

.....
 論 文

UDC 669.15'26-157.9-196.53 : 669.112.227.32/.34 : 539.4 : 539.5

オースフォームドパーライトおよびベイナイト鋼 の機械的性質*

齋 藤 利 生**・村 上 昇 一***

Mechanical Properties of Ausformed Pearlitic and Bainitic Steel

Toshio SAITO and Syoitch MURAKAMI

Synopsis:

A study has been performed to clarify the effect of ausforming temperature, ausforming ratio, and subsequent isothermal heating time on the mechanical properties of ausformed pearlitic and bainitic steels. The material used in this study is a high C and Cr tool steel, which has high quench-hardenableity. The results obtained are as follows:

(1) With increases of the working ratio of ausforming and of the holding time at the subsequent transformation temperature, both the hardness and the strength of ausformed pearlitic steel decrease, while the toughness of the steel increases. When the mechanical properties of ausformed pearlitic steel worked at 500°C is compared with that worked at 700°C, the former shows lower values in the hardness and strength and a higher value in the toughness than the latter.

(2) The ausformed bainitic steel worked with a comparatively heavy ratio shows a fairly good combination of the strength and toughness. On the other hand, the ausformed bainitic steel worked at 320°C is more advantageous in the strength and toughness than that worked at 500°C.

(3) With an increase of the working ratio of ausforming, both the toughness and strength of the ausformed pearlitic steel worked during the isothermal transformation from austenite to pearlite increase, while the strength of the steel worked above a certain working ratio slightly decreases.

(4) When the mechanical properties of the ausformed bainitic steel worked during the transformation from austenite to bainite is compared with that worked before transformation, the former shows a higher value in the strength and a lower value in the toughness than the latter.

(Received Mar. 7, 1973)

1. 緒 言

オースフォームリングは鋼の準安定オーステナイト域で塑性加工を施した後、冷却してマルテンサイト変態させる処理であり、言い換えればオースフォームドマルテンサイト鋼と呼ぶことができる。強化を目的とするこの処理鋼については多数の論文により詳細な研究成果が報告されている。同様の処理であるが準安定オーステナイトを加工した後、パーライトあるいはベイナイト域で恒温変態させて生ずるオースフォームドパーライト、あるいはベイナイト鋼に関する研究はきわめて少ない。オースフォームドパーライト鋼については炭素鋼¹⁾、H-11 鋼²⁾を供試材とした報告があり、H-11 鋼のオースフォームドパーライトの強度は非加工材より劣るが、炭素鋼のオースフォームドパーライトの強度はパテント材より優れているとされている。またオースフォームドベ

イナイト鋼についてはH-11 鋼³⁾の研究があり、このオースフォームドベイナイト鋼の強度、伸びおよび絞りは、普通処理のマルテンサイト、あるいはベイナイトより優れていることが報告されている。一方、変態途中加工を施したオースフォームドパーライト鋼については炭素鋼⁴⁾、En 18 鋼⁵⁾を供試材とした報告があり、炭素鋼の強度および靱性はかなり改善されるとしている。また En 18 鋼のオースフォームドパーライトは普通の焼入、焼戻材と比べて強度はあまり変わらないが靱性において著しく優れているとされている。同様の処理を施したオースフォームドベイナイトについては炭素鋼⁶⁾の研究があり、

* 昭和45年10月、昭和46年6月金属学会講演大会にて発表

昭和48年3月7日受付

** 防衛大学校 工博

*** 関東学院大学工学部

この鋼の強度、靱性はかなり改善されるとしている。

これらの報告によれば得られた結果は必ずしも同じ傾向を示しているとはいえない。たとえば炭素鋼のごとく変態の速い材料のオースフォームドパーライト鋼はその強度を向上している¹⁾が、自硬性の強い H-11 鋼では逆に低下している²⁾。その原因は、炭素鋼は変態が著しく速いため変態生成物を加工したための強度増加であつて炭素鋼本来のオースフォームドパーライトの性質とはいえないことが推測される。著者らは前報でオースフォームリングを自硬性の強い工具鋼の焼鈍軟化に利用する報告を行なつた³⁾。このオースフォームドパーライトでは軟化が促進されるため H-11 鋼の例と同様に強度は当然低下するとみられる。

本研究はオースフォームドパーライトおよびベイナイト組織をもつ鋼の性質を明らかにすることを目的とするもので、その一環として今回は高炭素合金鋼を選び、変態前加工および変態途中加工を施したオースフォームドパーライト鋼およびベイナイト鋼の機械的性質に及ぼすオースフォーム加工度、加工温度、変態温度における保持時間の影響などについて調べた結果を報告する。

2. 試料および実験方法

供試材料は自硬性の強い高炭素高クロム鋼の市販材を選び、最終圧延後の試験片の厚みがすべて 3mm になる

Table 1. Chemical composition of steel (%).

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	P	S
1.31	0.25	0.46	7.72	0.12	0.01	0.01	0.010	0.013

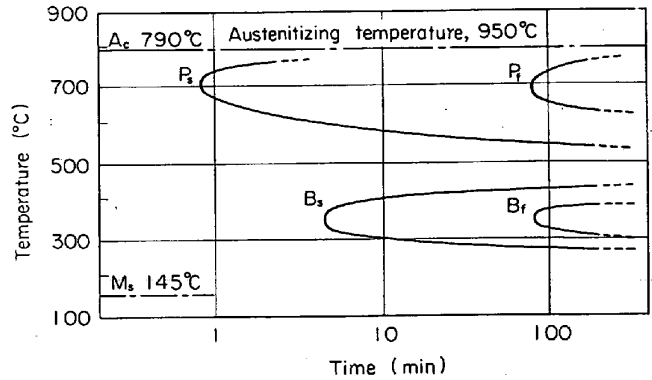


Fig. 1. Time-temperature-transformation diagram of used steel.

ように各種板厚の試料を多数、熱間圧延、焼鈍、機械切削により作製した。試料の化学組成は Table 1 に示す。

まず熱膨張計により加熱-冷却速度 1~2°C/min で試料の変態点を測定し、Ac の開始および終了温度はそれぞれ 790°C, 814°C, Ar は同様に 755°C, 740°C, そして 950°C からの空冷により Ms 145°C を得た。

