

ステンレスショットピーニング加工したS45Cのじん性について

大 藪 優

Toughness of S45C producted Stainless-Shot Peening

Masaru OHYABU

KeyWords: Shot Peening, Stainless-Shot, Sharpy-Impact Test,
S45C, Toughness, Macro- Micro Fractography

1. はじめに

ショットピーニングは、機械構造物の構造部材表面にその目的によって選択されたショット材を、一定の圧力、噴射速度、噴射時間で打ち付けることによって、表面改質を図る加工法として注目されてきている。

その方法としては、超急速加熱高周波焼入れ⁽¹⁾、マイクロパルス誘導加熱⁽²⁾、ガス窒化浸炭⁽³⁾など技術的経済的にも高度なものが要求され推進されてきているが、簡便で経済的なショットピーニングは、表面改質を図る加工法としては有用性がありかつ奥深いものが存在する。ショットピーニング効果は、圧縮残留応力による疲労強度の向上、粒界封鎖による応力腐食割れの抑制、放熱性の向上、流体抵抗の減少、ショット材の高速投射による表面層のマルテンサイト変態などが挙げられる⁽⁴⁾。また対象となる材には、浸炭鋼、工具鋼、Cr-Mn鋼、Ni-Cr鋼、球状黒鉛鋳鉄などの高級材料が多いが、普通の材料S45Cへのショットピーニングによる効果について、じん性に関する研究例は少ない。

そこで、S45Cシャルピー衝撃試験片にショットピーニング加工を施し、ステンレスショットによるとした。

2. 実験方法

2-1. シャルピー衝撃試験片の作製

図1にJIS3号シャルピー衝撃試験片を示す。

JIS3号シャルピー衝撃試験片80個を外注準備し、ムク材に20個、A材とB材に各20個を振り分けた。

2-2. インテンシティ線図の作成と噴射時間

使用したピーニングマシンは不二製作所製汎用手動式(直圧ブラスト式)FDQ-4タイプで、ショット材はステンレスカットワイヤーφ0.6、SUS304である。シャルピー衝撃試験片の1面にショット材を投射し続ける噴射時間決定のために、インテンシティ線図の作成を行った。まず、アルメンストリップA試験片を所定の治具に締め付け、ある秒数を決めて実際にショット材を投射する。秒数を変えて7点で作成したのが図2である。これより、図3に示すインテンシティ線図基本図の $2.0T_1 = T_2$ 、 $1.1AC_1 \geq AC_2$ の両式を同時に満足するアークハイト値 AC_1 に対応する秒数 T_1 を求める。これを図4の噴射時間決定式に代入し、秒数 t を決めるのである。このとき、 S はシャルピー衝撃試験片20個を並べた表面積で、11,000mm²である。なお、噴射圧力はA材B材それぞれ4.6kgf/cm²、2.0kgf/cm²、噴射速度は100m/sとした。

2-3. シャルピー衝撃試験

じん性 S_s を求めるために、東京衡機製シャルピー衝撃試験機30kgf-mを用いた。

(1) 小茂鳥、清水ら、浅い硬化層を有する超急速加熱高周波焼入れ材の疲労強度と破壊機構、日本機械学会論文集A編No.96-0846、28-33、1997

(2) 三坂、清澤ら、マイクロパルス誘導加熱システムによる歯車の輪郭焼入れ、日本機械学会茨城講演会論文集、187-188、1995

(3) 片平、鈴木ら、ガス窒化表面改質を施した非調質合金の高疲労信頼性に果たす表面メソ組織の役割、日本機械学会論文集A編No.65-0629、62-66、1999

(4) ショットピーニングの方法と効果-金属疲労・残留応力-、ショットピーニング技術協会編、日刊工業新聞社、1997

2-4. 表面粗さおよび破面解析

表面粗さの測定はミットヨ製サーフテスター201で、マイクロフラクトグラフィによる破面解析は日本電子製走査型電子顕微鏡(SEM)JSM-T300で行った。

3. 結果および考察

A材B材のピーニング条件による結果を表1示す。A材とB材との噴射時間は、それぞれ42秒と38秒となった。噴射圧力が $4.6\text{kgf}/\text{cm}^2$ と高い方が秒数が多くかかっているのは、インテンシティ線図のアーカハイト値よりの実験結果である。

