

拔 萃

高 速 度 鋼 の 性 質

(Engineering, Sept. 1924) K K 生

本論文は Iron and Steel Inst. の1924年9月の年會に於て A. Grossman 及び C. Eavin 兩氏により發表せられたもので高速度鋼の鑄造から焼入工具の製作に至るまでの行程の間に起る種々の物理現象に關して稍完結的に説明を與へんとするものである。特によく知られて居る本鋼の含有する炭化物の性質の變化其の量及び分布に就て述べるものである。

インゴツトに就て 高速度鋼のインゴツトも他の凡ての鑄鋼のインゴツトに特有な構造を有す即ち周邊にはインゴツトの表面に垂直な主軸を有する圓柱狀の結晶粒が中心に向つて發達し中央部には稍完全なる形を有する結晶粒が見られる。高速度鋼の顯微鏡的組織は頗る白鉄の其れに類似してゐる特に本鋼の凝固直後の組織は約2%炭素の白鉄に酷似してゐる、即ちオーステナイトの初期結晶とオーステナイト及び炭化物の共融晶から成立つてゐる、而して上記の圓柱狀の結晶粒及びインゴツトの中央部にある結晶粒は共に其の組成が不均一で即ち最初に析出したオーステナイトの結晶は次いで後に析出せるものと頗る成分が異つてゐる爲め各結晶粒は其の中心部から外部に到るに従ひ著しく組成上の段階を有す。此の不均一結晶粒の生成及び此の不均一性の執拗性が本鋼の取扱ひ上に起る諸現象と密接な關係を有し又其製作に際しての困難となすものである。以上の説明からして常に本鋼の取扱上留意せねばならぬことは初期結晶粒たる樹枝狀オーステナイトの中心部から共融晶に到るに従ひ次第に其の炭化物の濃度が變化すること及び此の性質が執拗にも本鋼の仕上鋼片に於ても存在することである。即ち一度凝固せる本鋼中に於ての此の炭化物の滲透速度は極めて遲緩なるものであつて普通の加熱鍛造等を行ふも其の不均一性に及ぼす影響は極めて小なるものである、本鋼の焼鈍せるものに就ては其の共融晶の量は約13%であつて此れは此の成分から考へると少し多過ぎる此の原因は最初に析出するオーステナイトが炭化物に乏しく最後のものは全く飽和値に達する爲めである、此の最後に析出する結晶は初めのものに比して凡ての合金元素を多量に含む。共融晶の溫度は約1340度である、共融晶の組成は炭化物が連続的に表はれ其空隙をオーステナイトが埋めてゐる。若し初期オーステナイトが完全に均一性であるとすれば共融晶の量は10%を越すことはない。普通のインゴツトを用ひ標準操作に於ての冷却に際しては初期結晶は完全にオーステナイトの儘冷却されずして其の炭化物は殆んど完全に球狀をなして析出し終る、而してインゴツトの表面に近い結晶粒は略々ソルバイトに近い組織となり中央部の結晶粒は一層球狀化が著しく組織は一層粗狀を呈す。更に又顯微鏡的試験に依れば最初に凝固せる結晶粒の中心部は完全に炭化物を析出し去るが最後に凝固せる結晶粒の外部は尙

オーステナイトであつて少しも炭化物の析出を見ない。此の兩部の境界部はオーステナイトからパーライトへの變態が特殊の冷却速度に依つてのみ完結せしめらるる成分に相當するものである。以上の事實から高速度鋼のオーステナイトは頗る安定に富めることを知る諸特殊元素が此の安定性を與ふる能力は順次に炭素、マンガン、クローム、ニッケル、コバルト、モリブデン、タンゲステンの順になつてゐて高速度鋼に於ては特にクロームが主として此の安定性を支持するものである。

