

153031

鋼在高溫下的塑性

М. И. 朱葉夫 等著

金相 譯

7814

2545

248

冶金工業出版社

鋼 在 高 溫 下 的 塑 性

М. И. 朱葉夫, Р. С. 庫里迪金,
М. И. 維諾格拉得, А. Р. 奧斯塔边科, 著
М. А. 留賓斯卡婭, М. Я. 德朱古托夫

金 相 譯

冶 金 工 業 出 版 社

在本書中研究了各種鋼在熱機械加工溫度下的機械性質（強度極限、延伸率、斷面收縮率、硬度、塑性極限等），列舉了各種鋼的顯微組織和加工時的溫度規範。

本書可供金屬熱壓力加工的工程師和技術員以及金屬學者與設計人員閱讀。

М. И. ЗУЕВ, В. С. КУЛТЫГИН, М. И. ВИНЮГРАД, А. В. ОСТАПЕНКО
М. А. ЛЮБИНСКАЯ, М. Я. ДЗУГУТОВ: ПЛАСТИЧНОСТЬ СТАЛИ
ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ
Металлургиздат (Москва—1954)

鋼在高溫下的塑性

金相 譯

1956年3月第 版 1956年10月北京第二次印刷 2,013 册 (累計 3,554 册)

850×1168 • 1/32 • 92,000字 • 印張 $3\frac{18}{32}$ • 定價 (19) 0.70 元

冶金工業出版社印刷廠印

新華書店發行

書號 0409

冶金工業出版社出版 (地址：北京市灯市口甲 45 号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 号

目 錄

序.....	(4)	耐氧化鋼，不銹鋼，高溫強固	
導言.....	(5)	鋼及高歐姆电阻合金.....	(58)
試驗方法.....	(8)	X 9 C 2 号鋼	(58)
結 構 鋼		1X13 号鋼	(62)
15 号鋼.....	(16)	X17 号鋼	(66)
12XH 3 A 号鋼.....	(20)	X28 号鋼	(71)
18XHBA 号鋼	(23)	1X25H05 号鋼	(76)
30XFCA 号鋼	(26)	1X18H9 号鋼	(79)
60C 2 号鋼.....	(31)	1X18H9T 号鋼.....	(82)
工 具 鋼		X18H11B 号鋼.....	(87)
Y 7 号鋼	(34)	X18H25C2 号鋼	(92)
Y12 A 号鋼.....	(38)	X23H18 号鋼	(96)
3H366 号鋼	(42)	X13H4T9 号鋼.....	(101)
X12M 号鋼	(47)	1X14H14B2M 号鋼	(103)
P 9 号鋼	(51)	X15H50 号合金	(105)
P18 号鋼	(55)	X20H80 号合金	(110)

序

研究鋼在高溫下的性質已有很多年了。作這種研究的目的是，在於利用所獲得的高溫狀態下鋼的強度和塑性方面的數據，確定各牌號鋼在熱機械加工前的最適宜的加熱溫度。

確定加熱規範不祇是研究鋼在高溫下的性質，而且還要檢查鋼在軋製和鍛造生產條件下的試驗的結果。

進行多種牌號鋼的試驗是一項非常繁重的工作；因此未能研究許多種鋼的性質，而是從每類鋼中選出最典型的鋼作了研究。

作者向幫助他們作機械性質試驗的組長 А. В. 謝林和實驗員 М. Ф. 普羅希金娜姬，以及參加金屬顯微組織準備和整理資料的技術員 М. И. 奧符恰連柯，試驗員 В. А. 茨維特柯娃姬，З. И. 加爾金娜姬，А. Ф. 拉斯柯娃姬和 З. А. 阿斯特拉漢采娃姬表示感謝。