Fig. 1 は組織観察と硬度測定によつて作製した供試鋼の

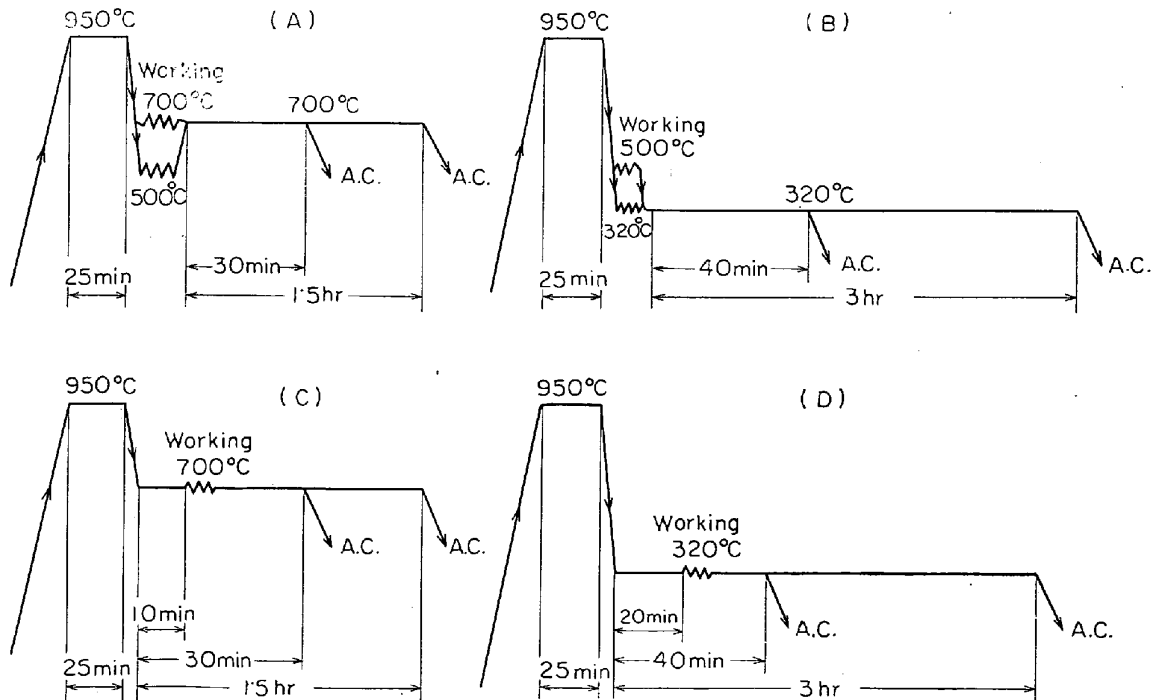


Fig. 2. Thermomechanical treatments used in this study : processes (A) and (B) involve a working of austenite before transformation to either pearlite or bainite, and processes (C) and (D) involve a working of pearlite and bainite formed during the heat treatments.

S 曲線を示す。これらの測定結果は以下の熱処理を決める参考に供した。

熱処理は大別して Fig. 2 に示す変態前加工のオースフォームドパーライト (A) およびベイナイト (B) と、変態途中加工のオースフォームドパーライト (C) およびベイナイト (D) 処理の4つである。変態前加工の (A) は試料を 950°C に 25 min オーステナイト化後、S 曲線のパーライト変態開始のノーズ温度に相当する 700°C およびベイ温度に相当する 500°C に保持したメタルバス中に急冷し、熱電対がこの温度を示してから、さらに 20 sec 保持後取り出し手早く 0~50% の各種加工度に圧延し、その後パーライト変態温度 700°C に 30 min および 1.5hr 保持後空冷した。(B) は同じ要領でベイナイト変態開始のノーズ温度に相当する 320°C、およびベイ温度の 500°C で圧延加工し、ベイナイト変態温度 320°C に 40 min および 3hr 保持した後空冷した。また変態途中加工の (C) および (D) 処理はそれぞれ (A)、(B) と同様の処理であるが (C) では 700°C に 10 min、(D) では 320°C に 20 min 保持して、ある程度変態を起こさせた後、圧延加工を施したものである。以上の各処理の加工後の変態保持時間は試験片の寸法を考慮して非加工材のパーライトおよびベイナイトが

ともにほぼ 50% の変態途中のものと、全く変態を完了するものが得られるように選んだものである。また (C)、(D) の各処理における加工前の保持時間 10 min および 20 min は非加工材のパーライトおよびベイナイトの変態量が約 20% 進行するのに必要な時間に相当している。

以上の各処理を施した板材から厚さ 3 mm、平行部の幅 10 mm、標点距離 22 mm の JIS 7 号引張試験片、および断面 3×8 mm²、長さ 55 mm、深さ 2 mm の 1 mmRU ノッチ特殊寸法のシャルピー衝撃試験片をそれぞれ 2 本宛作製して機械的性質を測定した。硬度測定および検鏡は衝撃試験後の試片の断面中央部について行なった。

3. 実験結果および考察

3.1 準安定オーステナイトの加工

3.1.1 オースフォームドパーライト

Fig. 3 は処理 (A) を施した試料の機械的性質とオースフォーム加工度、加工温度、変態温度における保持時間などとの関係をしらべた結果である。500°C および 700°C 加工の対応する曲線は同様の傾向でオースフォーム加工度_z(以下加工度と呼ぶ)の増加に従い硬度および引張強さは次第に減少し、逆に伸び、衝撃値は増加し

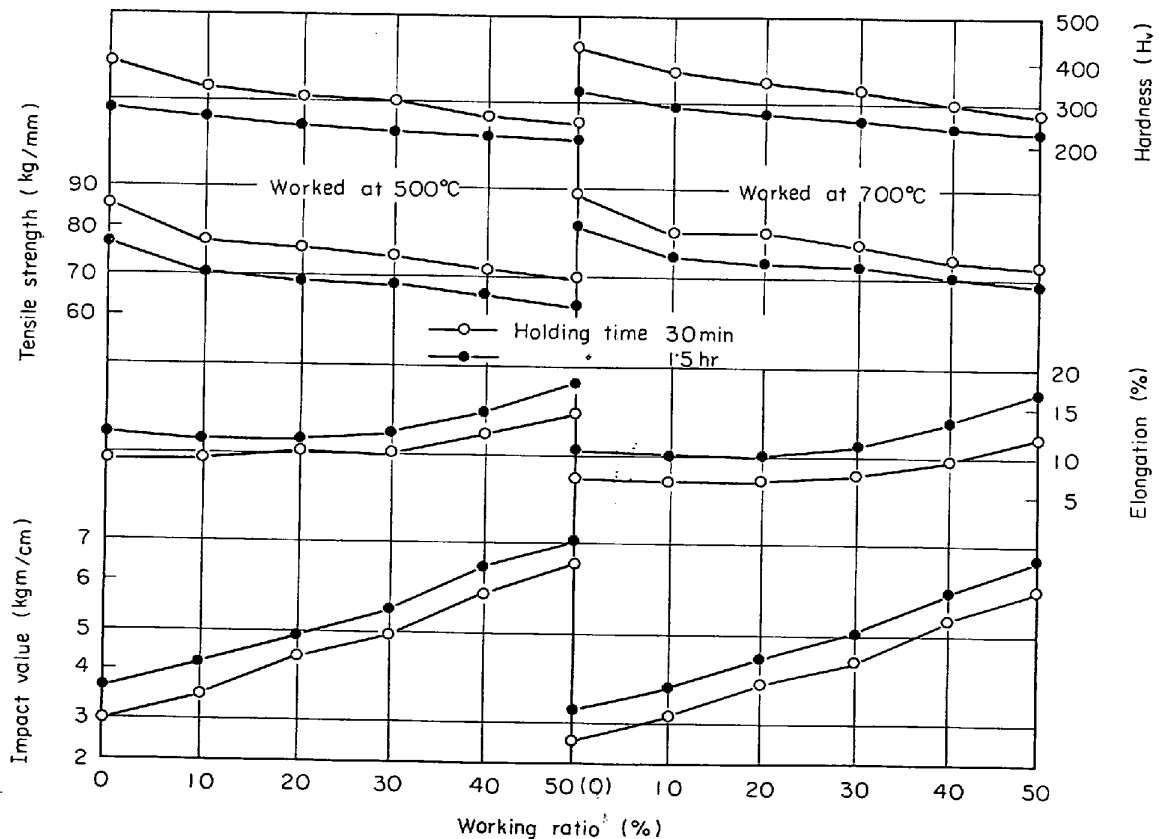


Fig. 3. Effect working ratio and holding time on the mechanical properties of ausformed pearlitic steel.

