

可鍛鑄鉄の衝撃遷移曲線に及ぼす熱処理の影響

The Effect of the Thermal Treatment of Malleable Cast Iron on Its Impact Shift Curves

奥 本 武 臣*
Takeomi Okumoto

内 容 梗 概

フェライト基地を有する黒心可鍛鑄鉄は当然、低温脆性を示すことが考えられるが、これに関する検討はまだあまり進められていない。しかしながら、本鑄鉄はある種の条件下において450°C付近の熱処理を加えることにより脆化する現象、いわゆるメッキ脆性(Galvanizing Embrittlement)を誘起することが知られている。そこでこれを低温脆性の観点より考察することは意義のあることと考えられた。実験の結果は本鑄鉄が本質的にメッキ脆性に対する感応性 susceptibility を有することを認めた。

1. 緒 言

今次大戦中、アメリカで建造を試みられた熔接方式による船舶に多くの重大な損傷事故を発生したことを端緒として、鋼材の低温脆性に関する研究が盛んとなってきた。しかしながら、一方鑄鉄材については靱性の点でさほど評価されなかったことにもよるが、今日まであまり関心が示されていない。わずかに球状黒鉛鑄鉄がその工業的応用範囲の拡大に伴い、近年イギリスで検討され始めている。また可鍛鑄鉄については P. Bastien ら⁽¹⁾、G. A. Sandoz ら⁽²⁾の報告がみられるにすぎず、それも単なる実験的試みというに留まり、まだ知られるところが少ない。

元来、可鍛鑄鉄はある条件下においていわゆるメッキ脆性(Galvanizing Embrittlement)を誘起することが知られている。そしてこれは一般に常温における衝撃性質によって判定されてきたものである。しかしながら、これに上記概念を導入して考えるとすれば、衝撃遷移曲線を求めた結果から判定されることが望ましい。かような観点にたつ報告はみられていない現状にかんがみ、筆者は一連の実験を試みることにした。

そこで本題に関する基礎的検討の1つとして、在来の判定基準に従えばメッキ脆性を誘起しないいわゆる健全成分のものを対象としてその衝撃遷移曲線を求めてみた。つづいて各温度に熱処理を施した際の影響について検討を加えてみることにした。

2. 実 験 試 料

実験のために供した試料は一般工業用として生産されている熔湯を用いた。その原料鉄は矢来電気鉄を主体とし、これを二重熔解法により熔解し生砂型に鑄造した。それには十分健全な鑄物をうるように考慮を払い、1個当り18×18×85 mm の大きさの試料を採取した。この試料の黒鉛化焼鈍後の化学組成は第1表に示すとおりであ

* 日立製作所中央研究所

第1表 試料化学組成(%)

C	Si	Mn	S	P
2.54	1.21	0.41	0.106	0.064

る。これはいままでメッキ脆性を誘起しない健全成分と考えられていたものであることを付言しておく。

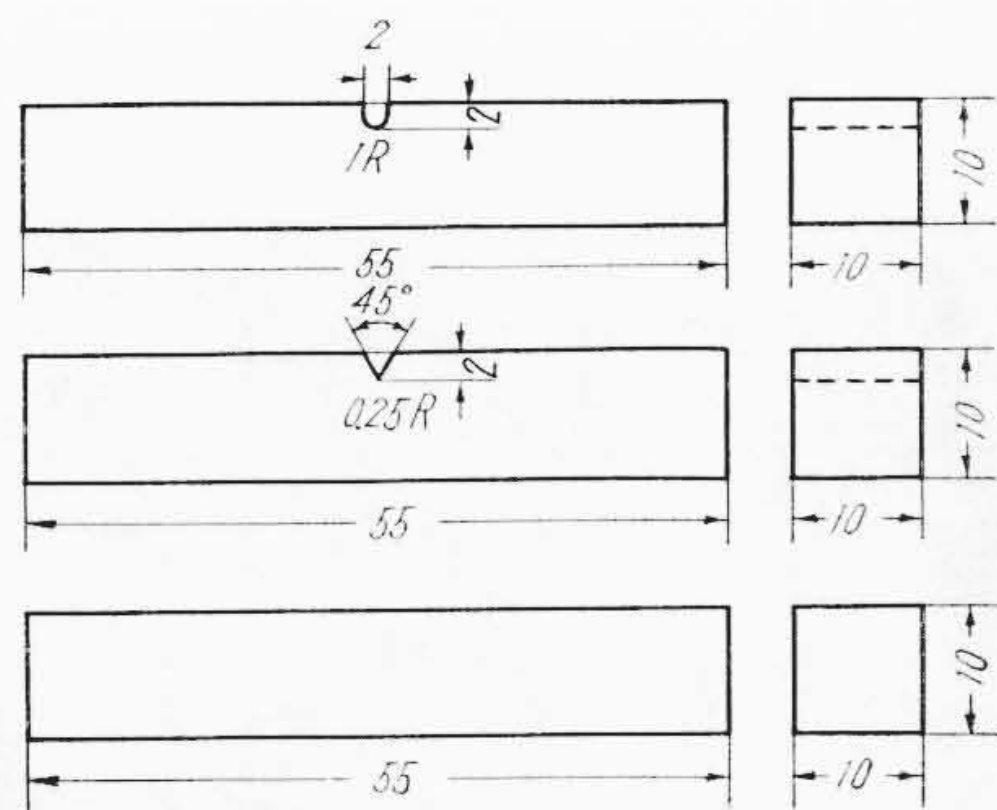
3. 実 験 方 法

上記試料の衝撃遷移曲線を求めるにあたっては、30 kg-m シャルピー衝撃試験機によって測定を行うことにした。そしてそれぞれの試験温度において試験を行うに際し、温度保持の方法として常温以上+100°Cまでは水を用い、それ以下は液体窒素とアルコール、あるいは液体窒素のみを用いた。試験片は各試験温度に15分間保持したのち試験機にかけたが、その間の温度変化についてはあらかじめ補正を行ってある。また1点の測定には3本の試験片を用いその平均値から求めた。

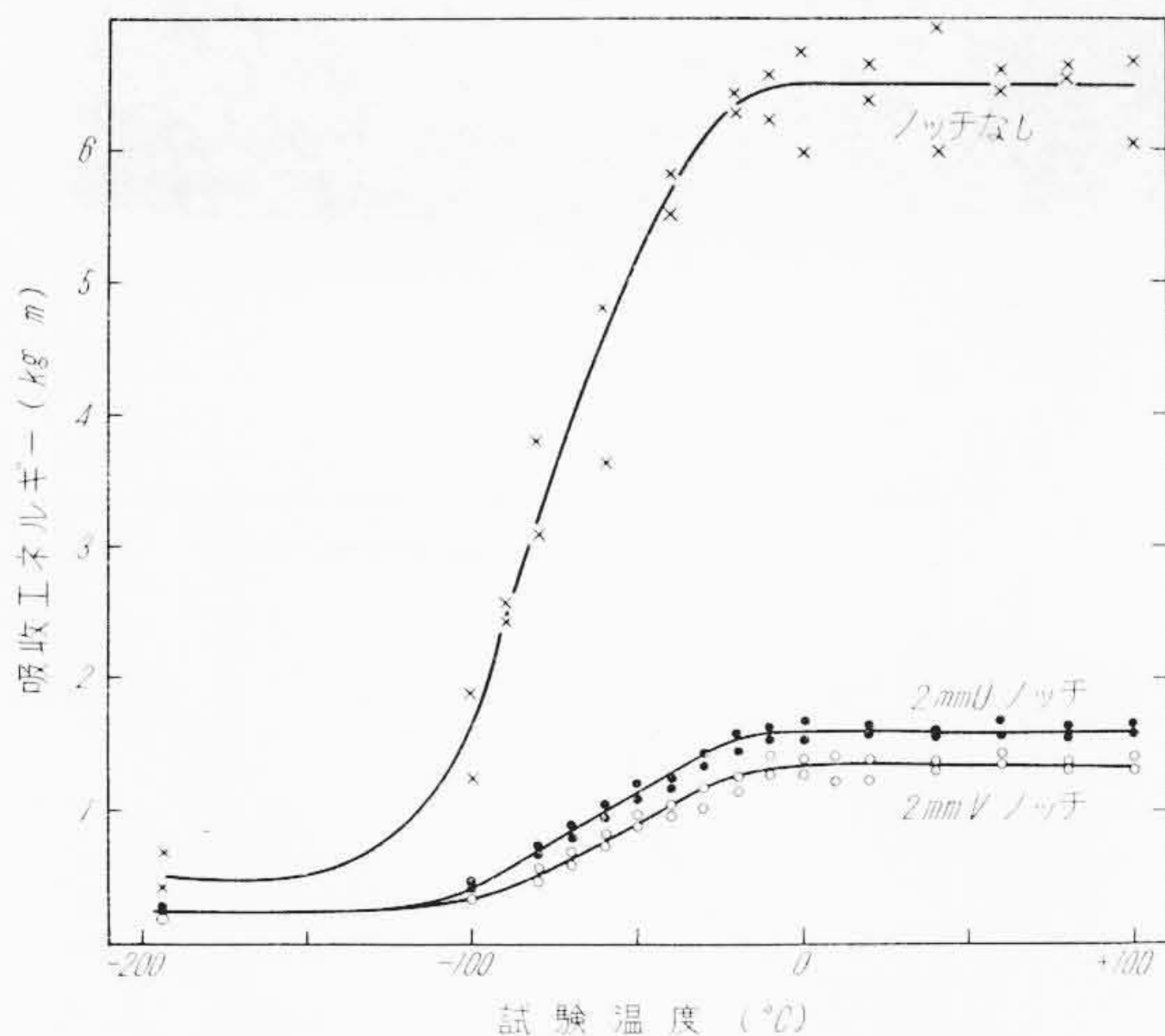
つぎにそれらの衝撃試験片の形状および大きさについては少しく考慮を払う必要があった。それは普通使用されているシャルピー衝撃試験片によると、本鑄鉄の衝撃性質はきわめて低く現われる。したがってそれと同列の試験を行うよりもさらに適切な試験片の選定を行い、本実験のための1方便とすることが好ましい。そこでこれに関する予備的検討を行い、その結果により試験片を決定することにした。