この秒数でシャルピー衝撃試験片をピーニングした結果が表2である。シャルピー衝撃値 S_s は各材とも20個の平均値である。この S_s はムク材に対して、A材では25.6%、B材では23.2%と、A材の方がじん性は向上した。

マクロの衝撃破面は、S45Cが延性材料であっても繊維状部分のぜい性部とShearlip部分の延性部の二部分に別れる。このShearlip部分のマイクロフラクトグラフィによって、ディンプルパターンが確認された。図5、6、7はそれぞれムク材、A材およびB材のディンプルパターンである。これより線分析法によって、平均のディンプル径を計算すると、それぞれ $8.89\mu\text{m}$ 、 $6.11\mu\text{m}$ および $7.24\mu\text{m}$ となった。A材のディンプルパターンは、ムク材とB材に比べ31.3%と15.7%の緻密度となった。これが、じん性の向上の検証である。

4. 今後の検討課題

①図8はシャルピー衝撃値 S_s とピーニング後の試験片面の表面粗さを最大高さ R_{max} で示したものである。右上がりの線形傾向であるが、噴射圧力が $4.6\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上の圧力では、 S_s がどこで飽和になるかを確認することである。

②インテンシティ線図のアーカハイト値の測定は、デジタルアルメングージで μm まで読み取ることができる。だが、試験片およびアルメンストリップA試験片に投射するときは、ショットが出るノズルを手で持ち、投射面の距離150mmを維持しながら移動するのである。また、噴射圧力、噴射量、ノズル開度、ショット材の新旧、その他の条件が同じでも、季節やその日の時間帯によってアーカハイト値が微妙に変わることが言われている。ノ

ズル移動を自動化し、いつでもより確からしいアーカハイト値を求めることである。

③試験片の表面層には、圧縮残留応力が発生している。この測定とじん性向上への寄与は、どう関連しているのか。第2報では、そのメカニズムを追求したい。

5. 参考文献

- (1) 小茂鳥、清水ら、浅い硬化層を有する超急速加熱高周波焼入れ材の疲労強度と破壊機構、日本機械学会論文集A編No.96-0846、28-33、1997
- (2) 三坂、清澤ら、マイクロパルス誘導加熱システムによる歯車の輪郭焼入れ、日本機械学会茨城講演会論文集、187-188、1995
- (3) 片平、鈴木ら、ガス窒化表面改質を施した非調質合金の高疲労信頼性に果たす表面メゾ組織の役割、日本機械学会論文集A編No.65-0629、62-66、1999
- (4) ショットピーニングの方法と効果—金属疲労・残留応力—、ショットピーニング技術協会編、日刊工業新聞社、1997

