スエーシングマシンによる 2S の冷間鍛伸について

石 河 三 郎*

Cold swaging of 2S

ISHIKAWA Saburo*

Under the swaging process of 2S (Fe: 0.27%, Si 0.12%) round bar, the variation of hardness in transverse section, micro and macro structure, flow of material, and tensile properties were measured at summarized as follows:

- (1) At the initial stage of cold swaging, the surface layer of 20mm ϕ 2S bar is more worked than the inner part. Hardness in the outer part increases more rapidly than that in the inner part as the swaging process goes. After 80% reduction, however, the inner part becomes more deformed and hardened than the outer part.
- (2) The tensile strength of the specimen gradually increased with increasing of reduction till about 80%, and the increase in strength gets rapid when the reduction goes to about 90% and more.
- (3) Softening of cold-swaged 2S takes place at the temperature of 200°C
- (4) Macro-and micro-structure and flow of material are also discussed here.

(Received Dec. 20 1962)

1 ま え が き

冷間加工法の一つとしてスエーシングマシンによる鍛伸法がある。この方法は引抜き加工における口付けや短かい棒の鍛伸用として広く用いられているものであるが、最近では原子燃料ウランの鍛伸にも用いられている。この方法は古くから用いられているものであるが、これによつて成形された材料の冶金学的な立場からの研究が少なく、詳しい報告がなされていないように思われる。筆者はこの加工法の基礎的なデータを得るため、2Sを用いて、鍛伸された材料の変形様相、材料の流れ、機械的性質などについて二、三の実験を行なつたので、その結果について報告する。

2. 実 験 方 法

2.1 試 料

試料としては市販の2S引抜き材(0.27% Fe, 0.12% Si)を400°Cで2hrs加熱、炉冷して用いた。この試料の履歴は不明で、焼なまししたものの組織は、後に示すように(Photo. 1)外周部と中心部に多少差がみられる。

2.2 使 用 機 械

使用した機械はいわゆるロータリー・スエーシングマシンで国産のものである。その最大可鍛直径は20mmで使用モーターは7.5HPであるが、実際に材料に加えられるエネルギーは計算しがたい。

2.3 実 験 方 法

焼なましを行なつた20mm ϕ の2S棒をFig. 1に示すような各加工度で鍛伸し、その各加工度における断面硬さ、マクロおよびミクロ組織を調べた。断面硬さは横断面について、中心から外周部へ0.25mm間隔で、マイクロビツカース硬さ(荷重100g)を測定し、2~4組の平均をとつた。ミクロ組織は電解研磨および電解腐食によつて、マクロ組織は電解研磨後、HCl 45ml + HNO₃ 15ml + HF 15ml + H₂O 25ml液で腐食を行なつて得た。

つぎに、焼なまし粗材から径20~5.5mmの棒を切削加工によつて作り、それらを径5.5mmに鍛伸し、92%までの加工度のものを得、一方、径20mmのものを径8~3mmの棒に鍛伸し、84~98%の加工度の棒を得た。それらの引張性質を求め、その結果を前述の加工に伴なう硬さの変化と合せて材料の硬化の様相を調べた。

また、径20mm棒を96%鍛伸し、径4mmの試片を作り、それを各温度で30min焼なましを行なつて、室温で引張試験を行ない、性質の変化を調べた。この時の試料は、熱処理後、空冷と水冷を行なつた。

材料の変形の様相を知るため、径20mmの試料をたて割りにし、その内面に格子状の溝をつけ、その周囲をろう付けしてから鍛伸を行なつて格子模様の変化を観察した。

* 岩手大学工学部金属工学科助教授 Assist. prof. Department of metallurgy, Faculty of Engineering, Iwate University.

3. 実験結果

3.1 断面硬さの変化

各加工度における断面硬さの変化を **Fig.1** に示す。これをみると、焼なましを行なった粗材（加工度 0）では中心部に硬さの高いところがあり、それからほぼ一定の硬さが続き、表面近くになつてわずかに硬さが上り、表面では軟かくなつてゐる。

それを加工していくと、最初は一樣な硬さの上昇がみられるが、加工の進むにしたがつて表層部の硬化度が中心部のそれにまさり、加工度が 80% 程度になると、内外の差がなくなる。しかし、さらに加工を進めると、こんどは中心部の硬さが上昇してくる。

いま、上記の経過を示すために、最も中心にある硬さ 2 個の平均を中心部の硬さ、最も表面に近い 2 個の硬さの平均を表層部の硬さ、またそれらのちょうど中間に連続して位する 3 個の硬さの平均を中間部の硬さとして、これら 3 種の平均硬さを加工度に対してプロットすると **Fig. 2** のとおりになる。

3.2 変形の様相

格子模様による変形様相を図解的に示すと、**Fig. 3** のとおりになる。これをみると、試料が太い加工初期においては、表面層が鍛伸される方向に伸びていき、加工の進むにつれて表面層の流れが強くなるが、約 70% をすぎるとその度合も少なくなり、約 80% 以上では、鍛伸方向に直角の溝は直線的となつてくる。