初期結晶粒内に於て上記の變態せるオーステナイトと然らざるオーステナイトとの中間は殆ど連続せる炭化物の帯で境せらる、此帯の直外側にはトルースタイト様の暗黒に腐蝕せらるゝ組織がある此れはオーステナイトが變態の極めて初期にあるものと考へらる、此の組織の外観及び位置からしてトルースタイトの發生は可なり低溫度であることが推察せられる然し乍ら結晶粒の中央部は可なり高溫度で變態を起し完全に其の炭化物は球狀化して居る、若し本鋼中に於ける炭化物の滲透速度が相當であるならば外部は炭化物に富める部分から内部の此れに乏しい部分に向つて絶えず、其の移動が起る筈である、然るに上記の炭化物の連続帯の發生することから考えると此の滲透速度は極めて緩慢であることが證明される著者の考に依れば本鋼中に於ける諸合金元素の移動速度の遅緩なることは本鋼の根本的な特徴であつて往々仕上げた工具に於てすらも一結晶粒の中央部と外部とに上記の不均一性が保留せらるゝのを見ることもある。上述の結晶粒の不均一性は顯微鏡的にも見らるゝものであつて例へば焼鈍せるインゴットの中央部から試片を採取し此れを760度に加熱し腐蝕すればオーステナイト結晶粒の周邊はトルースタイト乃至ソルバイト的の組織を示すに反し其の中心部は完全に炭化物の球狀化を起すことに依つて知られる。

焼鈍インゴットに就て 製作作業に當つては其の鍛錬加熱に先つて一度焼鈍を行ふ、焼鈍に際してはインゴットを6乃至8時間に亘つて約850度(攝氏)迄加熱し此の溫度に少時間保持して後6乃至8時間を費して425度(攝氏)迄徐冷するを要す。焼鈍に先つてはインゴットは初期結晶粒(二つの組織からなる)及び共融晶からなる。二つの組織とは即ちオーステナイト(結晶粒の外部)及び球狀パーライト若しくはソルバイト(結晶粒の内部)のことである。扱て焼鈍に際しては上記の初期結晶粒は完全に球狀パーライト若しくはソルバイトとなり共融晶の炭化物は多少溶解するも冷却の際再び粒狀に析出するのである。然し乍ら初期結晶粒内の不均一性は依然として存在するのである、夫故此の状態に於てはインゴットは鑄造の儘の形及び大きさを有する共融炭化物と完全に球狀化を完結せる結晶粒からなつてゐる、前者は往々其の幅が $\frac{1}{16}$ 吋位の大きさを有することがあるが後者は0.00004吋を越ゆることは無い、而して此等は屢々或る方向に長く、又は圓壘狀若しくは圓板狀の輪廓を表はすこともある。一般に如何なる金屬の鑄造に於ても急速凝固は多數の小結晶粒を生じ緩凝固は比較的大なる結晶粒を生ず而して小結晶粒はたとひ不均一性の結晶粒を生ずることも滲透に際しての原子的移動の距離が短い爲め容易に均質にされる然し乍ら又緩凝固に於ては其結晶粒は大にして原子的移動の距離が大であつても融液と凝固結晶との間の反應に充分時間が與へらるゝ爲め此均一組成のものが得られるのである。

例へば上記の場合に於ては最初に結晶せる部分は鐵に富み炭化物に乏しいが時間を與ふるならば次第に其の融液と平衡を保つべき濃度の固溶態が得られるのである。

著者は上記の事實から高速鋼に於て緩冷却を行はば初期結晶オーステナイトとして一層均質のものが得られ従つて其の共融晶の量が一層減ぜらるゝことと思ふ。或インゴットを45分毎に1/2吋宛凝固せしめ全部凝固後は他の凡てのインゴットに於て行はるゝよりも急冷却せる本鋼の顯微鏡的組織を見るに初期結晶のオーステナイトは其の中央部は何れもマルテンサイトに變化し其の周邊に於ては此の變化が阻止せられてゐることが見られる。此の組織的變化の有様から考へると標準冷却のものよりも其の不均一性が小さいことが知れる。本鋼は後に述ぶる種々の試験の際に使用せり。上記の鋼の特徴は即ち初期結晶オーステナイトが出来得る限り多量に炭化物を含有し其の結晶として共融晶炭化物は最小限に止められてゐることである。

