即其断面必須呈淺灰色,并且象瓷器断面一样的細密(图2.甲)。如果成亮白色粗顆粒組織(图2.乙),那末一定是淬火溫度燒高了,它的性質必然很脆,而且容易损坏。

含碳量与硬度关系表

表 1.

含 碳 量 (%)	硬 度 (R ·)	
	碳 鋼	合 金 鋼
0.03—0.17	—	25
0.18—0.22	25	30
0.23—0.27	30	35
0.28—0.32	35	40
0.33—0.42	40	45
0.43—0.52	45	50
0.53—0.62	50	55

(50%馬氏体+50%楚氏体区)

2. 淬火硬化的理論

淬火后的鋼所以能变得很硬,主要是因为鋼中的珠光体在加热到高温以后变成了面心立方晶格(γ -鐵)的奧氏体,奧氏体在以最快的速度冷却下来时,在面心立方晶格 γ -鐵中的碳原子就来不及象緩慢冷却时那样得到充分的扩散和移动的机会(就是分解成滲碳体和純鐵体的混合物——珠光体、索氏

体或楚氏体) 因此被强迫地保留在结晶格子中间, 好象用楔嵌到晶格里面去一样, 由于这种碳原子被强迫地嵌到铁原子里去的結果, 在新形成的馬氏体晶格(碳原子楔入到 α -铁晶格里的过饱和固溶体)中产生了很大的内应力, 使晶格发生扭曲变形, 阻碍了晶粒的滑移作用, 因此使鋼的硬度显著地增高。

由此可以知道, 低碳鋼淬不硬的原因主要是因为低碳鋼含碳量少, 因此在奥氏体轉变成低碳馬氏体时的应力变形小, 所以沒有象上面講的那樣有剧烈变硬的作用。同时因为低碳鋼的临界淬火温度高, 一般冷却速度也达不到硬化的作用。假使中碳鋼的加热温度低于 A_{c1} , 如在 500°C 、 630°C 或 700°C 的温度加热, 急速地淬到水中去, 也同样的淬不硬, 原因是鋼的結晶組織还没有轉变成奥氏体, 因此就不能形成正方馬氏体晶格(图3)。如加热到 750°C (高于形成奥氏体的 A_{c1} 温度)并急

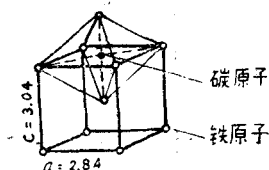


图 3. 正方馬氏体晶格



图 4. 过共析鋼正常淬火后的組織(馬氏体+渗碳体小粒)

速地冷却, 鋼就能被淬硬, 但还不是很硬, 因为它的結晶組織里还留有很軟的純鉄体的緣故。要想把鋼淬得很硬, 对含碳0.83%以下的鋼來說, 一定要加热到 A_{c3} 以上的温度。而含碳0.83%以上的鋼只要加热到 A_{c1} 以上 A_{cm} 以下的温度就可以了, 因为这样淬火出来的鋼的組織中, 除了馬氏体外还有許多硬度非常高的渗碳体小粒(图4), 这些小粒好象許多細小刀

片一样增加了鋼的切削耐摩能力。如溫度超过 A_{cm} 淬火时, 使的鋼組織粗大, 滲碳体小粒消失, 除馬氏体外将保留残余奥氏体, 反而使硬度降低(图 5)

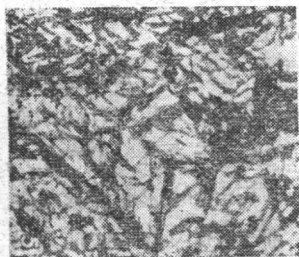


图 5. 过共析鋼超过 A_{cm} 淬火后的組織——馬氏体(黑)十残余奥氏体(白)