ている。とくに衝撃値の増加が顕著である。変態温度における保持時間（以下保持時間と呼ぶ）の影響は硬度、引張強さに対しては 30 min 保持、伸び、衝撃値は 1.5 hr 保持が高い値を示している。すなわち保持時間が長くなると硬度および引張強さは僅か減少し、伸び、衝撃

値は若干増加することが知られる。加工温度の影響は 30 min および 1.5hr 保持材とも硬度、引張強さに対しては 700°C 加工、伸び、衝撃値は 500°C 加工が高い値を示しているが、同一加工度で比べるとその差はあまり大きくない。

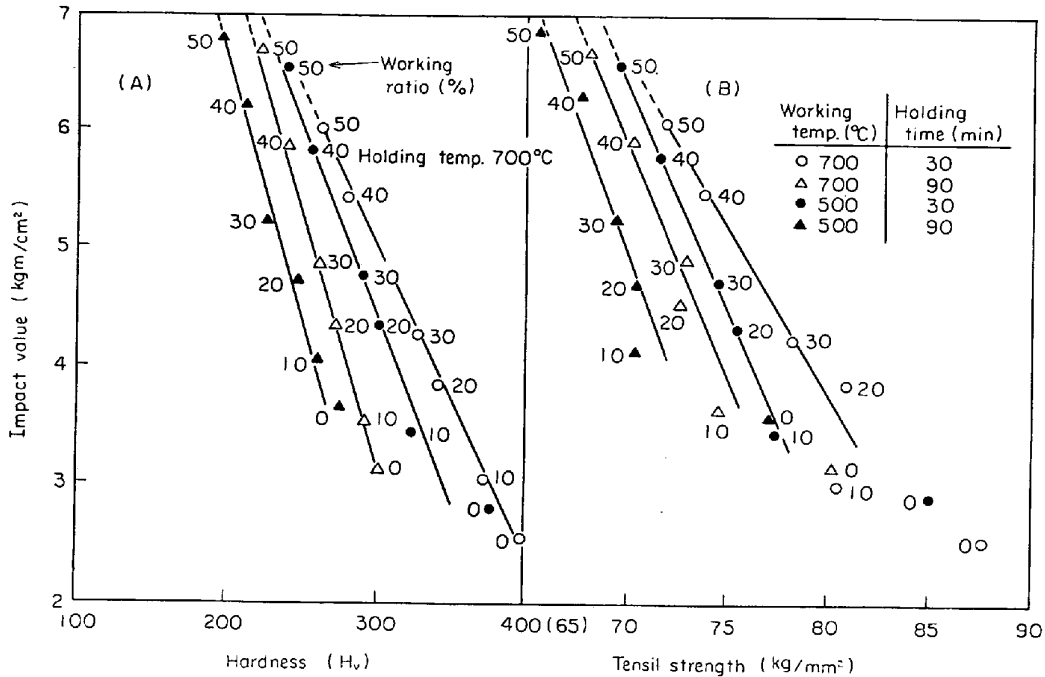


Fig. 4. Relation between hardness and impact value : (A), and relation between tensile strength and impact value : (B) of ausformed pearlitic steel.

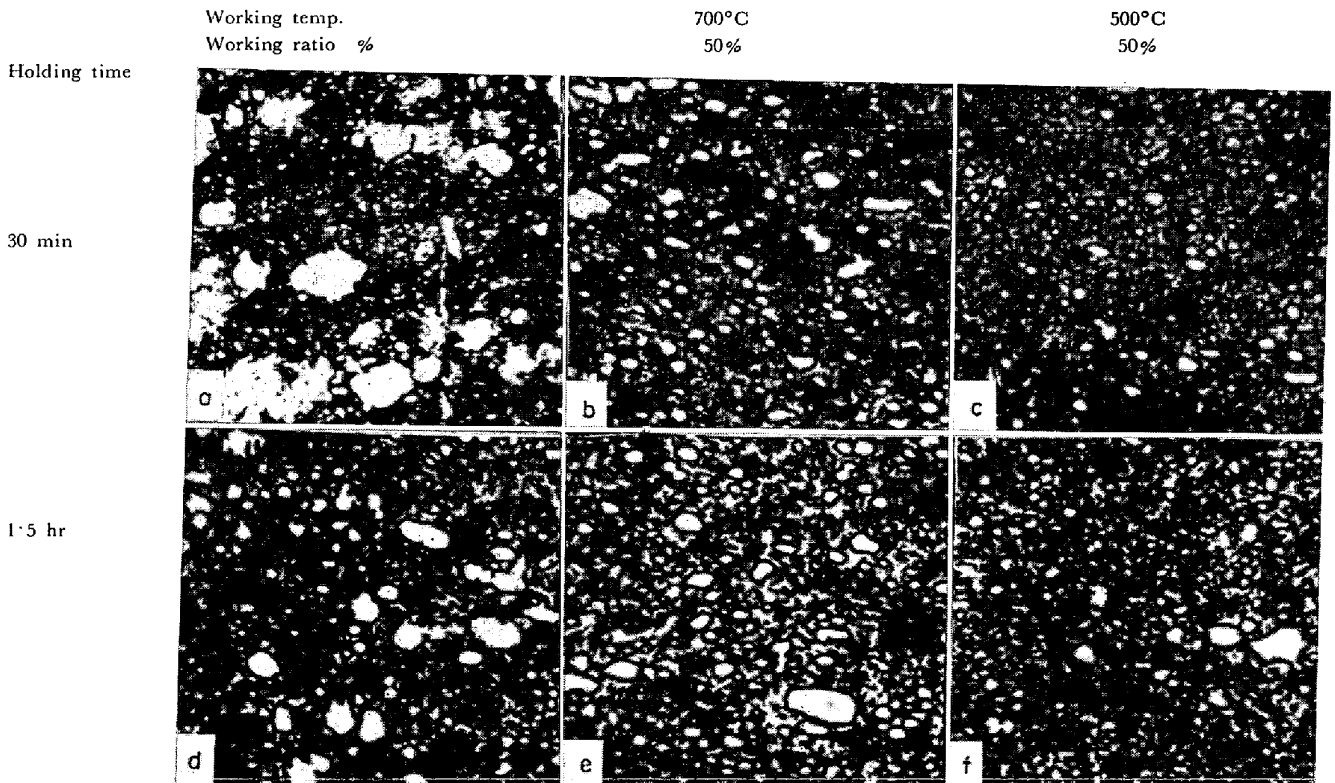


Photo. 1. Effect of working temperature and holding time on microstructure of specimens isothermally treated at 700°C. (× 1500)

以上の測定結果から硬度および引張強さと衝撃値との関係を Fig. 4 に示す. 左図 (A) の硬度と衝撃値の関係は各処理とも加工度が大きくなれば硬度は減少し, 衝撃値は著しく増加してくる. 保持時間を一定として加工温度の影響を比べると 700°C 加工の衝撃値がもつとも高い. また加工温度を一定として保持時間の影響を比べると, 両加工温度とも 30 min 保持の衝撃値がよい. 右図 (B) の引張強さと衝撃値の関係も硬度と衝撃値の関係と同様の傾向で, 同一引張強さで比べると 700°C 加工, 30 min 保持の衝撃値がもつとも高い. 本実験の範囲では加工温度は高く保持時間は短い方が同一硬度および引張強さに対する衝撃値は高く, 靱性上有利であることが知られる.

Photo. 1 に代表的な組織を示す. 加工度 0 の a, d を比較すると 30 min 保持の a では変態が完了しておらず約 30% のマルテンサイトが残存しているが, 1.5hr 保持の d は変態が進み残存マルテンサイトは数%以下に減少している. 加工材の組織は非加工材と比べて炭化物は微細化し比較的均一に分散している. さらに加工温度の影響を同一保持時間で比べると 700°C 加工の b, e は対応する 500°C 加工の c, f より残存するマルテンサイトは多く, このマルテンサイトは黒い炭化物地に細かく粒状となつて混在している. また保持時間の影響を同一加工温度で比べると 30 min 保持の b, c は対応する 1.5hr 保持の e, f より黒い炭化物は微細化され均一に分布している. とくに 700°C で 50% 加工後, 30 min 保持した b は他の加工組織と比べてより微細化された炭化物地になお数%の細かいマルテンサイト粒が均一に分布している. 前述の結果において 700°C 加工, 30 min 保持材が一定硬度および引張強さに対して高い衝撃値を示したのは, この b にみられる組織が原因の一つと思われる.

