

3-25

固溶硬化と析出硬化の半価中と硬さの関係について

(株)小松製作所技術研究所

小峰克郎  
中面東介  
森 栄茂

**緒言:** 非破壊的にかつ寸法、形状に制限されずに熱処理鋼部品の硬さを推定しうる実用的方法として、X線回折図形から得られる半価中の利用を既に報告した。しかし半価中と硬さの関係は、引張りずみとよへた焼入焼戻鋼の場合、半価中は引ずみに敏感であるが、硬さはあまり変化しない。従って鋼の硬化要因を考えた場合、従来求められてきた硬さと種々の機械的性質との関係が半価中では多少異なったものになることが考えられる。そこで焼入焼戻鋼の半価中と種々の機械的性質との関係を調べると同時に、硬さと半価中の関係を、種々の硬化要因(固溶体硬化、転位密度、析出硬化)について調査した。その結果を報告する。

**供試材と実験方法:** Table 1 に示した供試材は、いづれも真空アーク溶融炉で溶製後、10°角に鍛造焼準し、厚さ5mmの板に切断し熱処理した。No.1~13の鋼は各々800°C~870°Cの焼入温度から水冷し、各温度で3時間焼戻した。No.14はArガス中で1200°C<sup>2</sup>で溶体化し、氷温水中に焼入して200°C<sup>2</sup>×2<sup>2</sup>焼戻し、No.A~Dは930°C加熱後炉冷と水冷の二通り作成した。次いで各試片を電解研磨し、X線応力測定機(SMX50)で半価中を求め(Table 2の条件)、転位密度はディフラクトメータ(VD-1)でTable 3の条件で回折図形を得、WestmacottとSmallmanの式より求めた。これらの測定終了後、同じ測定面の硬さを求めた。

**実験結果と考察:** 図1は市販炭素合金鋼21種類の焼入焼戻材の半価中と硬さの関係を示し、C量で分類するとかなり精度よく硬さを推定できる。一方図2は焼入まの半価中と硬さの関係を示し、C量で整理しなくても一つの直線で示される。このように焼入と焼戻し状態で半価中と硬さ関係の分類が相違するのは、焼戻過程において硬さ要因としての固溶硬化、析出硬化、転位密度の寄与に対する半価中と硬さの応答性の違いによる

Table 1. Chemical Compositions

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Fe
No. 1	0.07	0.03	0.03	0.005	0.005	0.05	0.05	0.01		bal.
No. 3	0.28	"	"	"	"	"	"	"	"	"
No. 4	0.30	"	"	"	"	"	"	"	"	"
No. 5	0.44	"	"	"	"	"	"	"	"	"
No. 6	0.55	"	"	"	"	"	"	"	"	"
No. 8	0.75	"	"	"	"	"	"	"	"	"
No. 10	0.82	"	"	"	"	"	"	"	"	"
No. 11	1.01	"	"	"	"	"	"	"	"	"
No. 13	1.04	"	"	"	"	"	"	"	"	"
No. 14	0.34	0.002	0.03	0.016	0.013		1.11	0.92	0.34	"
No. A							0.97			"
No. B							2.97			"
No. C							5.02			"
No. D							6.83			"

Table 2

Target	Cr
Voltage	30 KV
Current	9 mA
Time Const.	8 sec
Full Scale	2 k cps
Scan Speed	8°/min
Diffraction Plane	(211)

Table 3

Target	Mo
Voltage	40 KV
Current	25 mA
Time Const.	8 sec ~ 16 sec
Scan Speed	1/4° ~ 1/8° /min
Full Scale	200cps ~ 10K cps
Diffraction Plane	(110) (200) (211) (200) (400) (422) (440) (600)
Chart Speed	10 ~ 20 mm/min

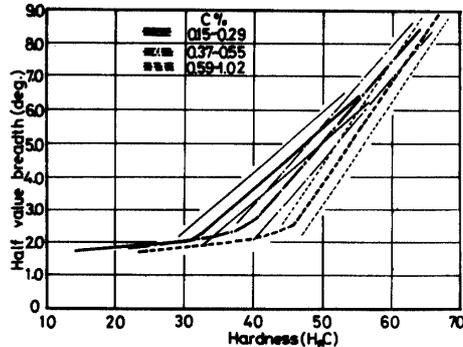


Fig.1 焼入焼戻された各種炭素合金鋼の半価中と硬さの関係

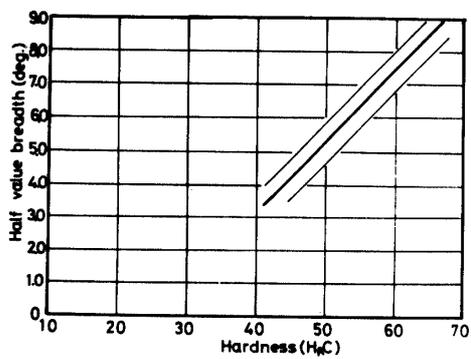


Fig.2 焼入まの各種炭素合金鋼の半価中と硬さの関係

と考えられる。焼入時の硬さは、Cの固溶硬化、高転位密度、微細炭化物の析出などによるが、焼戻軟化は焼入martensite中のCの吐き出しと転位の消滅が主体であろう。図3はFe-C合金の焼戻し過程における転位密度の変化を示し、この図で、0.30% Cまで、0.55% Cまでと1.04% Cまでの三つのグループで分類され、図1のC量による分類と一致する。そして高炭素鋼ほど焼入時の転位密度は大きく、また焼戻しに伴う転位の減少も大きくなる。焼入焼戻鋼の引張変形時の転位密度変化に対し半価中は敏感に変化し、硬さは大して変化しなかった結果を考え合せ、図1で高炭素鋼ほど半価中-硬さの直線の勾配が大きいことは半価中が転位の消滅に著しく依存することを示すものである。また低硬度側で半価中がほぼ一定値を示すことは、図3で高温で焼戻すとどのC量でもほぼ同じ転位密度を示すことで理解され硬さ試験との違いが示唆される。

