

刃物鋼の靱性に及ぼす砂鉄系原料鉄配合率の影響

The Effect of Different Contents of Iron Derived from Iron Sand on the Toughness of Cutlery Steel

小柴定雄* 菊田光男** 守谷光正**
Sadao Koshiha Mitsuo Kikuta Mitsumasa Moriya

内 容 梗 概

刃物鋼の靱性に及ぼす雲伯産砂鉄系原料鉄配合率の影響を抗折試験により調べた。すなわち砂鉄系原料鉄100%, 50%および全く鉄系の3鋼種各2チャージにつき変態点生起状況を確認後、焼鈍法、焼入法および焼戻温度をそれぞれ変えて抗折試験を実施した。その結果セメントタイトの球状化性の良好な低温焼鈍試料は高温焼鈍のものより靱性が大でとくに砂鉄系100%の鋼がどの場合も明らかにすぐれている。焼入法は低温短時間焼入したものが全般的に靱性大であり、とくに砂鉄系100%のものはこの傾向が著しく、すべての場合について靱性値がほかの鋼種より大である。砂鉄50%のものは焼入硬度が高い間はず鉄系のものとあまり変りないが、油焼入の場合および焼戻温度が高くなると明らかにくず鉄系より靱性が大である。

焼戻温度の影響は組織変化にともなう2~3種の脆性点が認められるが、砂鉄系100%のものはその程度が少なく、全般的に明らかに靱性大であり、とくに比例限のピークはほかのものより高硬度側にあり、これ以下の硬度における靱性はきわめて大きい。砂鉄系50%のものはこれにつき、くず鉄系は最も劣る。

1. 緒 言

雲伯産砂鉄系原料鉄より造られた刃物鋼は従来からほかの原料を用いて造った鋼より切味および靱性がすぐれているとされている。しかしながらそれを如実に示した資料はこれまでにほとんど見当たらない。この理由は刃物鋼の実用硬度はきわめて高い場合が多く、普通の機械的試験、たとえば引張試験や衝撃試験では試験そのものが困難であったり、あるいはその差がわずかで判定しがたかったからであろう。筆者らはこれまでに主として熱处理的諸性質に及ぼす砂鉄系原料鉄配合率の影響について報告^{(1)~(3)}したが、今回は抗折試験⁽⁴⁾を用いて砂鉄系原料鉄配合率の靱性に及ぼす影響につき研究した結果について述べる。

2. 試料および実験方法

研究試料は日立金属工業株式会社のランニング品中より砂鉄系100%の刃物鋼白紙2号, 50%の黄紙2号を各2種および全く鉄系のSK2とSK3を各1種, 計6熔番を選定した。第1表はその化学成分を示す。成分上の差としては白紙2号AのCがやや高く、同鋼種BとともにSiおよびMnを除くほかの不純元素が少なく、全く鉄系のSK材はSiおよびMnがやや高目でありさらにP, S, Ni, Cr, Cu, AsおよびSnなどのいわゆる tramp element は当然高い。とくにNi, AsならびにSnの混入量は砂鉄系100%の鋼に比し著しく高くとえ各元素の絶対含有量はわずかも、その交絡作用はかなり鋼質に

悪影響を及ぼすものと考えられる。またSK2すなわち試料EのC量は高く、試料Aとともに実験結果に注意する必要がある。砂鉄系50%配合の黄紙2号C, Dの不純元素はくず鉄配合のため当然濃化の傾向にある。

第2表は上記試料の真空熔融法によるガス分析値であるが、この場合低温抽出ガスと高温抽出ガスを区分するため2段分別真空熔融法を採った。すなわち強固な酸化物として機械的に点在すると考えられる高温抽出酸素は各試料大差ないが、機械的に悪影響を及ぼすと考えられる低温抽出酸素量は全く鉄系のEおよびF試料が明らかに多く、窒素含有量は抽出温度に関係なくくず鉄配合率の多いほど高い。水素は試料の製造履歴により拡散逸出し砂鉄系原料鉄配合率との相関性を求めることは困難であり、かつその絶対量も少ないのでここには参考程度に示したものである。

さきに本誌に発表⁽⁴⁾したように焼入温度のわずかの差異がかなり靱性に影響することが確認されたので、焼入に直接関係するA₁変態点について検討した。すなわち本多式熱膨脹計を用い従来の加熱冷却速度5°C/minで測定した場合と、実際の焼入処理条件、たとえば775°Cに保持した電気炉中で試料を急熱した場合および、5°C/minの加熱を行い各試料の変態が開始した温度で保持した場合の三方法で測定を行った結果を第3表に示す。試料は圧延素材を750°C×1時間焼鈍し、旋削により7φ×70lに仕上げ、一端に2φ×30lの孔をあけ熱電対をそう入した。同表より普通の方法による場合のA_{c1}変態は砂鉄系100%のものがもっとも変態範囲がせまく、砂鉄系50%のものがこれにつき、くず鉄系のもはもっとも広い傾向があるが変態開始温度はほとんど同じである。これに対し

* 日立金属工業株式会社安来工場 工博

** 日立金属工業株式会社安来工場

第1表 試料の化学成分 (%)

砂鉄系原料鉄配合率(%)	鋼種	試料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Ti	Cu	As	Sn
100	白紙2号	A	1.15	0.14	0.30	0.016	0.003	0.01	0.03	Tr	0.03	Tr	Ni I
	白紙2号	B	1.01	0.18	0.22	0.014	0.003	Nil	0.02	Tr	0.02	0.002	Tr
50	黄紙2号	C	1.02	0.15	0.27	0.023	0.004	0.03	0.02	Ni I	0.02	0.008	0.016
	黄紙2号	D	1.01	0.13	0.23	0.022	0.004	0.02	0.04	Ni I	0.04	0.010	0.014
0	SK-2	E	1.18	0.25	0.43	0.025	0.007	0.08	0.07	Ni I	0.07	0.030	0.031
	SK-3	F	1.04	0.23	0.38	0.023	0.009	0.06	0.04	Ni I	0.05	0.022	0.025

第2表 試料のガス分析値 (%)

試料	分析温度 ガスの種類	1,200°C 抽出			1,600°C 抽出				
		全ガス量 (cc/100g)	[H](%)	[O](%)	[N](%)	全ガス量 (cc/100g)	[H](%)	[O](%)	[N](%)
A		4.21	0.00009	0.0003	0.0035	6.95	0.00009	0.0019	0.0043
B		4.03	0.00011	0.0003	0.0030	7.69	0.00011	0.0024	0.0039
C		5.06	0.00016	0.0003	0.0036	9.24	0.00016	0.0026	0.0048
D		5.13	0.00019	0.0004	0.0033	9.31	0.00019	0.0027	0.0045
E		4.85	0.00007	0.0006	0.0041	8.99	0.00007	0.0021	0.0066
F		6.78	0.00012	0.0007	0.0056	11.54	0.00014	0.0028	0.0076

第3表 試料の変態点測定結果 (°C)

試料	測定法 変態点	加熱冷却速度 5°C/min (800°C×10分保持)		各変態開始温度で保持 (800°C×10分保持)				775°C に保持した電気炉中で急加熱 (800°C×10分 保持後空冷)							
		Ac1		Ar1		Ac1		Ar1		Ac1		Ar1(M)		Ar1(F)	T
		開始	終了	開始	終了	開始	終了	開始	終了	開始	終了	開始	最高値		
A		736	744	707	695	738	—	706.5	—	736	746	682	701	688	306
B		737	746	709	696	738	—	707	—	738	748	684	700	685	315
C		737	749	707	695	737	—	707.5	—	738	747	678	697	672	295
D		736	747	707	695	738	—	708.5	—	738	746	683	697	673	280
E		737	752	707	693	737	—	706	—	738	750	677	693	666	250
F		737	751	707	692	737	—	707	—	738	750	677	694	665	263

注: Ar1(M): 空冷の場合の Ar1 開始および変態熱による最高発熱温度

Ar1(F): 空冷の場合の Ar1 の終了したときの温度

T: 775°C の炉に試料を入れてから変態を完了し、さらに 5°C/min で 800°C に達するまでの所要時間

Ar1 点も開始温度は同じであり、まったく鉄系の E, F 両試料は終了までの温度範囲がやや広い。

変態を開始したのちその温度に保持した場合は各試料いずれも一定の温度で変態を完了する。各試料の Ac1 点および Ar1 点はいずれも同等である。つぎに 775°C に保持した電気炉中で加熱を行っても、変態点の開始温度はほとんど上昇しないが、変態を終るまでの温度区間は 5°C/min 加熱の場合に比し A, B 両試料のみはむしろ増えるがほかの試料ではかえってせまくなる傾向を示す。これは後述するように砂鉄系 100% の双物鋼は球状セメントタイトの大きさがほかのものよりやや大きく、共析温度でオーステナイトに溶解こむには多少の時間を要すること、またほかの鋼種は急熱効果による周囲温度が普通の

第4表 焼鈍条件の種類

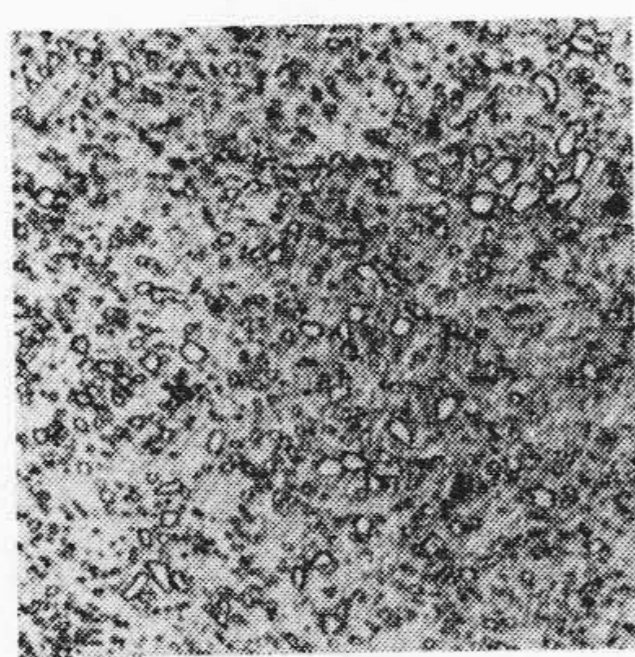
種別	焼鈍方法
①	素材(引抜センターレス加工のまま)
②	700°C×4 時間 保持後徐冷
③	750°C×2 時間 保持後徐冷
④	800°C×1 時間 保持後徐冷
⑤	850°C×40 分 保持後徐冷
⑥	900°C×20 分 保持後徐冷

測定法による場合より高く、変態が促進されるために変態温度区間がせまくなったものと考えられる。同表中、試料温度が 800°C に達するまでの経過時間をみてもこの推論が裏付けられよう。

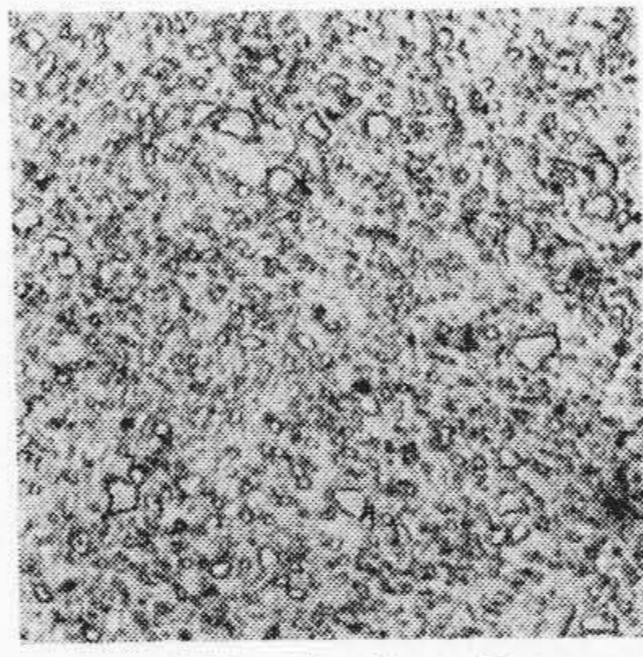
なお第3表中の Ar1(M) は 800°C より空冷した場合の変態途上の最高温度で各試料いずれも変態潜熱による温

第5表 焼鈍法と組織との関係

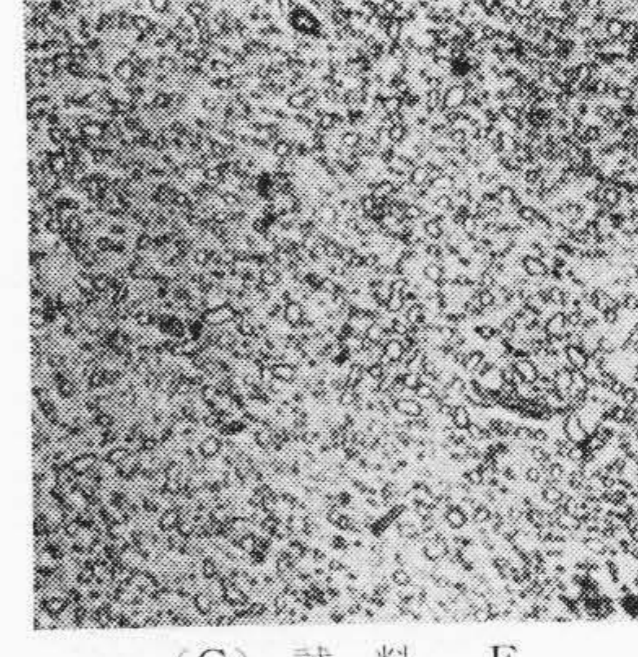
焼鈍法 試料	① 焼鈍引抜材	② 700°C×4時間	③ 750°C×2時間	④ 800°C×1時間	⑤ 850°C×40分	⑥ 900°C×20分
A	球状セメンタイト組織 (Photo)	球状セメンタイト組織(左に近似なるも粒やや成長) (Photo)	粗大化粒を混える球状化組織 (Photo)	さらに粗大化した炭化物を混える球状化組織(粒数減少)	析出粗大セメンタイト, 粒状パーライトおよび層状パーライト組織 (Photo)	著しく粗大化した析出セメンタイトとパーライト (Photo)
B	混粒の球状セメンタイト組織 (Photo)	混粒の球状セメンタイト組織	著しい粗大化粒を混える球状化組織 (Photo)	左欄に近似組織なるも粒数減少 (Photo)	上欄同様組織(析出セメンタイト大, 粒状パーライト小)	上欄と同傾向なるも析出セメンタイト少なくやや網状に析出 (Photo)
C	球状セメンタイト組織(Aと同様)	球状セメンタイト組織(Aと同様)	粗大化粒を混える球状化組織 (Photo)	粗大化粒を混える球状化組織(A③に近似)	析出粗大セメンタイト, 層状パーライトおよび粒状パーライト	標準組織に近似(下欄同様)
D	球状セメンタイト組織(Bに近似)	A②試料に近似(粒界あり) (Photo)	混粒の球状セメンタイト組織に(B①に近似)	混粒の球状化組織(B③近似なるもパーライト点在) (Photo)	上欄と近似組織 (Photo)	標準組織に近似 (Photo)
E	球状セメンタイト組織(黒点あり) (Photo)	球状セメンタイト組織(黒点あり)	混粒の球状セメンタイト組織 (Photo)	混粒の球状化組織(E③に近似なるも形悪し) (Photo)	下欄と近似(層状パーライト多)	不完全な網状セメンタイトとパーライト (Photo)
F	混粒の球状セメンタイト組織(Bに近似)	球状セメンタイト組織(A①試料に近似)	やや成長した球状セメンタイト組織(粒数減少)	左欄同様なるも粗大炭化物の形状悪し	析出粗大セメンタイトと一部球状化パーライト (Photo)	上欄に近似(網状セメンタイト少なし)



