高温加工後のオーステナイト結晶粒成長について (第3報)高速度鋼について*

武 田 信 男**

Nobuo Takeda: Austenite Grain-Growth After Hot Working (3rd Report) On High Speed Steels.

High speed steel specimens were worked by torsion at the temperature of 1000~1200°, and austenite grain-growth was observed with microscope. Austenite grain-boundaries were revealed by keeping the specimens at 800° for 10 minutes, the temperature bringing the nose in S curve. The outlines of the experiments are as follows:

- (1) The relation between the degree of deformation, grain size and the working temperature was measured.
- (2) The progress of recrystallization or grain-growth with the lapse of time after hot working was observed.
- (3) The relation between the degree of deformation and the lapse of time before recrystallizing was found out.
- (4) It was observed that the successive alternating working diminished the capacity of recrystallization.
- (5) Coarse austenite grains were incapable of being recovered by the heat treatment.

(Received August 25, 1951)

I. 緒 言

著者は既に数種類の炭素鋼及び構造用特殊鋼について高温加工後のオーステナイト粒度に関する実験を行い、再結晶図、高温加工後再結晶開始に要する時間、繰返加工によるオーステナイト粒度の変化及び粗大化オーステナイト粒の熱処理による恢復等についての結果を報告した⁽¹⁾⁽²⁾。本報は引続き行つた高速度鋼についてのものである。高速度鋼は鍛錬温度においてオーステナイトに固溶する元素の量多く、かつ炭化物を混えている點で趣を異にするので実験を試みたのであるが、結果は本質的には前報告のものと著しく相違するものではなかつた。しかしこの場合は粗大化オーステナイト粒は後の熱処理によつて恢復が全く不可能で

致命的な結果を招くので、粒成長の程度を明かにしておくことは、高速度鋼鍛錬の實際作業上に資するところあるものと思われる。なお高速度鋼についての斯様な實驗結果はこれ迄全く發表されていないようである。

II. 試料及び實驗方法

試料の主要成分の分析結果を Table 1 に示す。

Table 1 Composition of Specimens.

Mark	C %	W %	Cr %	V %	Co %
HS 2	0.86	16.09	4.46	0.41	—
HS 3	0.82	16.32	4.22	0.44	3.18
HS 5	0.34	22.33	1.98	0.93	19.60

實驗裝置及び方法は前回の場合と略々同様であつて、直徑 8 mm, 中央平行部の長さ 13 mm の試験片を 1000~1200° で衝撃的に捩りその後のオーステナイト粒成長を測定した。オーステナイト粒境界は 1200° 以下の温度から單

** 東北大學工学部精密工学教室

* 1951年4月本會東京大會に發表

(1) 著者, 本誌, B-14 (1950), No. 12.

(2) 著者, 本誌, B-15 (1951), 101.

に急冷したのでは現れ難いので次の方法をとつた。すなわち高速度鋼のS曲線を見ると nose が 800° 附近にある⁽³⁾ので、加工後の試験片を冷却の途中で 800° に10分保持するのである。これにより極めて明瞭なオーステナイト粒境界を現出し得た。腐蝕液は HNO_3 5%, HCl 10% のアルコール溶液を使用した。

III. 実験結果及び考察

加工度、結晶粒度及び加工温度間の関係を Fig. 1~3 に示す。いずれも加工温度に保持した時間は加工前5分、加工後15分、また加工速度は加工直前のはずみ車回転速度1000 r. p. m. である。これを見ると前報告⁽¹⁾のものに比し再結晶を起さない低加工度部の範囲が廣く、粒の粗大化

Full Lines: γ -S, Dotted Lines: γ -Z
Fig. 1 Relation between γ , S (or Z) and Working Temperature.

Full Line: γ -Z, Dotted Line: γ -S.
Fig. 2 Relation between γ , S (or Z) and Working Temperature.

Fig. 3 Relation between γ , S (or Z) and Working Temperature.

Work. Temp. $^{\circ}\text{C}$ Deg. of Deform. %
(a) 1100 0
(b) " 9.5
(c) " 20
(d) " 30
Photo. 1 Microstructure of Recrystallized Austenite. Specimen: HS 3

(3) 大和久, 本誌, 8 (1944), 245.