導 言

各种牌号鋼的熱机械加工（鍛造、軋製、衝壓）的加熱規範乃是根據鋼的機械性質、物理性質及其他性質的試驗，根據其組織的研究特別是根據生產經驗的資料確定的。

由於各冶金工廠製造的鋼在化學成分和各种性質方面的不同，而使熱机械加工的加熱規範極為不一。各牌号鋼都有其自己的特點。為了保證被加工金屬具有很高的質量，所以各种鋼的特點在確定熱机械加工的規範時是必須考慮的。

熱机械加工加熱規範的技術規程必須建立在下述研究結果的基礎上。

1. 溫度範圍，即在該溫度範圍內鋼在塑性和強度方面具有一定的關係，此溫度範圍對於該種變形方法是最有效的。
2. 鋼在加熱和冷卻時組織狀態的變化。
3. 隨加熱溫度和時間以及隨鋼錠重量而轉移的鋼中的擴散過程。
4. 熱机械加工後以及精加工時鋼的性質，它隨熱机械加工規範而轉移，例如軋製結束時溫度很低的鋼在退火後的粗晶粒度或石墨化。

在選擇熱机械加工的方法時必須考慮到鋼的化學成分及其特點。應當記住，當鋼的塑性小時鍛造能夠產生令人滿意的結果，軋製要求鋼具有較高的塑性，而管材的穿孔則要求鋼具有特別高的塑性。

現今所採用的機械性質的試驗方法可以在一定的程度上表示出鋼的變形能力，即它在一定溫度範圍內的塑性。

此種最常應用的試驗方法有：

1. 在各种溫度的熱態下所進行的、表示鋼的強度和塑性的抗張試驗（到破壞為止）。
2. 在各种溫度的熱態下所進行的、表示鋼在鍛造或軋製時變形能力的衝擊韌性試驗。

3. 在各种温度的熱态下所進行的、表示鋼在軋製或穿孔（管材）時變形能力的扭轉試驗。

4. 將鋼的熔煉或澆注時所取的試樣進行鍛造和彎曲試驗，這一試驗能够表示鍛造時鋼的變形能力。

5. 在各种温度的熱态下以恒定不變的打擊力所進行的、表示鋼在鍛造和衝壓時之變形能力的鍛縮試驗。

6. 在各种温度的熱态下所進行的、也表示鋼在鍛造和軋製時變形能力的楔形軋製試驗。

上述方法中前四種評定塑性的方法獲得了最廣泛的应用，它們常用於鋼的熔煉檢驗。後兩種方法暫時還只是用在研究工作上。

本書中列出了我國工廠熔煉的应用最廣的各牌號鋼的試驗結果。

我們試驗了下列各牌號鋼：

1) 結構鋼—15, 12XH3A, 18XH3A, 30XГCA, 60C2;

2) 工具鋼—Y7, Y12, ЭИ366, X12M, P9, P18;

3) 不銹鋼, 高溫強固鋼及高歐姆電阻合金—X9C2, 1X13, X17, X28, 1X25H05, 1X18H9, 1X18H9T, 1X18H11E, 1X18H25C2, X23H18, X13H4Г9, 1X14H14B2M, X15H60, X20H80。

牌號相同而爐次不同的鋼，其塑性可能有很大差別，尤其是採用不同的熔煉方法時更是這樣。為了獲得關於該牌號鋼的性質的完全概念，曾按每一熔煉方法（包括不同的配料、熔煉及脫氧方法）進行了很多爐的試驗。但是這項工作是非常繁重的，並且需要很長的時間來進行。因此，對每種牌號鋼來說目前還不得不局限於一爐鋼或幾爐鋼的選擇試驗，這種試驗足以表示出選擇這種或那種工藝過程的正確性。