扱て上記の如く共融晶の組成分として表はれてゐる炭化物は其の鍛錬に際しては容易に破壊せらるゝもので若し此れが然らずして大なる結晶として在存する場合には其の破壊作業は高温度に於て一層峻烈なる鍛錬に依らねばならぬ一般に炭化物の分布状態は一に其の鍛錬の度合に依るものと見ることが出来る。其ロール又は蒸氣鏈に依つての鍛煉の程度は此の細粒炭化物の分布の状態に依つて判断することが出来るものである。而して本鋼の實用に際しては鍛錬の際に共融炭化物を完全に破壊し去り又初期結晶粒の不均一性を完全に取除いて成るべく多量の炭化物を含有せる物質なるオーステナイト固溶態を作らねばならぬ。而して小なる本鋼のドリルロッドに於ては此の作業の結果共融晶の破壊に依つて出来た炭化物とオーステナイト結晶粒から球狀に析出した炭化物とが其の細粒の大きさに區別なき程度まで打碎かるゝものである。概して高速鋼は其のインゴットが充分鍛延せらるることを必要とす、何となれば少くとも大なるインゴットに於ては本鋼の均一性は滲透に依るよりも其の機械的混合に依つて與へらるゝことが大であるからである。然し小なるものに於ては焼鈍及び此れに次でのオーステナイトから析出に依つて組織を均一にして炭化物を一様に分布せしむることが出来る。

高速度鋼中のマルテンサイト 今極めて遅緩なる凝固を行ひ後急速に冷却せる前述の鋼を“A”と呼ぶこととする、かゝる場合には大なるオーステナイト初期結晶粒はマルテンサイトに變化することに依つて特徴付けられてゐる。此のオーステナイト、マルテンサイト混合態の安定性を決定し又此の分解する有様を研究する爲め種々の反淬温度に30分宛加熱を行つた。此の反淬が最低の場合即ち500度迄はマルテンサイトは殆ど變化せず従つて其の硬度も最初と殆ど同等でRockwell硬度計“C”にて55を示す、然し乍ら此れを593度迄加熱せる最初のマルテンサイトの針は稍廣くなつた但し其の量は小である、尙引續いて648度迄反淬せるに其の影響著しく進歩せるを認めた。尙最初のマルテンサイトはオーステナイト初期結晶粒の中央部のみに存在して居たが反淬温度の上昇と共に次第に其の側方及び長さの方向に發達して結晶粒の週邊迄達することが見られた。

上記の實驗に依れば約593度以下に於ては其の組成原子は充分の運動性を缺き従つてオーステナイ

トからマルテンサイトへの變化は餘り目立たないが 593 度に達すれば多量のオーステナイトがマルテンサイトに變化し硬度は 59 に増加し尙次で 645 度に反淬すればオーステナイトは引續き分解せられてマルテンサイトとなり其れと同時に硬度は 64 に増加す。而して此の状態に於て著しい顯微鏡的變化が認められる、次いで 705 度に加熱するも上記の分解は尙繼續し 760 度に達して全く止むを知る。尙高速度鋼“A”中に於てはオーステナイトの分解が終了せざりしことから例證せられる。即ち本鋼を 760 度に 30 分間加熱せる後にもオーステナイトは白色の斑點として認められる。即ち本鋼に於ては、炭素鋼の場合の如く完全なるマルテンサイト組織は得られずして従つてマルテンサイトの針の數も制限せられ其の中間はオーステナイト組織である。