(A) 試料 A



(B) 試料 B



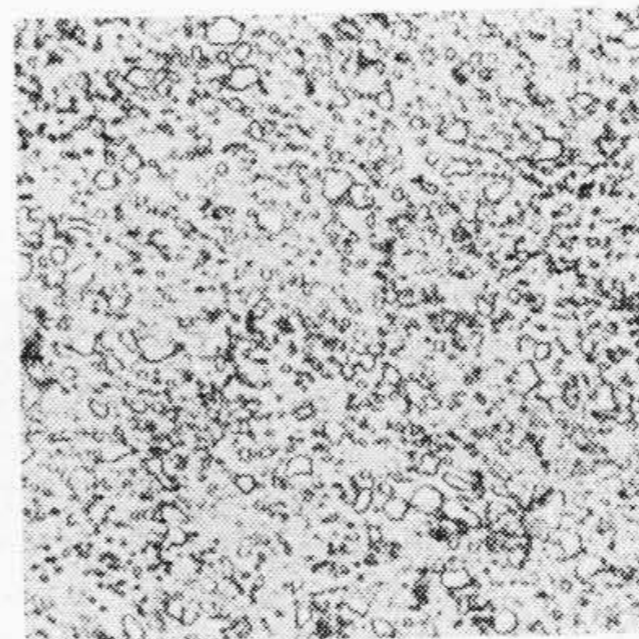
(C) 試料 E

第1図 焼鈍引抜素材の顕微鏡組織 (×420)

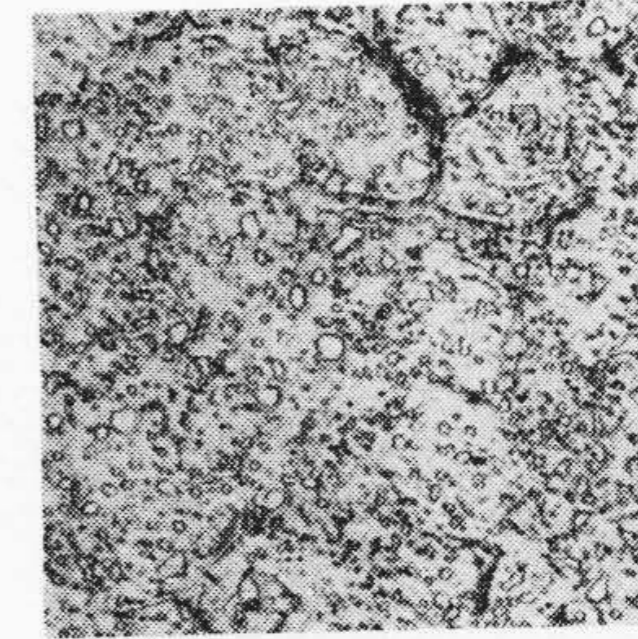
度上昇があるが、その発熱量は大同小異であり、この場合の測定精度から砂鉄系原料鉄との関連性を求めることは無理である。しかし A_{r1} (F) すなわち上記 A_{r1} 変態が終了したときの温度は砂鉄系 100% の A, B 両試料がもっとも高く、くず鉄系の E, F 両試料がもっとも低いことは明らかに認められる。

以上の変態点生起状況は現場的な焼入加熱においては砂鉄系 100% の双物鋼が A_{c1} をやや完了しがたく、逆に冷却変態は高温で終了しやすいことを示し、従来からいわれている砂鉄系双物は高度の焼入技術を必要とするという経験的事実と関連するものといえる。とにかく焼入処理に密接な関係を有する A_{c1} 点は各試料ともあまり変りなく、変態点直上の温度はいずれも 750°C とみてさしつかえない。

抗析試験は前報⁽⁴⁾と同様 5φ×70l であるが、同一条件の試料は、特に測定値のばらつきの少ない熱処理条件の場合は最低 3 個とし、大部分は 4~6 個の平均をとった。このため相当数の試料を必要とし、素材は全部 10φ 圧延品より 6φ まで冷間引抜きを行い、最後にセンターレス



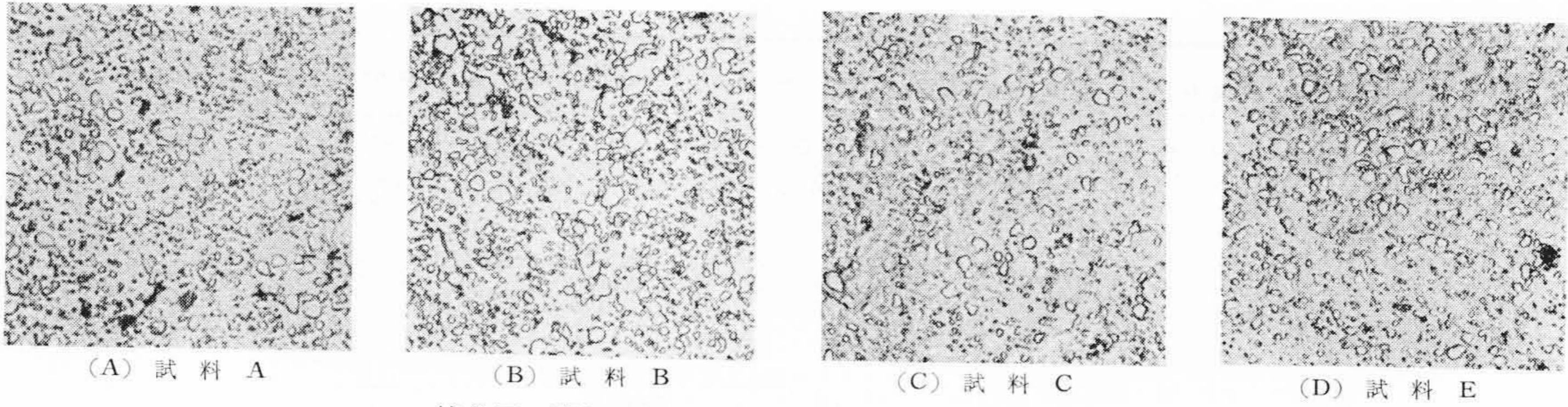
(A) 試料 A



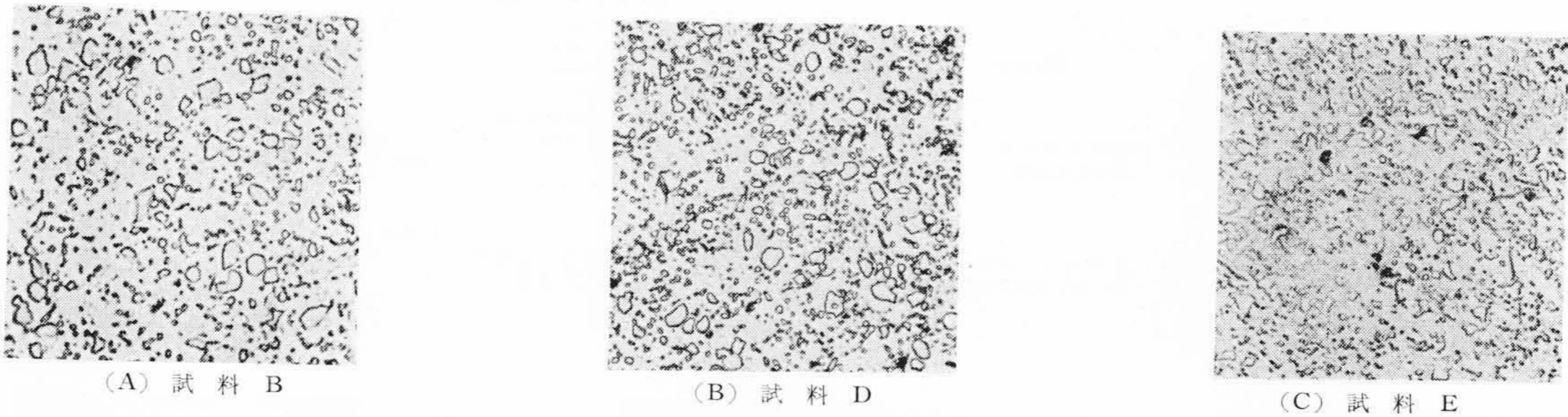
(B) 試料 D

第2図 700°C×4時間焼鈍試料の顕微鏡組織 (×420)

研削盤で 5φ±5/1,000 以内に仕上げたものを 70l に切断した。したがって試料の組織は引抜中間焼鈍のため各試料ともかなり良好な球状化組織であるが、特に A, B 両試料の球状セメンタイトはやや大なることが認められた。また試料の表面仕上状態はきわめて良好で、かつ熱処理後のスケールはわずかであったのでペーパー仕上げは行わずそのまま試験に供した。そのほかの試験条件は前報⁽⁴⁾と同様であるが、試料直径精度による誤差がきわめて少ない点と、焼入~焼戻に至る総体的な靱性を比較



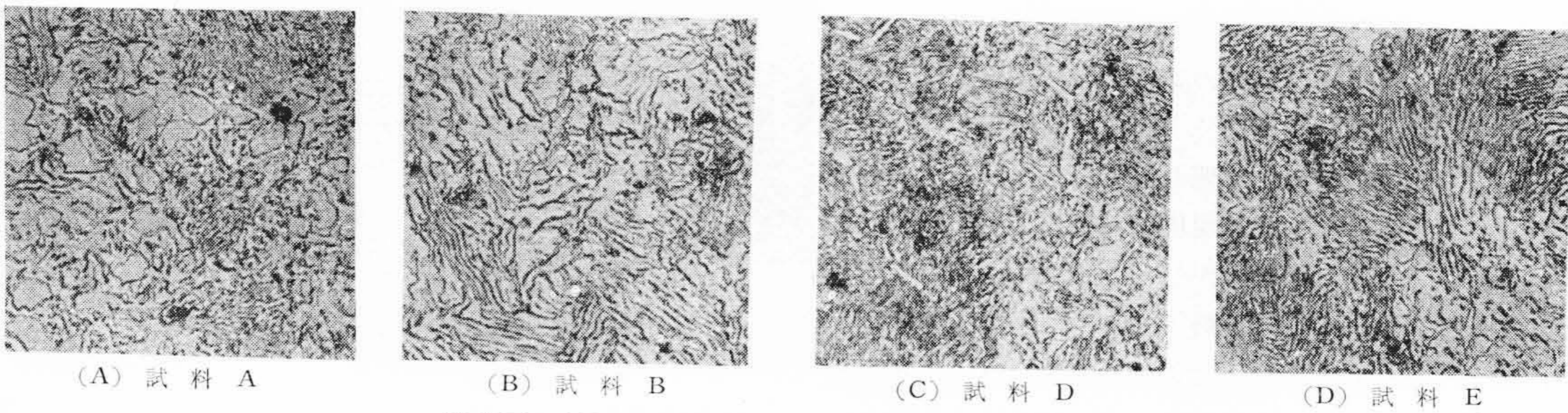
第3図 750°C×2時間焼鈍試料の顕微鏡組織 (×420)



第4図 800°C×1時間焼鈍試料の顕微鏡組織 (×420)



第5図 850°C×40分焼鈍試料の顕微鏡組織 (×420)



第6図 900°C×20分焼鈍試料の顕微鏡組織 (×420)