変態前加工のオースフォームドパーライトの強度と加工温度との関係では 700°C 加工の強度が 500°C 加工のそれより優れていた. Fig. 1 の S 曲線にみられるように 500°C は S 曲線のベイ温度に相当しており, この温度に保持した試料は 3 hr 経過後においても変態生成物は認められなかったが, 加工温度 700°C はパーライト変態開始のノーズ温度に相当しており 500°C の場合と比べて変態開始が著しく短時間側 (40 sec) によつている. しかも準安定オースナイトに加工を施せばその後の恒温保持でパーライト変態は促進される⁷⁾ から 700°C 加工の場合たとえ標準の S 曲線の変態開始以下の時間で試料を加工し終えたとしても加工間に変態生成物が形成され, これを加工したことになる. そのための加工強化が含ま

れているためと思われる. したがつて 700°C 加工のオースフォームドパーライトは厳密な意味で変態前加工のオースフォームドパーライトとはいえない.

オースフォームドパーライトの強度と加工度との関係は加工度が大きいほど, 強度は減少²⁾ または増加¹⁾ するという全く相反する 2 つの現象があらわれている. この異なる 2 つの現象が生じたのは供試材料の相異が原因と考えられる. すなわち前者の研究では比較的自硬性の強い合金鋼のオースフォームドパーライトの強度である. これらの材料はオーステナイトの安定度が著しく大きいため, 変態温度に長時間保持させても, なお少量のオーステナイト (γ) が残存し. Photo. 1 にみられるごとく, その後の冷却でマルテンサイトが誘発されるが, 加工度が増せば変態は促進されるから残存マルテンサイト量は減少する. したがつて加工度の増加で自硬性の強い鋼のオースフォームドパーライトの強度が低下したのは実は残存マルテンサイトの減少に基因するものと考えられる. 一方, 後者の研究では変態の早い炭素鋼をオースフォームした後, 変態温度に短時間保持した結果である. 炭素鋼の変態終了までの時間は合金鋼に比べるときわめて短いからこの強度増加は前述したように加工前あるいは加工間に生じた変態生成物の加工強化および再結晶温度域にあるとはいえ保持時間が著しく短いため加工強化の残存などの重畳効果に基因するものと思われる. 以上のことから変態前の完全な準安定オーステナイト加工によつて生じたオースフォームドパーライトの組織の微細化, 均一化は本実験の結果から判断して強化よりむしろ延性, 靱性の向上に大きく寄与することが期待される.

3.1.2 オースフォームドベイナイト

Fig. 5 は 320°C および 500°C でオースフォームした後, ベイナイト域の 320°C で 40 min あるいは 3 hr 変態させたオースフォームドベイナイト鋼について Fig. 3 と同様のことを調べた結果を示す. 320°C 加工と 500°C 加工の対応する各曲線は類似の挙動を示しており, 加工度約 20% 以下の範囲では加工材の機械的性質は非加工材のそれとほぼ同じか僅か低い値であるが, 加工度 30% 以上になると硬度および引張強さは明瞭な増加がみられ, 伸び, 衝撃値も加工度の増加に従いしだいに高くなつていく. また加工温度の影響は 320°C 加工が 500°C 加工に比べて引張強さ, 伸び, 衝撃値の 3 つにおいて優れているが, 硬度だけは 500°C 加工が高い値を示す. 保持時間の影響は加工度 0~20% 範囲では 40 min 保持および 3 hr 保持の硬度はいずれもほぼ同じ値であるが, 引張強さは 3 hr 保持がよい. これに対して 30~50%

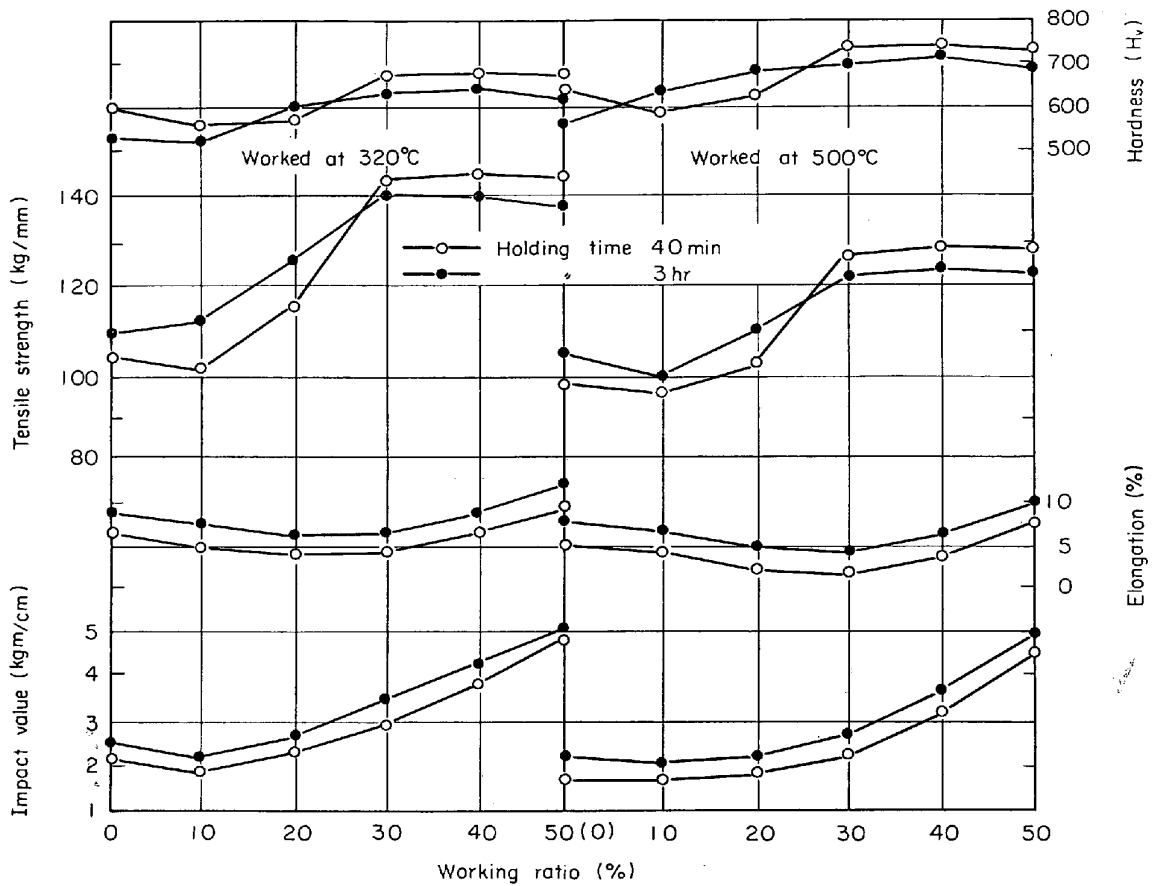


Fig. 5. Effect of working ratio and holding time on the mechanical properties of ausformed bainitic steel.