4. 試験片に関する予備実験

本実験の目的から考えてえられる衝撃遷移曲線の比較を便にすることが必要で、そのためできるだけ衝撃吸収エネルギー値を高くすることが望ましいと考えられた。それには衝撃荷重速度を変えるか、試験片の形状寸法を変化させることによってえられるわけで、ここでは後者によって行うことにした。そのためまず試験片に付する切欠の影響を調べ、続いて試験片の大きさにつき検討し、それぞれが衝撃遷移曲線にいかなる影響があるかを求め



第1図 試験片寸法



第2図 試験片切欠の衝撃遷移曲線に及ぼす影響

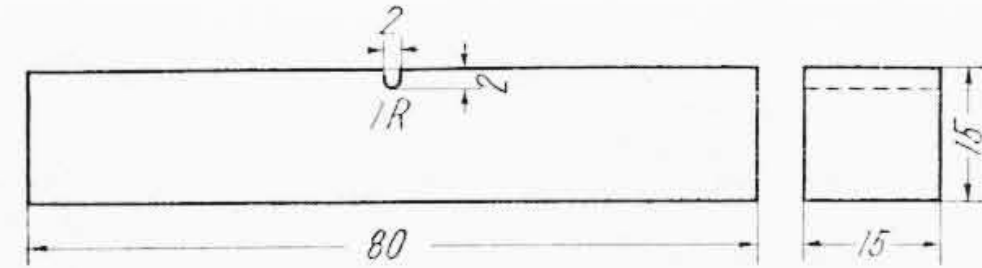
てみた。

4.1 試験片切欠の影響

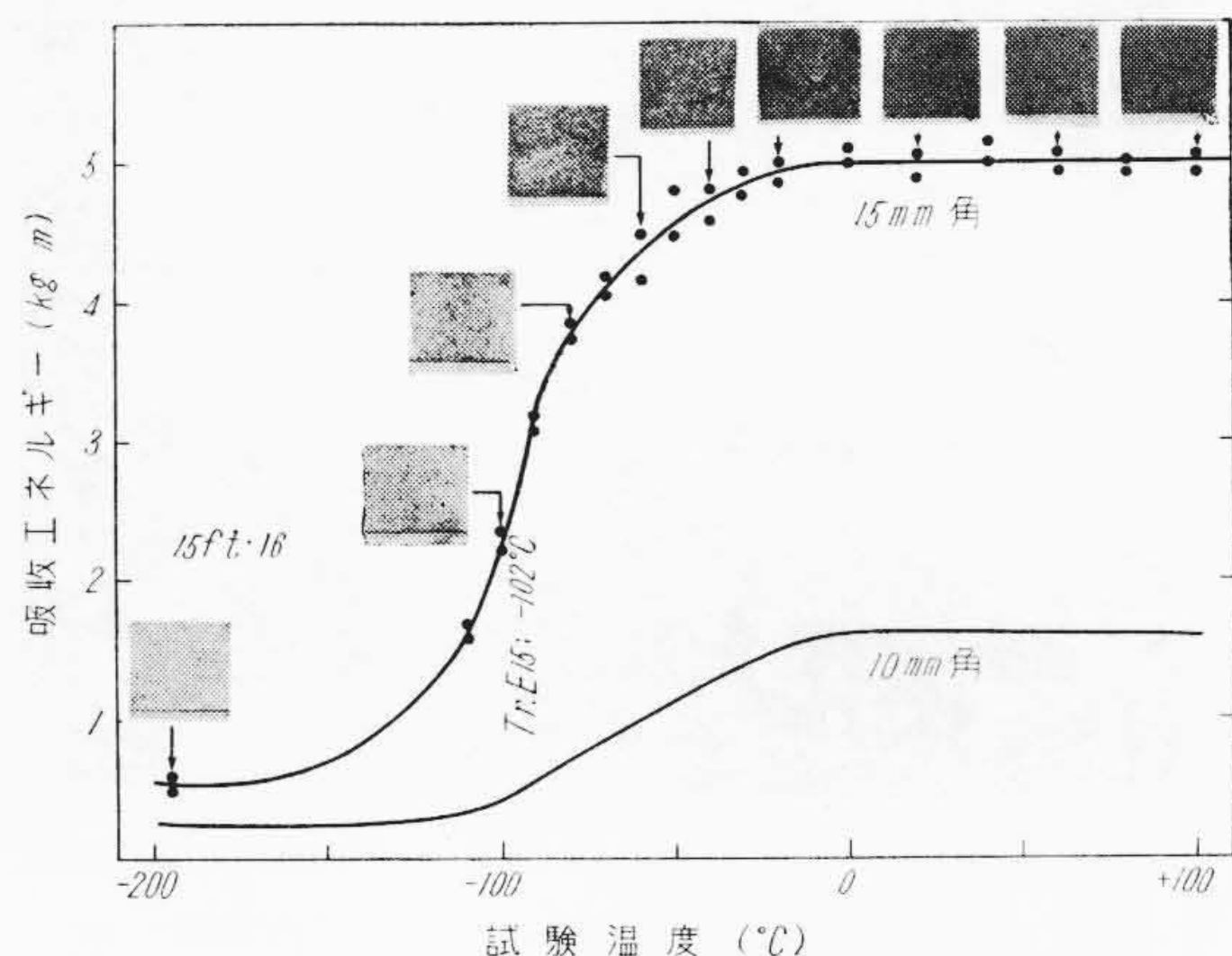
シャルピー衝撃試験を行う場合、一般には標準試験片として $10 \times 10 \times 55$ mm の大きさのものが用いられ、それにはUノッチ、あるいはVノッチを付けてある。そこでこれらの影響について調べるため、2 mm Uノッチ、2 mm Vノッチおよびノッチを付けぬ場合の3種について実験を行った。試験片寸法は第1図に示すとおりである。第2図ははその結果である。それによると切欠効果の大きいVノッチのものが最も低い衝撃性質を示し、ノッチを付けぬものが最高の値を示している。そしてある温度範囲ではいずれも急激な衝撃性質の低下が示されており、しかもそれは三者とも一定範囲内にあることが伺える。これらの結果からノッチを付けぬ場合が一応好ましいと考えられたが、実際には測定値のばらつきを考慮して2 mm Uノッチの試験片で行うことが好ましいと判断した。

4.2 試験片大きさの影響

前項の試験は試験片大きさとして $10 \times 10 \times 55$ mm のも



第3図 15 mm 角試験片 (mm)