以上“A”に就て述べた事實は凡ての焼入高速度鋼の反淬の際に見らるゝ特徴であつて唯此の場合には一般の場合に於けるよりも比較的明瞭に模範的に組織が顯れてゐる。

尙別の材料の焼入鋼に於ては其のオーステナイト結晶粒は數多のマルテンサイトの再結晶を有す此れは適當なる腐蝕に依つて見らるゝものであるが“A”の場合の如く明瞭でない、此れはオーステナイト結晶粒が均質でないためであつて此の不均一性の原因は第一初期結晶のオーステナイトの不均一性が完全に除去されて居なかつた爲めと第二には鍛鍊の際に共融晶炭化物の偶然的な散布の結果焼入温度迄加熱された際に炭化物に就て局部的な濃度の差が存在した爲めである。然るに“A”に於ては凝固の際に充分滲透作用が行はれて均一性が得られ従つて共融晶炭化物は勿論結晶粒の周圍に涸集せられてゐるので換言すればオーステナイト中のマルテンサイトの結晶は極めて對照的に且つ廣い範圍に亘つて均一に行はれ従つてマルテンサイトの針は中斷なしに自由に長く完全に發達してゐるのである。

扱て上記のマルテンサイトの生成に伴ふ硬度の増加は所謂本鋼の二次硬度との關係上興味がある。“A”に於ては約 482 度迄は其の最初の硬度 55 を失ふことなく而して 593 度に達すれば極めて細粒狀のマルテンサイト及び α 鐵の再結晶が起り稍硬度を増し 59 となる、次に 648 度に於ては一層その變化の進行に伴ひて硬度も増加し 64 となる、而して此の温度以上に於てはオーステナイトの分解は既に變化せる部分の結晶粒の生長及び炭化物の生成による反對影響に依つて打消され例へば 705 度に加熱すれば稍硬度を減じ 58 となり 760 度に達すれば一層硬度の減少を來し 49 となる、但し此れは材料全體の軟化の爲めではなく或る部分は尙此の温度に於てマルテンサイトに變化する爲めに硬化しつつあるも他の大部分が上記の原因で軟化影響を表し此の后者が前者に比し優勢である爲めに此の合成的結果として材料は軟くなるものであることに注意するを要す。以上と全く平行的な變化が“A”の反淬に依る容積の變化に於ても見られる、即ち 593 度以下に於ては認め得べき程の變化はないが此温度に達すれば著しい容積の膨脹が起り尙又 648 度迄熱するに従ひ此の變化が繼續して起る、而して此の温度以上に於ては次第に收縮し始める、此の收縮も亦一部分に於ける炭化物の生成と結晶粒の成長の爲めの收縮が他部分に於けるオーステナイトの分解による膨脹に打勝つ爲めであることは硬度の場合と同じである。

高速度鋼中の炭化物 高速度鋼中に於て其の熱處理に際して行はるゝ種々の反應に就て各種合金元

素が如何に關係するかを知ることは望ましいことである。本鋼を高温度に於て焼入せる後適當なる化學的腐蝕液中に浸す時は γ 鐵又は α 鐵に溶解せられてゐる特殊元素は凡て溶液中に溶けるが焼入の際に未だオーステナイト固溶態中に溶解しなかつた炭化物は溶液中に溶解されない。全く同様に焼入鋼が反淬に依つて析出する細粒狀の炭化物も其の結晶が成長するに従ひ遂に上記の如き溶液に働かれない程度の大さに達す。扱て腐蝕に際し其の電氣化學的作用は量的に溶液及び炭化物の状態に關するとの確證はないが少くとも或る種の炭化物に於ては其れが細粒であればある程腐蝕液の爲めに浸され分解され易いことが知れてゐる、而して次に述ぶる實驗に依れば焼入温度の高くなるにつれ溶解の有様に變化を起すことが知られ尙又其反淬温度の變化に依つて起る事柄からも上記の事實を論證すべき現象が認めらる。此の事實を明にする爲めには熱處理を施せる試料を電解的方法に依つて溶解せしめて見るのが便利である、即ち1對10の割合の鹽酸約1立を容れた器を電槽とし此れに本鋼製の陽極及び銅製の陰極を挿入せるものを使用した、而して實驗中は約0.3アンペアの電流を凡そ100時間通して豫め重量を測つて本鋼を電溶解した斯くて電解の完了後其の重量を測り前の重量との差を見出して電溶解せられた量を知るのである。而して此の操作の後殘渣炭化物の量を瀘過乾燥して測定す。然しながら此の値は決して眞の鋼から來た殘渣炭化物の量を示さない、此れを知る爲めには後に述ぶる如く更に其以上の手順が必要とせられる此の實驗に使用した鋼の成分は夫々0.70%炭素、15.5%タングステン、4.17%クローム、1.11%バナヂウムであつて、此のものの焼鈍せる3/8吋角棒から長さ約4吋の試験片を採取した。而して此れを普通の高速度鋼工具に就て行ふ如く瓦斯爐中に於て加熱し油中に焼入した、此の反淬に於ては低温度の場合には油中を行ひ高温後の場合には電氣爐を用ひた。