範囲の高加工域においては硬度、引張強さは 3 hr 保持より 40 min 保持がよい。また伸び、衝撃値は単純な挙動で 3 hr 保持がすべての加工度に対して高い値を示

てくる。したがって保持時間が長くなると伸び、衝撃値および低加工域における引張強さの3つは増加し、逆に高加工域における硬度、引張強さは減少することになる。

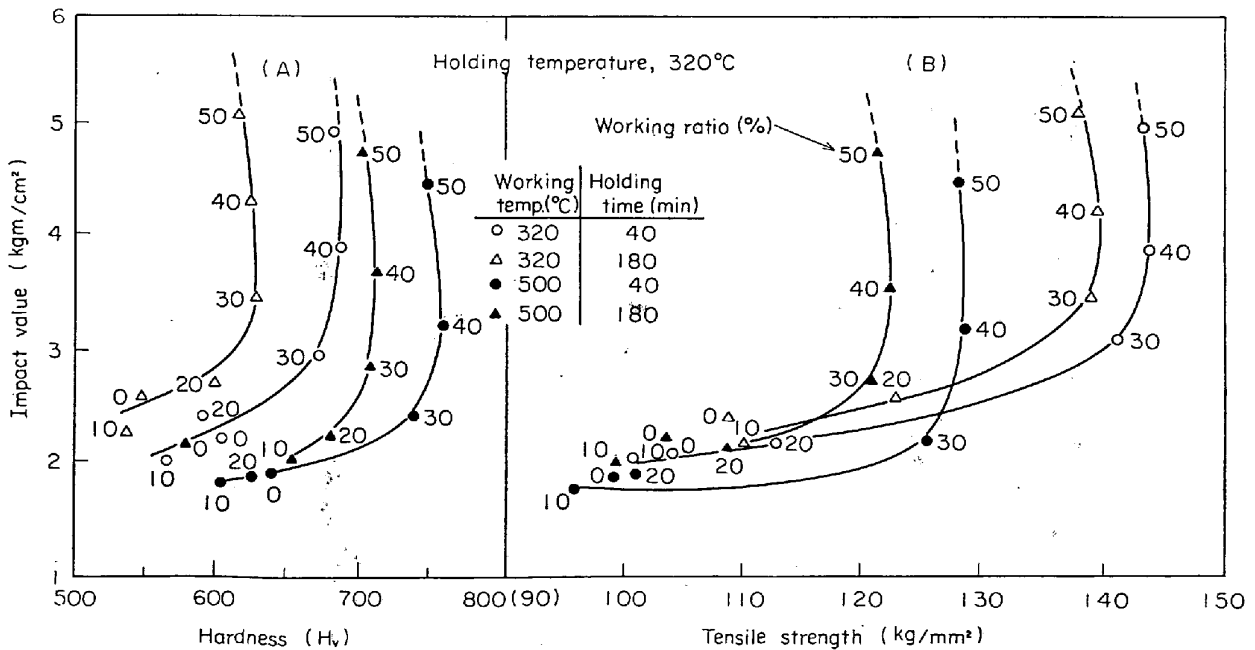


Fig. 6. Relation between hardness and impact value : (A), and relation between tensile strength and impact value : (B) of ausformed bainitic steel.

一般に保持時間が長くなると試料の変態は促進されるため硬度、引張強さは低下し伸び、衝撃値は向上すると思われるが硬度、引張強さが比較的複雑な挙動を示した事実から保持時間の影響は加工度とのかねあいによつて変わることが知られる。

硬度および引張強さと衝撃値との関係を Fig. 6 に示す。オースフォームドベイナイトではオースフォームドパーライトの場合と比べて特異な様相がみられる。左図の(A)では同じ衝撃値で比べると500°C加工、40 min保持の処理がほかの処理より高い硬度が得られているが、同じ硬度で比べると各処理とも得られる硬度の最高値には限界があるため、たとえばHv 600では320°C加工、3 hr保持の衝撃値がもつとも高いが、Hv 700では500°C加工、3 hr保持がよい。そしていずれの処理においても加工度が大きいほど、高い衝撃値が得られる。右図の(B)は(A)の結果とほぼ同じ傾向で20%以下の低加工域における引張強さ120 kg/mm²以下の範囲では、処理にかかわらず衝撃値は低い。同一衝撃値で比べると320°C加工、40 min保持の引張強さがもつとも優れているが各処理とも得られる最高引張強さは硬度の場合と同様限界があることがわかる。したがつて強靱性を得るには、希望する引張強さに対して適切な加工

温度、加工度および保持時間を選ばねばならないが、いずれの処理においても加工度を大きくすることによつて靱性を著しく増加せしめることができる。

Photo. 2はオースフォームドベイナイト鋼の代表的な組織を示す。非加工材のa、dを比べると40 min保持のaでは約60%のマルテンサイトが残存しており変態はあまり進んでいないが、3 hr保持のdには黒いベイナイトが多く、このベイナイト地には数%のこまかいマルテンサイトが散在している。加工温度の影響は320°C加工のb、eには多量の黒いベイナイト地にマルテンサイトが混在し比較的均一に分布しており、方向性も少ないが、500°C加工のc、fには白いマルテンサイトが多く、これに少量のベイナイトが層状に存在しており加工による方向性が認められる。この両組織の相異から、準安定オーステナイトをS曲線のベイ温度500°Cで加工した後、ベイナイト域の320°Cに保持した場合はγの安定化が考えられる。前述の結果において一定の衝撃値に対して500°C加工材が高い硬度を示したにもかかわらず引張強さは320°C加工材の方が優れていたのは、このbとcあるいはeとfなどにみられる加工温度による組織の相異が原因と思われる。保持時間の影響は下段の3 hr保持の組織は対応する上段の40 min保持のそれ

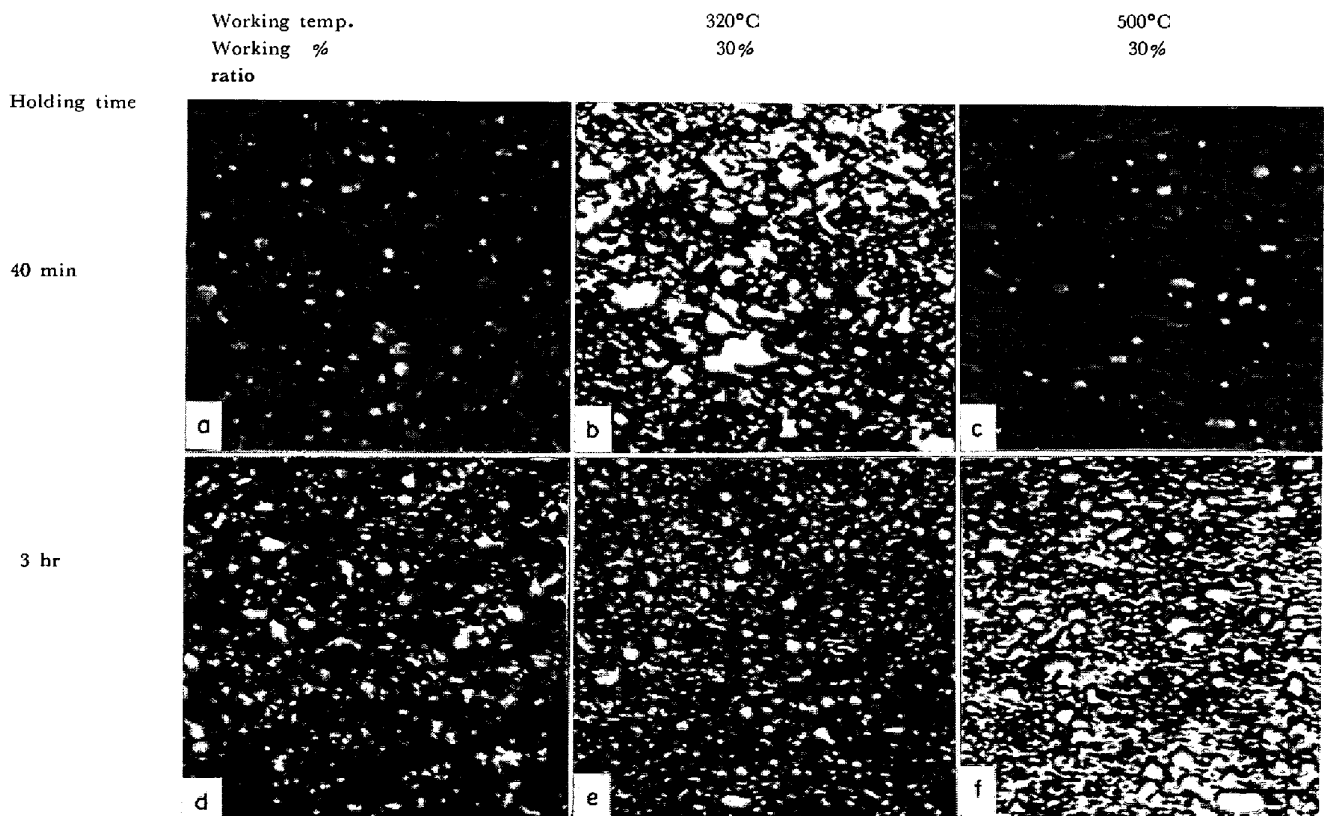


Photo. 2. Effect of working temperature and holding time on microstructure of specimens isothermally treated at 320°C. (× 1500)