本書中列出了鋼的熱機械加工的加熱溫度規範，此種規範的根據不只是試驗的結果而且有反映許多爐該牌號鋼特點的多年的生產經驗。

在確定加熱極限溫度時必須考慮到實際工作中可能有的溫度

差和短時間的過熱（特別是沒有自動調溫器的時候）。因此，實際的加熱溫度要比試驗室試驗結果所得的溫度低 $20-30^{\circ}\text{C}$ 。當確定加熱極限溫度（該溫度可按爐壁的温度或爐烘下面的氣體溫度，或用工廠條件下所採用的其他方法測出）時也應當考慮鋼錠或鋼坯的出爐速度及爐子的熱能力。如果提高過程的生產率的出爐速度很高，那末，爐中就必須具有較高的溫度。這些條件都必須加以注意，因為它們決定着爐子和金屬的溫度差。例如，鋼的鍛造加熱溫度一般要比軋製時低些，因為鍛錘的生產率較軋鋼機為低。

冷錠裝爐的適合溫度取決於它的重量，化學成分，組織狀態及加熱條件。因此，每個工廠在確定鋼錠裝爐（或均熱爐）的容許極限溫度時須考慮到本工廠的具體條件。

在確定鋼錠裝爐的容許溫度時須遵循以下兩點：

- 1) 裝爐溫度隨着鋼錠重量的增加而必須減低；
- 2) 奧氏體類的鋼，其裝爐的溫度可以比珠光體類尤其馬丁體類的鋼為高；純鐵體類的鋼要求更低一些的裝爐溫度。

重 0.5 噸的含高碳的珠光體類鋼的鋼錠（例如 Y10A），其裝爐溫度不得高於 750°C ，而重 2.5 噸的鋼錠——不得高於 600°C 。

高速鋼的裝爐溫度，對於重 200, 300 公斤的鋼錠來說一般都不超過 700°C 。重 0.5 噸的純鐵體類鋼的冷錠裝爐溫度不得超過 600°C 。

我們研究了由小塊鋼錠（0.3~0.5 噸）製成的軋製品的性質。但是上述溫度亦可用於大塊鋼錠（到 3 噸），如果鋼是在連續加熱爐裡加熱的話。當鋼錠在均熱爐中加熱時沿格子室壁所測出的溫度可以稍為高些，因為鋼錠在格子室中較短時間的停留，不能導致過熱現象的發生。

這本書中基本上已列出了屬於鋼機械性質方面的數據，但在個別的情況下作者認為可以適當地扼要地提到一些鋼的其他工藝性質。

試 驗 方 法

為了獲得具有比較性質的結果，對於一切牌號鋼的試驗都採用了大約相同的試驗方法。軋製或鍛造狀態的鋼及合金都在熱態下作了試驗^①。製造試樣（供試驗用）的毛坯的尺寸及試樣的熱處理，在討論到每種牌號鋼時講述之。同時也提到了簡要的工藝知識，組織分類及每種牌號鋼的臨界點。

組織分類是根據小截面（直徑 15—30 公厘）的試樣在空氣中由熱機械加工開始溫度冷卻下來而於該牌號鋼中所獲得的組織來劃分的。

臨界點溫度係引自 1939 年 И. Н. 郭里科夫工程師所製定的表格以及諸文獻中的資料和工廠研究出來的數據。臨界點 A_c ，取的是平均值 $\frac{A_{c1}(\text{開始}) + A_{c1}(\text{結束})}{2}$ 。書中到處的 A_r 值都是從退火溫度緩慢冷卻下來所獲得的。

熱機械加工後的硬度是在按該牌號鋼所規定的規範而冷卻的試樣上測定的。

各種溫度下的拉力試驗都是在最大拉力為 30 噸的拉力試驗機上以 1.1 公厘/分鐘的拉伸速度進行的。將試樣（圖 1）安裝在固定於拉力試驗機上的立式管狀爐中並與爐子一起加熱到規定的溫度（圖 2 及 3）。

試樣在溫度 20—1300°C 範圍內每隔 100°C 進行一次試驗；某些牌號鋼的試樣在溫度 100—500°C 及在溫度 1300°C 下不作試驗。由某些牌號鋼中取出的三批試樣在溫度 600—1300°C 範圍內作了試驗，即用直接加熱法和用預熱到 1200°C 及 1150°C（保溫 5 分鐘）隨後與爐一同冷到試驗溫度的方法作了試驗。後兩種試驗乃是為了測定自然冷卻時的鋼在熱變形過程中的性質及確定變形的結束溫度。