第4図 試験片大きさの衝撃遷移曲線に及ぼす影響

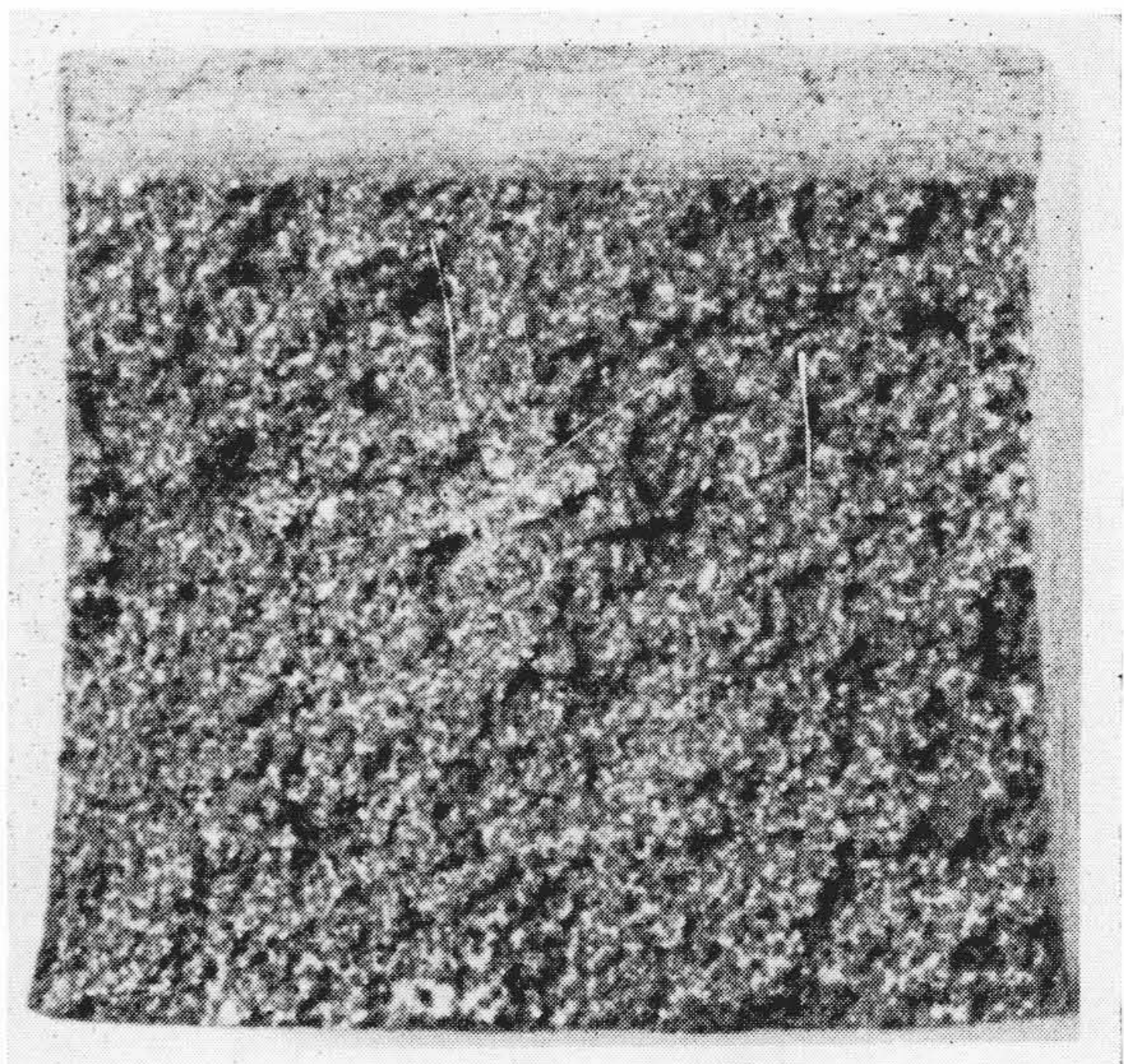
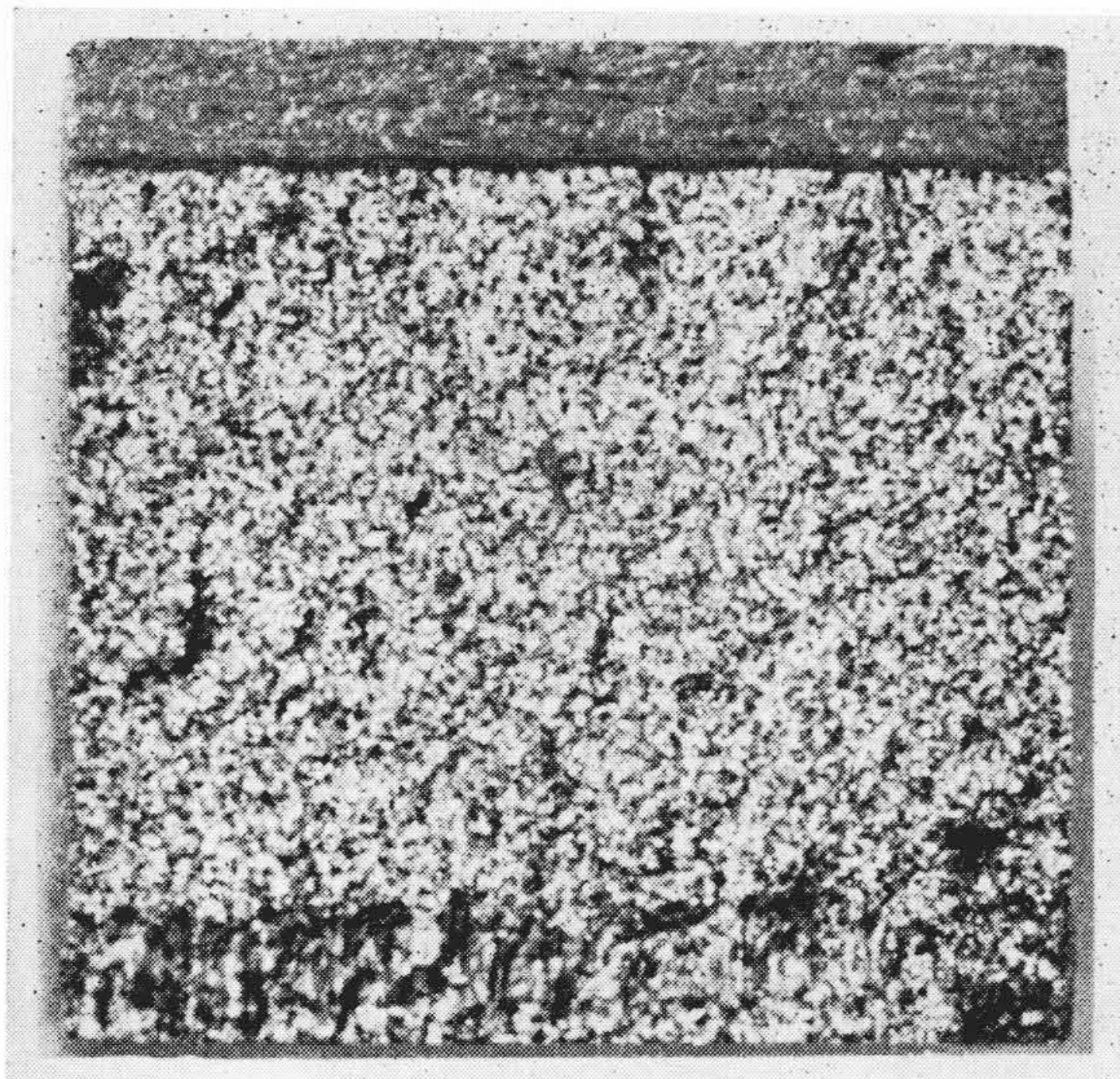
のについて行ったのであるが、それによりえられた最高吸収エネルギーとしては2 mm Uノッチの場合、わずかに 1.6 kg-m の値にしか過ぎない。そこでさらに大きな値をうるため試験片断面積を大きくして測定上の便宜を図った。そのため $15 \times 15 \times 80$ mm の大きさの試験片を切削し、試験機に多少の改善を加えた上、60 mm span で試験した。その際の切欠としては2 mm Uノッチを採用し、第3図に示す形状のものとした。

測定の結果は第4図に示すとおりで、参考のため前項の 10 mm 角断面のものも同時に掲げてある。それによると最高吸収エネルギーは 5 kg-m に達し -10°C 付近より衝撃遷移が始まり急激な低下が示されている。これは 10 mm 角断面の標準試験片のときの傾向と同じでそれよりも衝撃遷移の状態が明らかに認められている。

これらの試験値に伴う試験片破面状態を图中に示してあるが、最高吸収エネルギーを示す温度範囲では靱性のある黒色の破面を呈している。それが衝撃遷移とともに白色にみられる脆性破面を増し最低値に達すると全面白色にみられるようになっている。第5図は靱性、脆性破断の代表的破面を示すもので、さらに第6図は脆性破面の1部を拡大検鏡した結果である。それには幾何学的形状にみられるフェライトのへき開破断の様相が伺える。

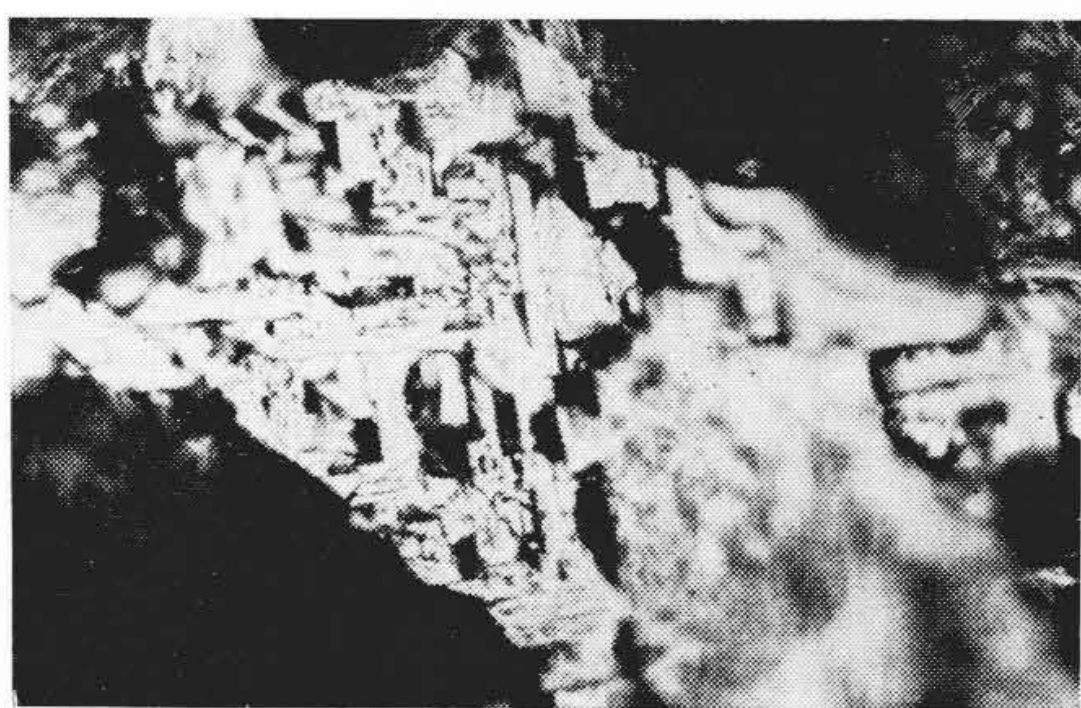
なお第4図に示された衝撃遷移曲線の遷移温度の定め方としては種々の方法が考えられたが、ここでは試みに 15 ft. lb (2.1 kg-m) の吸収エネルギーを示す温度をもって現わすこととし Tr.E_{15} と記した。それによれば本実験試料の Tr.E_{15} は -102°C であった。