する限界加工度が 1100° で 10% 附近になっている。また

曲線の形は同様であるが粒の大きさは著しく小さい。Fig. 1 (加工度 40% 以下) 及び Fig. 2 (加工度 40% 以上) に破線で示したものは加工度 γ と 1 mm^2 内の粒数 Z (粒平均断面積 S の逆数) との関係であるが、これが直線的であることから、 γ - S 曲線が双曲線となることが明かである。 γ - Z 直線の傾斜は加工温度の高いもの程小になっている。なお Fig. 2 より加工によって結晶粒が素材粒子の大きさよりも微細化されるためには、この場合 100% 以上の加工度が必要であることが判る。Photo. 1 に顕微鏡組織の例を示した。

Fig. 4 は加工後時間経過と共に再結晶及び粒成長の進む過程を求めたものであるが、前報告⁽²⁾のものと同様の経過をとっている。加工前の加工温度保持時間は5分である。

Fig. 4 Recrystallization and Grain Growth with Lapse of Time after Hot Working.

Fig. 5 Relation between Time of Recrystallization (Lapse of Time Until Recrystallization Occurs) and Degree of Deformation

Fig. 5 は試料 HS 3 及び HS 5 について加工度と再結晶開始迄の経過時間との関係を求めたものである。これを見ると、(1) 前報告のものに比べて再結晶開始は著しく遅れている、(2) 試料 HS 3 は HS 5 よりも温度による曲線の開きが大きく、かつ 1200° の曲線は HS 3 の方が HS 5 の

下に來ている。(1) は固溶元素量の増加及び炭化物存在の影響であると思われる。(2) に対しては次のように考えられる。すなわちこゝに再結晶の遅速を左右すると思われる下記 (a), (b), (c) の因子に關して

(a) 固溶元素量 Co はその殆ど全量がオーステナイトに固溶するものである故、試料 HS 5 の方が HS 3 より固溶元素量が多い。しかしそれが兩者の曲線の差異に及ぼす影響は次の點より考えて極めて僅少であらう。すなわち冷間加工後の再結晶温度は固溶元素量の増加と共に高くなるが、その影響は次第に緩慢となることが知られている⁽⁴⁾。これを今の場合に轉用すれば、高温加工後の再結晶開始の速さは固溶元素量の増加と共に遅れるが、その影響は次第に緩慢となると考えて差支えないであらう。ところで高速度鋼はいずれも多量の固溶元素を含んでいるから幾分の固溶元素量の増減があつたにしても再結晶の速さには殆ど影響しないものと思われる。

(b) 素材結晶粒の大きさ

素材結晶粒の大きさが小さい程冷間加工後の再結晶速度が増加することとは知られた事實であり、これは高温加工に關しても同様と思われる。試料 HS 3 と HS 5 とでは Fig. 1 及び Fig. 3 より判るように前者の方が素材結晶粒が小であり、従つて再結晶速度は速いであらう。1200° の曲線で HS 3 が HS 5 の下に来るのは主としてこれによるものと考えられる。なお 1100°, 1000° の曲線に對しては主として次項が關係する。

(c) 炭化物の大きさ、形状、分布

五弓氏⁽⁵⁾の二相合金の再結晶温度に關する研究によれば地質内の第二相結晶の形状、分布等の影響は次の通りである。すなわち粗大な角ばつた第二相が不均一に分布しているものは再結晶温度が著しく降下し、微細な粒狀の第二相が均一に分布しているものは再結晶温度が著しく上昇する。今 1100° について試料 HS 3 と HS 5 との顕微鏡組織を比較すれば Photo. 2 のように前者は散在する比較的大きな炭化物もあるが、地質一面に極めて微細な炭化物が一樣に分布していることが著しい特徴であり、これは再結晶を遅らす原因となる。一方後者は少數の稍大きな炭化物が現れているのみであるから再結晶は前者よりもかなり速くなるのが當然であらう。1100° についての實驗曲線の差異は主としてこれによつて起るものと考える。1000° の曲線に對しても同様である。次に 1200° における顕微鏡組織を較べると試料 HS 3 の微細な炭化物はオーステナイト中に固溶してしまい試料 HS 5 との間

にあまり差が認められない。したがつてこの場合は炭化物

(4) Zickrick, Trans. A. I. M. E. Metals, Div. (1933), 152.