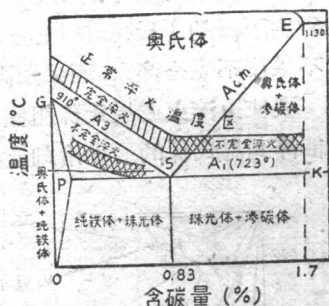


图 6. 鋼在鉄碳平衡图中的淬火温度区

亚共析鋼的正常淬火溫度区正是完全淬火的溫度范围, 而过共析鋼的正常淬火溫度区却是不完全淬火的溫度范围,



圖 7. 不完全淬火鋼的組織——馬氏体十純鉄体(白色)

这些都表示在图 6 的铁碳平衡图中。在完全淬火的温度范围内加热并急速冷却,能得到大量的马氏体组织。如亚共析钢加热到 A_{c1} — A_{c3} 的临界温度范围内淬火,就成为不完全淬火,得到硬度不高的马氏体和纯铁体组织(图 7)。因此对亚析钢一般不采用不完全淬火,而采用高温的完全淬火。

要使钢淬火成马氏体组织,必须采用很高的冷却速度,这个能淬到马氏体的最小冷却速度叫做临界淬火速度(图 8, V_c)。

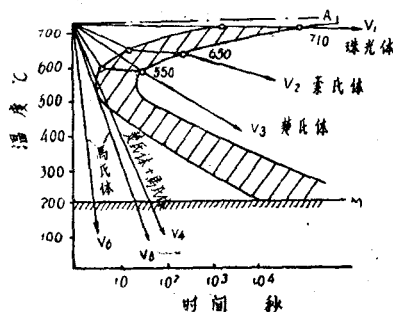


图 8. 在C曲线中的冷却曲线图

以大于 V_c 的速度如 V_1 , 或其他的速度淬火都能得到马氏体。假使以最慢的冷却速度, 如 V_1 在 710°C 保温后冷却, 就会转变成珠光体, 这就是在退火中讲过的完全退火处理。以很慢的速度, 如 V_2 保温到 650°C 冷却, 就变成索氏体。

冷却速度对共析钢临界点温度 及结构组织的影响

表 2.

冷却速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{秒}$)	临界点温度		形成的结构组织	硬度 (R_c)
	$A_{r'}$	$A_{r'}(M)$		
0.01—1	710°C	—	珠光体	15
10	650°C	—	索氏体	30
70	550°C	—	贝氏体	40
100	$500-550^{\circ}\text{C}$	200	贝氏体及马氏体	50
150以上	—	200	马氏体	60

再以較慢的速度,如 V_3 保溫至 550°C 冷却,則轉變成楚氏体。若以稍慢的速度如 V_4 保溫至 $500-550^{\circ}\text{C}$ 冷却,那末就轉變成楚氏体和馬氏体。在共析鋼中冷却速度对临界点溫度、結構組織及硬度的影响如表2所列。

在图9中,也說明了冷却速度对鋼的临界点和結構組織的影响。鋼从 A_1 点开始冷却,因快速冷却而降低到 Ar' 点(Ar' 点是表示奥氏体轉变成楚氏体的溫度,在 Ar' 点以上溫度較

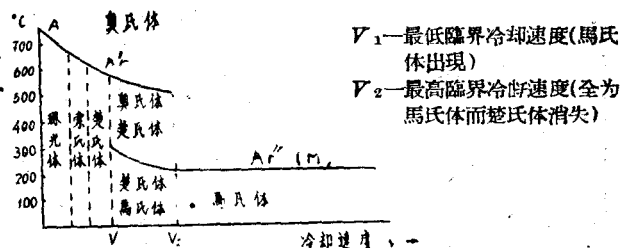
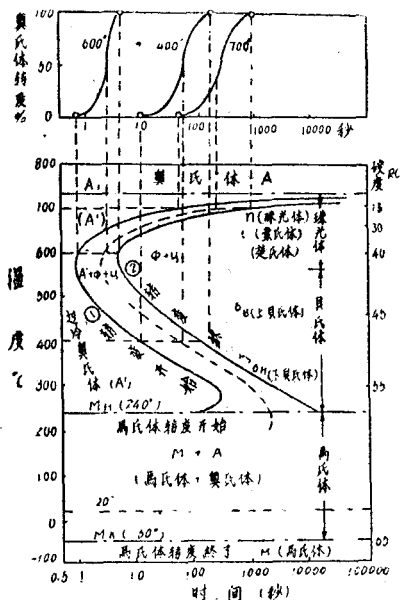