① 拉力，衝擊韌性，扭轉及楔形軋製試驗。

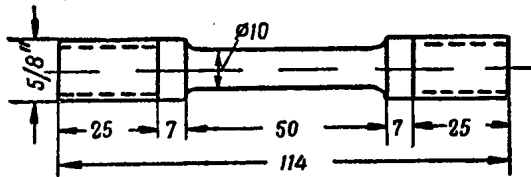


圖 1 熱態下拉力試驗用的試樣

在各種試驗溫度下各批試樣的保溫時間（以分鐘計算）：

600°C時.....20	1000°C時.....10
700°C時.....15	1100°C時.....5
800°C時.....15	1200°C時.....5
900°C時.....10	

按此種方式試驗過的鋼有如下幾種牌號：30XГСА, Y7, Y12A, X12M, P9, P13, X9C2, 1X13, X13H25C2, X13H4Г9, X15H60。保溫時間之所以選擇的不長，主要是為了避免試樣表面的劇烈氧化。

15, 12XH3A, 18XHBA, 60C2, ЭИ366, X17, X23, 1X25IO5, 1X18H9, 1X18H9T, X18H11Б, X23H18, 1X14H1432M, X20H80等號鋼祇是在加熱到試驗溫度時作了試驗，但是保溫時間在 100—700°C時為 2 小時；800—1000°C—1 小時；1100—1300°C—30 分鐘。在試樣斷裂後測量了延伸率及断面收縮率。每一溫度都試驗了 2—4 個試樣。書中列出了 2—4 個試樣的平均試驗結果。