6. 謝 辞

本研究に当たり、(株)不二製作所技術部長・菅沢好一氏、営業技術課・斉藤博氏のご協力と貴重な助言を戴きました。心より厚くお礼申し上げ、感謝の意を表します。

「受理年月日 1999年9月30日」

ステンレスショットピーニング加工したS45Cのじん性について

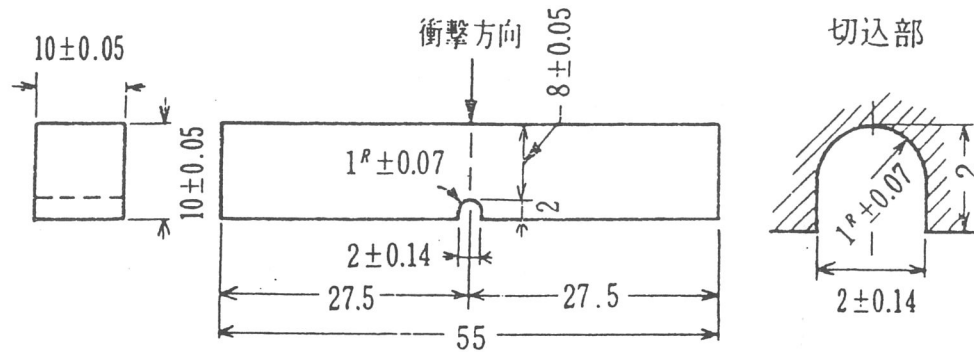


図1 シャルピー衝撃試験片

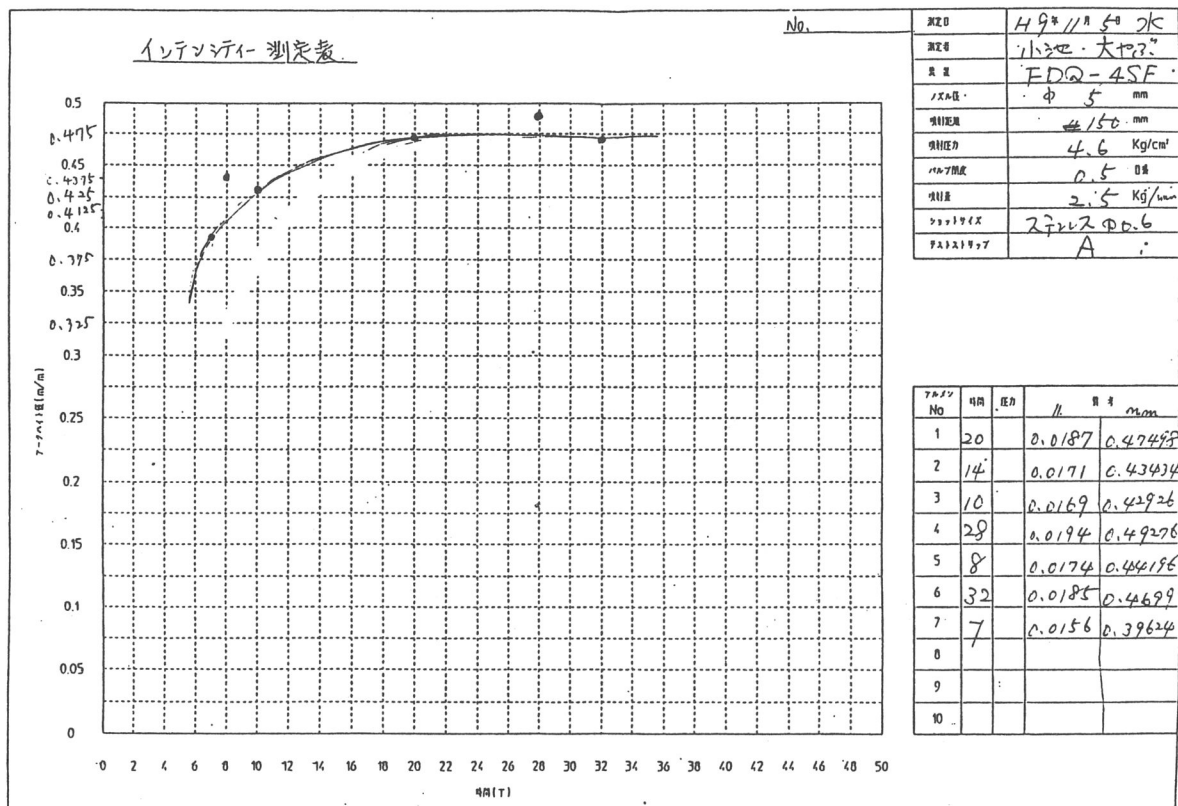


図2 実際のインテンシティー線図

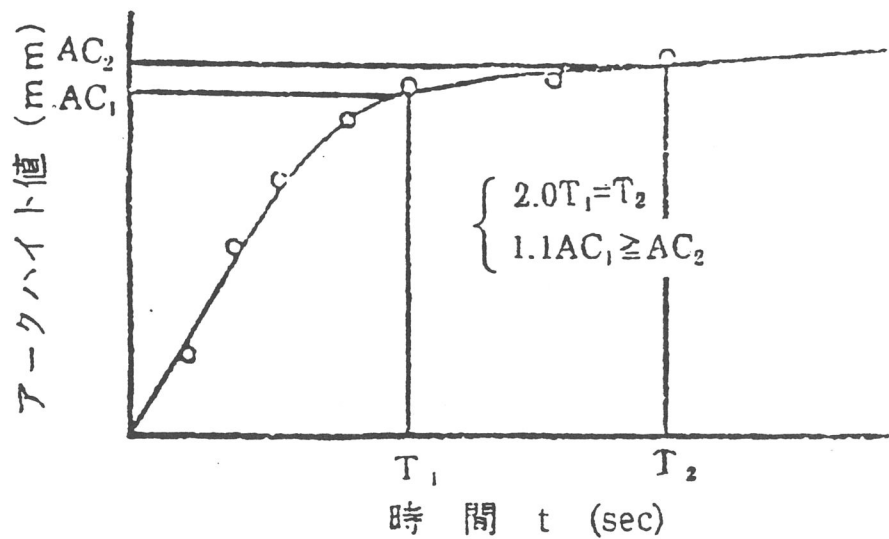


図3 インテンシティ線図基本図

$$T^{1)} \times \frac{S^{2)}}{1444^{3)}} \times 200\%^{4)} \times \frac{1^{5)}}{0.5} = t \text{ sec}$$

ただし、1) 飽和アーケハイト値に対する秒数

2) ピーニングを行う試験片の表面積 mm²

3) アルメンストリップの表面積 mm²

4) ピーリングを十分に行う見込み量 %

5) 4) に対する確立 (丸棒試験片の場合で、板材試験片の場合は削除)

図4 噴射時間決定式

ステンレスショットピーニング加工したS45Cのじん性について

表1 ピーニングの条件

	ショット材	噴射圧力 kgf/cm ²	噴射時間 sec
A 材 ■	φ0.6 ステンレス	4.6	42
B 材 ▲	同 上	2.0	38

※噴射時間の数値はシャルピー衝撃試験片ピーニング4面のうち1面に付き。

表2 ステンレスショットのデータ比較

	ムク材◆	A 材 ■	B 材 ▲
シャルピー衝撃値 S_s kgf-m/cm ²	2.54	3.19	3.13
S_s の増加率 %		25.6	23.2
表面粗さ・最大高さ R_{max} μm	0.63	7.48	4.94