图9. 冷却速度对临界点位置和結構組織的影响

慢冷却时,分別轉变成索氏体和珠光体)。当冷却速度再增快时, Ar' 点分成两部分:一部分奥氏体在 Ar' 点($<600^{\circ}\text{C}$)轉变成楚氏体,另一部分的剩余奥氏体在 Ar'' 点(M 点)轉变成馬氏体。所以在一定的冷却速度范围内, Ar' 和 Ar'' 两点的轉变是同时发生的,也就是同时产生楚氏体和馬氏体組織,如冷却速度进一步加快,那时 Ar' 点消失了,奥氏体的轉变就发生在 Ar'' 点上,則全部轉变成馬氏体的組織。

3. 奥氏体等温轉变和C曲綫圖

图10是共析碳鋼(0.8% C)的奥氏体等温轉变C曲綫图。那么究竟什么是C曲綫图呢?簡單的說, C曲綫图就是当鋼



C 曲綫图縱坐标的
左面表示溫度($^{\circ}\text{C}$) 右面
表示硬度 (Rc), 橫坐标

图 10. 0.8% C 共析碳钢等温转变 C-曲线图 表示时间(秒)。曲线①是过冷奥氏体转变开始曲线, ②是过冷奥氏体转变終了曲线, 中間虛线表示转变至 50% 时的曲线。上部横线 A_1 是临界点温度, 中部 M_B 线是馬氏体转变开始线, 下部 M_K 线是馬氏体转变終了线。这个图可以分成四个区域:

(1) A_1 綫以上是稳定的奥氏体区域, 以 A 表示 不随時間而發生轉變。

(2) 在 A_1 与 M_H 中間是等溫转变区, 由曲綫①②分割成以下三个区域:

