

2-23 表面硬化鋼の静引張りおよび静圧縮について

(株)豊田中央研究所

青山 威 恒
伊藤 三 史

1. まえがき 表面硬化材が全体として示す強度特性を明らかにするため、種々の深さに浸炭焼入れした後高温で焼もどした引張試験片、内部組織、硬化深さと変えて高周波焼入れした後低温焼もどした引張、圧縮試験片につき静引張、静圧縮試験を行ない、硬化層深さの影響、荷重方向の影響等を調査した。また高周波焼入れ後の低温焼もどしの効果を調査するため一連の圧縮試験を行なった。さらに、これら試験片の代表的なものにつき断面から分布から見かけ耐力を評価し、実験値と比較した。

2. 試験片および試験方法 浸炭焼入れ試験片: SCM2 22 ϕ 圧延材を図1の試験片IIの形状に加工し、表1(a)のように浸炭焼入れ後500 $^{\circ}$ C 2hr A.C.で焼もどした。焼もどし後の表面残留応力は -2.8 kg/mm^2 で無視しうる大きさである。高周波焼入れ試験片: S45C 19 ϕ 圧延材を前熱処理後図1の試験片I, II, IIIの形状に加工し、高周波焼入れ後低温焼もどし(200 $^{\circ}$ C 2hr A.C.)を施した[表1(b)]。低温焼もどし後の表面残留応力は $-40 \sim -60 \text{ kg/mm}^2$ である。表1(b)のB $_2$ -3および4は高周波焼入れ後の低温焼もどし効果を調べるための圧縮試験片である。この試験片は図1試験片の形状焼入れのまゝ、および100 $^{\circ}$, 150 $^{\circ}$, 180 $^{\circ}$, 200 $^{\circ}$, 250 $^{\circ}$ Cの各段階で低温焼もどしを施した。試験には、100t万能試験機を用い、ひずみは抵抗線ひずみゲージ、差動トランス型伸び計で計測した。

3. 試験結果と考察 図2には試験片平行部断面のから分布、図3には高周波焼入れ材の立ち上り付近の公称引張応力-ひずみ関係を例示した。硬化層深さの増大に伴い0.2%オフセット点は上る傾向を示すが、永久的ひずみを生じ始める応力は逆に下る傾向が見られる(図3)。これは残留応力の影響によると思われる。図4の左には高周波焼入れ材の降伏点、引張強度、真破断力と、前熱処理材の各値を基準として比で表わし、これと硬化層深さとの関係を示す。図3には参考のため浸炭焼入れ材の値もプロットした。この場合は内部から相当の試験片の値を基準とした。高周波焼入れによる強度の増加率は硬化層深さの増大に伴いほぼ直線的に増加する。図4の右には伸び、絞り、降伏比と硬化層深さの関係を示すが、これらの値は硬化層深さが増大し

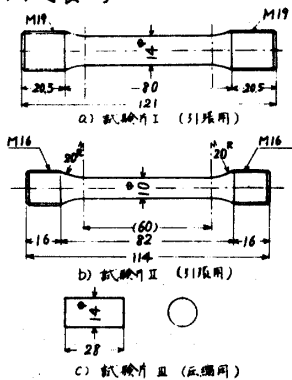


表1 試験片の系列

a) 浸炭焼入れ試験片									
試験片記号	硬化層深さ	焼入れ温度	焼入れ時間	焼入れ条件	焼入れ後処理	焼入れ後処理温度	焼入れ後処理時間	焼入れ後処理条件	焼入れ後処理後処理
CM-1	I	0.60	900 $^{\circ}$ C	1.5時間	焼もどし	500 $^{\circ}$ C	2hr	A.C.	
CM-2	II	1.06	900 $^{\circ}$ C	5時間	焼もどし	500 $^{\circ}$ C	2hr	A.C.	