以上の結果から、実験に使用する試験片としては $15 \times$

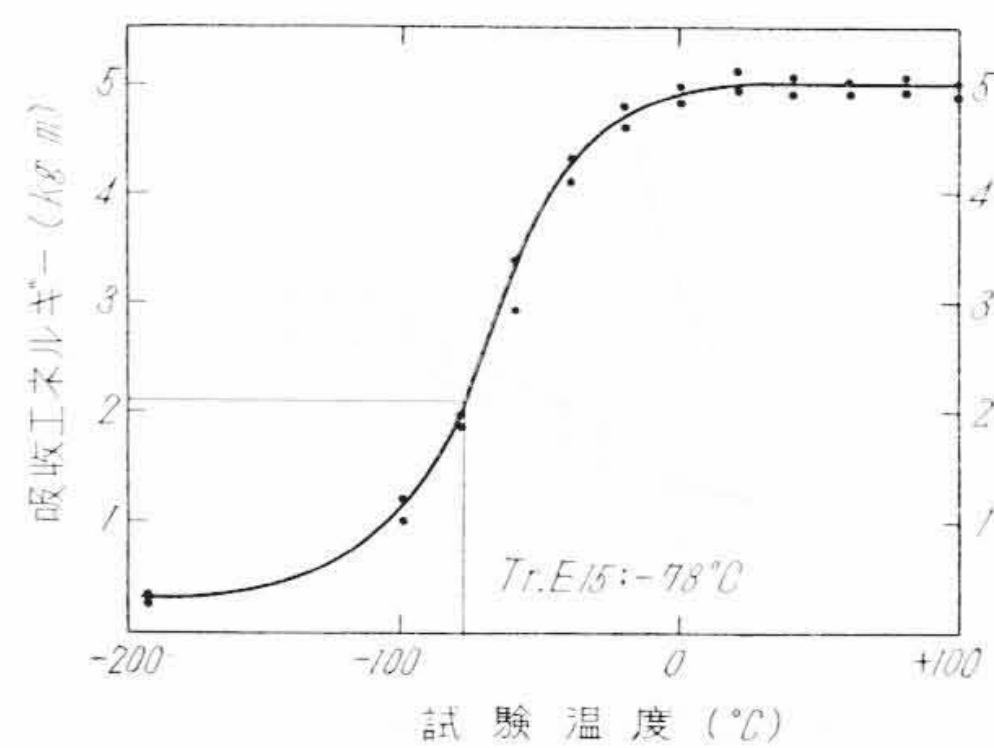


(左：脆性破面，右：靱性破面)×5

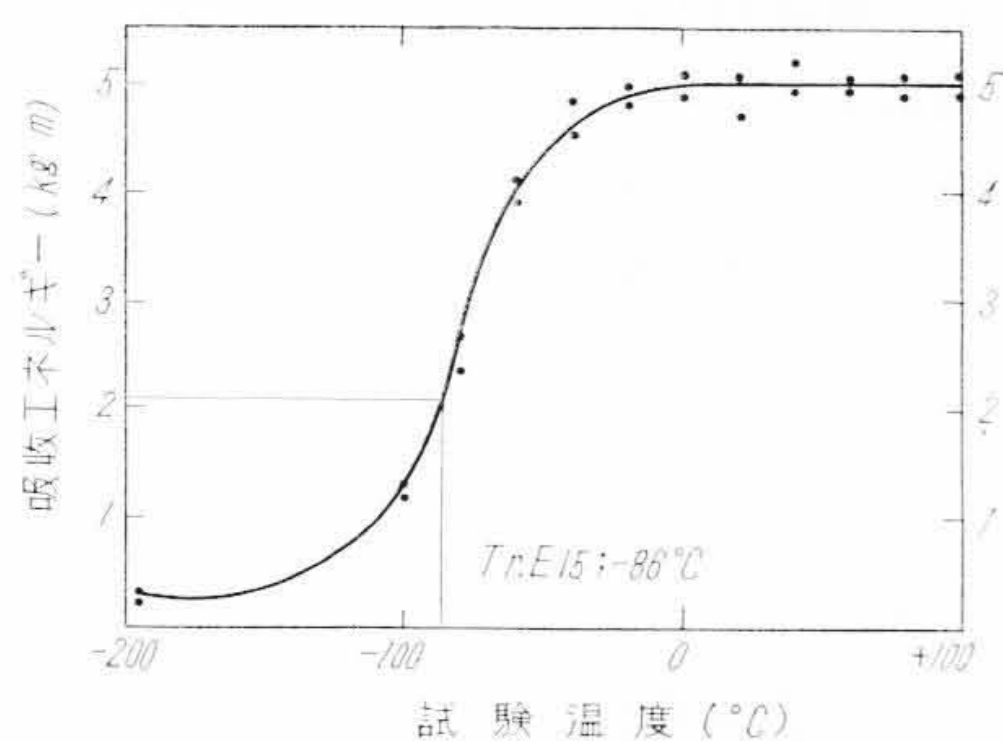
第5図 破面写真



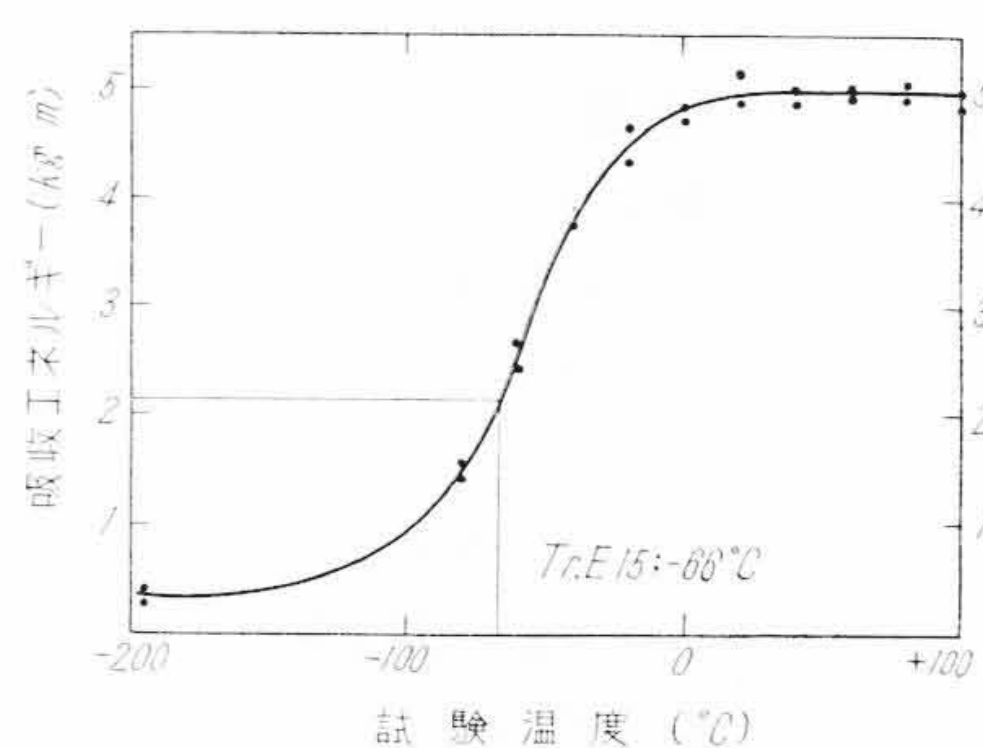
第6図 脆性破面の拡大組織 (×400)



第8図 300°C処理の衝撃遷移曲線



第7図 250°C処理の衝撃遷移曲線



第9図 350°C処理の衝撃遷移曲線

15×80mmの大きさのものに2mm Uノッチを付けたものが好ましいと考えられ、以下これによって実験を進めることにした。

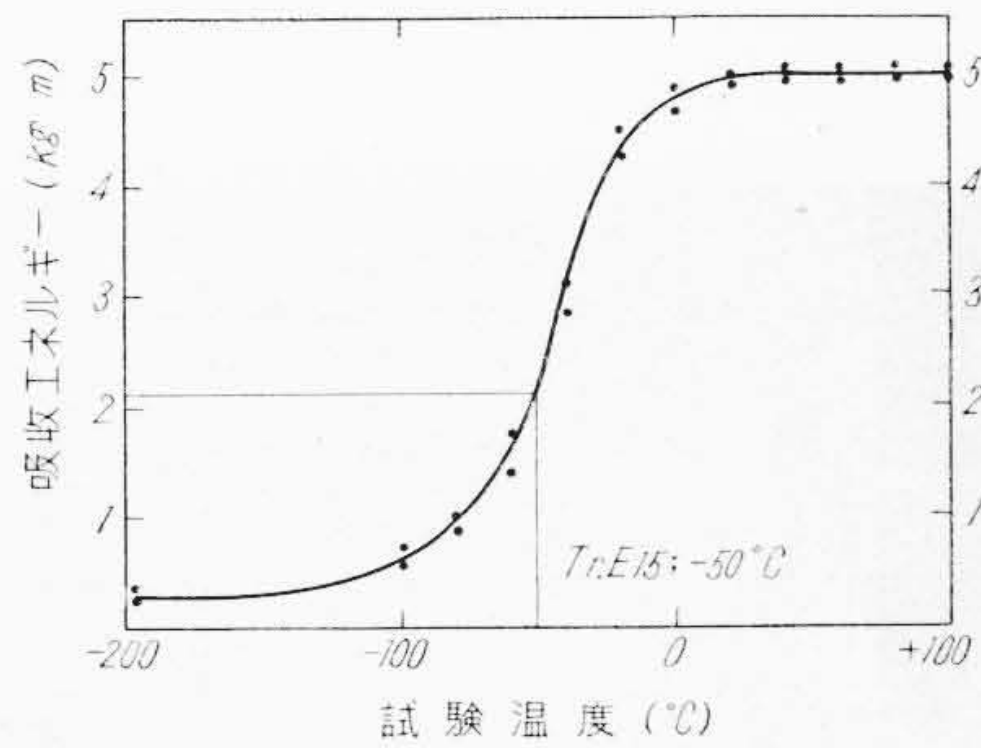
5. 実験結果

5.1 衝撃遷移曲線に及ぼす熱処理の影響

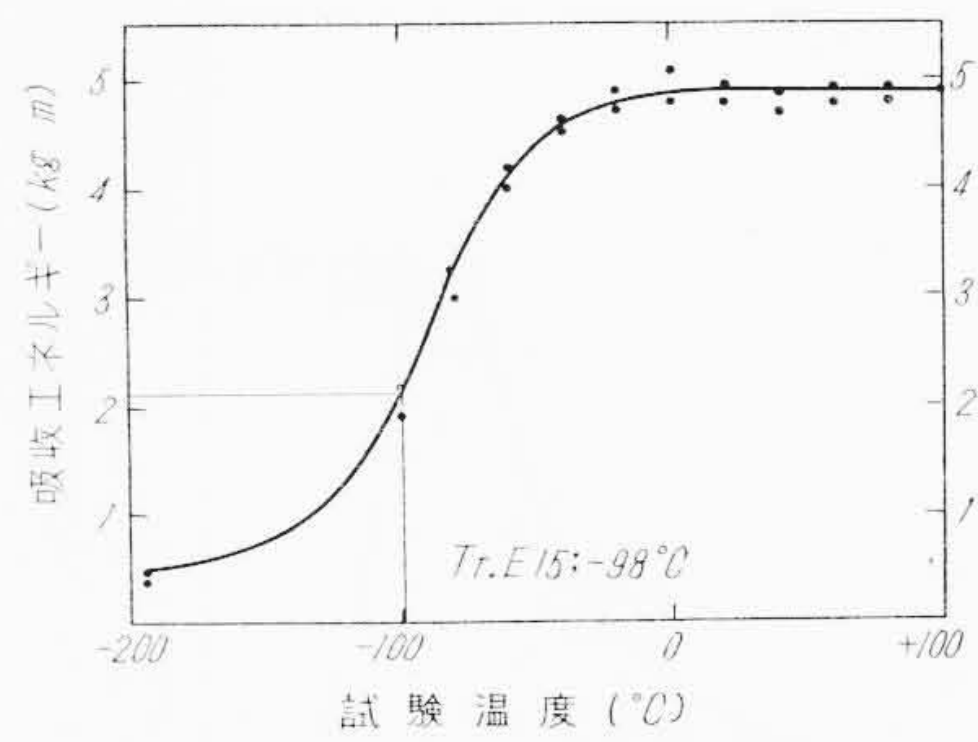
前項に述べた予備的検討に基き、試料を種々の温度に熱処理したときの衝撃遷移曲線に及ぼす影響を調べてみ