I. 曲綫①左边是不稳定的过冷奥氏体区域, 以A'表示, 将随時間而发生转变。如曲綫距纵坐标近就是孕育期短, 奥氏体最不稳定, 距纵坐标远則孕育期就长, 奥氏体较为稳定。

Ⅱ. 曲線①与②中間是未轉变完成的奧氏体与轉变后的产物——純鉄体和滲碳体的混合物区域,以 $A' + \Phi + \eta$ 表示。

Ⅲ. 曲線②右边是轉变終了所生成的純鉄体和滲碳体混合物区域,以 $\Phi + \eta$ 表示。

(3) M_H 与 M_K 中間是馬氏体和剩余奧氏体区域,以 $M + A'$ 表示。

(4) M_K 以下为已轉变完成的馬氏体区域,用 M 表示。

曲線①的凸出部分或叫鼻部,溫度范围約 500°C — 600°C ,叫做临界区域。淬火时必须用大于临界冷却速度的速率很快冷却,勿使与鼻部接触

或到曲線①的右边来,方能得到全部馬氏体的組織,約在 200°C — 300°C 溫度范围叫做危險区域,必須很慢冷却以避免淬火时开裂的危險。

由图11可以看出,合金鋼的C-形曲綫鼻部比碳鋼居右,且大多有两个

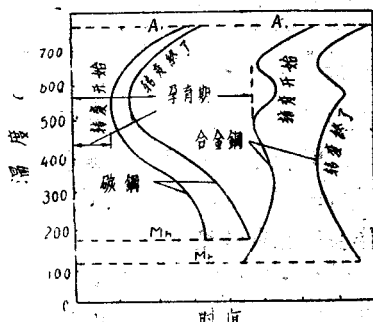


图 11. 碳鋼和合金鋼的C-形曲綫图

个鼻部(指含形成碳化物合金元素的合金鋼),因此合金鋼比碳鋼的孕育期长,可放在油中慢冷淬硬。这就是碳鋼必須淬水(盐水)火,而合金鋼可淬油火的道理。

C曲綫图对每种不同成分与牌号的鋼来講都是不同的,也就是說每种牌号的鋼都有它的特殊C曲綫图,因此它比鉄碳平衡图要复杂得多,但比鉄碳平衡图的用处却大得多。因为根据鉄碳平衡图,只能知道含多少碳量的碳鋼或鑄鉄(但不包含特殊合金的合金鋼和合金鑄鉄)在緩慢加热或冷却的状态下,什

么溫度時存在那種結核組織和平衡狀態下的組織變化情況。至於快速冷卻的淬火情況，在一定的溫度和時間變化下，某種成份的鋼該產生什麼樣結核組織。一定要依靠C曲綫圖才能測得。因此C曲綫圖的用途很大，歸納起來大致有下列幾方面：

(1)可決定某種鋼在熱處理時適當的溫度、時間及臨界淬火速度的大小(如圖8中的 V_s)。

(2)可決定熱處理後鋼的硬度和結核組織(如圖10右邊所註)。

(3)可確定某種鋼最合適的冷卻劑(水、油……)、冷卻方法以及加熱爐子和工具等。

(4)可用作等溫淬火、分段淬火及等溫退火時的主要參考數據。

(5)可估計出某種成份鋼晶粒大小及硬化的能力等。

總的說來，應用C曲綫來進行熱處理就可避免許多熱處理時可能發生的弊病，減少廢品率，提高生產效率，使熱處理操作獲得優良的結果。

鋼在等溫轉變時所生成產物的結核組織，主要是隨著轉變溫度的高低與冷卻速度的快慢而有所不同，現在以0.8%C共析碳鋼作例子，可以根據溫度分成三個區域(見圖10右面部分)：

(1)珠光體區域——自 A_1 以下至 550°C 以上，以各種不同的冷卻速度(表2)，形成粗細不同的珠光體——純鐵體和滲碳體的混合物(即珠光體、索氏體或楚氏體)，它們的形成都是由於擴散的作用，在形成過程中以滲碳體相頭先出現。

(2)貝氏體區域——自C曲綫的鼻部至 M_H 綫的溫度範圍內轉變形成。可以分為上貝氏體(針狀楚氏體)和下貝氏體(羽毛狀楚氏體)兩種，也是由於擴散作用形成，而且與珠光體

相仿，同樣是由純鐵體和滲碳體的混合物組成，但與珠光體的形成過程不同，它是以針狀純鐵體相領先出現，而且純鐵體內所含的碳量是超過正常(0.04% C)的過飽和碳量。貝氏體的組織(成針狀和羽毛狀)與馬氏體有些相似，但韌性卻比馬氏體高得多。

(3) 馬氏體區域——自 M_H 至 M_K 線溫度範圍內轉變形成。但在形成的過程中沒有擴散的作用。它是碳在 α -鐵中的過飽和固溶體，硬度和強度很高，但很脆，經不起沖擊和強烈的震動。

總的來說，奧氏體等溫轉變溫度愈高，生成產物的硬度愈低；轉變溫度愈低，那末生成產物的硬度就愈高(見圖10所示)。用普通方法淬火時以快速冷卻得到馬氏體的操作在過冷奧氏體的等溫轉變時還是適用。而獲得貝氏體的組織是過冷奧氏體等溫轉變所特有的產物。對珠光體、索氏體和楚氏體等組織，不僅在以一定速度的連續冷卻時才能得到，而在過冷奧氏體的等溫轉變時也同樣能夠得到。如應用等溫退火方法可以獲得珠光體的組織，應用等溫淬火(下面將談到)方法可以獲得索氏體、楚氏體和貝氏體等的組織，這些等溫轉變的組織具有較高的韌性、硬度及特別小的彎曲和變形。