熱態下的硬度是在布氏硬度計上測得的。試驗硬度的試樣（直徑 25—30 公

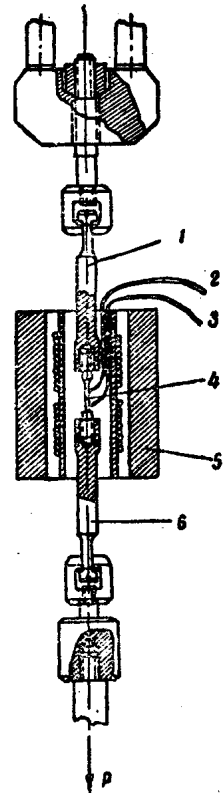


圖 2 高溫下機械性質試驗的設備（略圖）

- 1—上夾頭；2 熱電偶（上）；3 熱電偶（下）；4 試樣；5—兩電阻組電爐；6—下夾頭

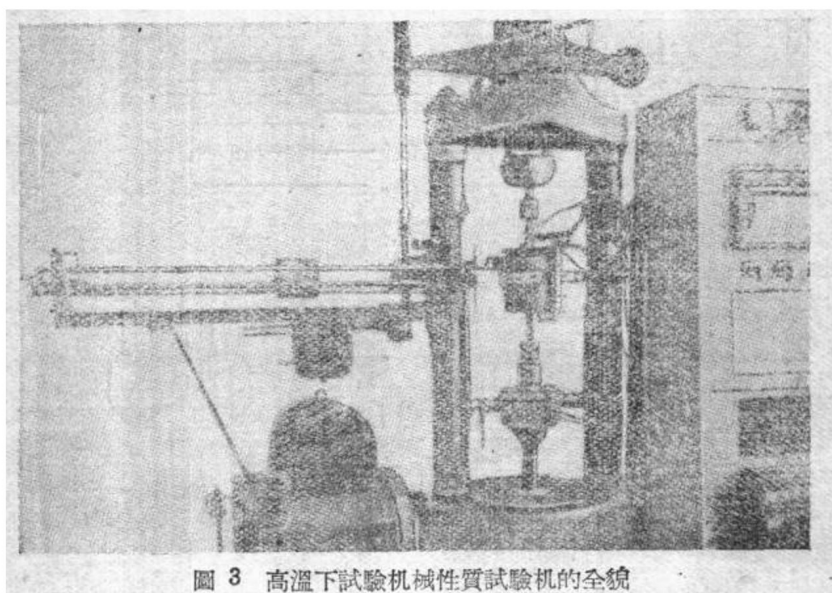


圖 3 高溫下試驗機械性質試驗機的全貌

厘，高 30 公厘）在立式筒狀爐中加熱到需要的溫度並與爐子一起拿到布氏硬度計上測定硬度。測定硬度時採取的溫度條件與拉力試驗時相同。

衝擊韌性是用截面為 10×10 公厘，長 100 公厘帶凹口的試樣測定的。在馬弗爐中將試樣加熱到需要的溫度，然後迅速拿到儲蓄功為 30 公斤公尺的擺錘衝擊機上試驗。試驗時的溫度條件與拉力試驗時相同。在作衝擊試驗時塑性高的試樣未被破壞而成彎曲狀態，由衝擊機的兩支點間（兩支點間的距离為 60 公厘）滑過。此時所獲得的數值不表示斷裂（破壞）所消耗的功，而表示彎曲所消耗的功。金屬愈軟，彎曲功愈小（反之，鋼的脆性愈高，斷裂所消耗的功就愈小）。

書內的表中标出了試樣未破壞而彎曲的情況。

用直徑 8 公厘及長 380 公厘的試樣進行了扭轉試驗（直到破壞為止）。試樣扭轉試驗機的全貌示於圖 4，其略圖則示於圖 5。扭轉試驗機是由機座 11 組成的。該機座安裝在固定於基壁的兩根懸臂梁上。在機座上固定有減速器箱 5，而在減速器軸上

固定有卡盤 2。卡盤是固定試样用的。电动机 7 通过皮帶的傳動和蝸桿減速器帶動試样旋轉。卡盤轉數每分鐘 180 轉。

为了避免扭轉時產生的張力对試样發生影响，卡盤 2 在軸向上可以自由地移動。試样的拉張是靠通过滑輪的重錘 13(2 公斤)實現的。

另一个卡盤 1 固定在不動的支柱上並且可以自由轉動。在这个卡盤軸上固定(用鍵子)有擺錘 10 和指針 8。

在試驗固定於卡盤 1 及 2 的試样 12 時，擺錘要傾偏一个角度，指針 8 在圓度盤 9 上指示出一个扭矩(以公斤公分計算)。試样在馬弗爐 3 中加熱到希望的溫度。試样加熱後進行試驗，即開動电动机使試样扭轉起來，至破坏为止。固定在減速器盖上的計算器 6 指示 360° 的扭轉數。用接觸式檢流計和熱电偶 4 來調整和檢驗爐中的溫度。到開始試驗的時候要將熱电偶由爐中拔出。

扭轉試驗机的主要尺寸示於圖 5。

扭轉試驗机的技術特性如下：

功率(最大扭矩) 500 公斤公分

試样每分鐘的轉數 180

最高的試驗溫度 1300°C

試样(以公厘計算)：

直 徑 8

全 長 380

电爐(以公厘計算)：

爐 長 215

直 徑 145

瓷質馬弗爐的內徑 50

3H292 合金加熱絲的直徑 1.5

为了進行上述試驗，特把一台普通扭轉試驗机(能試驗直徑 6 公厘以下的金屬絲)裝备起來。在溫度 $600-1300^\circ\text{C}$ 範圍內每隔 100°C 作了一次試驗。在試驗溫度下的保溫時間为 20 分鐘。試样在 600°C 以下的試驗是不能進行的，因为扭轉試驗的功率不足。軟鋼从溫度 600°C 起開始作試驗；强度較高的鋼在溫度 900

