

討 11 衝撃引張における脆性破壊

東京工業大学

中村 正久

脆性破壊に対してひずみ速度は必要条件ではないけれども、ひずみ速度の上昇は温度の低下と同等の効果があるために、脆性破壊を促進させる。この報告はわかれわかれの10年間にわたって鉄鋼の衝撃引張に関する実験を行なって得た結果のうち、脆性破壊に関する知見をまとめたものである。わかれわかれの実験は脆性破壊にだけ目的をしぼってはいなかったため、対象の鋼種も少なく十分な結論を得ているわけでもない。

1. 実験試料

この報告に關係ある試料および熱処理等を表1に示した。

表1 実験試料の化学組成および熱処理

鋼	記号	C	Mn	Si	Ni	Cr	熱 処 理	結晶粒徑 mm
A	A1	0.15	0.44	0.21			1200°/20h A.	0.0769
	A2	"	"	"			900°/1h A.	0.0279
	A3	"	"	"			750°/1h A.	0.0208
	A4	"	"	"			1300°/1h - 950°/0.5h Q. - 650°/10h T.	0.601
	A5	"	"	"			1270°/1h - 950°/0.5h Q. - 650°/10h T.	0.097
	A6	"	"	"			1200°/1h - 950°/0.5h Q. - 650°/10h T.	0.070
	A7	"	"	"			950°/0.5h Q. - 650°/10h T.	0.048
N	N1	0.35	0.53	0.30	2.63	0.80	1300°/0.5h - 900°/0.5h Q. - 650°/2h T. S.C.	0.250
	N2	"	"	"	"	"	" " " R.C.	"
	N3	"	"	"	"	"	1150°/0.5h - 900°/0.5h Q. - 650°/2h T. S.C.	0.050
	N4	"	"	"	"	"	" " " R.C.	"
	N5	"	"	"	"	"	1000°/0.5h - 900°/0.5h Q. - 650°/2h T. S.C.	0.025
	N6	"	"	"	"	"	" " " R.C.	"
	N7	"	"	"	"	"	830°/0.5h Q. - 650°/2h T. S.C.	0.010
	N8	"	"	"	"	"	" " " R.C.	"
B	B1	0.42	0.75	0.17	0.04	0.09	880°/5h A	
	B2	"	"	"	"	"	900°/3h Q - 720°/20h T - 410°/1h T.	0.0037*
	B3	"	"	"	"	"	" - 685°/24h T - "	0.0021*
	B4	"	"	"	"	"	" - 585°/21h T - "	0.0010*
	B5	"	"	"	"	"	" - 485°/23h T - "	0.0006*

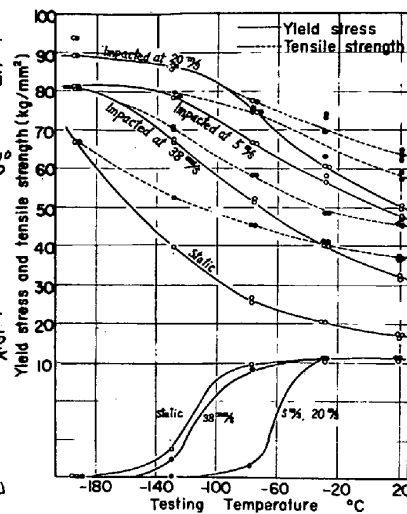
注：Q：焼入，A：焼鈍，T：焼戻し，S.C.：徐冷，R.C.：急冷，*：炭化物間隔。