鋼在等溫處理時所生成的組織與連續冷卻處理時所生成的組織既是一樣，那末它們轉變的溫度也應該一樣。這就是說要得到索氏體的組織，不論等溫處理或連續冷卻處理的溫度都是 650°C 左右。同樣，要得到楚氏體，則溫度也是 550°C 左右。

4. 淬火時鋼的特性

(1) 鋼和其他物質一樣，加熱時體積脹大，而在冷卻時體

积縮小，这种热脹冷縮的程度是随工件的形状、大小、厚薄而不同的。

(2) 鋼的另外一种特性，是由珠光体、純鉄体、滲碳体变成奥氏体时体积要縮小一些。而由奥氏体变成馬氏体时，体积要脹大一些。

(3) 鋼的导热和散热性质，随不同的化学成份、形状和大小也是各不相同的。例如低碳鋼比高碳鋼热（冷）得快，合金鋼就很慢，所以合金鋼比碳鋼的透燒時間要延长30—50%。厚的比薄的当然也要慢些。

(4) 形状复杂、厚薄不同的鋼件，在加热和冷却时常产生不均匀的脹縮，因此就会受到內应力，而使鋼件变形和裂开，所以淬火时要特別小心。

(5) 如果加热溫度不足，或冷却較慢，淬火后就会得到不正常的組織，但如溫度过高，內部晶粒就会变得很粗，甚至使工件組織燒爛而报废，所以加热溫度也要特別注意。

5. 淬火时应注意的問題

要使鋼件在淬火时能够迅速的硬化，从奥氏体全部变成馬氏体，淬火工件必須具备下面几个条件：

- (1) 表面积与体积的比率 $\left(\frac{P}{V}\right)$ 要大。
- (2) 截面积要小(就是直徑或厚薄尺寸要小)。
- (3) 晶粒分佈要大小均匀(晶粒粗的要比細的容易淬硬)。
- (4) 冷却速度要高(高于鋼的临界淬火速度)。
- (5) 含碳量要高或含有适量的合金元素。
- (6) 溫度要正常，不能过低，但也不能过高。

淬火時應該注意加熱速度、加熱溫度、加熱和保溫的時間、冷卻速度。現在分述如下：

(1) **加熱速度** 在保證不使工件產生彎曲變形與開裂，和在加熱時使鋼的組織得到充分轉變的情況下，應該盡量提高加熱速度，甚至要用下面講到的快速加熱法來進行加熱。因為這樣可以提高爐子的生產效率，減少勞動力，並能節約燃料的消耗。但是提高加熱速度也有一定的限制，必須按照鋼料的化學成分、截面尺寸大小、結構形狀、鋼質優劣和受應力的大小而定。例如含碳量和合金元素高的鋼、截面較大的鋼、形狀複雜的鋼、品質較差的鋼和受到較大應力的鋼，其加熱速度就必須要緩慢一些，才能避免彎曲變形和開裂等現象的產生。

大部分工件一定要經過預熱和保溫的過程。因為大的工件，在加熱時如不經過預熱和保溫，則里外的溫度差別很大。當外面的組織達到淬火溫度，已變成奧氏體時體積要縮小，而里面的組織還沒有起變化，則由於里外的脹縮程度不同就會產生內應力，使工件彎曲變形甚至裂開損壞。因此，工件在加熱的時候，尤其是大的工件，一定要有預熱和保溫的過程。

預熱最好是在另外一個預熱爐里進行加熱，或者放在加熱爐的爐門口、鹽爐四周和煙囪旁也都可以。還有一個方法，就是把工件放到高溫加熱爐里幾分鐘，取出在空氣中冷卻十幾秒鐘，這樣反復數次，也能達到預熱的目的。不過在預熱時，對於形狀複雜的工件，不可使其細薄和突出部分過冷，不然也會產生內應力和裂紋。

預熱的目的，除了減少內應力避免變形開裂外，還能避免過熱和脫碳的現象，同時還可減少在高溫下的保溫透燒時間。

碳鋼和一般低合金鋼的導熱能力較大，所以只須在 550°