(5) 美馬, 本誌, 9 (1945), 10.

(6) 五弓, 本誌, 7 (1943), 7

(a) HS 3 1100 10
(b) " 1200 20
(c) HS 5 1100 20
(d) " 1200 10

Photo. 2 Distribution of Carbides.
Specimen Temp. °C Deg. of Deform. %

の影響は大して問題とならず前記のように素材結晶粒の大きさが主として関係してくることとなる。

Fig. 6 は試料 HS 2 についての結果であるがこの試料は Photo. 3 に見られるように炭化物の分布大小が全く不規

Fig. 6

Photo. 3 Distribution of Carbides.
Specimen: HS 2, Work. Temp. 1100°.

則であるため著しく実験点が散つている。

なおこれらの実験はいずれも加工前の加熱時間5分,加工直前のはずみ車回転速度 1000 r. p. m. で行つた。高速度鋼では炭化物がオーステナイトに溶解込むのに時間がかかるから加工前の加熱時間の長短が影響するものと思われたので,これを50秒及び15分とした場合についても実験を行つたが殆ど差が現れなかつた。またオーステナイト粒界現出のため800°に10分保つことを前に述べたが,加工後の経過時間1分以内のものに対しては測定結果に影響を及ぼすことを避けるためにこの方法をとらず,単に腐蝕を強く行つて再結晶を起した部分と起さない部分との境界を現し得るようにした。

Fig. 7 は引續く反対方向の加工によつて再結晶能力の減殺されることを示したもので

Curve (I): Worked (by Torsion) in One Direction, then Held for 15 min.

Curve (II): Worked in One Direction, Held for 10 sec. then Worked in Reverse Direction and Held for 15 min.

Fig. 7 Effect of Successive Alternating Working.

ある。曲線 (I) は唯1回の振り後15分間加工温度1100°に保つたもので未再結晶範囲は9.5%以内である。一方曲線 (II) は1方向に振つた後そのまま10秒保ち,次に反対方向に同加工度だけ振り戻してから15分保持したものであつて未再結晶範囲は29.5%に及んでいる。すなわち反対方向の変形によつて冷間加工の場合と同様に再結晶生起の萌芽が消滅することを示している。Fig. 5を参照すれば始めの加工後の10秒間に再結晶を起さなかつた範囲のものが,次回の加工により再結晶能力を失つてゐることが判る。

次に上記のようにして粗大化したオーステナイト粒の恢復(微細化)が問題であるが,焼鈍によつては Photo. 4

Photo. 4 Recovery of Coarse Austenite Grains by Heat Treatment.

Specimen: HS 3, Work. Temp: 1200°. Deg. of Deform: 20 %

(a): Coarse Grains (b): Annealed Grains (unrecovered)

に見られるように全く恢復不可能である。但し焼鈍は變態點附近を1時間30分に50°の割合で加熱して行つた。従つて微細化は後續加工によるより他はないが、Fig. 2 から判るように餘程強度の加工を反覆して行はなければ充分な恢復は得られないであらう。

IV. 結 言

以上を要約すれば高速度鋼の高温加工後のオーステナイト結晶粒成長に關し次の研究を行つた。

(1) 加工度、結晶粒度加工溫度間の關係を求めた。

(2) 加工後時間經過と共に再結晶及び粒成長の進む過程を求めた。

(3) 加工度と、再結晶開始迄の經過時間との關係を測定し、固溶元素量、素材の結晶粒度、炭化物の影響について考察した。

(4) 引續く反對方向の加工によつて再結晶能力の減殺されることを示した。

(5) 粗大化オーステナイト粒の微細化は、熱處理によつては不可能なること、また後續加工によつてもかなり困難と思われることを示した。

最後に本研究に對し御激勵を賜つた成瀬政男教授、門間改三教授、實驗を援助された西村幸助君、並びに種々御世話下された前田河信保氏に厚く應謝する次第である。また實驗試料の一部は東北特殊鋼株式會社の御好意によつたものであることを記して謝意を表する。なお本研究は昭和25年度文部省科學研究費を受けて行つたものである。