

熊本大学

本田忠敏

(目的) もともと、焼結鉄の機械的性質は一義的に内在する気孔によつて、内部切欠として影響を受けるから、焼結鉄の気孔を適当な方法で充填すれば、強度低下の要因を低減できる。適当な低融点を有する金属で焼結鉄中の気孔を充填する方法が溶浸法である。一般に、鉄系焼結材料の強度改善の一方法として、以前から銅溶浸法が工業的にも広く用いられている。

銅溶浸焼結鉄では、液相銅が気孔を充填すると同時に、溶浸時間の経過とともに、鉄-銅相間に合金相が急速に形成される。銅溶浸焼結鉄の強度と密接に結びつく気孔充填割合と合金相比は、溶浸時間および溶浸率によつて異なり、それによつて由来する未溶浸気孔や基地硬さが、これら材料の内部切欠効果にも影響を与えると考えられるので、これら相互の関連性と銅溶浸焼結鉄の疲労強さについて検討した。

(実験方法) 原料鉄粉は電解粉碎粉(マイロンPM250, -100 mesh), ヘガネス鉱石還元粉(NC100・24, -100 mesh)を用いて鉄骨格を, また、溶浸用銅板は日本鉱業製銅粉(-325 mesh)を用いてそれぞれ作製した。鉄骨格は焼結密度が $6.51 \pm 0.04 \text{ Mg/m}^3$ になるように粉末量を調整して、Fig. 1(a)に示す寸法形状の押型を用い、加圧成形した。焼結は $1473 \text{ K} \times 1 \text{ hr}$ 水素中で行なつた。溶浸法は下置き法¹⁾により水素雰囲気で行なつた。加熱温度は 1403 K , 溶浸時間は0, 30および 120 min (以後、0, 30および 120 min 材と呼称する。)とした。比較のため、鉄と相互固溶しない溶浸可能な銀を用い、同様な方法で溶浸し、試料を作製した。基地硬さを変えるため、 30 min 材について、溶浸後 $1323 \text{ K} \times 1 \text{ hr}$ 水焼入れし、これを $773 \text{ K} \times 10 \text{ min}$ 時効処理した。疲労試験片は平滑材と切欠材(切欠係数 $\alpha_k = 1.83$)を作製し、溶浸後の肌荒れと若干の湾曲を矯正するため平面研削と切欠きの機械加工をそれぞれ施した後、 $873 \text{ K} \times 1 \text{ hr}$ ひずみ取り焼なましを行なつた。疲労試験は島津製万能疲れ試験機(UF-100)を用い、繰返し速度 1000 c/min で行ない、S-N曲線を求めた。疲労き裂発生および伝播は、所定の応力を負荷し、各サイクル毎に試験機より取りはずして、顕微鏡観察した。また、破面解析には走査顕微鏡を用いた。硬さ測定にはピッカース硬度計を用い、5回計測してその平均値で示した。鉄・銅および銀基地中の濃度分布をEPMAによる線分析で測定した。引張り試験は疲労試験片から機械加工により作製した試験片(Fig. 1(c))を用い、インストロン型試験機で、引張り速度 $83 \mu\text{m/sec}$ にて引張つた。

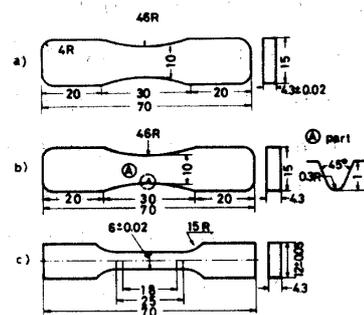


Fig.1 Dimension of tensile and fatigue specimens used.

- a) Fatigue : Smooth
b) Fatigue : Notch
c) Tensile

5回計測してその平均値で示した。鉄・銅および銀基地中の濃度分布をEPMAによる線分析で測定した。引張り試験は疲労試験片から機械加工により作製した試験片(Fig. 1(c))を用い、インストロン型試験機で、引張り速度 $83 \mu\text{m/sec}$ にて引張つた。

(結果) 銅溶浸焼結鉄の組織は、溶浸時間の経過とともに変化するので、銅および鉄基

地の濃度分布をEPMAで分析した結果が、Photo. 1である。比較のため、銀溶浸した場合も併記した。この図からも明らかなように、銅相中の鉄の固溶量は溶浸時間に関係なく、約4wt%であり、一方鉄中の銅の固溶量は0min材の場合、痕跡程度であるのに反し