°C或更高的溫度下作了試驗。

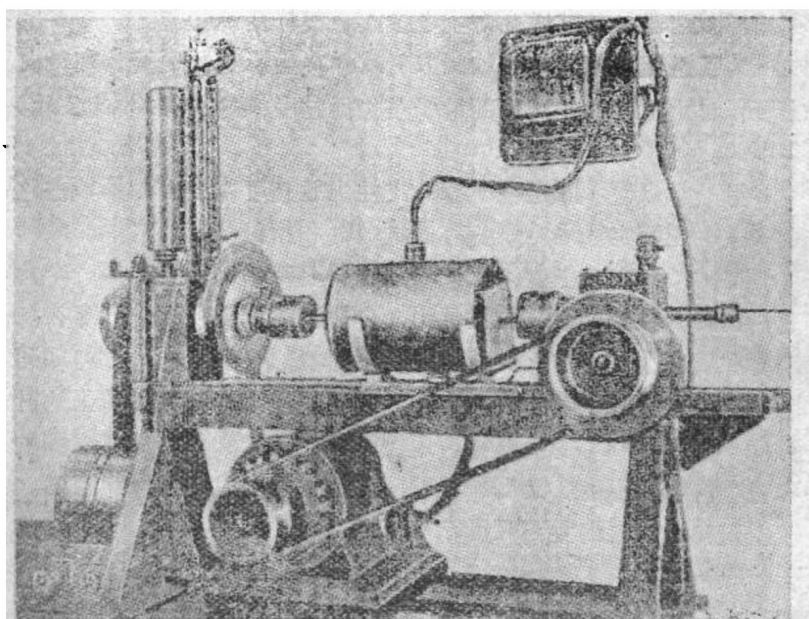


圖 4 扭轉試驗機的全貌

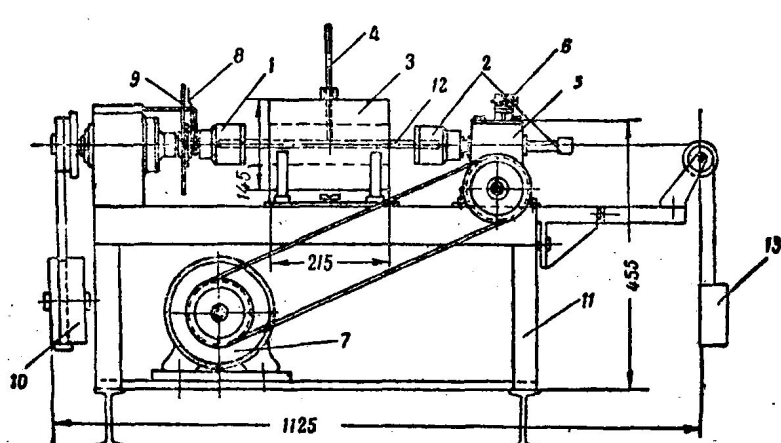


圖 5 扭轉試驗機略圖

根据技術科学碩士 IO. M. 奇茲科夫^①研究出的方法在截面可變更的軋輥上作了楔形軋製試驗。

这种試驗方法的特点是在体積应力状态下研究塑性，这个状态相当於在压下量有变化的情况下可以自由擴展的軋製状态。

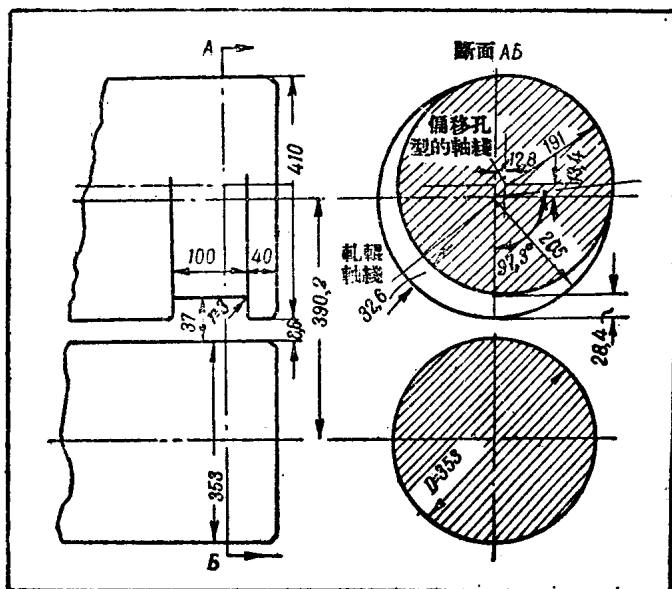


圖 6 楔形軋製用的帶孔型变化的軋輥 (草圖)