2. 実験結果

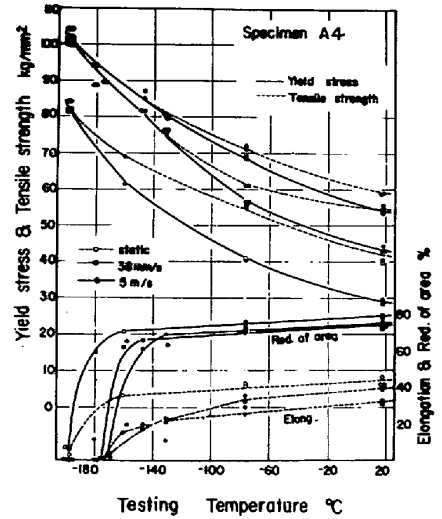
2.1. 焼鈍軟鋼と調質軟鋼の脆性破壊挙動の相異

表1の鋼Aを用い、各熱処理に対し直径10mmの4号試験片を低温でいろいろのひずみ速度で引張試験したときの引張性質の温度に対する変化と、いろいろの温度におけるひずみ速度に対する変化をそれぞれ図1および図2に示した。脆性破壊の破壊応力は焼鈍材では温度にはよらないが、ひずみ速度の増大とともに上昇する。いっぽう調質材では脆性破壊強度は低いひずみ速度の領域においては焼鈍材と同じようにひずみ速度の増加に対して上昇するが、ひずみ速度が1/sec以上になると、ひずみ速度によ

したがって温度にもよらない一定の値になる。このときの破壊は結晶粒界において起きている。図2(b)においてわかるように、 -196° の脆性破壊において、低ひずみ速度のへき開破壊領域ではわずかながら伸びが存在し、 $1/sec$ 以上のひずみ速度域の結晶粒界破壊においてはじめて無延性破壊になっていた。以上の破壊のモードの変化については目下破壊面の観察を行なっている。



(a)



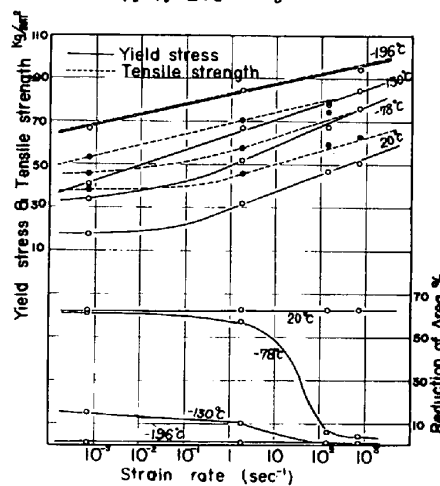
(b)

図1. 軟鉄の引張性質の温度変化におよぼすひずみ速度の影響。

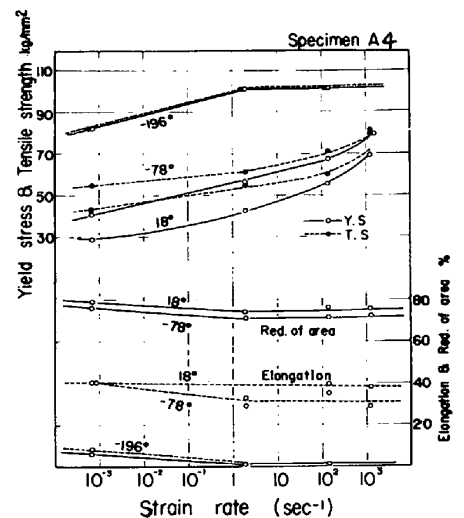
(a)焼鈍試料A1, (b)調質試料A4. いずれも延性が完全に低下したとき破壊強度は最大に達するが、温度による変化はほとんどない。

図3にはこれらの実験から求めて遷移温度のひずみ速度依存性を調べた結果を示す。

図4は降伏強度および脆性破壊強度の結晶粒度依存性を示す。よく知られているように降伏強度および脆性破壊強度は、焼鈍材の場合には結晶粒度に強く依存するが、いっぽう調質材の場合には結晶粒度に依存していない。ここに観察した結晶粒の大きさに問題があるが、このことは調質鋼の降伏強度が摩擦力によるところが大きいことを示している。したがって遷移温度も調質鋼では結晶粒度に



(a)



(b)