するため、全部の試料について応力-ひずみ線図を作製し、これよりプランメータで破断に至るまでの吸収エネルギーを測定算出した。

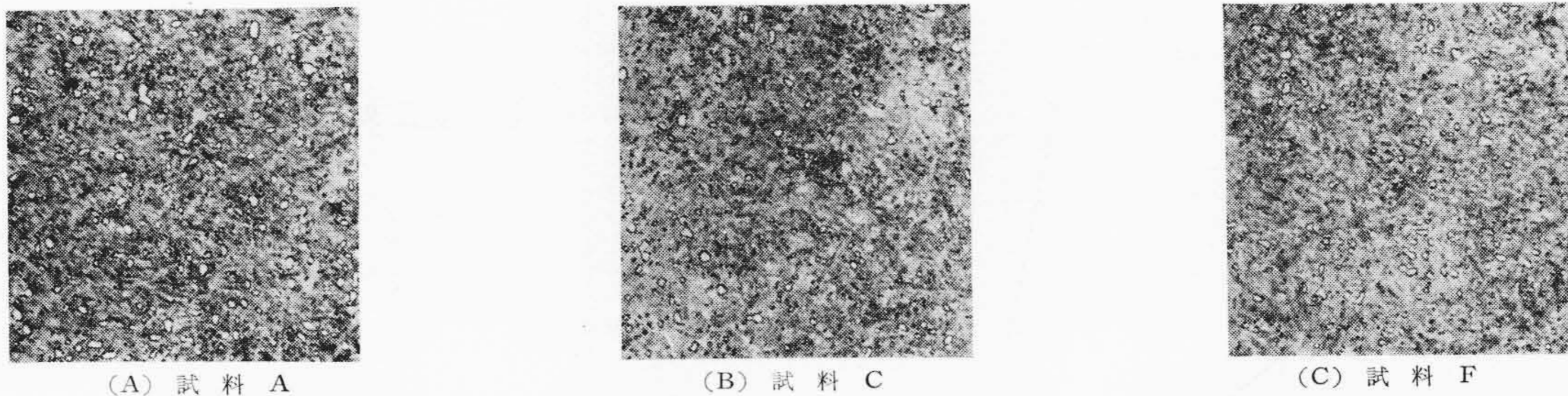
3. 実験結果ならびに考察

3.1 焼鈍法の影響

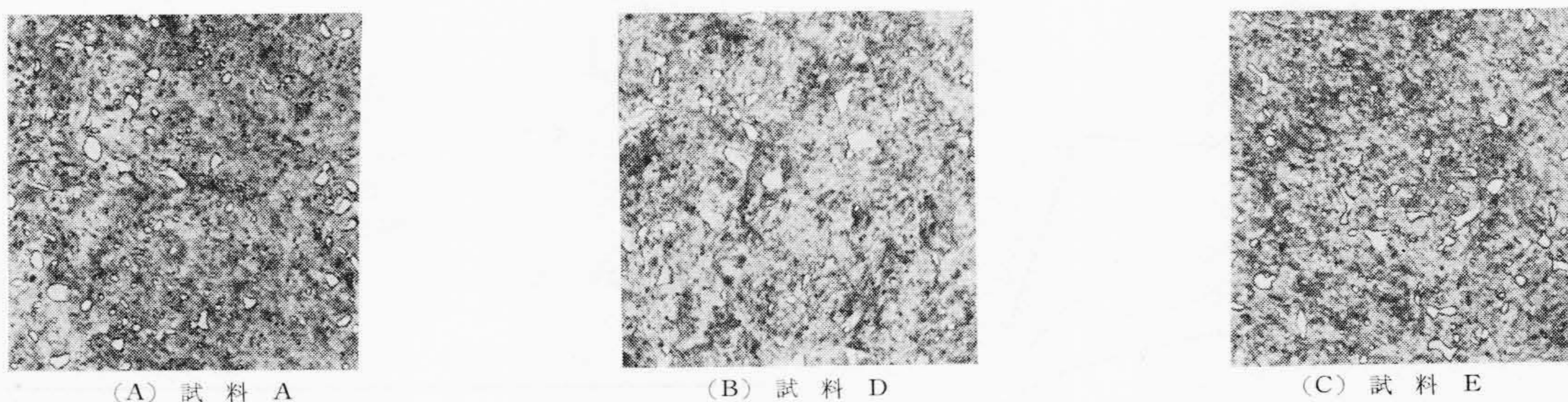
焼鈍法としては第4表の6種類を選んだ。冷却速度は

いずれも 650°C まで 100°C/h とし、これ以下は焼鈍ケースのまま空冷した。

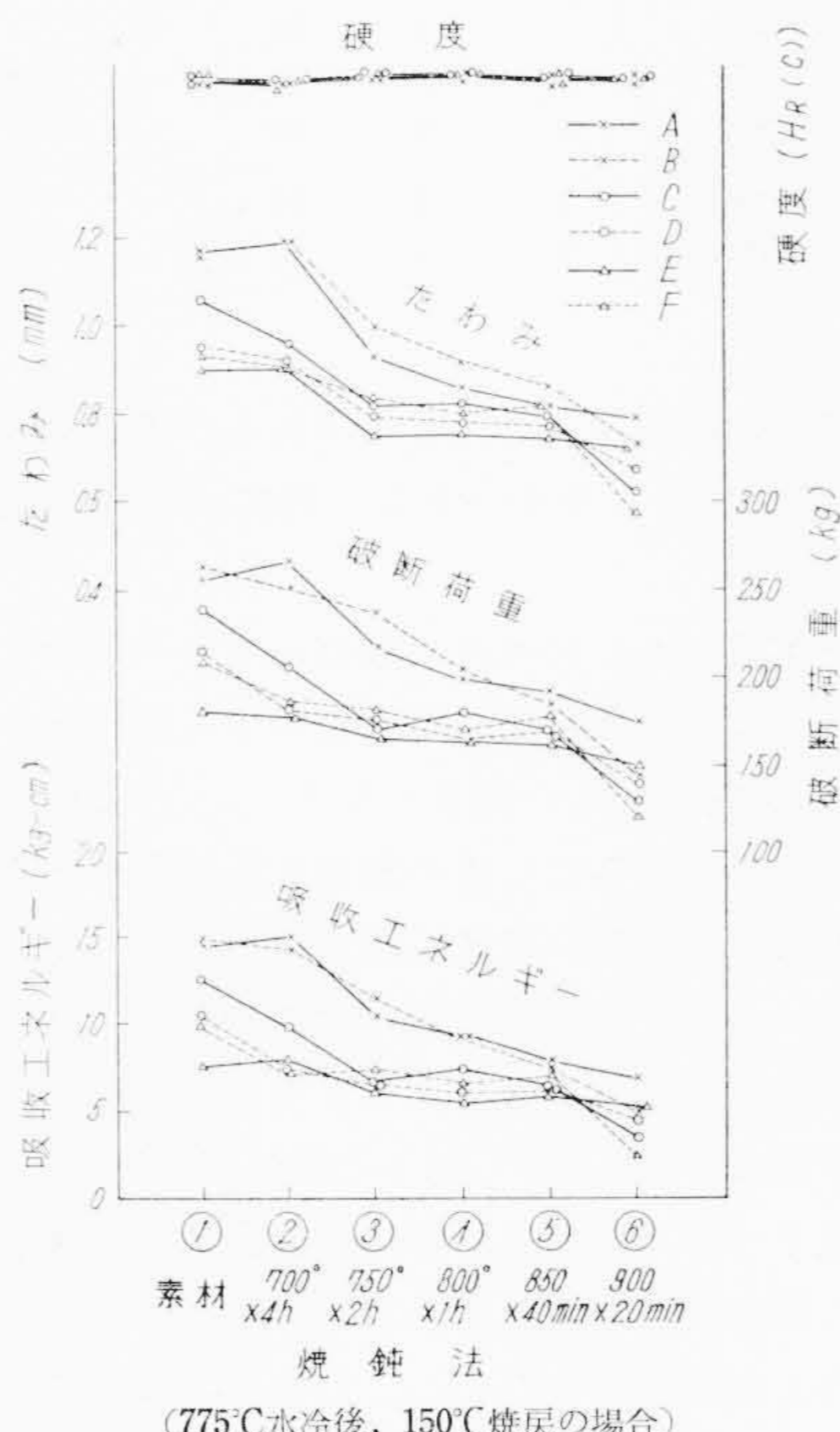
第5表はこれらの焼鈍法と組織との関係を略述したもので、その中の代表的な顕微鏡組織を第1~6図に示す。すなわち素材と 700°C 焼鈍の場合は各試料ともに比較的良好な球状セメントライトが分布するが、A、B 両試料はやや粗大粒を混在する。これ以上の焼鈍温度ではいずれも



第7図 700°C×4時間焼鈍後、775°C水焼入、150°C焼戻を行った場合の顕微鏡組織 (×420)

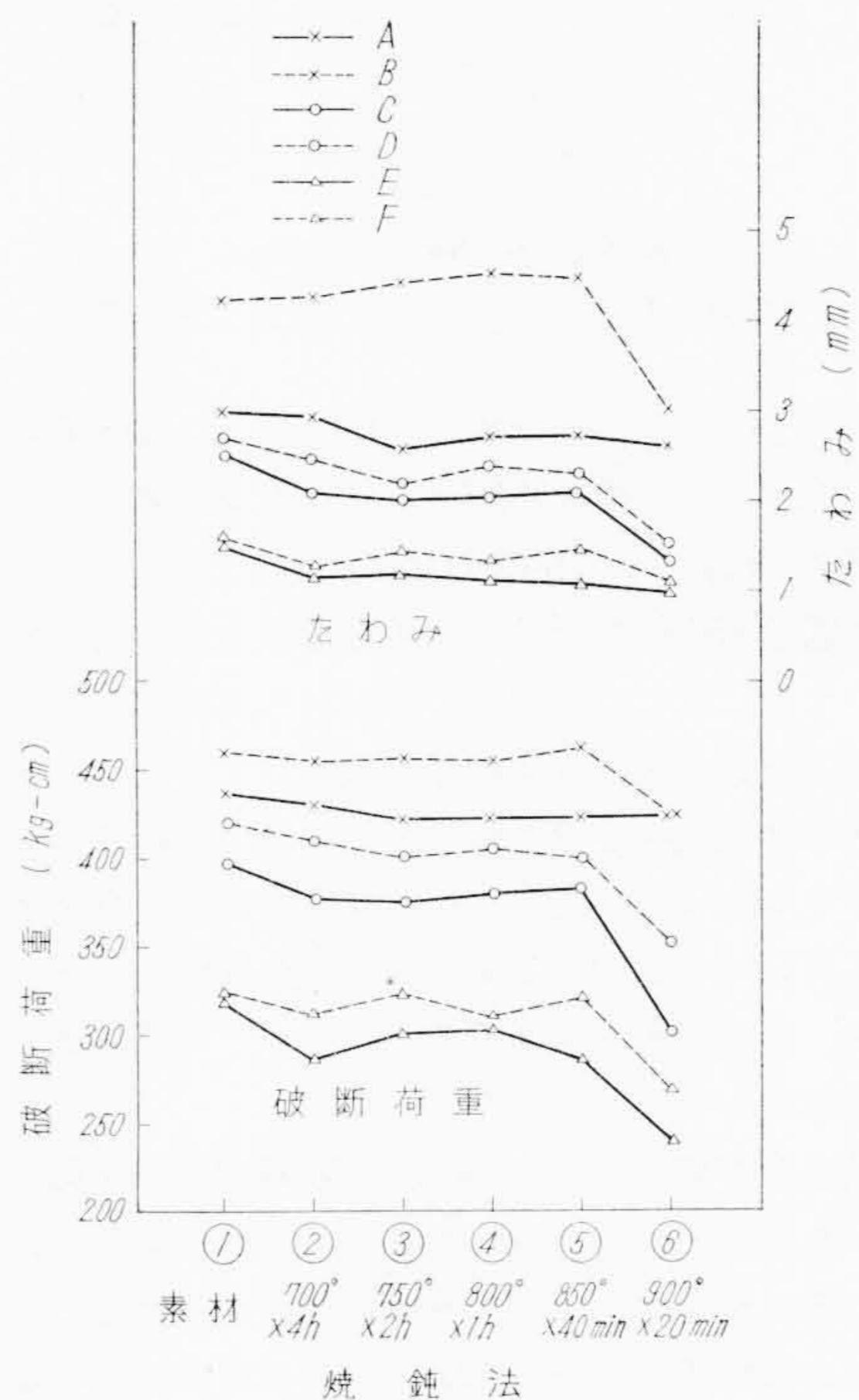


第8図 850°C×40分焼鈍後、775°C水焼入、150°C焼戻を行った場合の顕微鏡組織 (×420)



第9図 靱性に及ぼす焼鈍法の影響

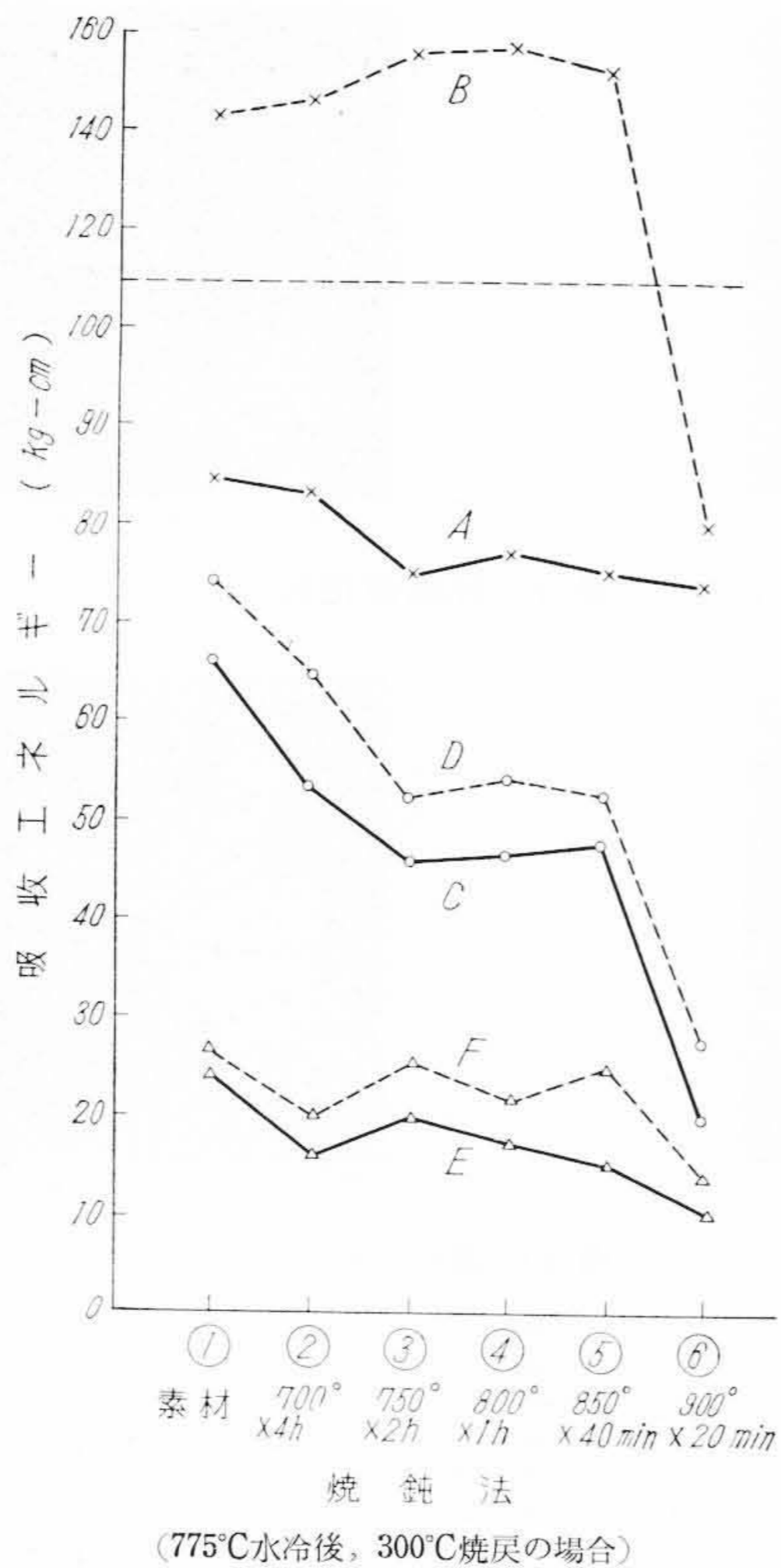
球状セメントライトが成長し、分布数が減少してくるがこの傾向はとくに砂鉄系100%のA, B両試料が大きく、くず鉄系のE, F両試料がやや小さい。850°C焼鈍で各試料ともに遊離セメントライトと層状パーライトを一部析出してくる。900°C加熱で基地は全部層状パーライトとなり、網状セメントライトを析出した標準組織となるが、砂鉄系