ることにした。熱処理の方法としては電気炉中で黒皮のまま250°Cより50°Cおきに700°Cまで、各温度に1時間保持したのち水中に冷却を行った。試料はそれより前記試験片に切削したものである。

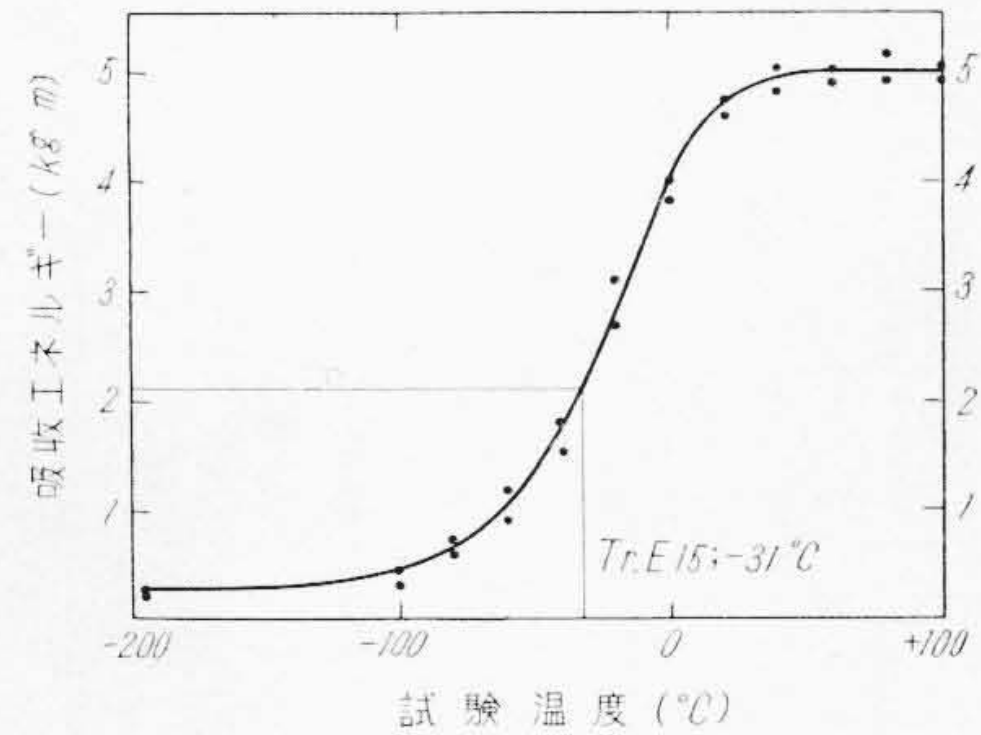
それらの結果は第7図より第16図に示すとおりである。図中にはそれぞれのTr.E15を記してある。それらによると各温度処理によって衝撃遷移に変化が現われているが、それらを同一図面にまとめたものを第17図に示