b) 高周波焼入れ試験片									
試験片記号	前熱処理	焼入れ温度	焼入れ時間	焼入れ条件	焼入れ後処理	焼入れ後処理温度	焼入れ後処理時間	焼入れ後処理条件	焼入れ後処理後処理
A $_1$ -0	焼入れ	—	—	—	—	—	—	—	0
A $_1$ -1	(Hv255)	400	8.7	5.0	9.2	0.70	—	—	—
B $_1$ -0	—	—	—	—	—	—	—	—	0
B $_1$ -1	—	400	8.7	4.5	8.4	0.65	—	—	—
B $_1$ -2	—	400	8.7	4.5	6.0	1.55	—	—	—
B $_1$ -3	—	400	7.4	4.0	9.8	0.52	—	—	—
B $_1$ -4	—	400	7.4	4.0	6.1	0.71	—	—	—
B $_2$ -1	—	400	7.4	4.0	5.0	1.20	—	—	—
B $_2$ -2	—	150	6.5	2.7	10.0	0.92	—	—	—
B $_2$ -3	—	150	6.5	2.7	7.6	1.55	—	—	—
B $_2$ -4	—	150	6.5	2.7	6.2	1.96	—	—	—
B $_3$ -1	—	400	8.7	4.5	8.4	0.80	—	—	—
B $_3$ -2	—	400	8.7	4.5	6.0	1.40	—	—	—
B $_3$ -3	—	400	8.5	5.2	8.8	0.91	—	—	—
B $_3$ -4	—	400	8.5	5.2	5.9	1.47	—	—	—
C $_1$ -0	焼入れ	—	—	—	—	—	—	—	0
C $_1$ -1	(Hv255)	400	8.0	4.8	9.0	0.80	—	—	—

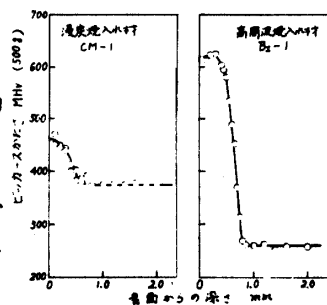
** 高周波焼入れ温度100 $^{\circ}$, 150 $^{\circ}$, 180 $^{\circ}$, 200 $^{\circ}$, 250 $^{\circ}$ Cで低温焼もどしした試験片の強度(単位: kg/mm 2)

図2 試験片断面から分布

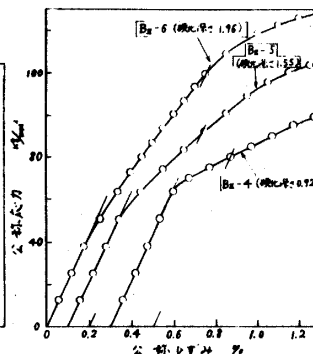


図3 引張応力-ひずみ関係

でもあまり大きくは下らない。これはこの種の複合材によくあらわれる性質と思われる。図5には、圧縮の立ち上がり付近の公称応力-ひずみ関係を引張と比較して例示した。塑性域の応力レベルは圧縮の方が全般に高い。このことは残留応力分布から定性的に説明しうる。図6には、低温焼もじし温度による圧縮荷重-縮み量関係の変化を示す。クラックが発生し、荷重が一旦急減するまでの縮み率は *as quench* でも15~20%である。図7には、圧縮の比例限、0.2%耐力およびクラック発生時の公称応力、真応力、縮み率と低温焼もじし温度との関係を示す。低温焼もじし温度の、比例限、0.2%耐力への影響はあまり認められないが、クラック発生時の公称応力、真応力、縮み率への影響は100℃以上において認められる。

4. 見かけ耐力の評価 表面硬化鋼は断面にかたさ分布をもつ一種の複合材と考えられる。そこで試験片全体として示す見かけの耐力をかたさ分布から評価する。すなわち、図8の関係を用い、断面から降伏応力分布を求め、全ひずみけ連続、各部は弾性全塑性体として一定のひずみを与えたとき負担しうる荷重(公称応力)を求めた。この場合残留応力は考慮していない。図9には計算による公称応力-ひずみ関係と例示した。図には実験結果も併記した。見かけ耐力はこの図から評価する。代表的な試験片の見かけ耐力の実験値と評価値と比較して表2に示す。引張の場合、硬化層の浅い場合は実験値と評価値が比較的よく一致した。硬化層の深い高周波焼入れ材では評価値の方が大きくなる。圧縮の場合は全般に実験値と比較的よく一致した。