上記の如き試料を攝氏926度、1038度、1093度、1150度、1205度、1260度、1288度、1310度、の各温度に於て各8本宛油焼入を施し此等の各々の内1本は焼入の儘他の7本は夫々150度、260度、390度、482度、593度、648度、705度、の各温度に反淬し斯くして64個の試験片を得た、而して各試験片共熱處理後其の硬度をRockwell硬度計を以て測定して置いた。扱て各試験片は以上の熱處理後上に述べた電解方法を行つた、其の際最高温度に於て焼入し反淬を施さざるものは電槽中に炭化物の殘渣と共に極めて多量のタングステンの酸化物を沈澱せしめた。以上の事實から炭化タングステンは鐵に溶けた状態に於て腐蝕液に溶解する場合には其の化合物の状態としてでなく原子の状態に分解して溶解することが知られるのである、又炭化タングステンは分子状態で鐵中に溶けて居ても其の結晶粒は極めて微細である爲め勿論上記と同様に溶かされるのである。上記現象に於て酸化タングステンの量が熱處理に關係して變化することは特に注意に値するのである。

次に種々の炭化物を其の全炭素、タングステン、クローム及びバナヂウムに就て分析を行ひ、又上述の炭化物と共存する酸化タングステンの量及び不溶解炭化物の量からして焼入に際して鋼中に溶解せられる各合金元素の量及び焼入鋼を反淬する際に其等が析出する場合に於ける傾向を知ることが出来る。焼鈍鋼に於ける炭化物の分析結果は平均炭素2.3、クローム6.3、タングステン61.0、バナヂウム

3.6、鐵26.8である。而して炭化物の量及び其の成分から計算する時は燒鈍鋼に於ては含有せられてゐる炭素、タングステン、ヴァナジウムは凡て炭化物を形成するが興味あることにはクローム又は約其の半ばが炭化物として存在することが知られる、夫故燒鈍せる高速度鋼は約70%のクロームを溶解せる α 鐵の固溶態と30%の複雑なる炭化物から出來てゐる。而して30%の炭化物の内燒入に依つて最も多く溶解せる場合に於ても約其13%を含むに過ぎない。

前述の材料“A”の組織から判斷して若し此の鋼の炭化物の分布を完全に均一にする爲め其の融點の直下に於て長時間炭化物の滲透作用を行はしむれば約其の20%迄は燒入に依つて含有せしめ僅10%を殘渣として止むることが出来るであらう。極端に緩凝固を行つた“A”の如きものに存在する共融晶は如何なる取扱を受けても其の炭化物が熔解することはない、然し鋼が高温度に加熱せらるゝならば一層速に各合金元素の溶解度が増加す、而して斯如き鋼を燒入せるものを反滓する場合には各元素の再遊離及び其等の炭化物の再構成は殘渣炭化物の量を次第に増加する、但し反滓後の分析の結果は此の遊離炭化物の正確な量を與へない、其原因は此のものが極めて微粒である爲め電氣化學的腐蝕を受け易い爲めである、而して腐蝕されない部分と雖もコロイド程度のもので濾過の際此れを逸失し易いからである。

試料を1260度に於て燒入し此れを種々の温度に反滓せる場合に於て其の燒入鋼中に保有せらるゝ炭素、タングステン、クローム、及びヴァナジウムの量の原子的比例を見ると興味ある事實が発見せらる。即ち他の元素に比し比較的多量のクロームが固溶態中に含有せられてゐる此れはクロームがタングステンに比し低い原子量を有することも一つの原因であるがクロームは燒鈍状態に於ても既に其の半は固溶態として存在することを注意せねばならぬクロームは炭素と異なり α 鐵中には多量に溶ける。