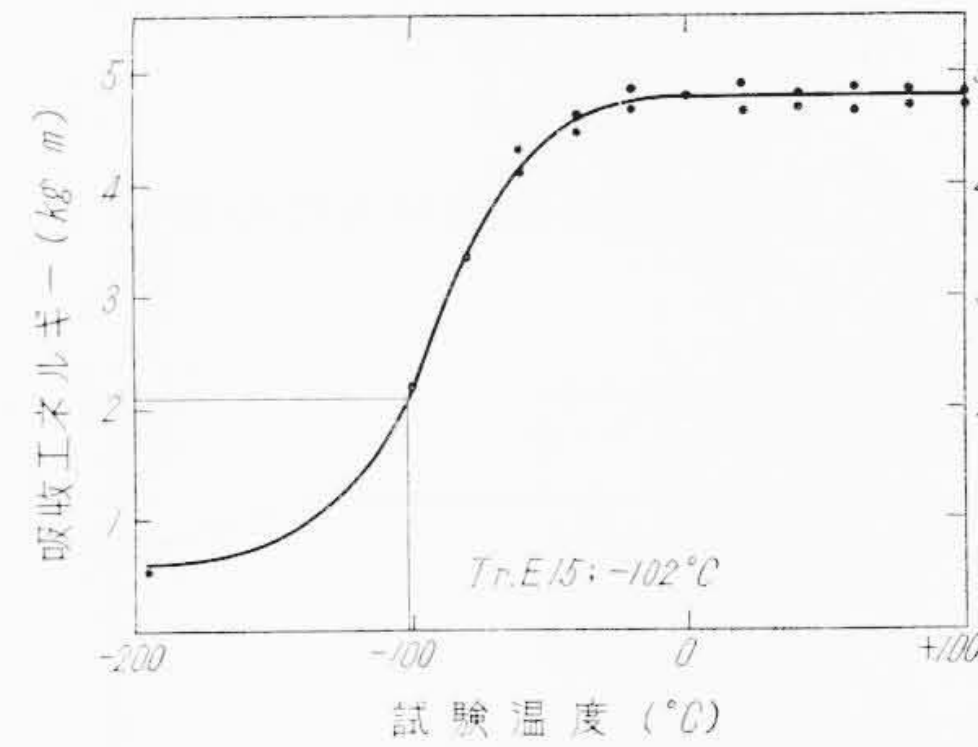
第10図 400°C処理の衝撃遷移曲線



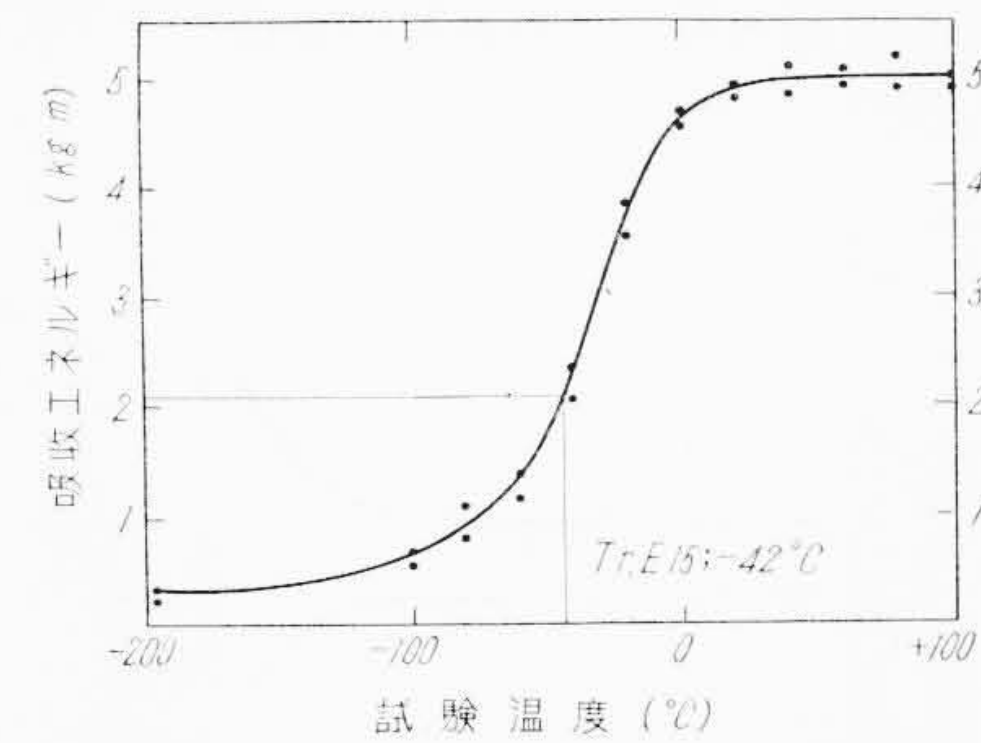
第14図 600°C処理の衝撃遷移曲線



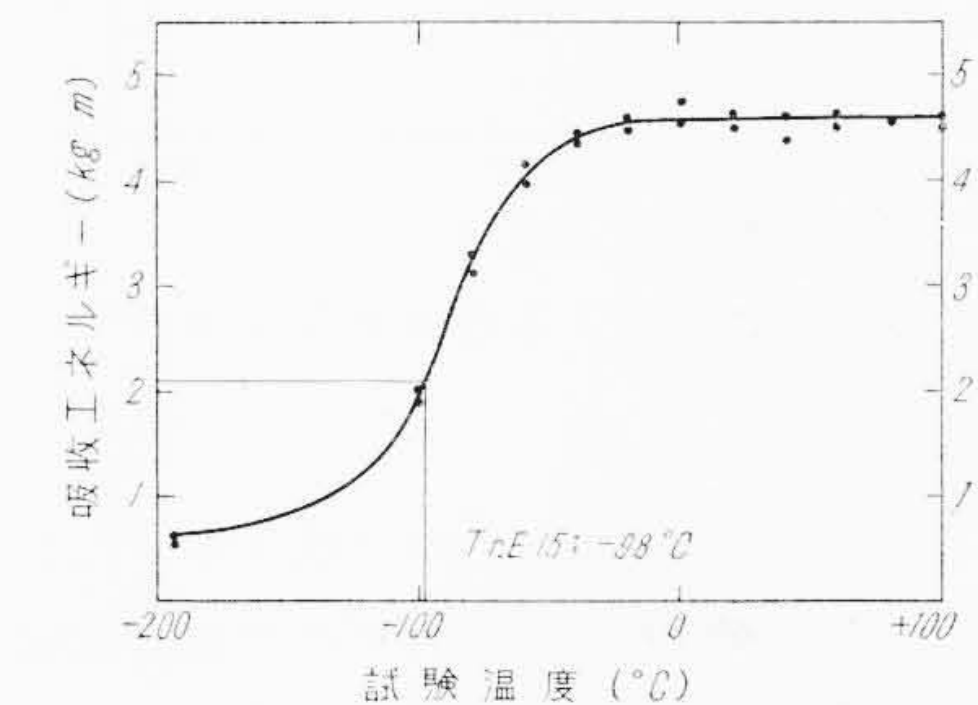
第11図 450°C処理の衝撃遷移曲線



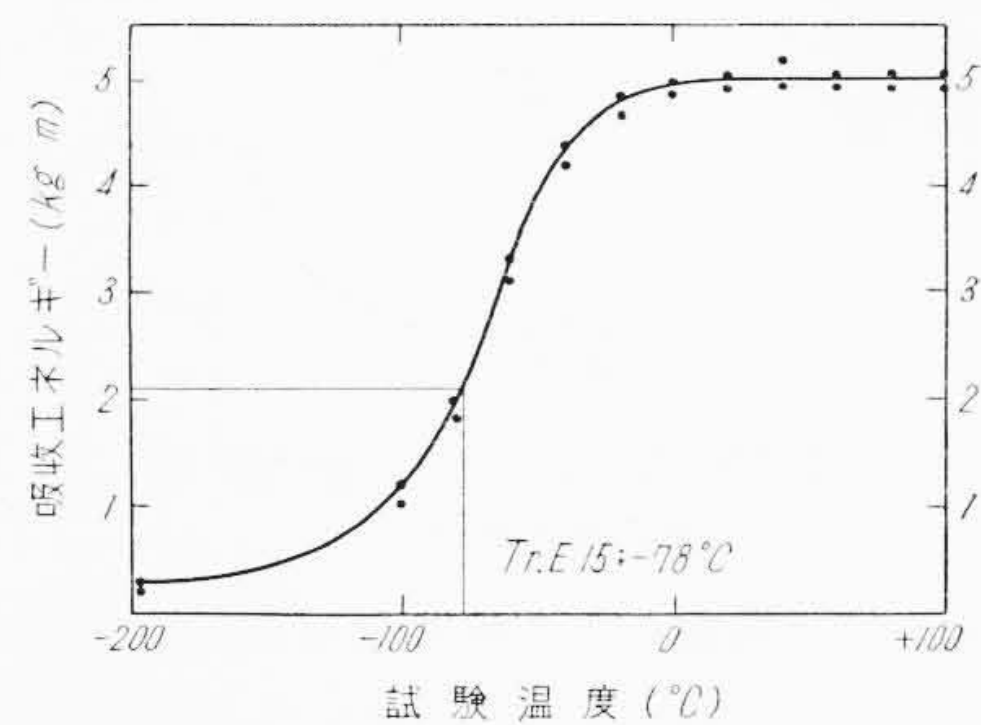
第15図 650°C処理の衝撃遷移曲線



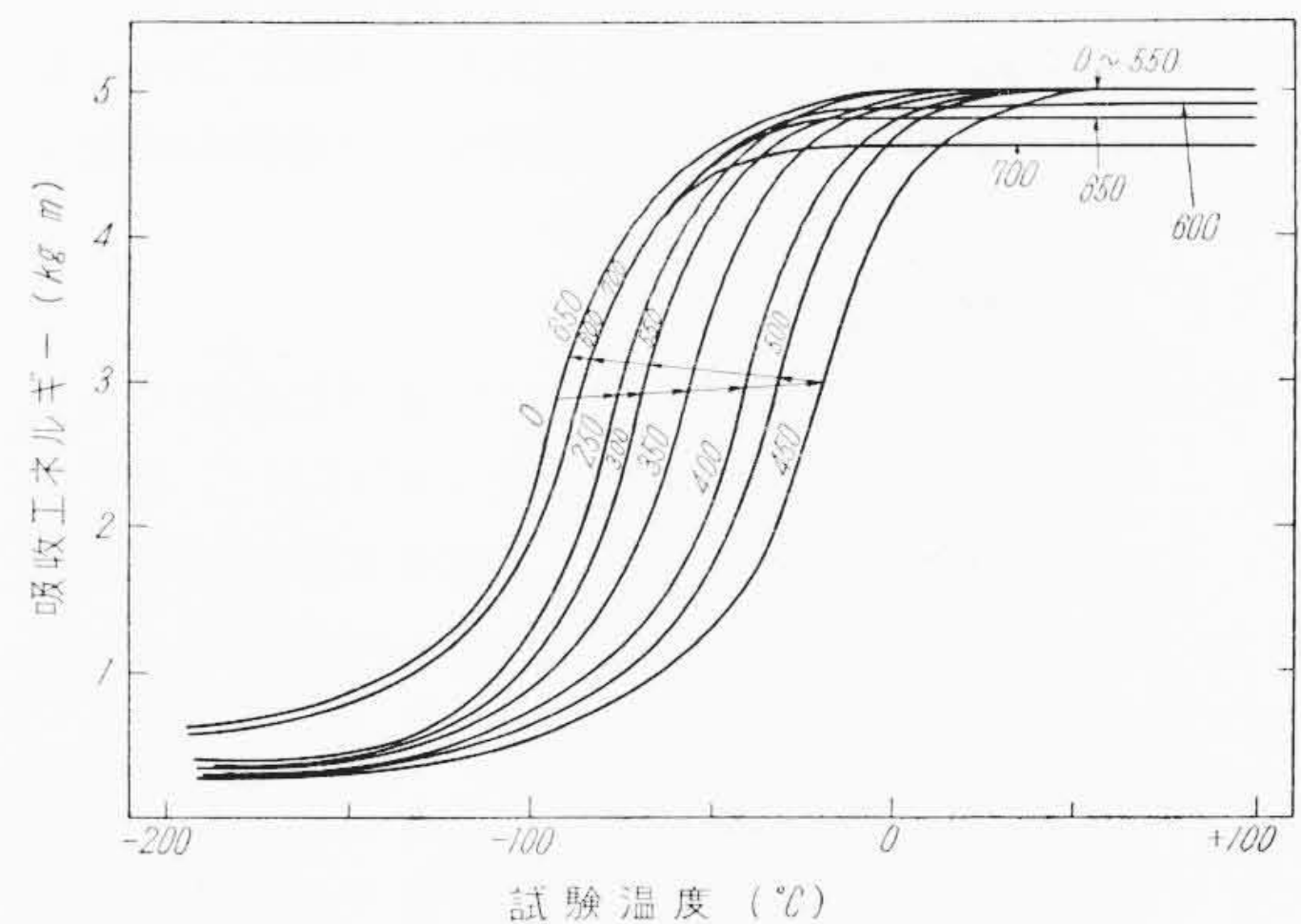
第12図 500°C処理の衝撃遷移曲線



第16図 700°C処理の衝撃遷移曲線



第13図 550°C処理の衝撃遷移曲線

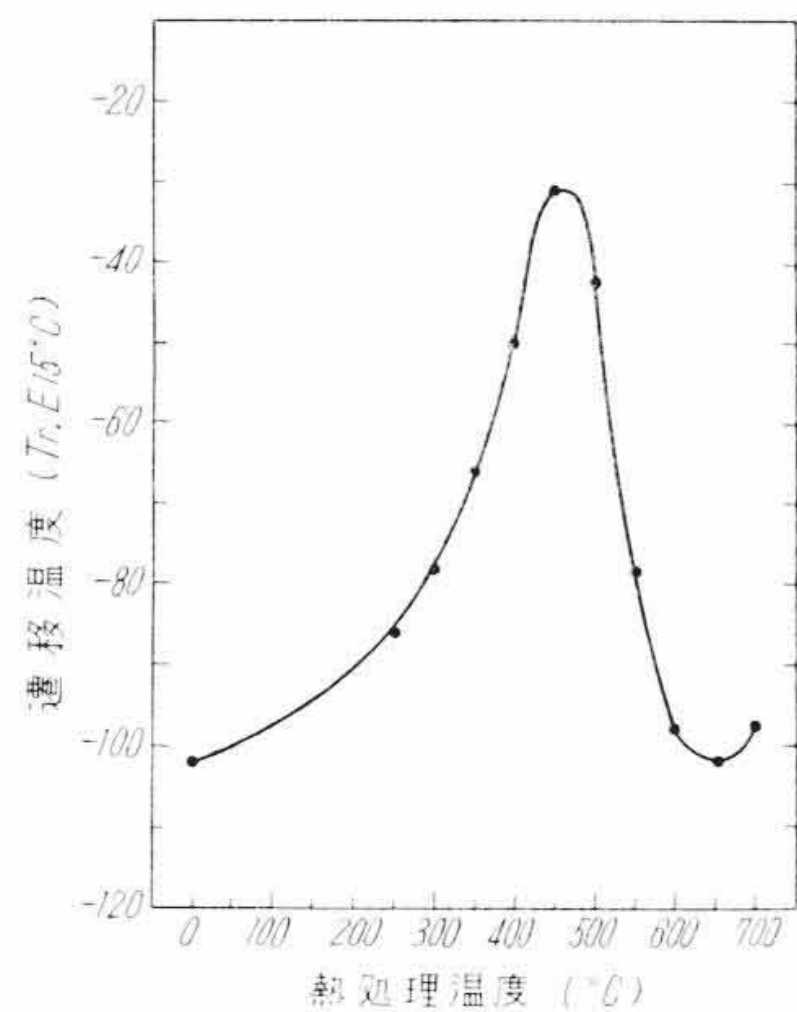


第17図 熱処理による衝撃遷移曲線の変化

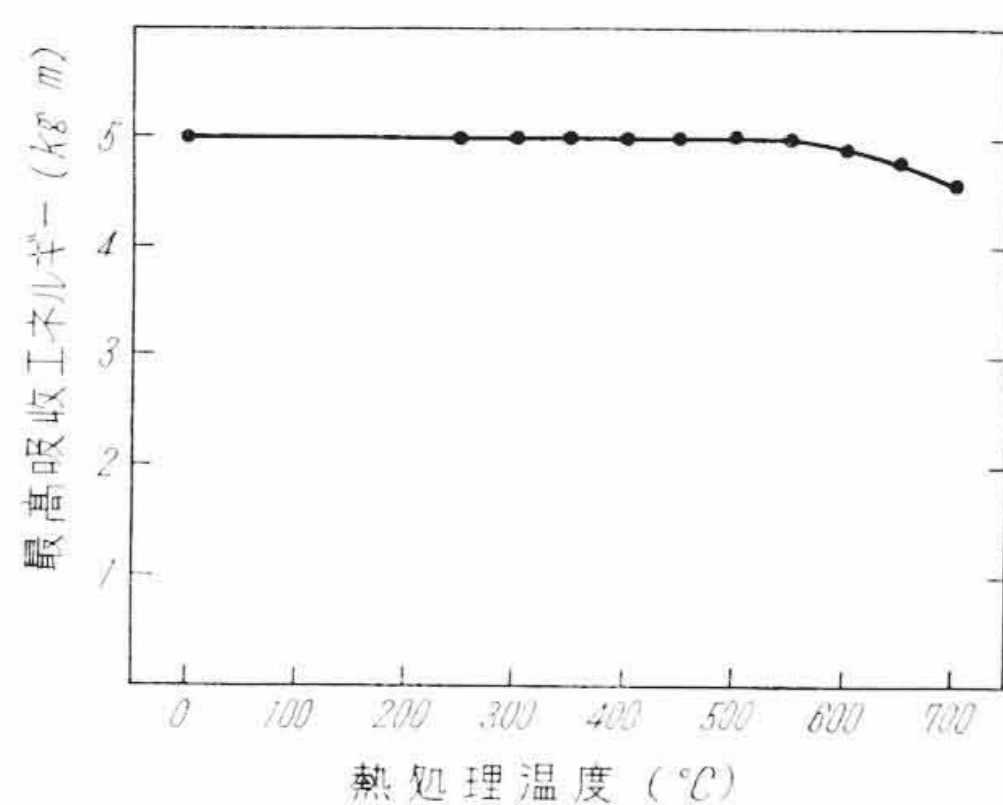
しておいた。これより明らかなようにまず熱処理温度が上昇するに伴い、衝撃遷移の傾向は右側、すなわち高温側に移行している。そして450°C処理のものがもっとも高温側にみられている。しかしながら、それよりもさらに熱処理温度があがると逆に左側、すなわち低温側に移行しはじめてくる。そして650°C処理のものは熱処理せぬものに近づき最も低温側にみとめられるようになる。こ