5. むすび 表面硬化鋼が静引張、静圧縮時に示す強度を調査した。引張強度は全般に硬化層深さ(0.5~2.0の範囲)の増加と共に増大し、破壊までの伸び、絞り、縮み率は比較的大きい。かたさ分布から評価した見かけ耐力は、全般に実験値とよく一致したが、引張で硬化層の深い場合には評価値の方が大きくなった。

文献 1) 青山 硬質にお設計基準強度の評価と製品材質の管理 REVIEW OF TOYOTA RD CENTER Vol.2, No.2 1965

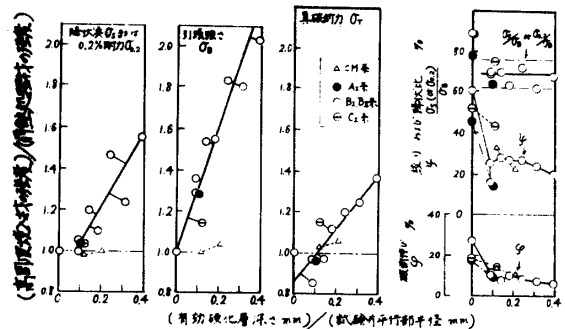


図4 高周波焼入れ材の引張強度と硬化層深さ

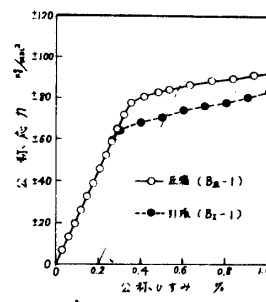


図5 高周波焼入れ材の反縮(引張)応力-ひずみ関係

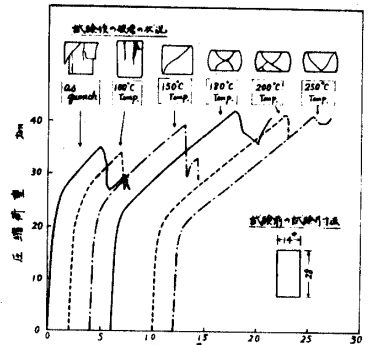


図6 高周波焼入れ材の低温焼もじしによる圧縮荷重-縮み量関係の変化

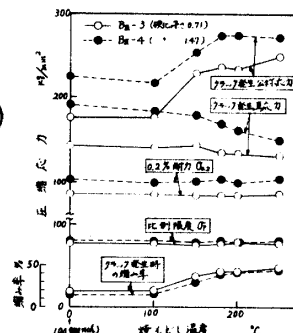


図7 高周波焼入れ材の低温焼もじしによる圧縮強度の変化

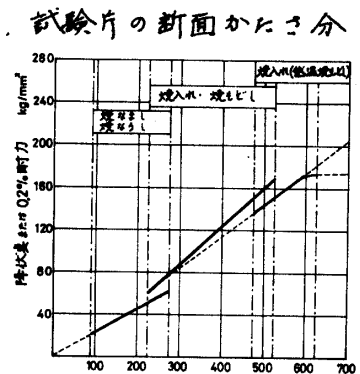


図8 評価に用いた降伏応力-かたさ関係

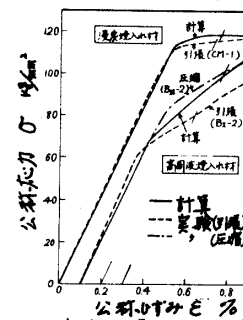


図9 実験と計算によるσ-ε関係

表2 見かけ耐力の実験値と評価値

項目	試験片No.	硬化層深さ mm	焼入れ温度	0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ 試験値	0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ 評価値	$\sigma_{0.2}/\sigma_s$
引張	CM-1	0.5	500°C	113.7	118.2	1.03
	CM-2	1.0		115.9	119.6	1.03
	A1-1	0.7		71.9	69.5	0.97
	B1-2	1.55		83.4	98.7	1.16
	B1-6	1.96		114.1	141.7	1.24
	C1-1	0.80		91.9	99.7	1.08
圧縮	B1-1	0.80		85.0	85.1	1.00
	B1-2	1.47		102.4	98.0	0.96
	B1-3	0.71	as quench	86.0	91.0	0.94
			100°C	85.1	86.2	1.01
			180°C	84.3	80.2	0.95
			250°C	85.6	80.9	0.95