上の實驗に於ては殆ど同様な比例關係が如何なる温度から燒入を施した場合にも見られた。然しながら場合毎に其の絶對的の量は著しく異なることは勿論である。第一表は種々の高温度から燒入し表に記入の各温度迄反滓せる場合にタングステンが固溶態として含有せらるる量を原子量の割合及び重量の割合で示したもので第二表は1260度に於て燒入及び反滓を行へる場合の各種元素に関する同じ數値を示す。

第一表 種々の熱處理後溶液中にあるタングステンの%

燒入温度	%	反 滓 温 度					
		燒入の儘	1.50	2.60	3.90	4.82	5.95
(攝氏) 1038	重量%	2.74	2.24	1.95	2.20	2.20	1.75
	原子%	0.92	0.76	0.66	0.74	0.74	0.59
1148	重量%	4.75	3.75	3.50	2.70	3.18	2.95
	原子%	1.60	1.26	1.18	0.91	1.07	0.99
1205	重量%	5.58	5.45	5.32	3.55	4.30	3.56
	原子%	1.88	1.84	1.76	1.20	1.45	1.20
1260	重量%	8.20	7.33	7.02	6.83	6.28	4.20
	原子%	2.77	2.48	2.37	2.32	2.12	1.41

第二表 1260度に焼入し種々の温度に反淬せる場合溶液中にある各元素の%

炭素	重量%	0.24	0.19	0.11	0.19	0.18	0.16
	原子%	1.24	0.93	0.57	0.98	0.93	0.82
クローム	重量%	3.31	3.35	3.30	3.33	3.18	2.85
	原子%	3.95	4.00	3.94	3.97	3.79	3.40
タングステン	重量%	8.20	7.33	7.02	6.88	6.28	4.20
	原子%	2.77	2.48	2.37	2.32	2.12	1.41
ヴァナジウム	重量%	0.62	0.61	0.60	0.58	0.46	0.35
	原子%	0.76	0.74	0.73	0.71	0.56	0.43

高速度融の焼入れ 最後に高速度の仕上品の焼入に就て述べねばならぬ、本鋼は上述の如く考へ来れば簡略的にクロームを溶かした鐵と複雑なる炭化物との二元合金と考ふることが出来やう。仕上られた高速度鋼は此の炭化物を平均に於て30%含有するが一般にこれは平均に分布されてゐない、而して此等の過半は鋼が凝固せる後に固溶態から遊離したもので微細粒の状態にある。又最初から存在してゐる結晶粒は其の樹枝状組織が完全に除去されない爲に此れに由来して其の中心から端に至るに従ひ其の成分濃度を異にしてゐる。又上述以外の炭化物は共融晶を作るものであつて比較的粗い板状を持つてゐる。

次に焼入に際し高速度鋼を加熱すれば其の温度の上昇と共に上記炭化物の γ 鐵に對する溶解度は急に増加し上述の最高焼入温度に於ては約全炭化物の半は固溶態中に溶解す、然し乍ら此の場合金属元素特にタングステンの滲透速度の遅緩なる爲め其のオーステナイトは均一性に於てパーライト鋼にも劣る、此れに加ふるに初の共融晶中の大なる炭化物の偶然的な存在に依つて局部的に成分濃度の變化を來し此の爲めに又オーステナイトの均一性が害せられる。扱て過剰炭化物の存在は高温度に於ては其の結晶粒の成長を妨害することに於て有用なる働を有す、然し乍ら此の働が餘り顯著でない爲めに高速度鋼に於ては斯る高温度に於ける結晶粒の成長著しくし従つて鋼に脆性を與ふる爲め使用に堪え難くするのである。次に高温度に於て適當なる熱處理を與へたる後焼入せられる此の操作によつてオーステナイトの一部はマルテンサイトに變化し焼入鋼は兩者の混合組織を有す、而して此の間に不溶解の過剰炭化物が粒状に分布せられてゐる。焼入鋼の極めて軽度の腐蝕に於ては單にオーステナイト及び過剰炭化物粒のみを認めるが更に強く腐蝕する時はマルテンサイトの存在も明瞭になつて來る。而してマルテンサイト及びオーステナイトの量の割合は部分的に異つて居ることは勿論にして此の差は炭化物の濃度の差に伴はるゝものである。即ち炭化物の量の少き所は多量のマルテンサイトを有し多き所はオーステナイトに富む。