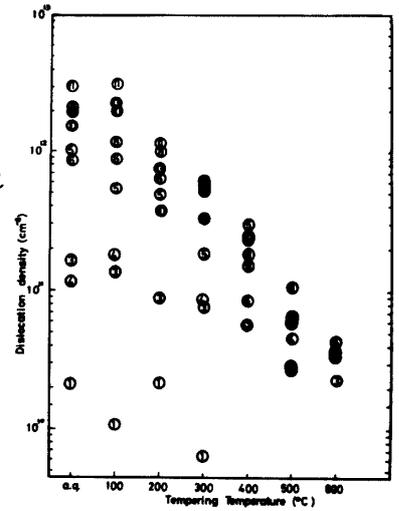


Fig.3 Fe-C合金の焼戻温度と転位密度

一方No.14の鋼は高温焼戻しで析出硬化し、図4では650°Cで硬さのピークが見られる。しかし半価中はピークを研たず、図5で明らかに半価中と硬さの直線関係がない。

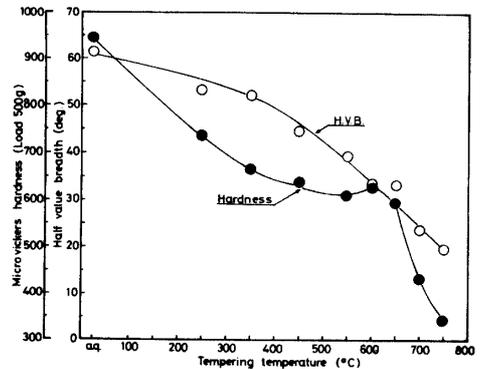


Fig.4 No.14鋼の二次硬化曲線

Fe-C合金焼戻鋼は[C(wt%)]<sup>1/2</sup>と半価中の関係は比例し、固溶硬化に半価中は依存すると考えられるが、固溶硬化のみの分離は難しいので、 $\alpha$ -Fe中のMnの固溶硬化と半価中の変化を見た。図6ではMnによる格子ひずみだけと考えられる炉冷鋼で、半価中は直線的に増大し、一方水冷鋼は導入された格子欠陥の寄与も含んで、半価中硬さ共に炉冷鋼より大きくなっている。これらの半価中と硬さの関係は図7に示す如く、よい対応を示す。以上の結果から、半価中は、固溶硬化と転位密度に対し変化するが、析出硬化は関係なく、従って析出硬化の寄与の小さい材料においては、半価中から硬さを推測することは可能であろう。

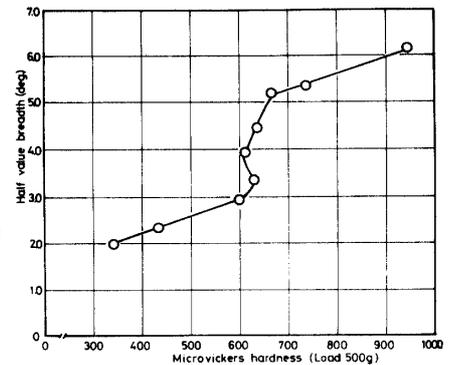


Fig.5 析出硬化鋼 (No.14) の半価中-硬さの関係

無言、考案者 齋藤 田吉

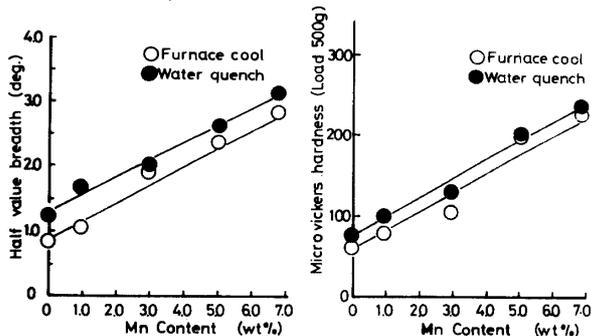


Fig.6 Fe-Mn合金のMn量と半価中と硬さの関係

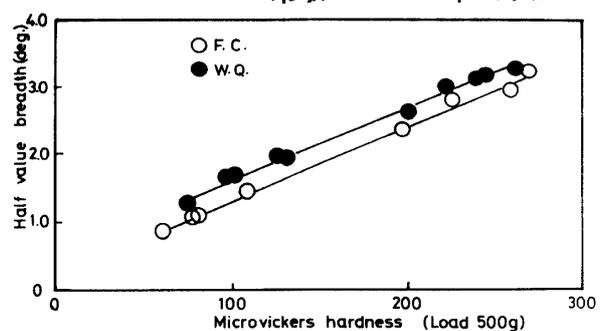


Fig.7 Fe-Mn合金の半価中と硬さの関係