第10図 破断荷重およびたわみと焼鈍法との関係

100%の試料,特にC量のやや高いA試料はオーステナイト粒界に沿って不完全な網状すなわち初析セメントライトが塊状に分布している。

以上の焼鈍試料はすべて775°Cに達してから10分保持



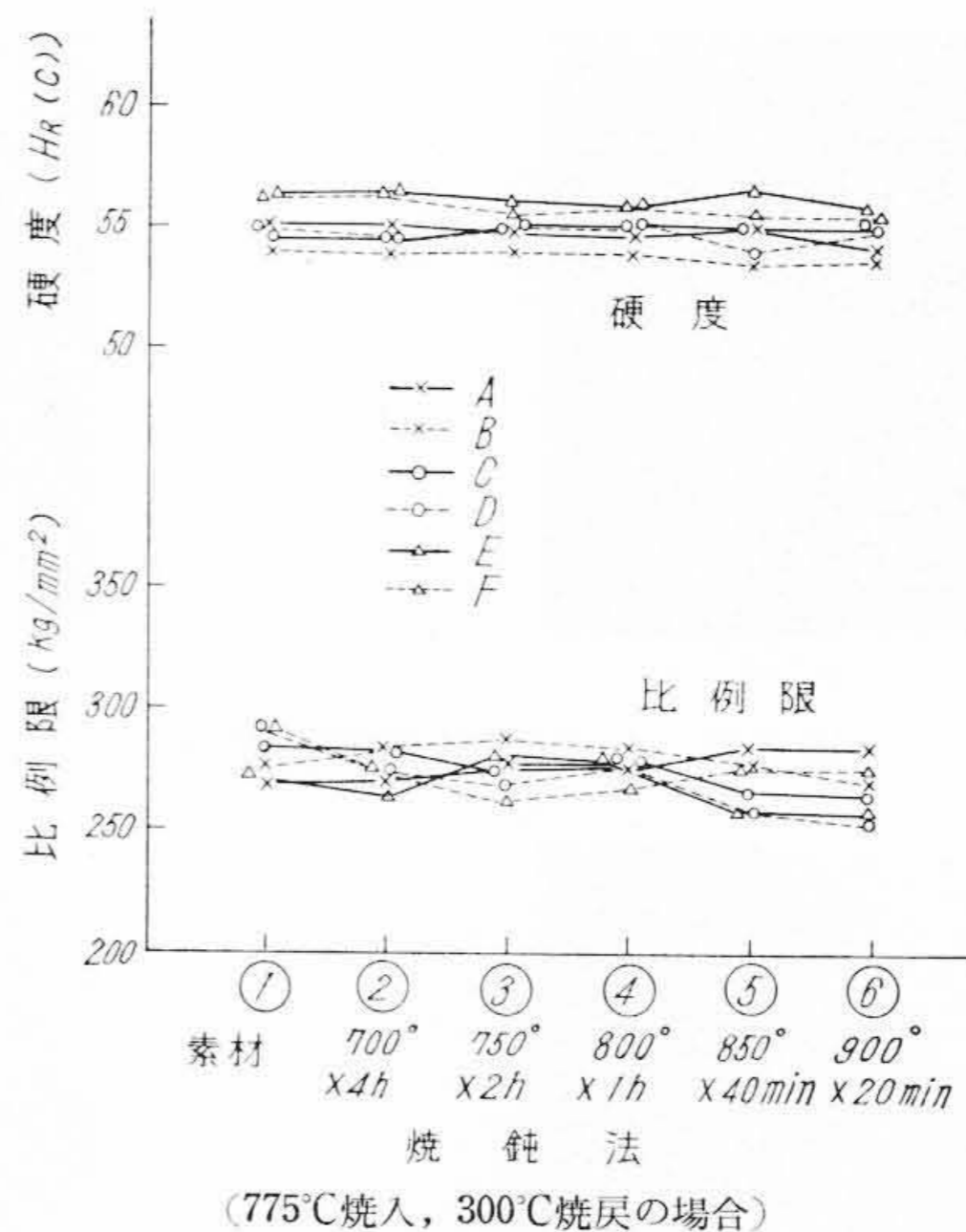
第 11 図 吸収エネルギーと焼鈍法との関係

し 20°C の水焼入を行ったあと、150 および 300°C の 2 種の焼戻を行った。焼戻時間はいずれも 1 時間、空冷とした。第 7~8 図はその組織の数例を示したものである。

第 9 図は 150°C 焼戻試料の各測定値と焼鈍法との関係について示したものである。すなわち試料間の硬度差はほとんどないがそのほかの測定値はかなり変化を示し、総括的には焼鈍温度の低いほどたわみ、破断荷重および吸収エネルギーが大である。150°C 焼戻の場合は硬度も十分に高いので応力-ひずみ線図は全部直線状となり、たわみ、破断荷重および吸収エネルギーと焼鈍法との関係は同傾向となる。

砂鉄系含有率の影響は 100% の A, B 両試料が低温焼鈍すなわち球状化処理を行った場合、ほかの試料に比し明らかに靱性が大であるが、850°C 以上の焼鈍ではほかの試料との差は少なくなる。50% の C, D 試料は低温焼鈍の場合やや良く平均して 700°C 焼鈍まではくず鉄系より若干靱性がまさるが、750°C 以上の焼鈍では同等である。くず鉄系の E, F 両試料は素材の場合ややよいが、球状化の効果はほかの試料に比し少なく全般に靱性が最も低い。また A, B 以外の試料が 750~850°C であまり靱性に变化のないことは注目される。

第 10 図は 300°C 焼戻の場合の破断荷重とたわみに及



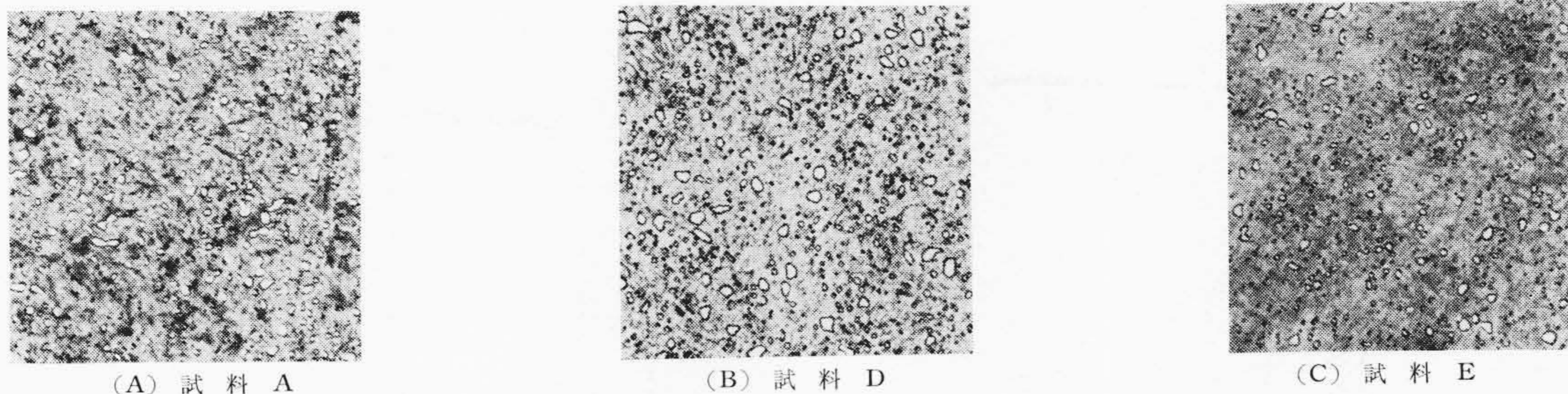
第 12 図 硬度および比例限と焼鈍法との関係

第 6 表 焼入条件の種類

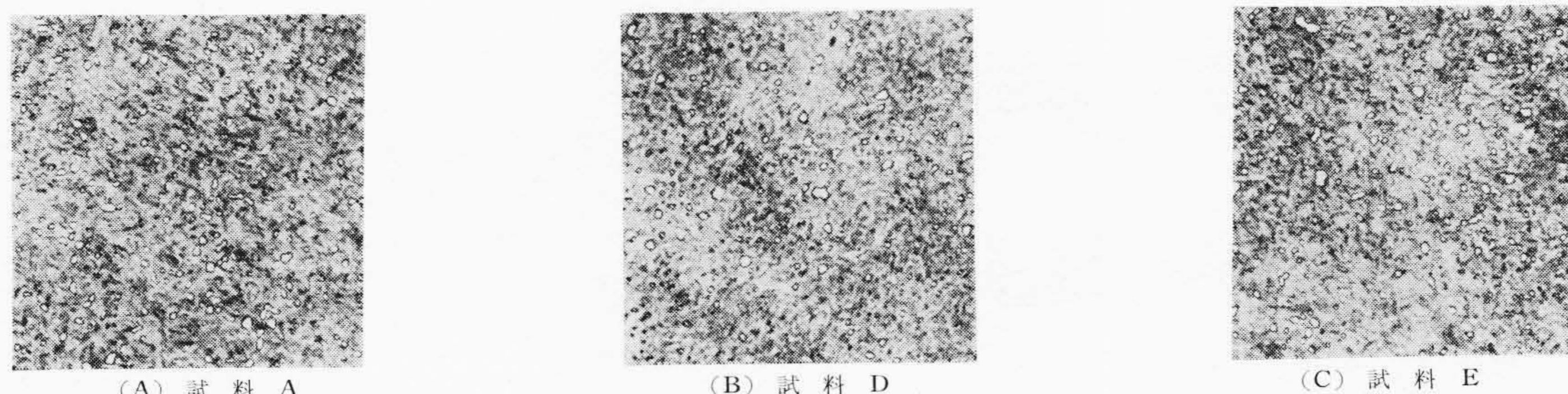
	焼入温度(°C)	焼入加熱保持時間 (min)				備考
		A	B	C	D	
水焼入	⑦ 750	—	5	10	15	20°C 水冷
	⑧ 775	2	5	10	—	
	⑨ 800	2	5	10	—	
油焼入	⑩ 800	2	5	10	—	60°C 油冷
	⑪ 850	2	5	10	—	

ぼす焼鈍法の影響を示したものである。各試料間の差は 150°C 焼戻の場合よりやや大きく特に A, B 両試料間で著しい。

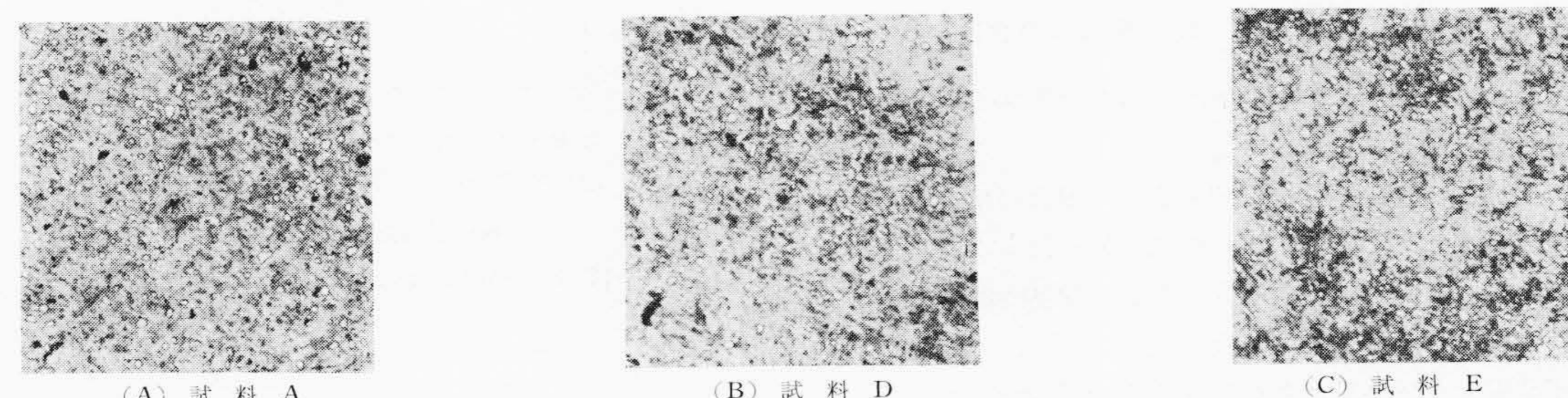
第 11~12 図はこの場合の吸収エネルギーおよび硬度と比例限に及ぼす焼鈍法の影響を示す。吸収エネルギーは A, B 両試料で著しい開きがあるが、これは焼戻硬度にやや差があり、さらに C 量の影響もあるものと考えられる。砂鉄配合量の影響は 150°C 焼戻の場合より明らかで、焼鈍法のいかんを問わず砂鉄系原鉄 100%, 50% およびくず鉄系の順に靱性が大である。また焼鈍法の影響も鋼種により異なるが、700°C 以下の焼鈍で靱性よく、900°C 焼鈍で低下するといえる。特に砂鉄系 50% の C, D 両試料でこの傾向が明らかに現われ、750~850°C では 150°C 焼戻の場合と同様に変りないか、むしろ増加する場合も認められる。これに対し硬度はくず鉄系の E, F 両試料がやや高く B が全般にやや低いほかはほとんど変りない。また比例限は多少の変化はあるが焼鈍法および鋼種間の明確な差異は認められない。なお 300°C 焼戻の場合は 150°C 焼戻の場合に比し全般的に 900°C 焼鈍を除く各焼鈍法における靱性への影響が平均してあまりないことが注目される。このことはオーステンパーその他のベイナイト処理は比較的に高温加熱処理であるにもかかわらず高靱性