れらの傾向を明らかに示すため $Tr.E_{15}$ と熱処理温度の関係を求めてみると第18図に現わされるとおりである。

一方最高吸収エネルギーについては熱処理せぬものより550°C処理までは変化なく5 kg·mの値を示している



第 18 図 熱処理による遷移温度の変化



第 19 図 熱処理による最高吸収エネルギーの変化

が、それ以上の熱処理温度ではやや低下をきたしているのが認められる。第 19 図はそれぞれの最高吸収エネルギーと熱処理温度との関係を示している。

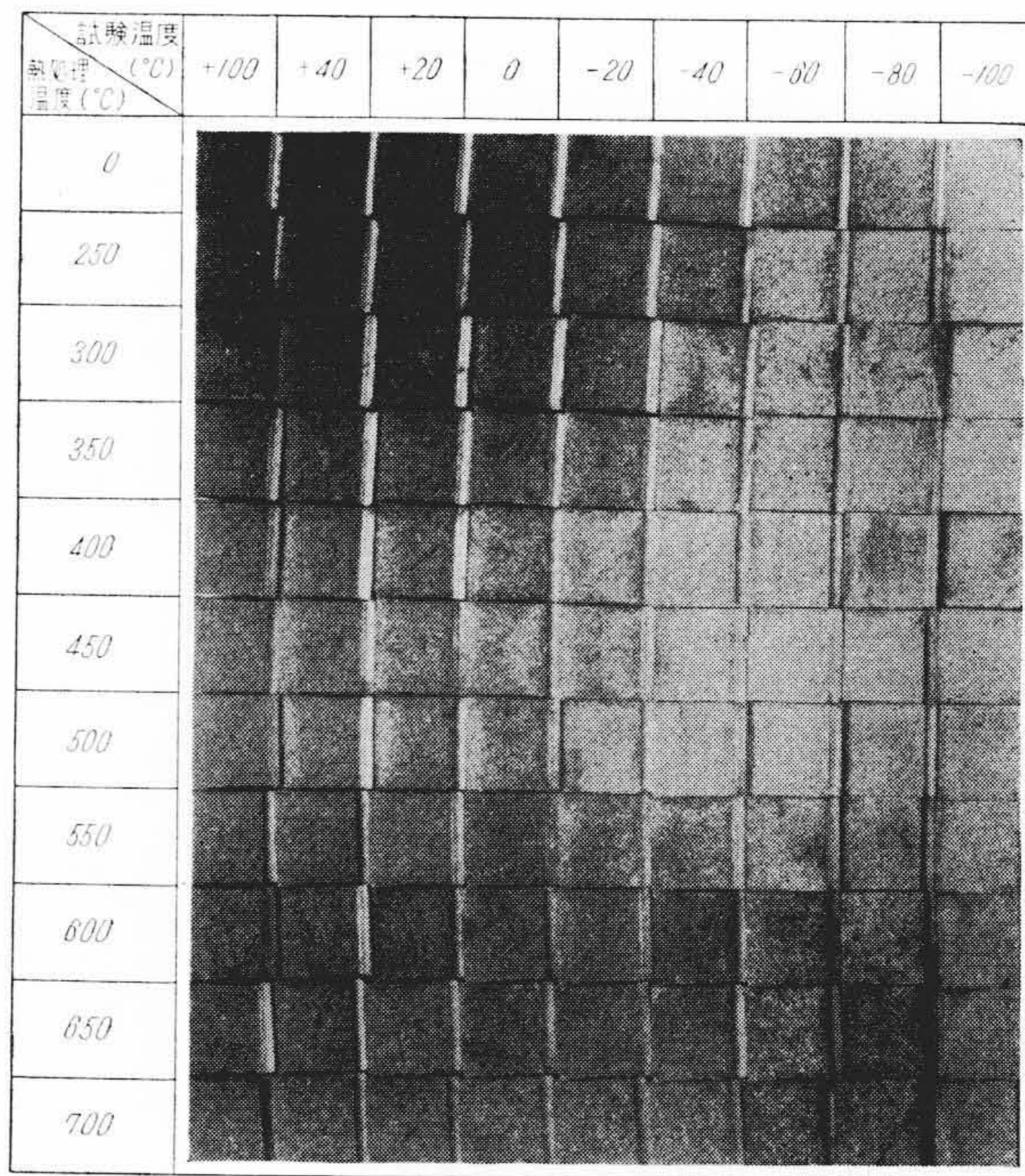
つぎにこれらの衝撃性質に伴う破断面の状況を調べた結果は第 20 図に掲げるとおりである。それによれば靱性のある黒色破面と、脆性の白色破面への遷移の状態が明らかに伺えるわけである。

5.2 静的機械試験

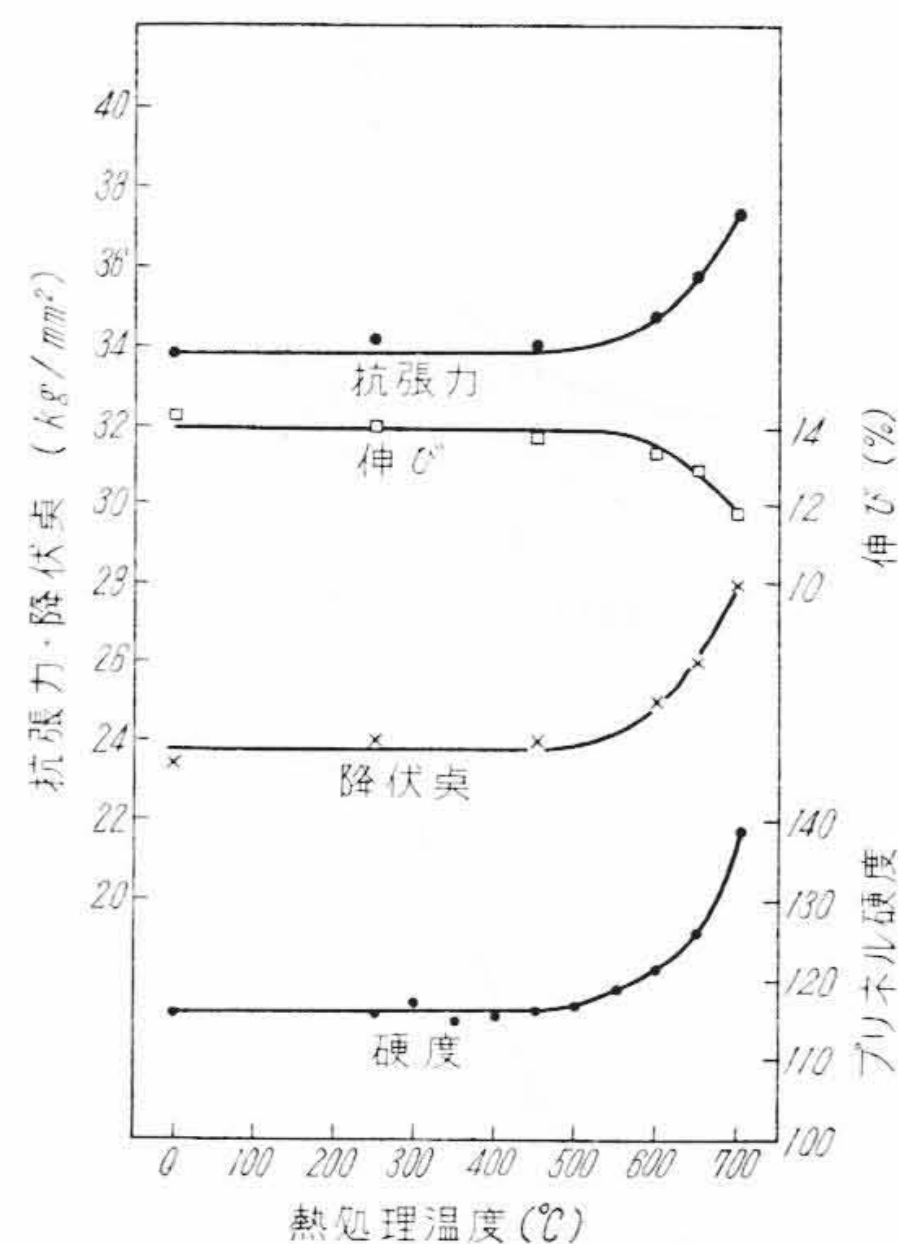
以上は試料の衝撃試験結果について述べたものであるが、これに対応すべき静的機械試験も同時に行ってみた。それには JIS 4 号試験片により抗張試験を行い、抗張力、降伏点および伸びを測定し、さらにブリネル硬度計により硬度を測定した。