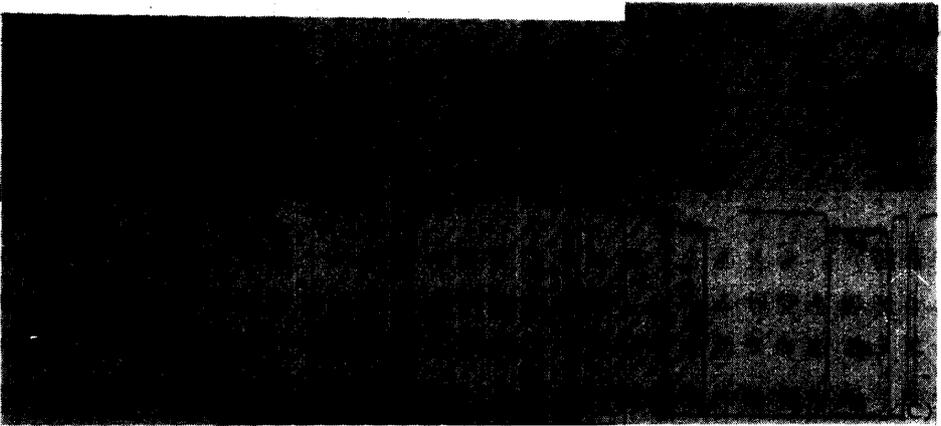


Photo.1 Line profile patterns of the EPMA from sintered irons, infiltrated with Cu (A, B) and Ag (C).
 A) Infiltrating time : 0 min, B) Infiltrating time : 120 min, C) Infiltrating time : 60 min.

て、120min材では、鉄-銅境界の鉄側約20 μ mの領域で約8wt%固溶している。このことは銅富化相が形成されていることを示唆している。また、銀溶浸の場合、鉄相および銀相どちらにも相互固溶がみられない。このような組成を有する銅溶浸焼結鉄の疲労強さに及ぼす溶浸時間の影響をみたのが、Fig. 2である。銅が気孔を充填したと考えられる0min材の疲労強さは、鉄骨格(疲労限69.6MPa)の約2倍、30min材は約2.4倍、120min材では約2.6倍となる。この強度増加は、Photo. 1からも明らかなように、気孔充填効果に加えて、合金相形成によるものである。確かに、液相銅によつて残留気孔が充填されることで、その疲労限は向上するが、0min材といえども、若干の固溶強化が気孔充填効果と重畳していることが考えられるので、気孔充填の程度と疲労強さとの関連性を検討した。Fig. 3は銀溶浸材(溶浸率90%)と溶浸率を50および62%

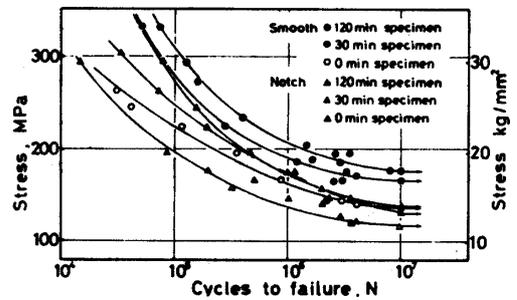


Fig. 2 Effect of infiltrating time on smooth and notch specimens of Cu-infiltrated sintered irons.

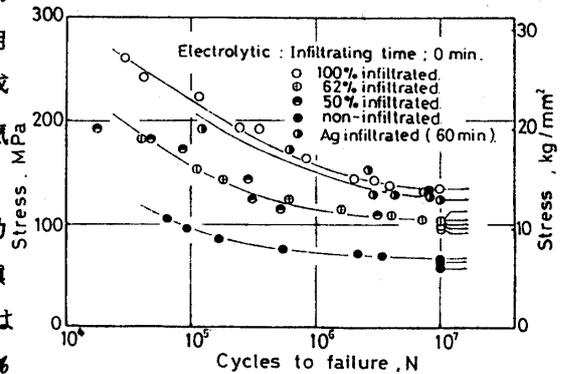


Fig. 3 S-N curves of non-, 50, 62 and 100% Cu-infiltrated sintered irons.

と変え試料のS-N曲線である。溶浸率50%材の疲労限は、鉄骨格(未溶浸材)に比べて、その約1.6倍で、溶浸率100%材は約2倍となる。また銀溶浸材では、約1.8倍となる。結晶粒度依存性は若干あるが、溶製純鉄材料の回転曲げ疲労強さの値⁽²⁾と比較して、溶浸100%材および銀溶浸材の疲労強さは、気孔充填効果のみの値と推定できる。焼結鉄中の気孔が充填される度合で、その疲労強さが大きく変化することがわかったが、鉄系焼結材の原料粉として用いられる鉄粉には、その製造方法により鉍石還元粉のように、もともと非金属介在物を含むものがある。そこで、鉍石還元粉を電解粉に30, 50, および100wt%添加した

試料の疲労強さも求めた。この時の試料の清浄度は 0.01, 0.32, 0.96 および 1.66% であつた。また、銅は鉄中の拡散速度も遅く、冷却過程で容易に遅滞させることから、 α -Fe 中で独自の析出挙動を示して硬化することが知られている⁽³⁾ ので、時効処理することで、基地硬さを変えた試料の疲労強さも求めた。