上述の如く新に焼入せる本鋼は種々其の安定性を異にせるオーステナイト及びマルテンサイトの混合態から出来てゐる、此の安定性の差は焼入鋼の反淬の際にも認め得らる。飽和オーステナイトは反淬に際して大なる安定性を示す即ち其の硬度を保存すること及び容積の變化を起さないことは其の證據である、然し乍ら普通焼入高速度鋼に於ては其のオーステナイトは凡てが飽和されて居ないで所々

炭化物の濃度が飽和値より遙かに小なる部分がある、而して斯る部分は其の低温度反淬に依つて軟化されるのである此等の部分は略マルテンサイトの組織を有し其は反淬の際に分解されて軟化を起す、此等のマルテンサイトは炭素鋼の夫に類似して居る、而して此のマルテンサイトの分解は其の硬度の減少と容積の縮小から推知せらるるが“A”の如きマルテンサイトを極く少量に有する飽和オーステナイトは約 480 度迄は兩者共少しも變化しない、然し乍ら普通の高速度鋼は斯の如き低温度反淬に依つて兩者共減少を示す。

扱て本鋼が約 595 度迄反淬せらるゝ時は二次硬度を表す即ちオーステナイトの部分は少くも其の大部分がマルテンサイト若しくはトルースタイトに變化す此の變化は試料の凡てに於て起るのであるが炭化物の濃度の小なる場所は容易に變じ易く大なる場所より稍低温度に於て變化が進行する、而して此の温度に於ける全硬化はオーステナイトの分解による硬度の増加とマルテンサイトの分解に依る其の減少との代數和であることは勿論である。次に茲に注意せねばならぬ事は二次硬度は單に高速度鋼に限られた現象ではないことである。又二次硬度と赤熱硬度との區別を明瞭にせねばならぬ。多くの特殊鋼に於て此れを可なり高温度に加熱するならば其の焼入に依て常温に於てもオーステナイトが保存せらる、而して此れを低温度に反淬する時は α 鐵の微細結晶粒の生成及び炭化物の微粒狀析出の爲めに二次硬度が表はれる、高速度鋼に於ては其のタングステンを完全に除去するも尙殘餘の元素はオーステナイトを保存し二次硬度を顯はす。而して高速度鋼の利點は其れが有する赤熱硬度の程度に依るので此れはタングステンに依つて左右せらるるのである。即ち比較的大なる重い非運動性のタングステン原子は此の高温度に於て其の組織を保持する能力を有するものである。實際炭化物元素特にタングステンがマルテンサイトから分離して球狀炭化物を作る場合には其の硬度は失はるるのである、而して含有元素の低い鋼に於ては此の滲透が起り易い然し乍ら本鋼の場合にはタングステン原子は其の非運動性の爲めに赤熱に於てすら其の歪を受けて居る α 鐵の空間格子を通じて焼鈍鋼特有の大なる炭化物の粒を生ずることは困難である。結論として次の諸項を列記してある。