図2. 図1をひずみ速度の変化で表わした図

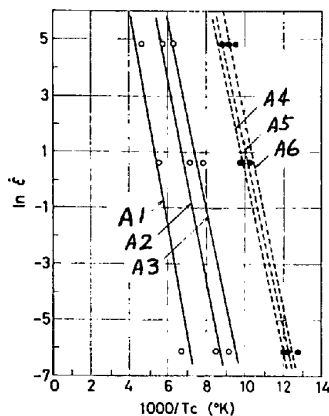
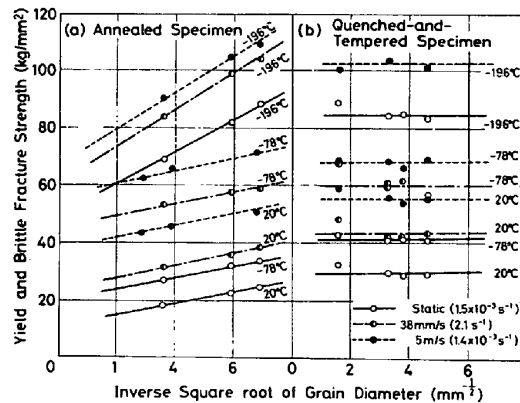


図3. 靱性-脆性遷移温度 T_c のひずみ速度とに対する変化



(a) 焼鈍材

(b) 調質材
図4. 降伏応力および脆性破壊強度の結晶粒度依存性。

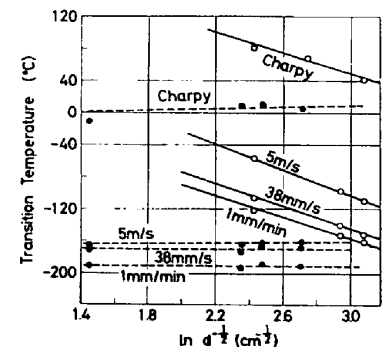


図5. 遷移温度の結晶粒度依存性。
実線：焼鈍材
点線：調質材

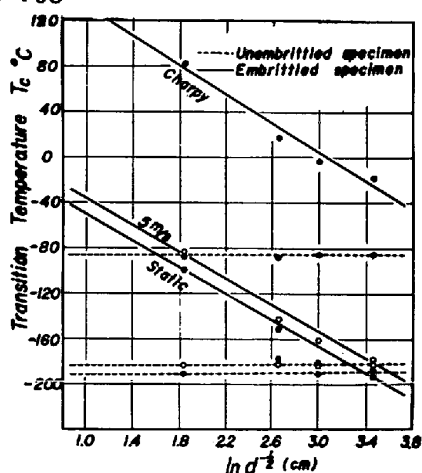


図6. 焼戻脆性鋼(N鋼)の遷移温度の結晶粒度依存性におよぼすひずみ速度の影響

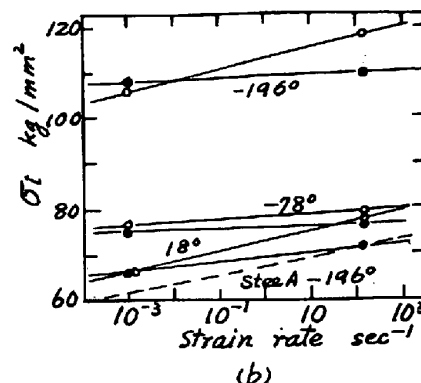
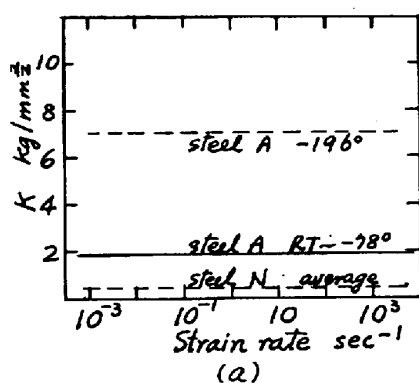