と比べて黒いベイナイトが、多くさらにたとえば 500°C 加工, 40 min 保持の c にみられる黒いベイナイトが 3 hr 保持後には f のごとく粒状化してくる。

オースフォームドベイナイトの機械的性質と加工度の関係はオースフォームドパーライトの場合とは異なり一定加工度以上の加工を施すことによつて初めて加工の効果が明りように現われた。硬度および引張強さと衝撃値との関係において加工度 30% 以上では三者とも増加する特徴がみられ、とくに衝撃値の向上が著しかった。また加工温度の影響としては硬度は 500°C 加工, 引張強さは 320°C 加工の方が高い値が得られた。320°C 加工材の組織には少量のマルテンサイトと多量のベイナイトが細かく比較的均一に混合しており方向性も少なかったが 500°C 加工試料の組織には多量のマルテンサイトに少量のベイナイトが層状に混在し方向性が認められた。500°C 加工材の硬度が高い値を示したのは、この多量のマルテンサイトの存在がおもな原因と考えられる。組織観察では γ_R の存在を確認することは困難であるが、試料を 500°C および 320°C でオースフォームした後、320°C に保持した場合、500°C 加工の方が γ の安定化が生じやすい⁹⁾ にもかかわらず高い硬度が得られたのは、500°C は炭化物形成元素による二次硬化の現われる温度に相当しており、この温度でオースフォームすることによつて微細な炭化物の析出⁹⁾、および加工硬化した残存 γ_R など硬化因子の重畳効果もその原因と考えられる。KALISH ら³⁾ は H-11 鋼のオースフォームドベイナイト (加工度50%) の焼戻後の機械的性質を調べて優れた結果を得ているが、衝撃値だけはあまりよい結果は得られていない。著者らは強度および靱性ともに優れたオースフォームドベイナイトを得たが、この相異には次のことが考えられる。本実験に供した材料は H-11 鋼と比べて約 3 倍の炭素を含有しておりオースフォームドベイナイト処理後の γ_R も比較的多いであろうと思われる。また KALISH らの結果は焼戻後のデータである。したがって靱性の向上に大きく寄与したのは残存する γ_R であり、強化にはマルテンサイト、ベイナイトが細かく混合し比較的均一に分布しているためと考えられる。

3.2 変態途中の加工

3.2.1 オースフォームドパーライト

Fig. 7 は Fig. 2 に示した変態途中加工の (C) 処理を行なつたオースフォームドパーライト鋼について機械的性質と加工度および保持時間の関係を示す。加工度の増加にともない加工度 30% までは硬度および引張強さ

は僅かずつ増加し、伸びは減少しているが、この加工度以上では三者ともほぼ一定か、僅か減少する傾向がみられる。しかし衝撃値だけは加工度の増加にしたがいだいに増加してくる。保持時間が長くなると硬度、引張強さは減少し、逆に伸び、衝撃値は増加してくるが、その増減量は比較的小さい。

Fig. 8 はこの結果から得た硬度および引張強さと衝撃値の関係を示す、(A)、(B)とも 30 min および 1.5 hr 保持の各曲線は同様の傾向で、同一衝撃値で比べると硬度、引張強さはいずれも 1.5 hr 保持より 30 min 保持の方が高い値が得られている。また処理によつて得られる

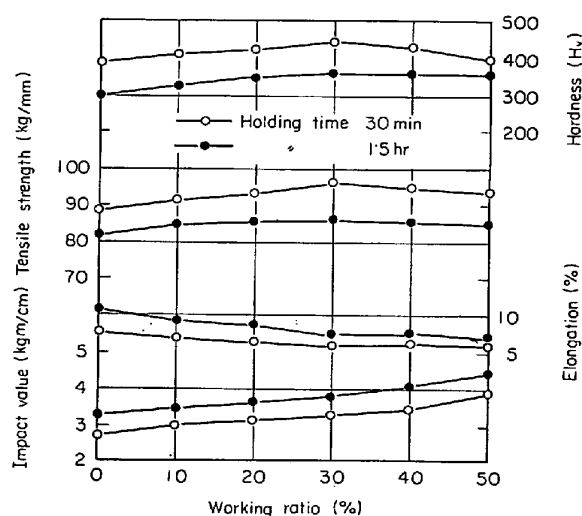


Fig. 7. Effect of working ratio and holding time on the mechanical properties of ausformed pearlitic steel worked during the isothermal transformation.

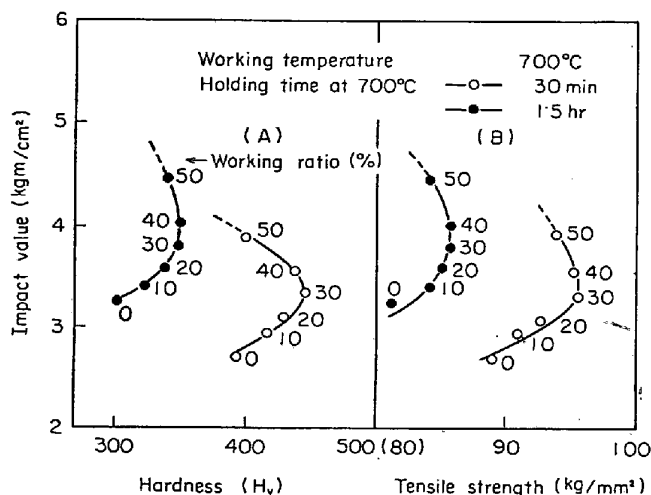


Fig. 8. Relations between hardness and impact value: (A), and relations between tensile strength and impact value; (B) of ausformed pearlitic steel worked during the isothermal transformation.

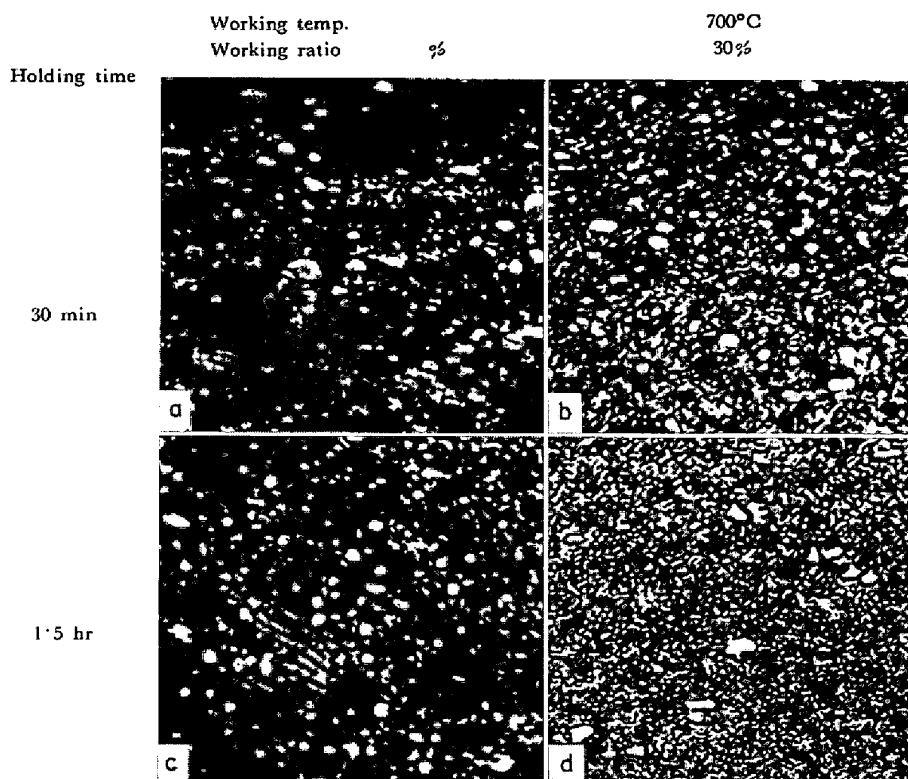


Photo. 3. Effect of working temperature and holding time on microstructure of specimens worked during the isothermal treatment. (× 1500) (4/5)