第13図 750°C×2時間焼鈍後、750°C×10分水焼入、150°C焼戻を行った場合の顕微鏡組織(×420)



第14図 750°C×2時間焼鈍後、800°C×2分水焼入、150°C焼戻を行った場合の顕微鏡組織(×420)



第15図 750°C×2時間焼鈍後、800°C×5分油焼入、150°C焼戻を行った場合の顕微鏡組織(×420)

を付与するという事実と関連性を有するものと考えられる。これについては別に検討⁵⁾している。

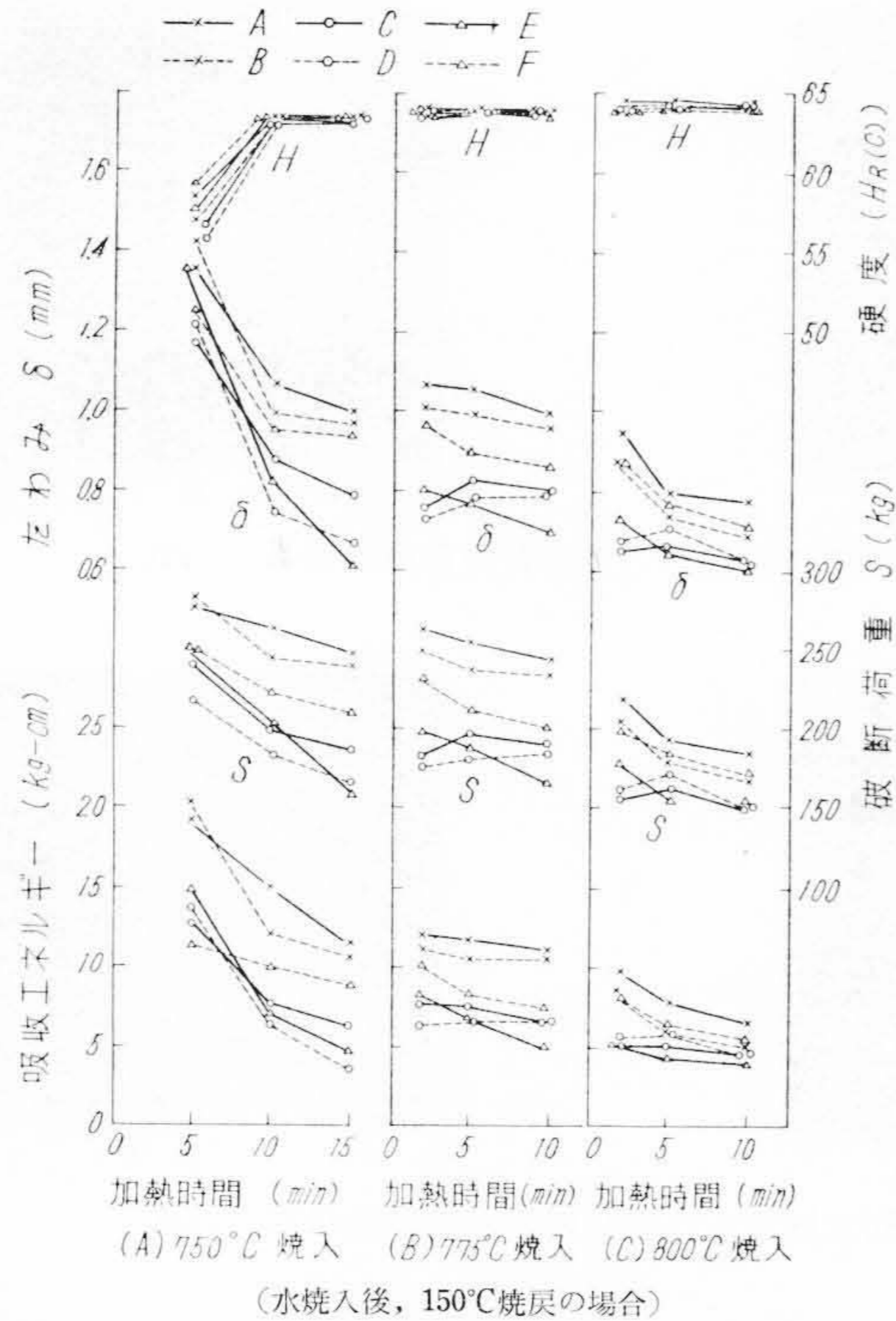
以上の実験結果より明らかに砂鉄系原料鉄の多い試料が靱性に富むことが認められたが、焼鈍法の影響はやはり最も球状化の良好なものほど靱性大であるといえる。素材の場合は各鋼種ともに最高の靱性を示したが、素材といっても前述のように700°C焼鈍の場合とともに本試験中ではもっともよい球状化組織である。またこれを焼入した場合も第7図に示したように最も良好な熱処理組織を示す。第7～8図では代表的な組織について示したが300°C焼戻の場合も光学顕微鏡組織の試料間の変化傾向は150°C焼戻の場合と変りない。900°C焼鈍の場合は結晶粒が最も成長しかつ粒界に初析セメンタイトを析出し、焼入組織にもこの履歴が残っており最低の靱性を示すのは当然であろう。ただ750～850°C焼鈍範囲ではあまり靱性が変わらず試料によってはかえって高温焼鈍のほ

うが靱性大なる傾向は前研究⁴⁾の場合も認められたが、その理由はやはり焼鈍組織中のセメンタイトの形状と分布および焼入法の関係にあると考えられる。

3.2 焼入法の影響

焼入法としては水冷、油冷に大別しさらにおのおの焼入温度および焼入加熱保持時間を変え計15種の方法をとった。焼鈍は前実験³⁾の場合すなわち750°C×2時間1種とした。これを第6表に示す。円内の数字およびアルファベットは試料マークである。焼戻は前実験と同様150および300°Cに各1時間加熱後空冷した。同一条件の試料数は全部各4本でその平均を求めた。

第13～15図はこの場合の代表的な顕微鏡組織で全般的な傾向としては焼入温度の高いほど、また焼入時間の長いほど残留セメンタイト量は減少し、かつその大きさを減ずる。また高温焼入では基地マルテンサイトがやや粗大化し、油焼入の場合は第15図のように焼入性のよい



第16図 靱性におよぼす焼入法の影響

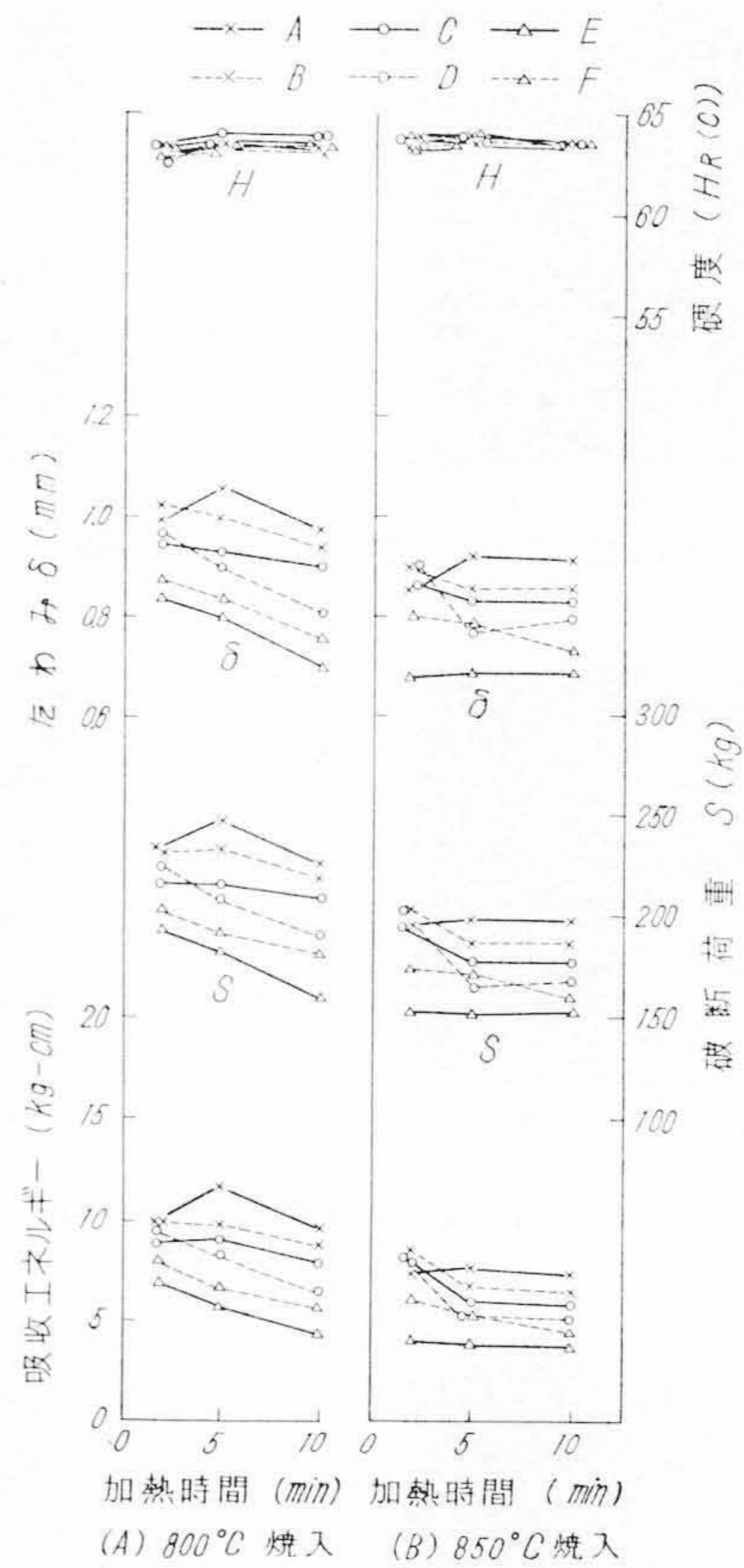
くず鉄系試料を除き僅少のトランスを発生するほかは鋼種間に明らかな差を認めがたい。

第16図は水焼入関係の150°C焼戻の場合の抗折試験結果を比較のため、同一スケールにまとめたものである。まず(A)は750°C焼入の場合であるが加熱時間5分では十分焼きがはいらず硬度が全部低く、このためたわみ、破断荷重および吸収エネルギーはみな大きくなっている。加熱時間10分以上で各試料はほぼ同一硬度となるが、吸収エネルギーそのほか15分の場合低下を示す。

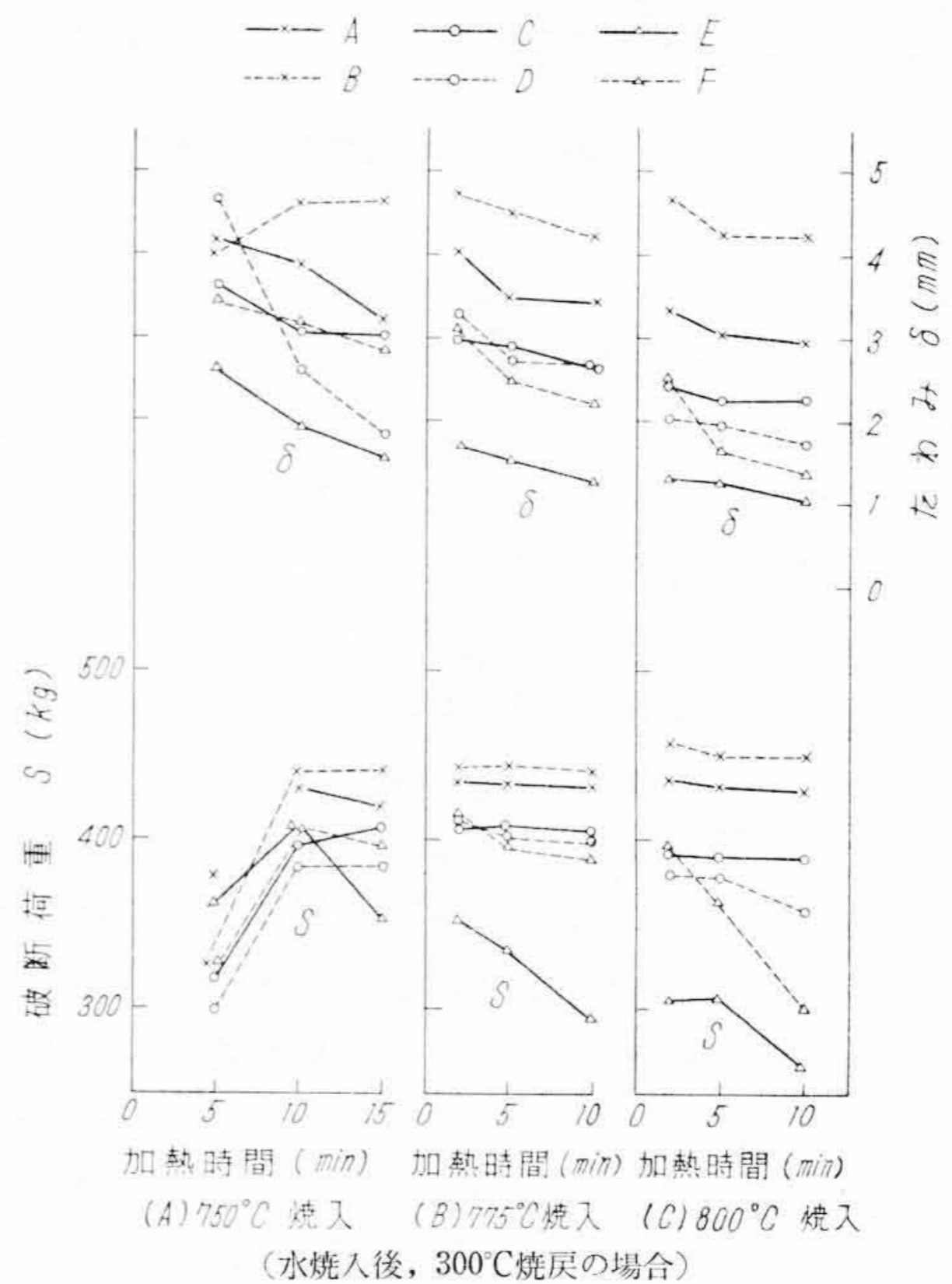
775°C焼入の場合は2分加熱で焼きが入り硬度差はほとんどないが、C、D両試料を除き各試料いずれも焼入加熱時間の短いほど明らかに靱性大なる傾向を示す。C、D両試料の場合も5分以上では同傾向となる。