図7. N鋼の熱処理によるPetchの関係式の摩擦項および結晶粒度依存項のひずみ速度依存性。脆性破壊強度と比較する意味で、A鋼(焼鈍)の値も示す。

○ 靱性処理

● 脆化処理

によらないが、焼鈍鋼は結晶粒度依存性がきわめて大きい。(図5)

2.2. 焼戻し脆性鋼の脆性破壊挙動

図6にN鋼の各種の熱処理における遷移温度の結晶粒度依存性を比較して示した。焼戻し脆化処理をほとんどした鋼は結晶粒界破壊であることはよく知られている。このときの粒界破壊の遷移温度は結晶粒度依存性がきわめて強い。それに対し靱性処理鋼の場合は結晶粒度にほとんどよらず、図5の調質材と類似の変化をしている。図7はこの鋼の脆性破壊強度のひずみ速度依存性を示すために、Petchの関係式の各項の値で比較したものである。脆化処理鋼の摩擦項は低くかつひずみ速度により上昇度が低く、脆性破壊強度の低下があり、靱性鋼はひずみ速度依存性が大きいが、合金鋼のため軟鋼よりは少ない。

2.3. 脆性破壊強度に及ぼすひずみ速度および炭素含有量の影響

図8は表1の各種の脆性破壊強度のひずみ速度依存性を示す。直線の勾配は組織によって異なるが、炭素含有量には依存しない。図9にはB鋼を用い、ソルバイト組織中の炭化物の粒子間隔を変化させたときの降伏強度と粒子間隔との関係を示した。(a)(b)両プロットともよい直線を示しており、低温の脆性破壊域の直線から脆性破壊強度は粒子間隔が大きい因子であることがわかる。

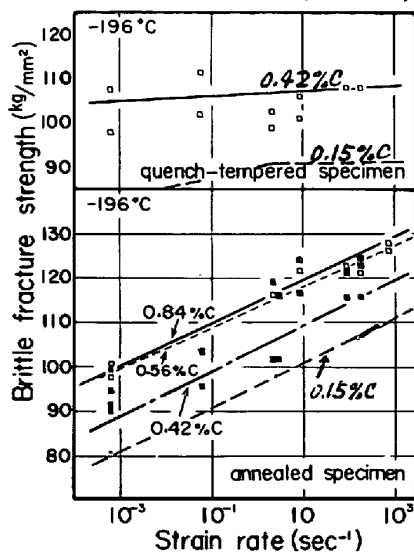


図8 各種炭素鋼の脆性破壊強度のひずみ速度依存性。

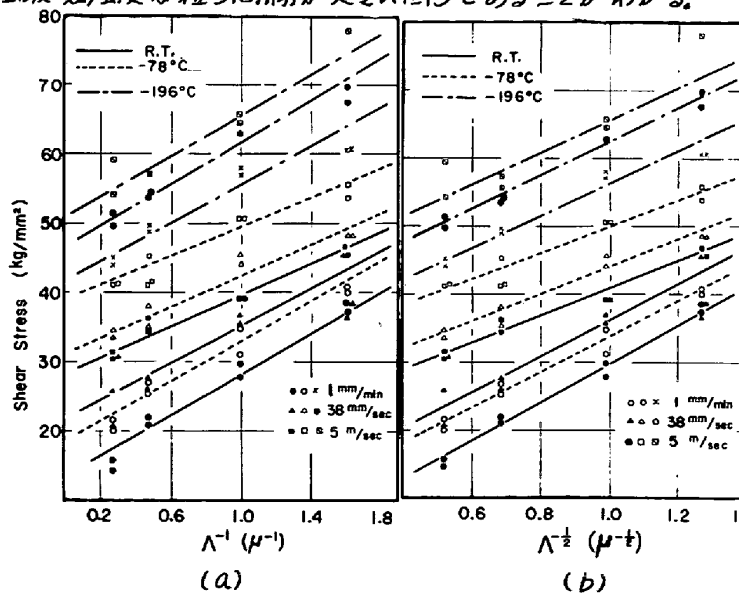


図9 B鋼の降伏強度の炭化物粒子間隔に対する変化。