1. 高速度鋼は 2% 炭素の白銑と其の凝固の有様が類似してゐる、但し此場合にはセメントタイトの代りに複雑なる炭化物が存在するのである。
2. 初期樹枝狀結晶の不均一性及び共融晶に於ける炭化物の集合は本鋼の均質性を損ふ、此の均質性を得る事は極めて困難なるものにして稀には完全のものが得らる。
3. 最初の共融晶は其の組織が軟弱なる爲め容易に破壊せらる。而して此等の炭化物は決して大なる固態結晶粒となることはないが其れが最初は集團的な散點として存在する爲め後に機械的作業に依つて此れを一様に分布することが困難である。
4. 焼入鋼中マルテンサイトの存在は最初のオーステナイトの成分の不均一性の爲めに認め難い、此の不均一性は最初の樹枝狀結晶の不均一性及び共融晶炭化物の偶然的な分布に依る不均一性の結果である。
5. 焼入高速度鋼中に生じたオーステナイトは 595 度に加熱するも決して完全に分解さることなく其の小部分は 760 度に於てすらも尙存在するものである。
6. 高速度鋼は約 30% の復炭化物を含有す。而して焼鈍状態にありては其の炭素は

タングステン、ヴァナジウムの凡て及びクロームの半は炭化物の状態として存在す。ドリルロツドを除いての他の場合には大いさを異にする二種の炭化物が存在する、其の一は共融晶から來たもので他は固溶態から析出したものである。7. 普通の焼入に於ては其の加熱の際に全炭化物の約半足らずは固溶態に溶ける、而して若し長時間加熱して平衡状態を保たしむる場合には更に増して約 2/3 迄は溶解し得る。8. 加熱に際しての炭化物の溶解は比較的低温度から始まり其の Acm 線に沿ふて繼續す。9. 高速度鋼の硬化は炭化物を造り得べき元素を成るべく多く、鐵に溶解し去るを要し、又後に此れを適當に反淬して最高硬度を表し得る様にマルテンサイトと微粒状炭化物とを混合せしめねばならぬ。合金元素に富むオーステナイトを生ずるための高温度加熱は決して結晶粒の成長を招致しない此れは残留炭化物が結晶粒の成長を妨ぐる爲めである。此の合金の特徴として炭化物の滲透速度の遅緩なる爲めに其の硬度は高温度に於ても失はれない。(終)

世界主要國銑鐵及鋼鐵產額

(單位千噸)(1噸は2,240 封度)

銑 鐵	英 國	米 國	加 奈 陀	佛 國	白 耳 義	獨 逸 (ルクセンブルグを除く)	ルクセンブルグ
1912年(月平均)	729.0	2,477.2	76.1	405.0	192.0	1,271.2	184.8
1913年(同)	855.0	2,580.5	84.6	427.2	203.8	1,374.4	209.0
1920年(同)	669.5	3,077.2	83.2	281.7	91.5	521.0	56.8
1921年(同)	218.0	1,390.8	51.4	280.3	71.8	508.0	79.6
1922年(同)	408.5	2,268.3	33.6	428.9	132.3	690.0	133.2
1923年(同)	619.9	3,363.4	68.6	445.6	179.1	—	115.4
同 (11月)	588.2	3,894.3	65.0	527.8	201.9	—	135.7
同 (12月)	626.9	2,929.1	62.6	555.8	206.1	—	150.8
1924年自 1月至11月	668.6	3,461.1	86.8	649.6	243.5	—	136.1
最少月	569.2	1,784.9	24.4	576.9	202.7	—	159.7
鋼 鐵							
1912年(月平均)	666.0	2,604.0	71.0	363.0	206.0	1,339.6	79.4
1913年(同)	638.6	2,608.6	87.0	384.5	202.3	1,445.7	109.0
1920年(同)	755.6	3,511.0	92.5	250.2	102.8	686.0	46.7
1921年(同)	308.6	1,648.7	55.6	254.5	62.8	725.0	61.9
1922年(同)	490.1	2,966.9	40.5	372.0	128.4	750.0	114.3
1923年(同)	707.4	3,623.9	73.7	419.1	186.3	—	98.3
同 (11月)	749.5	3,113.8	54.7	484.8	213.9	—	119.7
同 (12月)	653.3	2,843.8	41.2	517.3	209.3	—	132.6
1924年自 1月至11月	816.9	4,187.9	108.4	599.6	292.4	—	165.0
最少月	527.5	1,869.4	18.0	532.6	213.7	—	141.3