800°C焼入の場合も靱性は全般に低下するが、その傾向は同様である。ただし2分と5分加熱の場合との開きは大きくなっている。いま各焼入温度の10分加熱について比較してみると、各試料ともに低温焼入の場合が靱性大なることは明らかである。また硬度は平均して焼入温度の高いほうが若干大きく、焼入組織とともに当然靱性を低下せしめるものと考えられる。しかし砂鉄系原料鉄配合量の影響は硬度変化に関係なく100%のA、B両試料は明らかに靱性大であることが認められる。

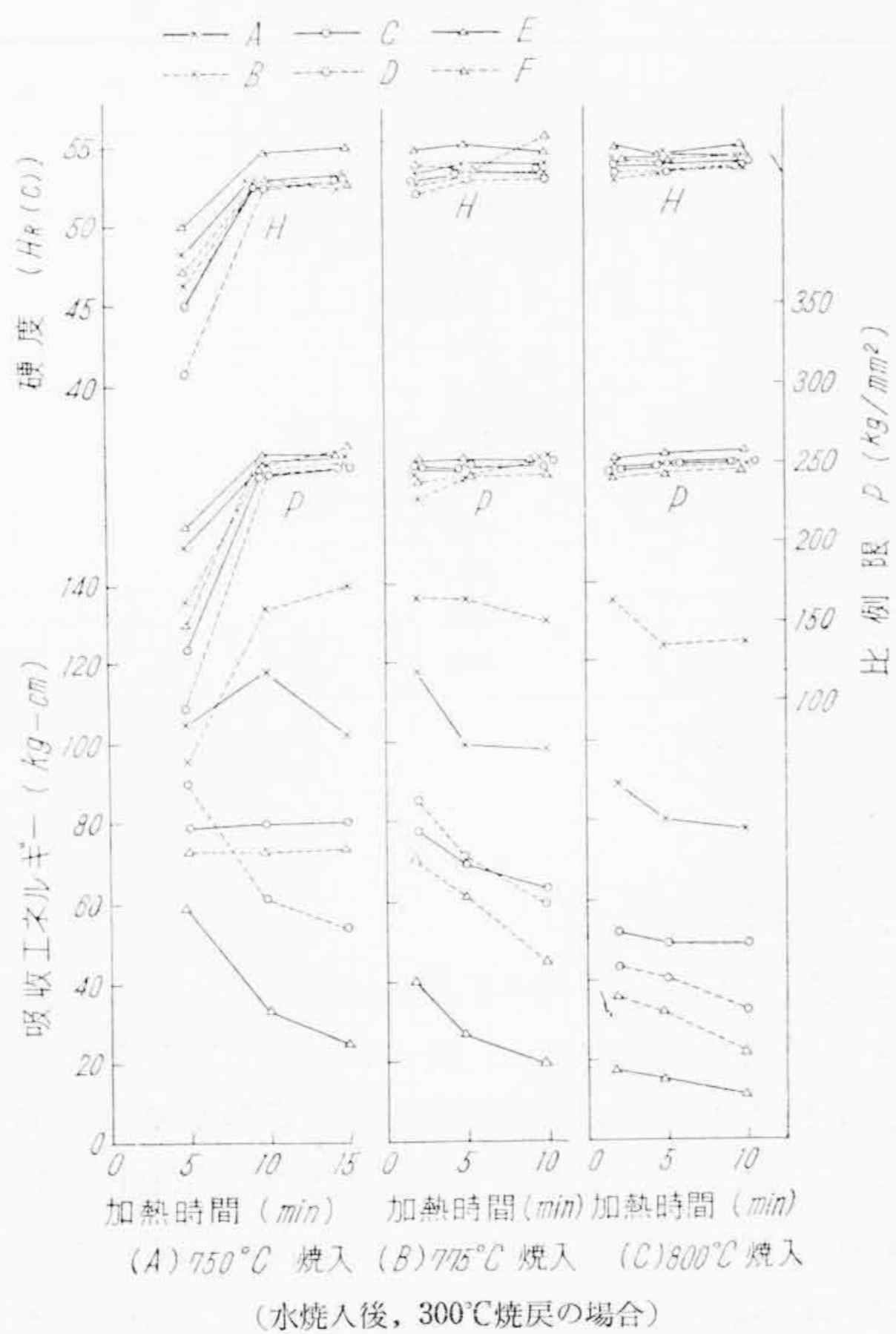
第17図は油焼入の場合で、800°C焼入ではA試料のみ5分加熱の場合に靱性が最高となるが、ほかは全部加熱時間の短いほど大体に靱性の大きなることがわかる。また



第17図 靱性におよぼす焼入法の影響



第18図 破断荷重およびたわみと焼入法との関係

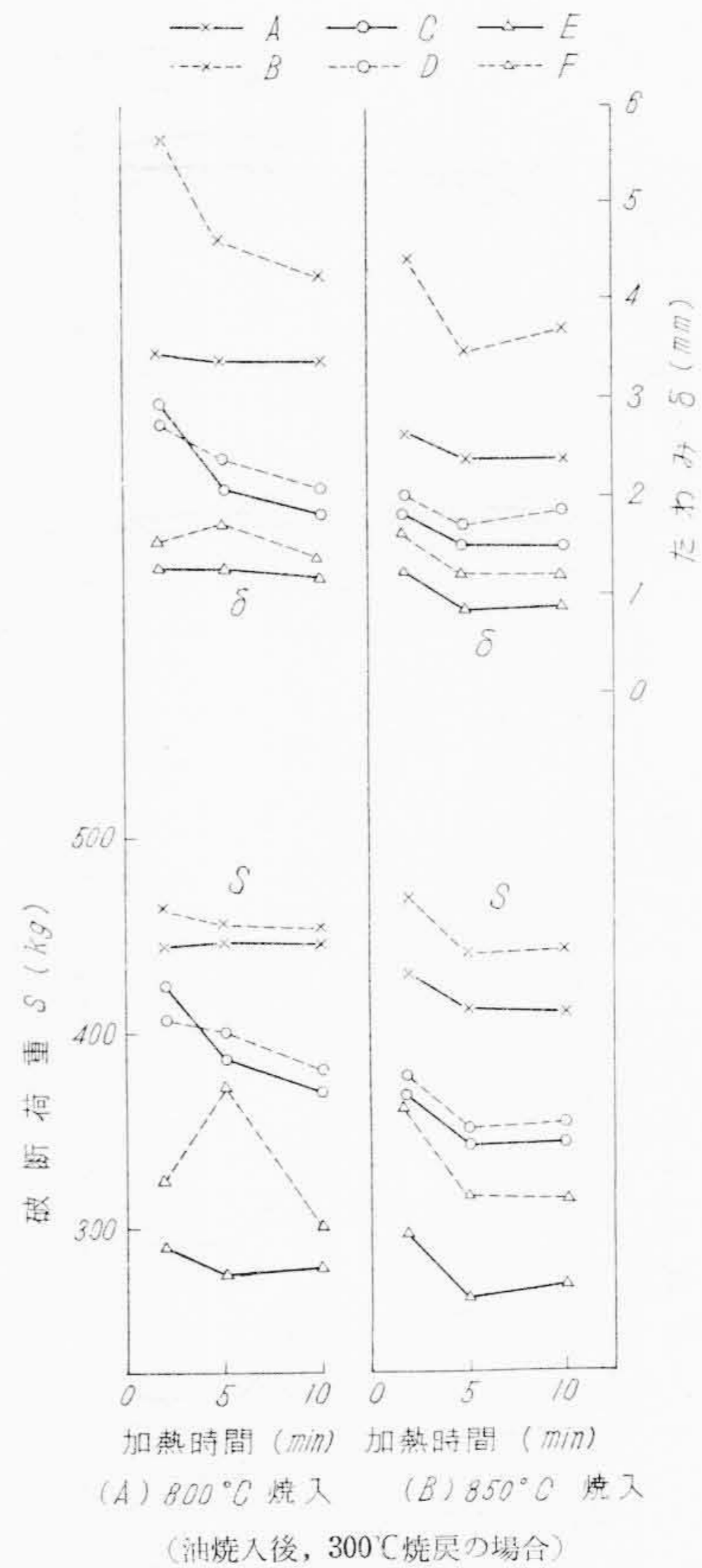


第19図 吸収エネルギー、比例限および硬度と焼入法との関係

この場合は800°C水焼入の場合と比較して硬度はやや低いが靱性は大きい。ただし水焼入で同一硬度の場合(たとえば750°C×10分水冷)と比較するとC, D試料を除き水焼入のほうが靱性大であることがわかる。

850°C焼入の場合は加熱時間の影響が少なくなり5分と10分ではほとんど変化が認められないといってよい。焼入温度はやはり低いほうが靱性大であり砂鉄系100%のA, B両試料は靱性が最も大きくC, D試料がこれにつき、E, F両試料は平均して最低値を示す。

第18図は水焼入後300°Cに焼もどした場合の破断荷重とたわみに及ぼす焼入法の影響を、また第19図は同じく硬度、比例限および吸収エネルギーと焼入法との関係を示したものである。第18図(A)の750°C×5分の場合には不完全焼入のためかなりばらつきを示したが、その他の場合は全般的にやはり砂鉄系100%のA, B両試料がたわみ、破断荷重ともに大であり、くず鉄系のE, Fがもっとも低いことが認められる。しかし第19図より知れるように焼戻硬度はくず鉄系のE, F両試料がもっとも高いから、この影響も当然あると考えられるが、後述の焼戻硬度と靱性の関係からわかるように、たとえこの程度の硬度差があっても砂鉄系100%のA, B両試料はもっとも吸収エネルギー大であり、50%のC, Dがこれに次ぎくず鉄系のE, F両試料は最低となる。また吸収エネルギーは焼入不完全の場合を除き、焼入加熱時間の短いほど、また

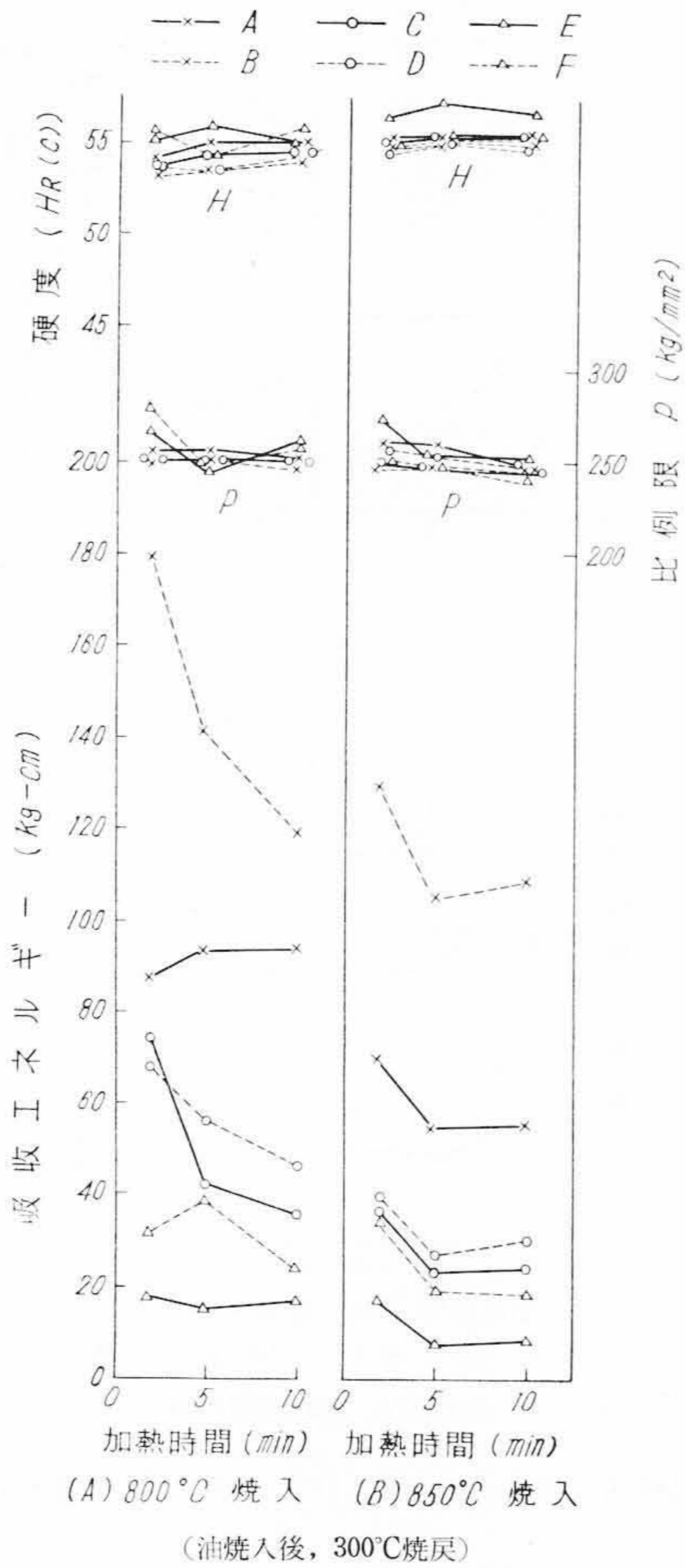


第20図 破断荷重およびたわみと焼入法との関係

焼入温度の低いほど大きいことが明らかである。比例限は各試料ともに約250 kg/mm²前後でありあまり差がない。

第20~21図は油焼入後、300°C焼戻した場合で800°C焼入の場合は焼戻硬度のばらつきが大で、各測定値も変化があるが、やはり焼入温度、加熱時間および砂鉄系原料鉄配合率の影響はこれまでの実験と同傾向である。850°C焼入の場合は十分焼きが入るため、各試料いずれも同傾向を示し、2分加熱焼入で靱性大であるが5~10分では変化がない。砂鉄配合率の靱性に及ぼす影響は水焼入の場合と同様に100%のものが格段にすぐれている。同一条件による水焼入の場合との差はあまりないといってよい。