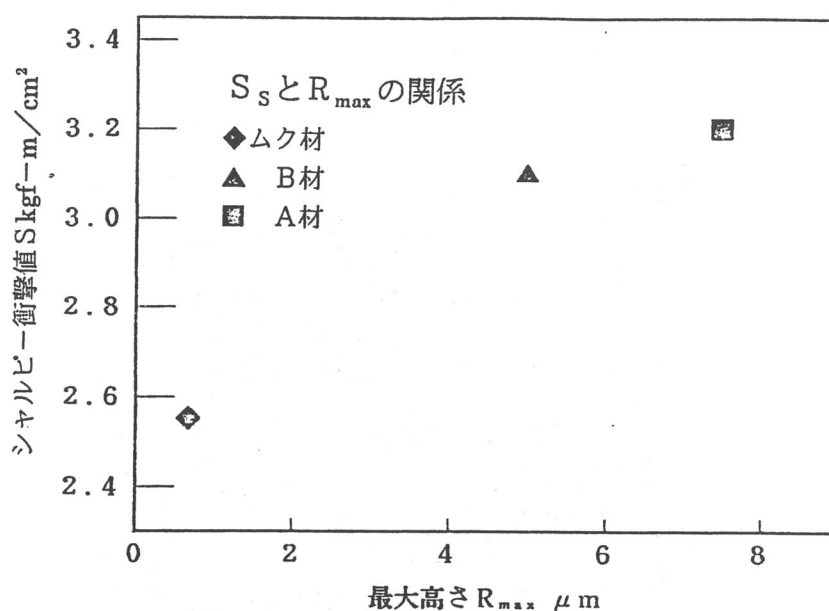


図8 S_s と R_{max} の関係

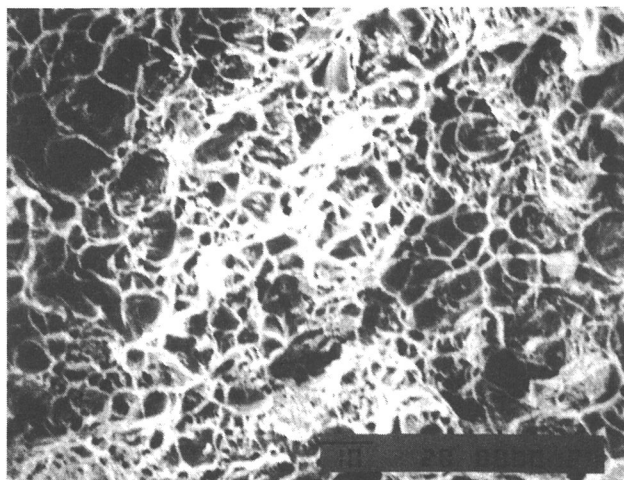


図5 ムク材のディンプルパターン
($S_s = 2.57 \text{ kgf-m/cm}^2$ $\phi D = 8.89 \mu\text{m}$)

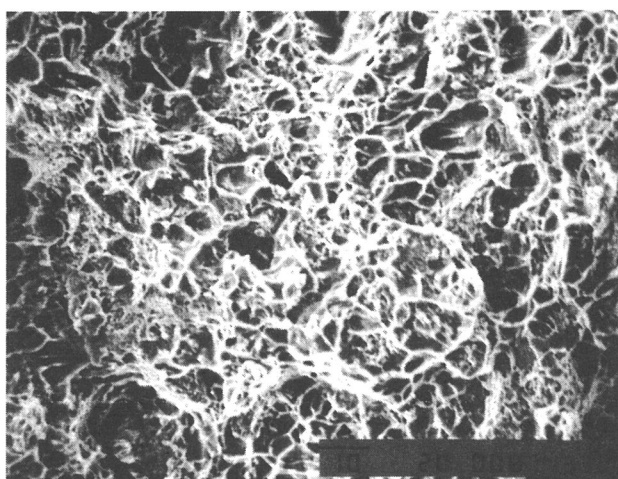


図6 A材のディンプルパターン
($P = 4.6 \text{ kg/cm}^2$ $S_s = 3.19 \text{ kgf-m/cm}^2$ $\phi D = 6.11 \mu\text{m}$)

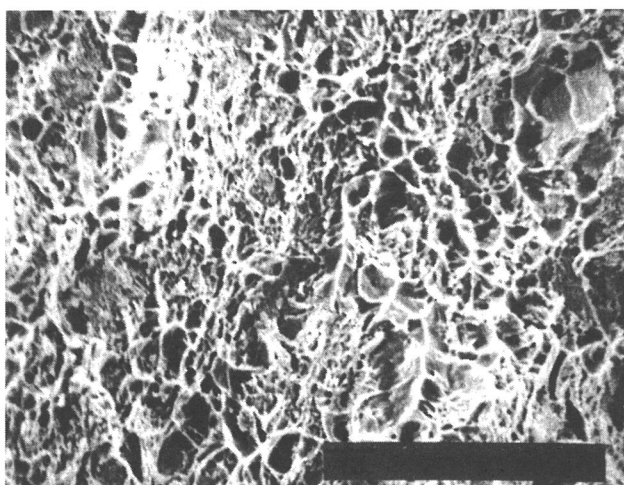


図7 B材のディンプルパターン
($P = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ $S_s = 2.65 \text{ kgf-m/cm}^2$ $\phi D = 7.24 \mu\text{m}$)