それらの結果は第 21 図に示したとおりである。それによると抗張力、降伏点、伸びおよび硬度は 550°C 付近までの熱処理では変化がみられていない。しかしながら、それ以上の熱処理温度では伸びは低下し、逆に抗張力、降伏点および硬度の上昇をきたしているのが認められている。

これらの傾向はちょうど前項の衝撃試験における最高吸収エネルギーの変化に関連することが考えられ、こと



第 20 図 熱処理による破面の変化

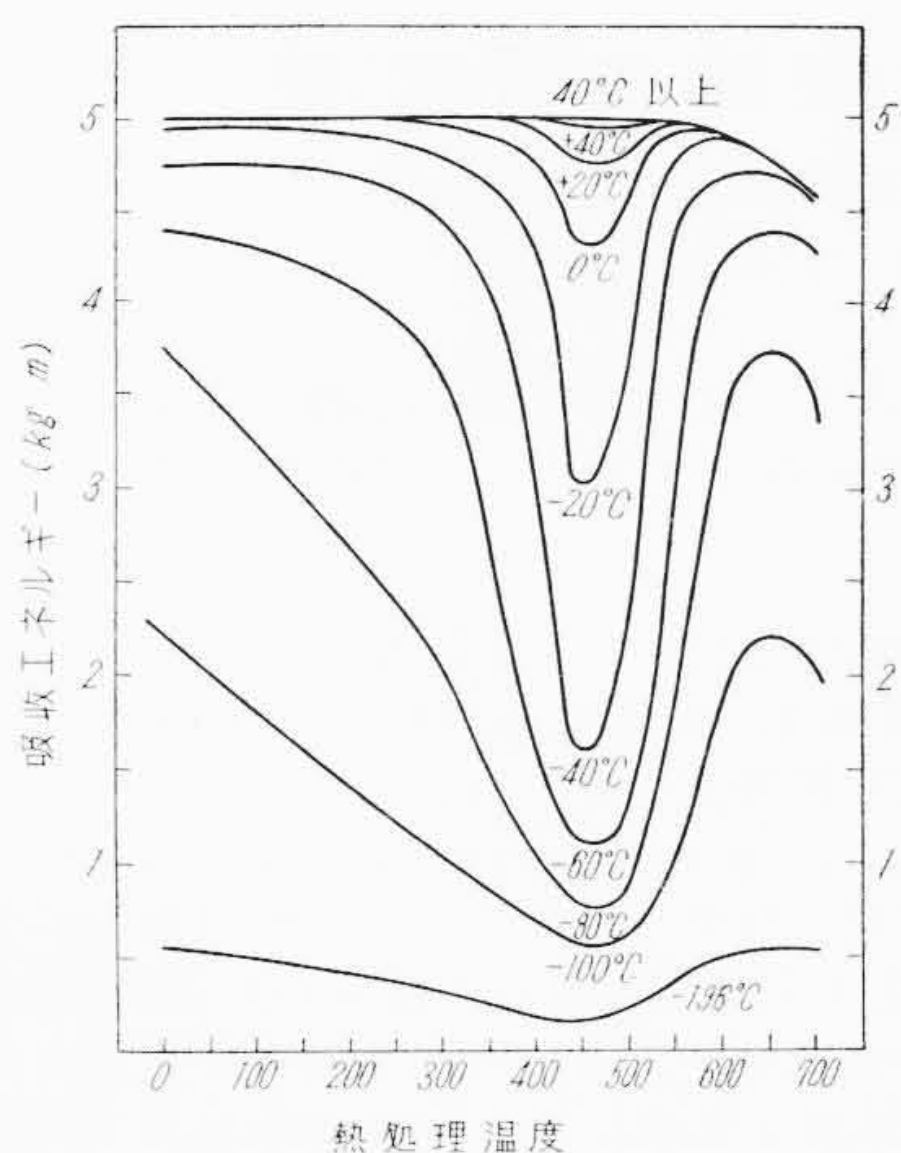


第 21 図 熱処理による静的機械試験値の変化

に静的機械試験における伸びの傾向に相応していることが伺える。

6. 結果 考 察

黒心可鍛鉄は焼鈍炭素を有するフェライト基地よりなるものであるから、明らかに低温脆性をこむる素材であることは認められている。本実験に用いた試料についていえば-10°C付近より急激な衝撃性質の低下が示されており、これは本実験の条件下では試験片大きさ、切



第22図 各試験温度における吸収エネルギーの変化

欠のいかに影響を受けず同一に示されていることを認めた。その結果にもとづいて試験片の大きさとして15 mm角断面、80 mm長さのものをういそれに2 mm Uノッチを付けたものについて実験を行ったものである。

可鍛鑄鉄試料を種々の温度に熱処理を施した際における衝撃遷移曲線を求めてみたところによれば、それぞれに特有の傾向を示しているのが認められた。すなわち熱処理温度が上昇するとともに、遷移温度は高温側に移行し450°C処理の場合が最も高温側にあることがわかった。これは本鑄鉄特有のメッキ脆性を誘起する処理温度に相応する。ここで考えねばならぬことは実験に供した試料はメッキ脆性を誘起しないと考えられていたいわゆる健全成分のものであったことである。そこで参考のため各試験温度における吸収エネルギーと熱処理温度の関係を求めてみると第22図のようになる。このうち常温付近の吸収エネルギーとしては各遷移曲線上のほぼ最高の吸収エネルギーを示すものであって熱処理温度の変化によってもあまり大きな差異は示されていない。したがって在来の常温衝撃試験による判定方法によればいわゆる健全成分として考えられてきたわけであった。しかしながらそれも本実験の結果から考えれば、ただ単に常温のみにおける保証にすぎないわけで第22図からも明らかとなっており、わずかな試験温度の低下によっても450°C処理における衝撃性質の急激な低減が認められることになる。そしてその傾向は今日まで知られているW. P. Bean⁽³⁾、あるいは菊田博士ら⁽⁴⁾の提出している結果に近づくことがうなづかされる。これらのことより可鍛鑄鉄はいままで健全成分と考えられていたものといえども、本質的に450°C脆性を内包するものであるといえよう。

また一方、650°C処理のものが最も低温の遷移温度を示したことはいわゆる靱性恢復処理としての効果を予測

させるところであろう。

各衝撃遷移曲線に示された最高吸収エネルギーについて考えると、550°C処理までは変化なくそれ以上の温度処理においてやや低下が示された。そしてこの傾向は静的機械試験値における動向と相応されるものであることを認めた。これらの傾向についてはフェライトに対するCの固溶度の変化に基づいても考えられるところであろう。なお、700°Cまでの熱処理によっても顕微鏡組織上の差異は認められていない。

ここにのべた結果の考察は熱処理の衝撃遷移曲線に及ぼす影響について述べたものであるが、その熱処理方法としては700°Cまでの各温度に1時間保持後水冷したものである。しかしこのほかになお考えられる熱処理方法もあげられるわけで、それらによる影響については別途に報告する。また試料組成上からも諸種の因子による影響も考察する必要がある、同じく後報にゆずることとする。ここでは基礎的実験結果の一つについて述べた。

7. 結 言

一般工業用に生産される可鍛鑄鉄組成のものについて、低温脆性の観点より検討を行った。それにはシャルピ衝撃試験によって衝撃遷移曲線を求め、さらに可鍛鑄鉄を熱処理した際における影響についても実験を行った。そして今日までいわれていたメッキ脆性現象が本鑄鉄に本質的に内包されているものであることを認めた。したがって在来の判定方法により靱性であると考えられていたものといえども、わずかな試験温度の低下により脆性に遷移するものである。

将来、可鍛鑄鉄が寒冷地において、あるいは低温条件下に使用されることが考えられるが、その際の靱性の保証には十分な配慮が望ましいことを示唆するものといえよう。

終りに臨み本実験は日立製作所中央研究所菊田名誉所長のおすめによって行われ有効なるご指導をえた。また南波部長により報告の提出を許可された。さらに東京工業大学田中実教授よりご懇篤なご指導とご助言を賜わった。諸氏に厚く感謝の意を表する次第である。

本実験の試料は日立金属工業株式会社深川工場の非常なるご厚意によりえられたものであることを記し、関係各位に対する謝辞にかえたい。

参 考 文 献

- (1) P. Bastien, P. Azou, M. Winter: International Foundry Congress, No. 116 (1956)
- (2) G. A. Sandoz, N. C. Howells, H. F. Bishop, W. S. Pellini: Trans. ASM, 49, 204 (1957)
- (3) W. P. Bean: Trans. AIME 69, (1923)
- (4) 菊田: 鉄と鋼 18, 272 (1932)