このような変化は、前項の硬さの変化によく対応している。すなわち、約 80% 加工までは、表面層の加工が進むが、材料が細くなり、それ以上の加工のときは内部の変化がよく行なわれることになる。

これらの鍛伸の過程におけるマクロおよびミクロ組織を示すと、**Photo. 1~4** のようになる。**Photo. 1 a** は粗材を 19% 鍛伸したもののマクロ組織で左半分は粗材で、右側の方は加工されたダイス形状に相当している。これをみるとわかるように、粗材における結晶粒は、中心部や表層部において、また、中心部や表層部それぞれにおいても、その大きさに差がみられる。そのミクロ組織は **Photo. 1 b** および **c** にみられるように、一般に表面に近いところは粗く、中心部は細かく、かつポリゴン化した組織が多くみられる。試料を鍛伸していくと、結晶粒は鍛伸方向に長く伸びてくるが (**Photo. 2~3**) 加工度が大きくなり、約 70% をこえると加工組織は内外の差がわからなくなる。 (**Photo. 4**)

3.3 引張性質の変化

引張性質の変化を **Fig.4** に示す。これらの各点は 2 本の試片の平均をとった。引張強さや耐力は加工とともに上昇しているが、引張強さの変化は断面硬さの中心部の

それと非常によく対応している。すなわち、90% 前後の加工度から急な上昇を示している。伸びは加工とともに低下している。

3.4 鍛伸材の焼なましによる引張性質の変化

96% 鍛伸した径 4 mm の線を 600°C までの各温度で焼なましをしたときの引張性質の変化を **Fig.5** に示す。これらの試片は焼なまし後、空冷したものと水冷したものとの両方とも、各点ごとに 2~3 本の試片の平均値を示したが、その差はほとんどない。その傾向としては、普通の線引きによつて得られたものを焼なまししたときの变化と大差はない。

Fig. 1 Hardness of transverse sections of the cold-swaged 2S at various reductions.

Fig. 2 Changes of hardness at the center, intermediate and outer portion of the cold-swaged 2S at various reductions.

Fig. 3 Schematic drawing of transverse grooves in the vertical section of 2S rod, cold-swaged at various reductions.

Photo. 1 Macro- structure of original annealed 2S rod (a): b and c are the micro-structures of the outer portion and the center portion of the rod, respectively.

Photo. 2 Macro- structure of 36% swaged 2S rod (a): b and c are the micro-structures of the outer portion and the center portion of the rod, respectively.

Fig. 4 Tensile properties of 2S rod, cold-swaged at various reductions.

Fig. 5 Tensile properties of swaged 2S, annealed at various temperatures.

Photo. 3 Macro- structure of 70% swaged 2S rod (a): b and c are the micro-structures of the outer portion and the center portion of the rod, respectively.

Photo. 4 Macro- structure of 94% swaged 2S rod (a): b and c are the micro-structures of the outer portion and the center portion of the rod, respectively.

4. 考 察

スエーシング加工は、一種の冷間型鍛造で、試料のまわりをダイスが回転しながら、丸棒に放射線状の打撃を瞬間的にかつ連続的に加えて、長さの方向に鍛伸するもので、その打撃のエネルギー、材料の変形抵抗、試片の送り速度などによつて加工される状況が異なることと思われるが、本実験ではこれらの因子は全くわからず、ただ送り速度はできるだけ一定になるように、一部は自動送り装置（送り速度 15 mm/sec）を用い、手動のときもこれに合わせるように試みただけである。しかし、本実験の結果を解析すると、定性的につぎのことがいえるものと思われる。

鍛造の場合、打撃力が表面から内部に伝わるには時間が必要である。したがつて、スエーシングのごとく瞬間的に打撃力が加わる場合は、打撃の間に十分内部まで打撃力が伝達されず、表面層のみが変形、加工を受け、内部はわずかな変形を受けるに過ぎないことが考えられる。

相対的に、材料の変形抵抗や材料の直径が打撃力に対

して大きいと、上記のことから、表面層のみが優先的に加工され、本実験の初期から中期にかけて見られるように、外周部の変形が強く行なわれる。それが試片が小さくなつて、絶対的な変形抵抗が小さくなると試片の中心部の加工がよく行なわれてくるものと考えられる。

5. む す び

直径 20 mm の 2 S 棒をスエーシングマシンで鍛伸したときの材料の流れ、断面の硬さおよび引張性質の変化を調べたところ、鍛伸の初期および中期には外周部が優先的に硬化し、ある程度の加工度以上になり、材料の径が細くなつて、絶対変形抵抗が小さくなると中心部の加工が著しくなるが、90% 以上の加工によつて材料は著しく強さを増した。鍛伸した材料の焼なましによる強さの変化は他の加工法によるものと大差なく、200℃ 前後より軟化がみられた。

終りに、本実験に終始御懇篤なる御指導を賜つた東北大学金属材料研究所幸田成康教授および実験遂行に援助をいただいた同所菊地勉夫君に厚く感謝の意を表する。