硬度および引張強さの最高値には限界がある。この結果から同一硬度あるいは同一引張強さに対する衝撃値を比較することはできないが、本実験の範囲で強靱性を得るには試料に 30% 以上の加工を施した後、700°C に 30 min 保持するのがよい。

Photo. 3 は変態途中加工のオースフォームドパーライト鋼の代表的組織を示す。加工度の影響は 30 min および 1.5hr 保持ともに加工材 b, d の組織は非加工材の a, c と比べて白いマルテンサイトは少なく変態は促進され、しかも微細化された炭化物が比較的均一に分布している。また加工、および非加工材とも 30 min 保持の方が 1.5hr 保持よりマルテンサイトは多くさらに 30 min 保持の加工材 b は 1.5hr 保持の d と比べてなお数%のこまかいマルテンサイトと微細な炭化物が混合し均一に分布している。前述の結果において 30 min 保持の強加工材が 1.5hr 保持に比べて同一衝撃値に対して高い硬度と引張強さを示したのは、この b と d にみられる組織の相異が原因と思われる。

加工度が増すと変態前加工のオースフォームドパーライトの硬度、引張強さは減少し、伸び、衝撃値は増加したが、これと比べて変態途中加工のオースフォームドパーライトは非加工材の機械的性質とさほど大きい変化はみられなかつた。したがって硬度、引張強さは後者、伸び、衝撃値は前者が優れていることになる。変態途中加

工のオースフォームドパーライトの場合、加工度 30% まで加工度が増すと強度および靱性はともに向上したが、この加工度以上の加工を施せば強度の低下と靱性の向上がみられた。これはこの加工度以上では加工の効果はむしろ変態生成物の凝集、成長の促進に寄与するためと考えられる。0.4% C 炭素鋼⁴⁾ および E_n 18 鋼⁵⁾ を供試材とした 600°C 恒温変態途中加工のオースフォームドパーライトの強度および靱性は普通の焼入、焼戻材より優れており、とくに靱性の向上が著しいとされているが、本実験の結果ではさほど大きい向上はみられなかつた。この相異にはいくつかの因子が考えられるが、合金元素の相異が主たる因子と思われる。すなわち前述の炭素鋼および E_n 18 鋼はともに本実験に使用した材料と比べて合金元素量が著しく少ないため変態の開始および終了が比較的早く、さらに加工によつて変態は促進されるから、たとえ変態途中加工を施したとしても実際には変態終了組織、つまり変態生成物を加工したことが考えられる。これに対して本実験では Photo. 3 に示した加工材の組織からみて、たしかに変態生成物と γ の 2 つを加工している。この加工組織の相異によるものと考えられる。

3.2.2 オースフォームドベイナイト

Fig. 9 は Fig. 2 の (D) 処理を行なつたオースフォームドベイナイト鋼の機械的性質と加工度および保持時

間の関係をしらべた結果を示す。加工度の増加にしたがい硬度、引張強さおよび衝撃値の3つは増加しており、とくに引張強さは加工度 20% 以上において明りような増加がみられるが、伸びだけは減少している。保持時間が長くなると硬度、引張強さは減少しており、とくに加工度 20% 以上に対応する引張強さの減少は顕著である。伸び、衝撃値は僅か増加する傾向がみられる。前述の変態前加工のオースフォームドベイナイトの機械的性質と比べて変態途中加工のオースフォームドベイナイト

は、硬度はほぼ同じで引張強さは著しく優れているが、伸びおよび衝撃値は僅か低下してくる。

Fig. 10は硬度および引張強さと衝撃値の関係をプロットした結果である。(A)、(B)の各曲線は同様の傾向で実験の範囲内では硬度、引張強さが高いほど衝撃値も高いというよい結果を示している。一定衝撃値で比べると 40 min 保持の硬度、引張強さが優れているが、オースフォームドパーライトの場合と同様各処理によつて得られる最高硬度および引張強さには限界があるため、たとえば $H_V 600$ で比べると 3 hr 保持の衝撃値がよいが $H_V 650$ では 40 min 保持処理しか得られない。同様に引張強さ 140 kg/mm^2 で比べると 3 hr 保持で高い靱性が得られているが、 160 kg/mm^2 では 40 min 保持をとるしかない。したがって所要の硬度、引張強さおよび衝撃値に対して適切な加工度と保持時間を選ぶ必要がある。

Photo. 4 に代表的な組織を示す。保持時間の影響は非加工および加工材の組織はいずれも 3 hr 保持の方が黒いベイナイトが多く変態を促進している。加工度の影響は 40 min および 3 hr 保持とも非加工材に比べて加工材の方がマルテンサイトと思われる白い組織が多く、これに少量のベイナイトが層状に存在し方向性が認められる。この両組織の相異からベイナイト域の 320°C 恒温変態途中で加工を施した場合も前述の 500°C における変態前加工の場合と同様、本実験における組織の観察では明らかではないが、 γ の安定化現象がおこりマルテンサイトと共存しているのではないかとと思われる。この残存 γ についてはオースフォームドベイナイトの焼戻過程と機械的性質(次報)で詳報する予定である。Fig. 10の

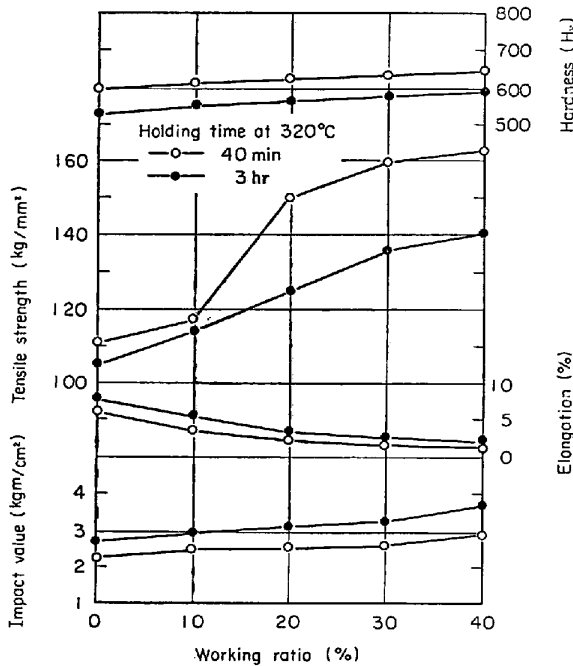


Fig. 9. Effect of working ratio and holding time on the mechanical properties of ausformed bainitic steel worked during the isothermal transformation.