以上焼入法の靱性に及ぼす影響としてはごく少数の場合を除けば、各試料ともに低温、短時間焼入の場合が最も靱性にすぐれており、また砂鉄系100%のものはすべての焼入条件のもとで最も良好な靱性を示した。砂鉄系配合率50%の試料は平均して150°C焼戻の場合にくず鉄系と大差は認められなかったが、300°C焼戻ではほとんどの場合明らかにくず鉄系のものよりも高い靱性を有



第21図 吸収エネルギー、比例限および硬度と焼入法との関係

し、くず鉄系のものは例外はあるが大部分の焼入条件で最低である。また砂鉄系100%のものはとくに熱処理条件による靱性の変化が大きく、ほかの試料はあまり変わらない。換言すればやはり砂鉄系100%の双物鋼は熱処理に対してほかのものより敏感であるということになる。

本実験結果で注意すべきことは、同鋼種でC量のやや異なるA、BおよびE、F両試料の靱性が300°C焼戻の場合、いずれもC量低いほうのBとF試料がほかより高いが、150°C焼戻の場合は逆にC量の多いA試料がすべての場合にB試料より靱性大で、またE試料で低温短時間焼入の場合、C量の低いFより靱性大なることである。この現象は焼入前の組織、焼入法および焼戻の後の組織に関係するものと思われるが、焼戻温度が比較的高く、とくに粘さを要求する鋸材などには従来からややC量の低い炭素工具鋼が用いられ、低温焼戻により得られる高硬度を利用するかな、かみそり類にはとくに高炭素工具鋼が用いられている事実と考えあわせると興味深いもの

第7表 焼戻条件と試料数

No.	焼戻温度 (°C)	試料数
①	焼入のまま	3
②	100	4
③	150	5
④	175	5
⑤	200	6
⑥	225	6
⑦	250	6
⑧	275	6
⑨	300	5
⑩	325	5
⑪	350	4
⑫	400	3

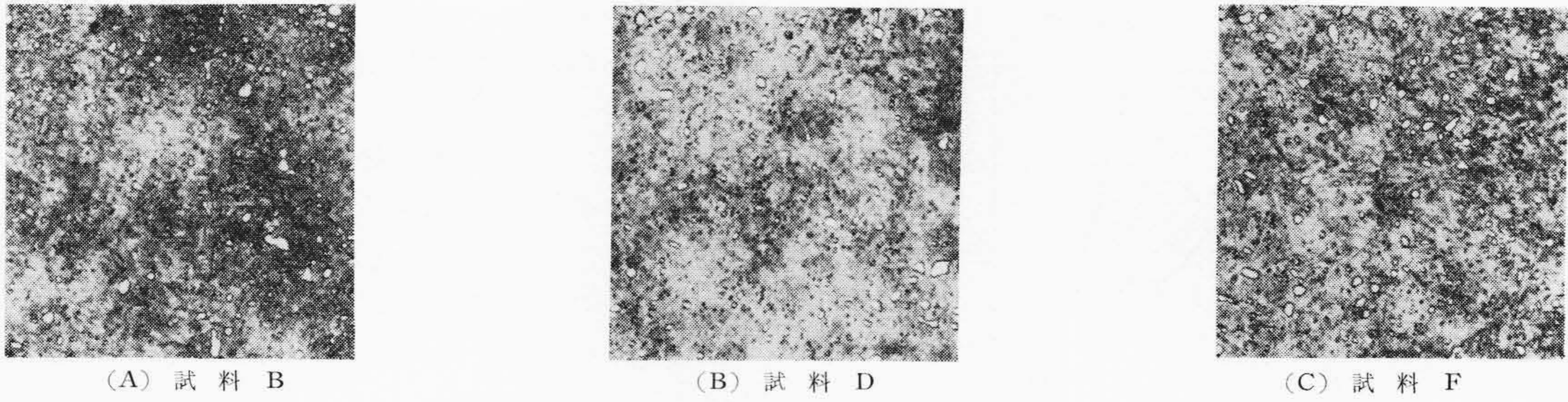
がある。

3.3 焼戻法の影響

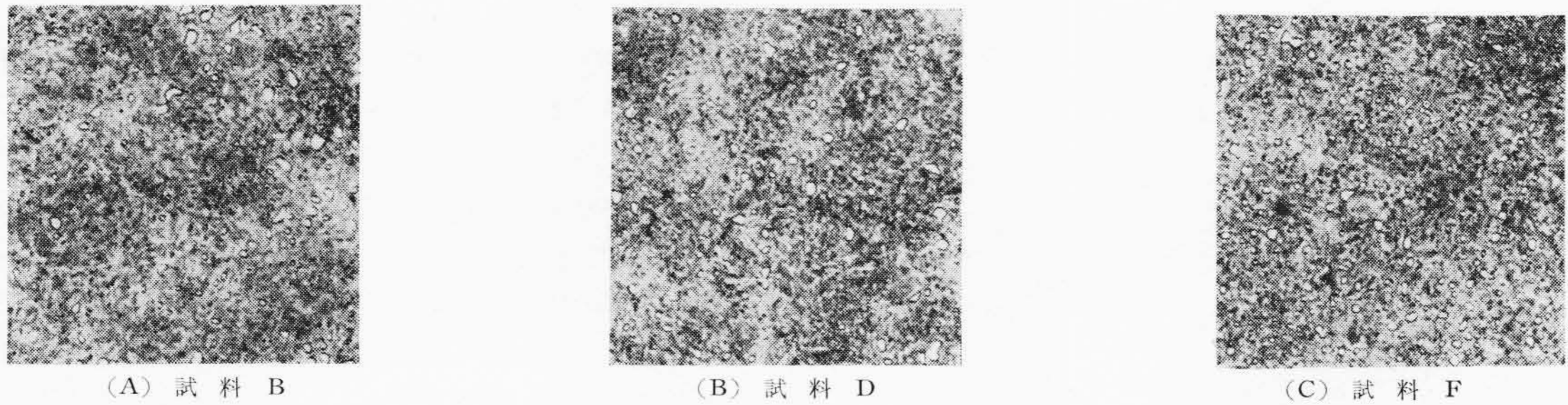
焼戻温度の靱性に及ぼす影響についてはかなり複雑な結果が予想される⁽⁴⁾ので、同一条件の試料数をふやしたが、試料の種類は素材の関係およびC量を考慮しB、DおよびFの3試料を用いた。焼鈍条件は750°C×1時間加熱後、100°C/hで650°Cまで冷却後ケースのまま空冷(前実験の場合と保持時間が異なる)した。焼入条件は十分焼きが入り試料間の硬度差の少ない775°C×5分、20°C水冷である。焼戻温度および同一条件の試料数を第7表に示す。250°C付近の試料数が多いのは、この焼戻温度前後で生ずる脆性によるばらつきを考慮したためである。焼鈍組織は前述の700および750°C焼鈍の中間のかなり良好な球状化組織であり、各鋼種間の差異も700°Cの場合と同傾向を示した。

各試料の熱処理後の組織は大差ないが、くず鉄系のF試料の残留セメントイト粒はやや小さく分布数がわずかに多い傾向がある。焼戻温度が上昇すると基地組織が変化し微小析出物が発生してくるが上記炭化物の挙動は変りない。第22~23図はその代表的な例を示したものである。

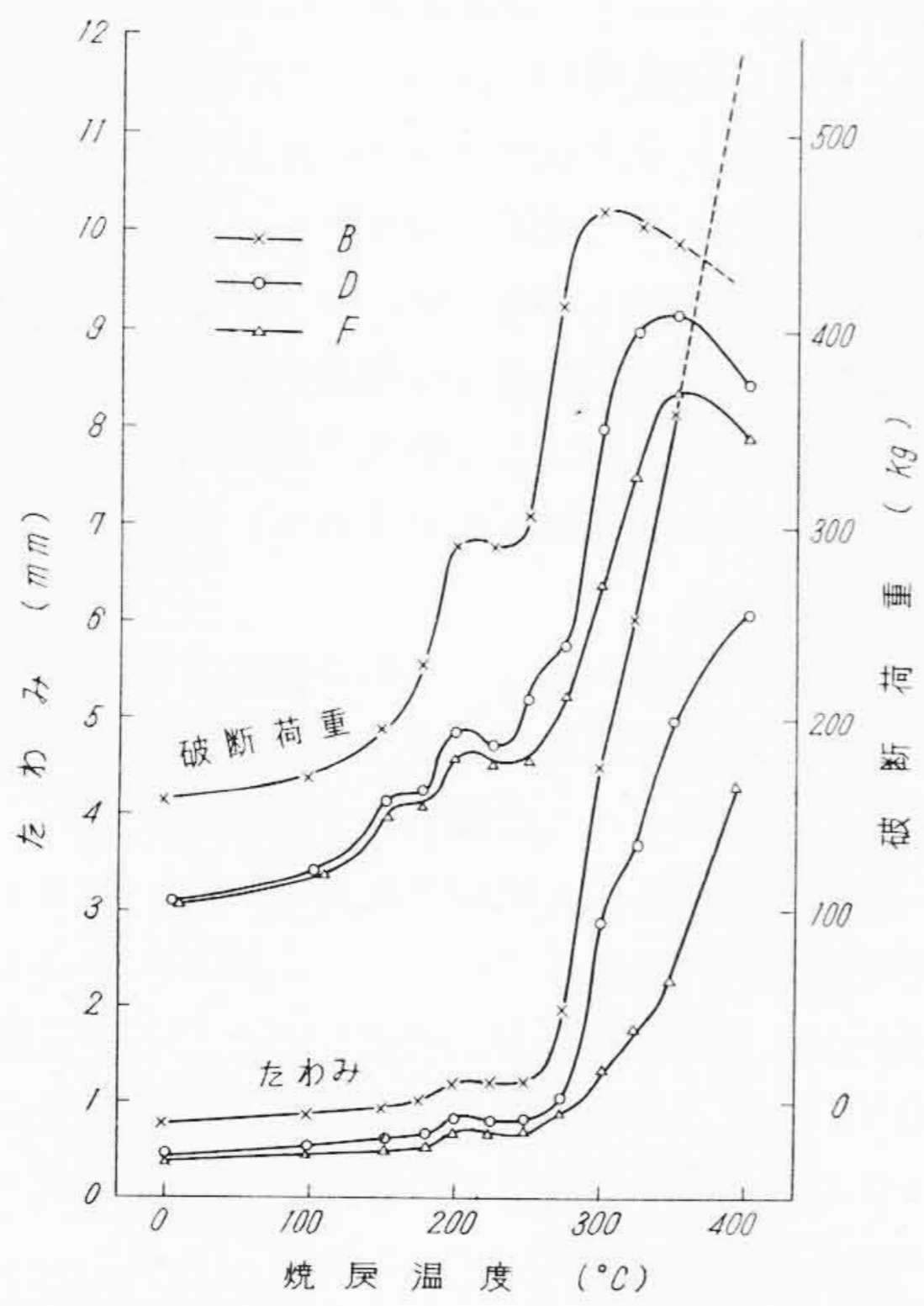
第24図はその抗折試験結果で破断荷重およびたわみと焼戻温度との関係を示し、第25図は同様、硬度、比例限および破断に至るまでの吸収エネルギーと焼戻温度との関係を示したものである。すなわち、各試料ともに100°C焼戻でマルテンサイト中よりε相と低炭素マルテンサイトを生成し硬度をわずかに増加するが⁽⁶⁾、破断荷重、たわみともにやや増大した吸収エネルギーも当然増加する。これ以上200°Cまでは硬度低下にともない、いずれも靱性を増大するがDとFは170°C付近に遅延現象が認められる。さらに焼戻温度を上昇すると各試料ともに225°C付近で脆性が生ずるが、B試料は最もその程度が少なくD試料がこれにつき250°Cでふたたび靱性を増すのに対し、くず鉄系の試料は275°Cになって靱性を回復



第22図 750°C×1時間焼鈍後、775°C×5分水焼入を行った場合の顕微鏡組織(×420)

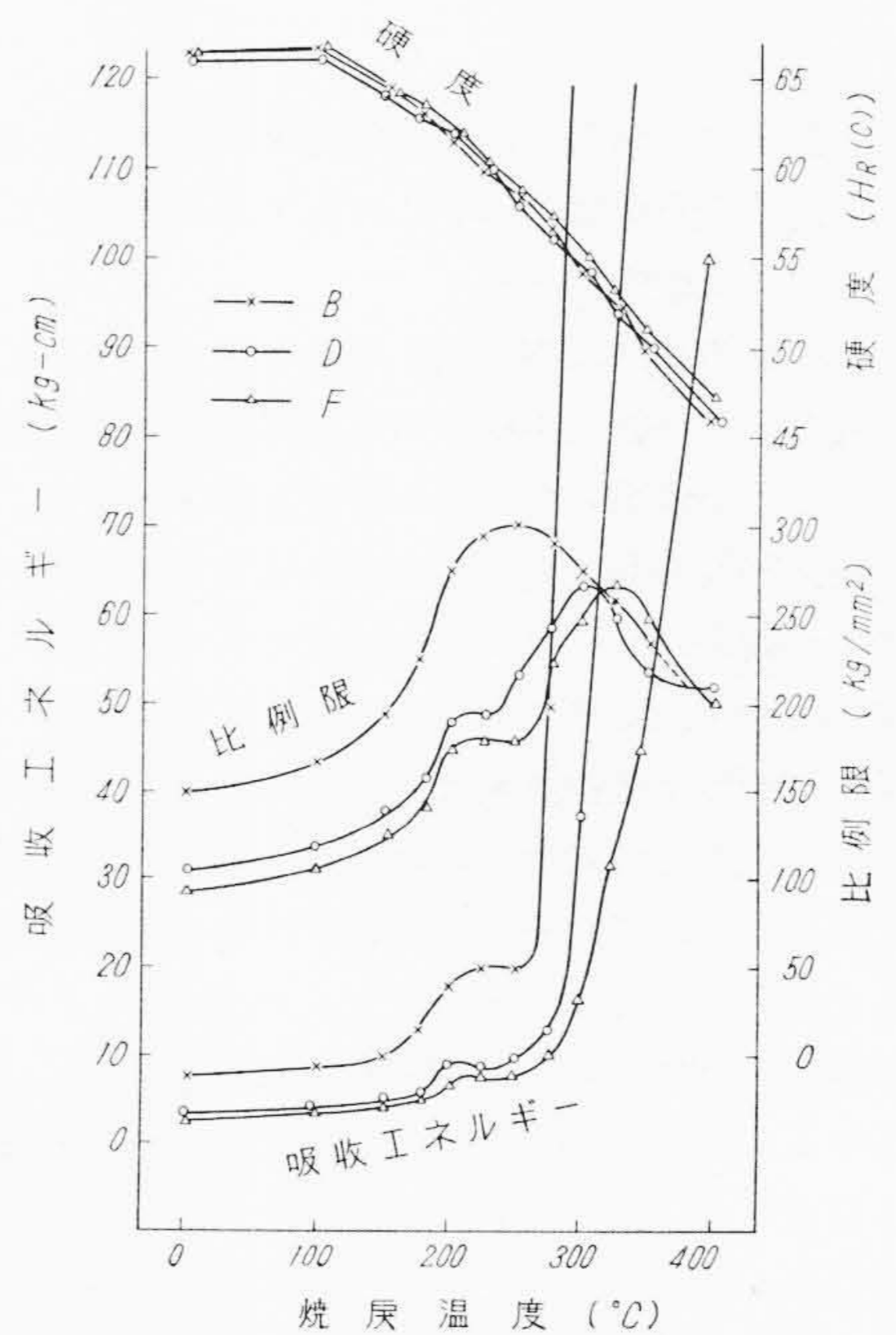


第23図 750°C×1時間焼鈍後、775°C×5分水焼入、焼戻を行った場合の顕微鏡組織(×420)