これらの種々の溶浸材の引張り強さおよび疲労強さをまとめて表示したのが Table. 1 である。

溶浸時間が長くなると、引張り強さおよび疲労強さともに増加し、外部切欠効果も大となる。溶浸率が低下すると、引張り強さおよび疲労強さは低下し、外部切欠効果も小さくなる。非金属介在物を含む鉍石還元粉は電解粉のそれに比して、やゝ大なる値を示す。これは、介在物粒子径が小さく、かつ、分散状態もほぼ均一で、介在物と鉄基地の密着性も良く、加えて、Ti などの微量元素による固溶強化が効いているものと考えられる。基地硬さを変えた時効処理材の強度は大きく、外部切欠効果が小さい結果を得た。

一般に硬さと疲労強さとの間には直線関係が成立する⁽⁴⁾ ので、各試料の硬さと平滑材の疲労限との関係をプロットしたのが Fig. 4 である。多少のパラッキはあるが、ほぼ直線関係が得られた。本実験の試料は鉄相、銅相および合金相の 3 相よりなる焼結合金であるので、この場合、従来の硬さと疲労限との関係から得られている実験式⁽⁵⁾ を用いるには難点はあるが、便宜上適用して、硬さから求められる疲労強さを基地組織のみの疲労強さとして推算し、これら試料の推定内部切欠係数を求めて表示したのが Table. 2 である。銅溶浸された気孔の推定内部切欠係数は基地硬さが硬くなると大きくなり、硬さが低いと小さい傾向を示している。未溶浸の気孔を有する試料では内部切欠感受性は著しく大きいことがわかつた。

(文献)

- (1) 黒木, 古賀, 徳永: 粉体および粉末冶金, 20, (1973) p 71.
- (2) 清家, 北岡, 今飯田: 日本機械学会論文集, 38 (1972) p 1707.
- (3) E. Hornbogen: "Precipitation from Iron-Base Alloys.", (1963) p 1, Gordon and Breach Science Publishers.
- (4) 中沢: 鉄と鋼, 66 (1980) p 717.
- (5) 西岡: 日本機械学会第 16 回シンポジウム "疲労強度" 講演論文集 790-9 (1979), p 61.

Table.1 Mechanical properties of Cu-infiltrated sintered irons.

	Density (kg/cm ³)	Tensile strength (MPa)		Smooth		Notch		Strength reduction factor, K	Flow stress (MPa)
		σ_{wc}	σ_{ws}	lim	lim	lim	lim		
Electrolytic 0 min	7.94	312.8	137.3	0.44	117.7	0.37	1.17	155	
Electrolytic 30 min	8.02	424.6	167.7	0.40	131.4	0.31	1.28	195	
Electrolytic 120 min	8.07	442.3	181.4	0.41	137.3	0.31	1.32	200	
Aging - E 30 min	8.03	545.3	211.8	0.39	201.0	0.37	1.05	250	
Electrolytic 50% 0 min	7.37	227.5	107.9	0.47	93.2	0.41	1.16	127	
Reduced ore 30 min	7.90	489.4	171.6	0.35	125.5	0.28	1.37	196	
E - 30% R 30 min	7.97	461.9	147.1	0.32	117.7	0.28	1.25	158	
E - 50% R 30 min	7.99	416.8	160.8	0.39	—	—	—	147	
Ag-infiltrated 60 min	8.20	240.3	128.5	0.53	—	—	—	122	

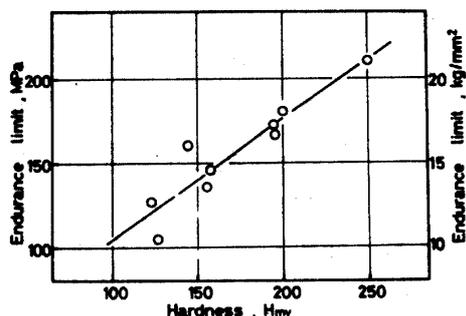


Fig.4 Relation between hardness and endurance limit of Cu-infiltrated sintered irons.

ので、各試料の硬さと平滑材の疲労限との関係をプロットしたのが Fig. 4 である。多少のパラッキはあるが、ほぼ直線関係が得られた。

Table.2 Relation between internal and external notch factors.

Specimen	Hmv	β_{wc} (MPa)	β_{ws} (MPa)	β_{wn} (MPa)	β_p	β_k
Electrolytic 0 min	155	262.4	137.3	117.7	1.91	1.17
Electrolytic 30 min	195	326.4	167.7	131.4	1.95	1.28
Electrolytic 120 min	200	334.4	181.4	137.3	1.84	1.32
Aging - E 30 min	250	413.3	211.8	201.0	1.95	1.05
Electrolytic 50% 0 min	127	217.2	107.9	93.2	2.01	1.16
Reduced ore 30 min	196	328.0	171.6	125.5	1.91	1.37
E - 30% R 30 min	158	267.3	147.1	117.7	1.82	1.25
E - 50% R 30 min	147	249.6	160.8	—	1.55	—
Ag infiltrated 60 min	122	209.1	128.5	—	1.63	—

β_{wc} = The calculated value, β_{ws} = Smooth, β_{wn} = Notch, β_p = The calculated internal notch factor, β_k = External notch factor.