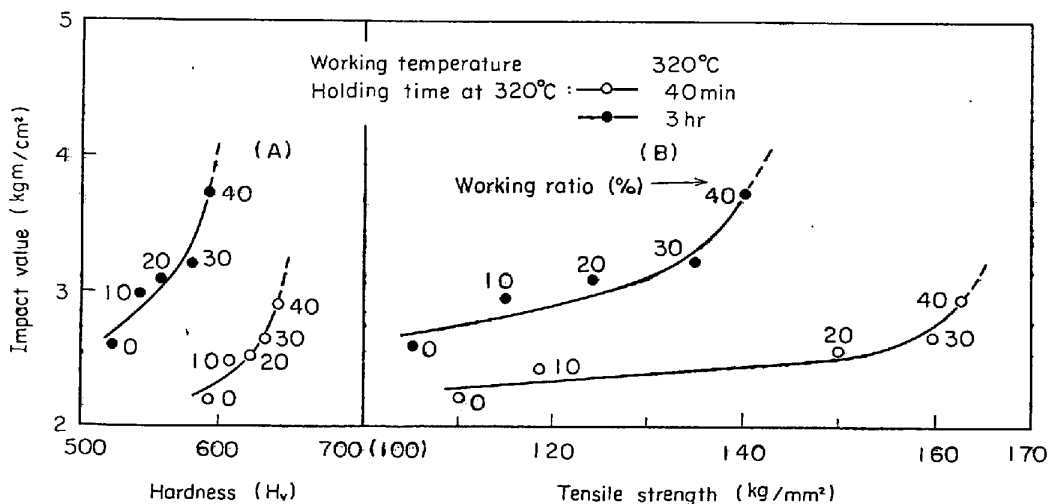


Fig. 10. Relations between hardness and impact value: (A), and relation between tensile strength and impact value: (B) of ausformed bainitic steel worked during the isothermal transformation.

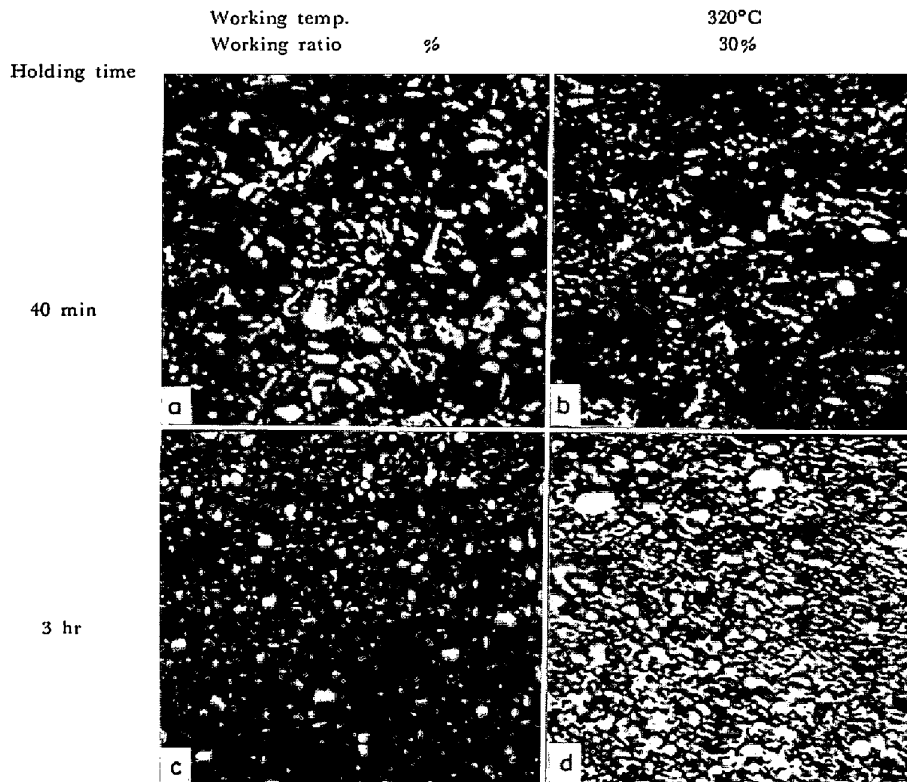


Photo. 4. Effect of working temperature and holding time on microstructure of specimens worked during the isothermal treatment. (×1500) (4/5)

結果から 40 min 保持の加工材が 3 hr 保持に比べて同一衝撃値に対して高い硬度および引張強さが得られたのはこの b と d にみられる白い相の差が原因と思われる。

変態途中加工のオースフォームドベイナイト鋼の強度および靱性は変態前加工の場合と同様、加工度が大きいほど高い値が得られた。すなわち加工度の増加で 20% 以下の低加工域では強度の著しい増大、靱性の緩慢な向上がみられこの加工度では逆に強度は緩慢に増加し、一方靱性は強度の増加と比べて大きく向上したが、変態前加工のオースフォームドベイナイト鋼と比べて強度は高く、靱性はむしろ低下する傾向がみられた。

変態途中加工のオースフォームドベイナイト鋼については共析組成の炭素鋼を供試材とした JEPSON ら⁶⁾ の報告があり、それによれば本実験の結果と同様、強度および靱性はともに改善されるとしている。著者ら¹⁰⁾ は同種の炭素鋼についてオースフォームドベイナイト鋼の機械的性質を調べて、非加工材と比べてみた。ある一定加工度までは加工度の増加に伴い強度は大きく増加したが、靱性は非加工材とほぼ同じで、この加工度以上では強度および靱性はかえって低下する現象がみられた。

本実験の結果では強度および靱性が向上した。それは変態生成物の加工が強化に、そして靱化には残存 γ が寄与したためであり、炭素鋼は変態が著しく速いため変態途中加工であつても加工されたのは変態生成物と考えら

れるから靱性はむしろ低下するのが当然と思われる。

4. 結 言

オースフォームドパーライトおよびベイナイト組織の鋼の性質を明らかにすることを目的として自硬性の強い高炭素、高クロム鋼について変態前および変態途中加工のオースフォームドパーライトおよびベイナイト鋼の機械的性質に及ぼすオースフォーム加工度、加工温度、変態温度における保持時間の影響などを調べた。結果を要約すると次のようになる。

(1) 変態前加工のオースフォームドパーライト鋼は加工度が増すと強度は低下し、靱性は著しく増大する。加工温度および保持時間の影響は加工温度は高く、保持時間は短い方が同一強度に対して高い靱性が得られる。

(2) 変態前加工のオースフォームドベイナイト鋼は一定加工度まで加工度の増加にしたがつて強度および靱性は増加するが、この加工度以上の加工では、強度は僅か減少し靱性だけは増加する。加工温度および保持時間の影響は処理によつて得られる強度の最高値に限界があるため、強靱性を得るには適切な処理を選ばねばならないが、本実験の範囲では加工度 30% 以上、320°C 加工、40 min 保持の処理が同一衝撃値に対してもつとも優れた強度が得られた。

(3) 変態途中加工のオースフォームドパーライト鋼は

加工度が増すと靱性および強度は増加するが、強度だけは一定加工度以上の加工では若干減少する。

(4)変態途中加工のオースフォームドベイナイト鋼は変態前加工のオースフォームドベイナイト鋼と比べて強度は優れているが靱性は劣っている。

文 献

- 1) B. M. ARMSTRONG: JISI, 202(1964), p. 655
- 2) W. W. GERBERICH, C. F. MARTIN, and L. RAYMOND: Trans. ASM, 57(1964), p. 324
- 3) D. KALISH, S. A. KULIN, and M. CHOEN: J. Metals, 17(1965), p. 157
- 4) W. E. DUCHWORTH: J. Metals, 18(1966), p. 915
- 5) J. J. IRANI: JISI, 206(1968), p. 363
- 6) M. D. JEPSON and F. C. THOMPSON: JISI, 162(1949), p. 49
- 7) 斎藤, 村上: 日本金属学会誌, 32(1968), p. 876
- 8) 斎藤, 村上: 日本金属学会第70回講演大会概要
- 9) A. J. McEVILY, Jr, R. H. BUSH, F. W. SCHALLER, and D. J. SCHMATZ: Trans. ASM, 57(1963), p. 753
- 10) 斎藤, 村上: 未発表