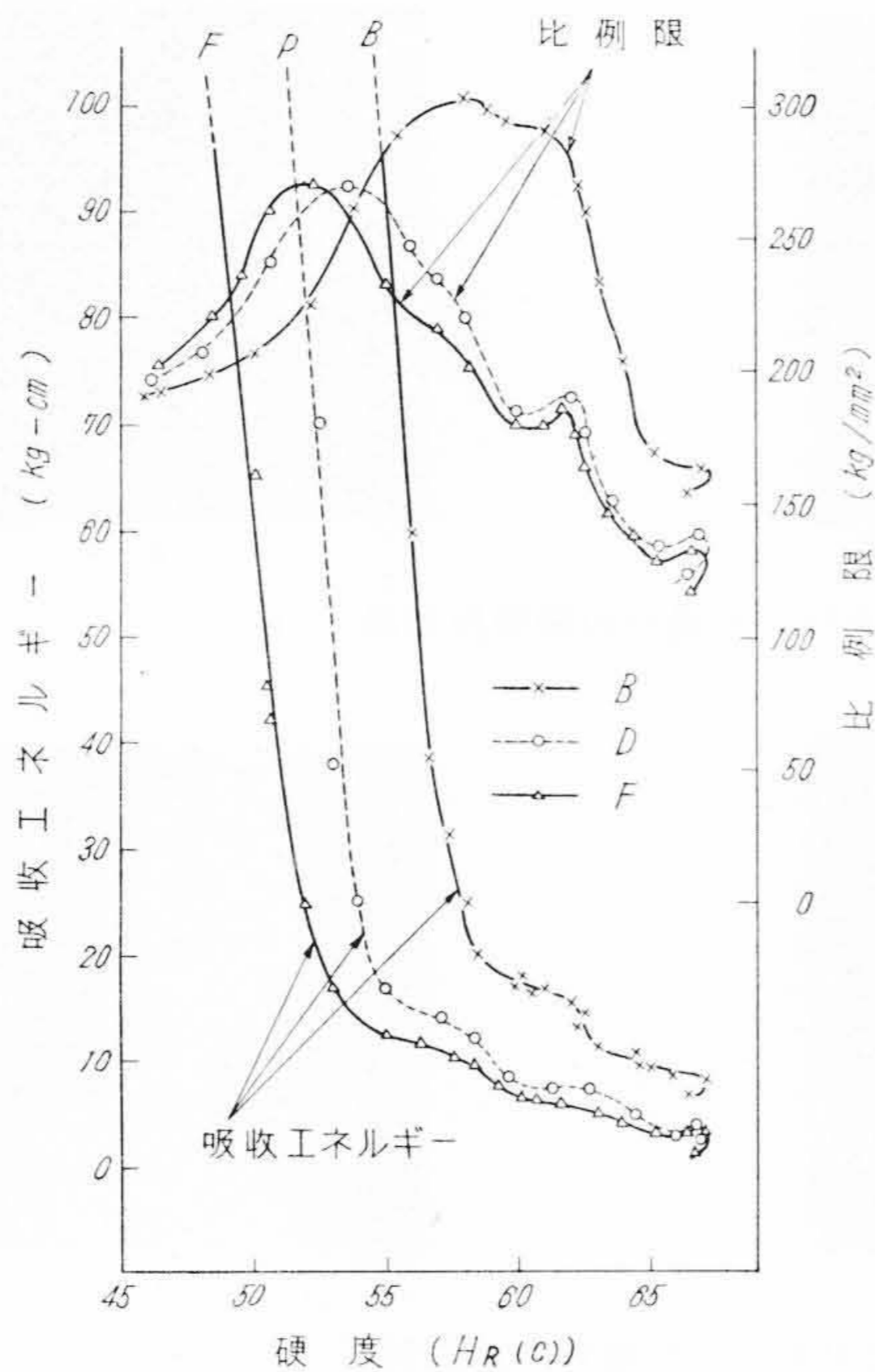
第24図 破断荷重およびたわみと焼戻温度との関係

する。この脆性点は硬度の軟化が一時停帯の傾向にある点でもあり、オーステナイトの分解や、いわゆる α 相の生成するといわれる温度⁽⁶⁾にあたる。さらに焼戻温度が昇ると各試料はいずれも破断荷重が極限に達し、それ以上温度が昇るとかえって低下する。その極限值に達する焼戻温度は砂鉄系100%のB試料が最も低く300°Cであ



第25図 吸収エネルギー比例限および硬度と焼戻温度との関係

る。またB試料のみは350°C焼戻ですでに試料の半数しか破断せず、400°C焼戻では変形して全然破断しない。これに対してほとんど同硬度を示す砂鉄系50%のD試料は破断荷重の極限值温度が多少高温側へずれ、約340°Cであり400°C焼戻試料の中で2本は破断しなかつ



第26図 吸収エネルギーおよび比例限と硬度との関係

た。くず鉄系のF試料は焼戻軟化抵抗のやや大なる傾向があり上述の極限值は約350°Cにあり、また400°C焼戻の場合も簡単に破断しうる。

焼戻の場合の靱性は第25図の吸収エネルギーにより代表されるが、砂鉄系100%のB試料は各焼戻温度全般にわたってくず鉄系の約3倍の靱性を有することがわかる。砂鉄系50%のD試料は前実験の場合と同様に低温焼戻ではくず鉄系のFよりやや靱性大であるが、300°C以上の焼戻では明らかにF試料よりすぐれている。

つぎに比例限は抗折試験における応力-ひずみ線図が直線状すなわち弾性変形内に破断する間は破断荷重と同じ量でかつ同傾向になるが、曲線状すなわち塑性変形的になると低下してくる。そのピークは試料により異なり、砂鉄系100%のものは約250°Cで最も大きく、砂鉄系50%のものは約300°Cでくず鉄系の330°Cの場合と同等の強さを有する。これらのピーク以下の焼戻試料の比例限は弾性限および降伏点とほとんど同意語とみてよい。要するに砂鉄系100%の双物鋼は焼戻温度が少々低くても弾性限が高くかつ粘り性質を有するといえる。さらに注目されるのは砂鉄系100%の場合は230°C付近の脆性点以外は破断荷重、たわみおよび吸収エネルギーあるいは比例限がいずれも焼戻温度の上昇するにしたがい一見してスムーズに増加し、また比例限の場合は約250°C以上で低下を示すが、砂鉄系50%およびくず鉄系の場合は2~3箇所の焼戻温度で脆性そのほかの遅滞現象がみら

れる点である。

第26図は以上の諸変化が同一硬度の場合に原料鉄配合率とどのような関係を有するかを検討するために作製したものであり、等硬度の靱性も比較できる。すなわち各曲線の右端の変化は従来いわれていた α マルテンサイト $\rightarrow\beta$ マルテンサイトの変化(既述の α' より α と α の混合物を生成する変化⁽⁶⁾⁽⁷⁾)に相当する。そのほかの曲線上の変化は第25図の場合とほぼ対称的になっているが、脆性および比例限の変化はかなり明らかである。いま硬度変化に対し比例的な変化をともしない現象を硬度からみると、比例限、吸収エネルギーの両者を通じて約HRc 65~66、約64、約60付近および各試料の比例限の極限值に相当する各吸収エネルギー変化となる。これらの曲線は焼戻温度に関係なくすべての硬度に対応する各測定値の平均値を結んだものであるから、簡単に相変化と関連して理論づけするわけにはいかない。ただ砂鉄系原料鉄配合率の等硬度に対する靱性への影響はきわめて明らかである。すなわち砂鉄系100%配合試料は焼戻硬度が同一でもほかの原料を配合したものよりすべての硬度範囲にわたり靱性が格段に大きい。また砂鉄系50%の場合は全く鉄系のものに比し、HRc 60まででは大差を認めないが、これ以下の硬度範囲では明らかに靱性が大である。さらに砂鉄系100%のものの比例限はHRc 60付近に軽度の脆性を示す以外はHRc 54以上の硬度ではすべてほかのものより比例限(弾性限)が格段に大きい。砂鉄系50%の比例限はHRc 53以上でややくず鉄系にまさるが全般的にはくず鉄系と同傾向の脆性的な変化を示している。以上の焼戻による靱性の諸変化は当然、組織的な相変化と密接な関連性を有するが、かなり複雑であり今回は省略する。

なお砂鉄系原料鉄からつくられる鋼のすぐれている理由については別途に鋭意研究中であるが、これを要約すると第1に原材料としての砂鉄に不純物が少ないこと、第2に製鉄法そのものも低温木炭還元を行いガスそのほかの不純物の混入を防いでいること、第3に十分よく精錬されかつその特長を失わしめないこと、(この点原料砂鉄中のV、Tiなどの清浄作用が考えられる。)第4に前記1、2、3の条件下に製造された鋼中に固溶するガスそのほかの微量不純物が少ないことがあげられる。とくに不純物中のS、As、Snなどは窒素とともに微量でも靱性を低下せしめることは筆者らの研究により明らかとなっている。これらガスを含めて不純元素の少ないことは基地鉄の純度を高め、元素の拡散速度を大にする。すなわち変態を促進し、場合によっては焼入性を減じ、あるいはセメントの球状化を容易ならしめる。すなわち適正な熱処理を施すことにより十分硬度高く、しかもきわめて靱性大なる性質を付与し、切味のすぐれた工具や双物

鋼となるものと考えられる。以上の本質的な研究の詳細については機会をえてまた報告したい。

4. 結 言

抗折試験により双物鋼の靱性に及ぼす砂鉄系原料鉄配合率の影響を明らかにしえた。以上の実験結果を要約するとつぎのとおりである。

- (1) 砂鉄系原料鉄 100% の双物鋼はほかのものより容易に球状化するが、これを焼入れる場合は変態の生起状況(共析変態)の差のため、低温短時間加熱ではほかのものより焼きが入りがたい傾向を有する。
- (2) 焼鈍法としては良好な球状パーライトをうるような低温焼鈍が靱性を増大する。砂鉄系 100% の場合はとくにこの傾向が強いが、ほかの焼鈍法でも全般的に最も大なる靱性を有する。砂鉄系 50% では低温焼鈍の場合ややくず鉄系にまさるが、焼戻温度の高い場合は明らかにくず鉄系より靱性大である。
- (3) 低温、短時間加熱焼入はすべての場合に靱性を増大せしめる。砂鉄系 100% のものはあらゆる焼入法において靱性が最も高く、砂鉄系 50% のものは油焼入および高温焼もどした場合はくず鉄系のものよりまさっているが、ほかの場合は同等である。
- (4) 焼戻温度の影響は 230~250°C の脆性を除き温

度の高いほど靱性を増加する。砂鉄系 100% の場合は焼戻温度全域にわたりくず鉄系のもの約 3 倍の靱性を示し、HRc 54 以上では最高の比例限(弾性限)を有する。砂鉄系 50% の場合も 300°C までの焼戻でややくず鉄系にまさり、これ以上の焼戻温度では明らかにくず鉄系より靱性大である。比例限は HRc 53~58 でくず鉄系より明らかに高い。

(5) 砂鉄系 100% の双物鋼は総括的に熱処理全般に対し感受性が大で、靱性はほかの原料で造られたものより格段にすぐれていることが認められた。

最後に本研究を行うにあたり試料素材の製作に対し便宜を計られた日立金属工業株式会社安来工場吉村主任、実験に協力された塩谷所員および試験機使用に協力された河上検査員に感謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- (1) S. Koshiba, M. Kikuta: Hitachi Review, Feb. 107 (1954)
- (2) 小柴, 田中: 日本金属学会誌 A 15 367 (1951)
B 15 531 (1951)
- (3) 小柴, 菊田: 日立評論 別冊 No. 11, 27 (1955)
- (4) 小柴, 菊田: 日立評論 別冊 No. 24, 21 (1958)
- (5) 菊田, 守谷: 安来研報 No. 1121 (1959)
- (6) 西山: 日本金属学会誌 A15 No. 11, 12, 422 (1951)
- (7) M. Okada: Some Fundamental Researches in Welding Metallurgy of Steel (1955)

製 品 紹 介

日新製鋼株式会社納 記録的大形鍛鋼焼入ロール完成

日立製作所水戸工場では仕上重量 7,650 kg, 胴径 762 mm, 胴長 1,473 mm, 全長 3,848 mm, 胴部硬度ショア 95 以上, 軸部硬度ショア 45 以上という、鍛鋼焼入ロールとしてはわが国最大の記録的な冷間圧延機用スキンパスロール 2 セット 4 本を完成、このほど日新製鋼株式会社南陽工場に納入した。

圧延機はイギリス Lowy 社製の 2 重式スキンパスミルで、さきに日立製作所日立工場が納入したセンジミヤ圧延機で圧延されたステンレスを調質圧延するロールとして使用されるものである。このロールの製作に当っては質量がきわめて大きいので所要の高硬度と硬化層を十分に付与させるため、強烈な焼入を行う必要があり、特に立形電気炉を製作し、独特の焼入装置によって行い所期

の目的を十分に達することができた。

このロールは大形鍛鋼焼入ロールとしても記録的なものであるが、真空鑄造によるロールとしても意義ある製品として業界の注目をあびている。