在加熱到 900, 1000, 1100, 1150, 1200, 1250°C 後於具有特殊孔型的軋輥 (圖 6) ^② 上把截面 33×33 公厘、長 250 公厘的試樣軋成楔形。孔型應切製得使兩軋輥間軋槽的距离在軋製時是個變量。這樣在軋製後可獲得厚度变化的楔形試樣 (圖 7)。

在軋製後測量試樣在軋製時所達到的最小厚度及与此厚度相適應的壓縮率 $\frac{H-h}{H}$ (H —軋製前的高度， h —軋製後的高度)。在試樣出現了連續破壞 (破裂，裂紋) 的情況下，我們測量了破裂開始處的試樣高度並計算了与此高度相對應的壓縮率。此時所獲得的壓縮率便是此試樣在該溫度下的塑性極限。

①楔形軋製試驗是在 IO. M. 奇茲科夫領導下在中央黑色冶金科學研究院進行的。

②IO. M. 奇茲科夫著 [工廠試驗室] 1948 年, № 5。

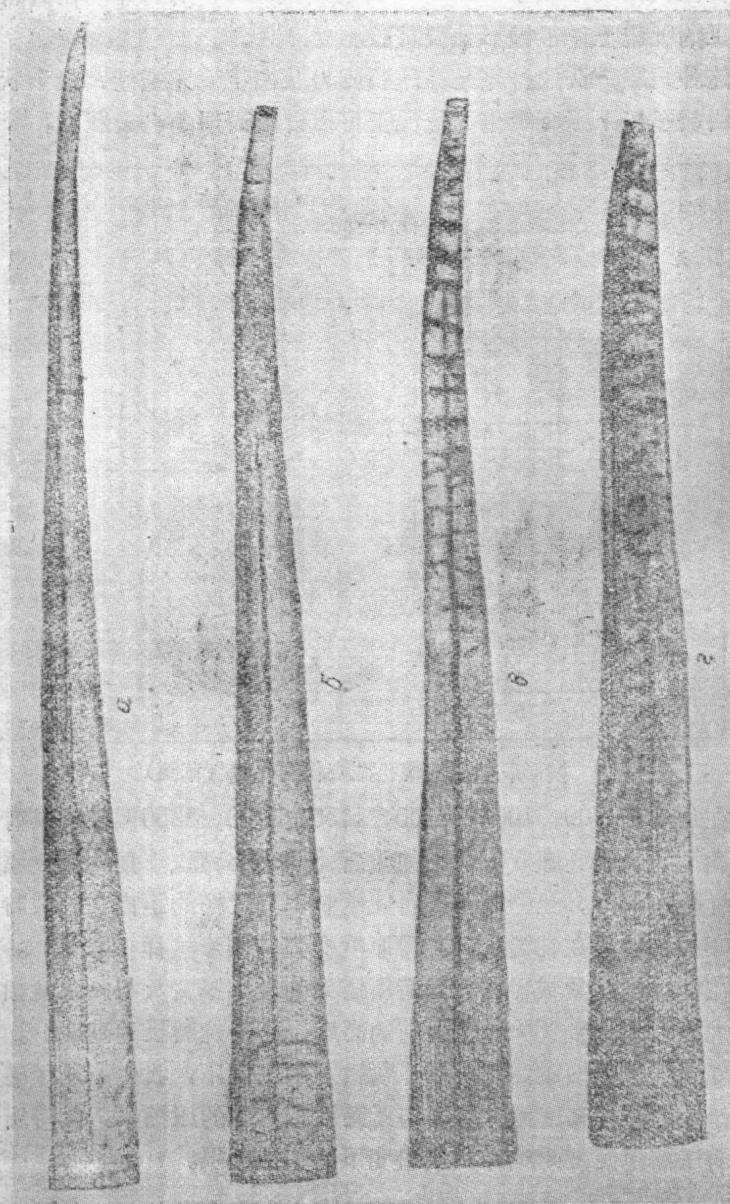


圖 7 試樣楔形軋制後的形狀

a—1205° 時; б—1175° 時; в—1000° 時; г—900° 時

为了確定在試驗溫度下引起机械性質变化的原因，我們研究了金屬的組織。

加熱時鋼中所發生的組織变化是用水中由机械性質試驗溫度冷却下來的試样研究的。試样的顯微組織是在放大 100—500 倍下觀察的。为了準確確定由試驗溫度冷却下來的試样的顯微組織，我們測量了硬度，有時還測量了个别相的顯微硬度。

为了有成效地進行熱变形，最好有最高塑性的鋼，也就是要有最高的加熱極限溫度。但是此時必須使金屬變形時不產生內外破坏連續性的現象——金屬過熱或過燒的結果。因此變形開始的極限溫度決定於金屬的塑性，在某些情況下，還決定於在變形結束時，是否必須達到影响成品性質的一定溫度。

被上限限制的熱變形結束溫度取決於鋼的組織並且也決定於对成品所提出的要求（細晶粒，薄碳化物網等等）。

由於必須獲得成品的一定性質，或者是由於強度的升高（因溫度繼續降低）而至使設備過載，因而要確定这样一个溫度，即低於此溫度便不許繼續進行熱變形加工。這一點對於奧氏體類的鋼及珠光體類的高合金鋼，具有特殊的意义。變形的結束溫度必須比 A_1 臨界點溫度（在空氣中冷却時）高 30—50°C。

結 構 鋼

15 号 鋼

(ГОСТ 1050-52)

15号鋼是用廢碳素鋼在40噸鹼性馬丁爐中熔煉出來的。熔煉是用沸騰法進行的，並以矽鉄和鋁進行了脫氧，而後用底注法澆注成重 400 公斤的圓錠。熔煉出的鋼具有如下的化学成分：0.13 %C；0.26%Si；0.44%Mn；0.026%S；0.018% P，0.07% Cr；0.17%Ni。

15 号鋼是亞共析鋼並且屬於珠光体類。它的臨界點： A_{c1} —735° C； A_{c3} —863°C； A_{r3} —840°C； A_{r1} —685°C。軋製後的硬度 H_{116} （压痕直徑為 5.0—5.5公厘）。

試驗用的試樣是用直徑 18 公厘的鋼棒製造的。鋼在各種溫度下的機械性質列於表 1 中和示於圖 8 上。

表 1

15号鋼的機械性質

試驗溫度 (°C)	機 械 性 質				
	強度極限 (公斤/公厘 ²)	延 伸 率 (%)	斷面收縮 率 (%)	衝 擊 韌 性 (公斤公尺/公分 ²)	硬 度 (H _B)
20	43.9	32.9	71.4	24.6*	113
100	46.9	22.2	64.2	25.4*	111
200	49.5	21.9	60.0	18.5*	126
300	54.7	26.1	65.5	25.7*	126
400	35.7	33.5	74.2	21.2*	125
500	23.0	49.6	78.2	11.7	108
600	12.6	68.1	95.1	25.0*	60
700	5.6	73.9	92.0	21.6*	—
800	5.8	35.7	43.6	16.5*	27
900	4.5	45.6	48.6	12.5*	15
1000	2.8	51.6	80.5	10.2*	11
1100	2.4	57.5	99.8	8.2*	7
1200	1.4	65.1	99.7	6.8*	—
1300	—	—	—	5.7*	5

* 試驗時試樣未被破壞但彎曲了。