

技術報告

UDC 620.179.14.02 : 539.319

圧力容器用鋼材の Stress Wave Emission*

羽田野 甫**・水谷 四郎***・堀内 良****

丹羽 登****・大正 雄堂***・月川 哲雄***

Stress-Wave Emission from Steels for Pressure Vessels

Hajime HATANO, Shiro MIZUTANI, Ryo HORIUCHI,

Noboru NIWA, Yudo OHSHO, and Tetsuo TSUKIKAWA

Synopsis:

The stress-wave emission (SWE) in several alloy steels which are frequently used as structural materials is observed during tensile testing. As to steels SB42, A387-C, and A515, a great amount of SWE is detected in the stage of initial yielding of every specimen annealed even at comparative low temperatures. This experimental result suggests the usefulness of the SWE technique for nondestructive testing and safety monitoring of structures. On the other hand, in case of stainless steel SUS 27 that is solution-treated, little SWE is recorded compared with the alloys above mentioned.

(Received June 13, 1974)

1. 緒 言

Stress Wave Emission (以下 SWE と略す) 法を、構造物の安全監視や非破壊検査の手段に応用する事が考えられるようになって以来、各国でその研究が活発に推進されてきた¹⁾。今日では、電子計算機を組み込んだ大規模な SWE 検査システムが大型の構造物に適用されるまでになった²⁾³⁾。その反面、SWE の基礎的な事柄については不明の点が多い。

特定の鋼材の SWE の測定を行なった例はいくつか報告されているが⁴⁾、その多くは検出した信号の処理に、データの再現性や定量化の点で必ずしも十分ではないと考えられる“カウント法”を採用している⁵⁾。種々の構造材料について更に体系的に、データの蓄積を行なう必要がある。

本報では、プラントの各種高圧設備の構造材料として使用される頻度の高い炭素鋼や合金鋼をとりあげ、単純引張試験を行ない、その SWE を観測する。完全焼きなまし材の他に、実際の使用条件に近い熱処理、つまり比較的低温での焼きなましや溶体化処理を施した試料につ

いても実験を行ない、SWE 法を各種の構造物に適用する上での基礎的な資料を得る事を目的とする。

2. 実験方法

2.1 測定方法

Fig. 1 に実験装置の構成を示す。引張試験片の表面に接着した圧電セラミック製 SWE 検出器の出力信号は、増幅器と帯域通過滤波器を経て、AC-DC 変換器によって低周波信号に変換された後に、ペンレコーダで記録される。データレコーダは、後日のデータ解析のために使用される⁶⁾⁷⁾。

SWE の検出器には、直径 7.5 mm、厚さ 10 mm の裸の圧電セラミック製厚み振動子を採用した。厚みに比して直径が小さいので、試験片内を板波の状態で横方向から伝播してくる SWE を効率よく検出する事が可能である。振動子の共振周波数は約 140 KHz である。この共振特性を利用してその検出感度の向上を図っている⁷⁾。

帯域通過滤波器は、検出器の共振周波数近傍の信号だけを選択し、検出系の電氣的な SN 比を改善するとともに、引張試験機で発生する低周波の機械的振動の影響を

* 昭和 49 年 6 月 13 日受付

** 東京工業大学精密工学研究所 工博 (Research Laboratory of Precision Machinery and Electronics, Tokyo Institute of Technology, Oh-okayama, Meguro-ku 152)

*** 千代田化工建設(株) (Chiyoda Kako Kensetsu Co., Ltd.)

**** 東京大学宇宙航空研究所 工博 (Institute of Space and Aeronautical Science, University of Tokyo)

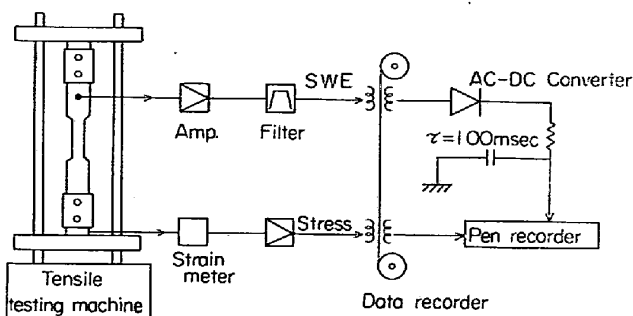


Fig. 1. Instrumentation set up for SWE detection during tensile testing.

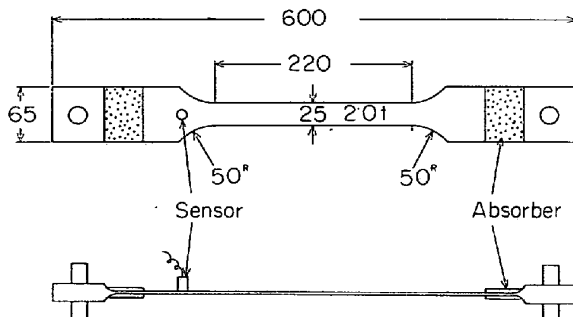


Fig. 2. Tensile test specimen.

除去する。

増幅、濾波された SWE 信号は、検出器の共振周波数付近の高周波成分が強大であるので、そのまま一般の記録計によつて記録するのは困難である。ここでは能動素子を用いて直線性を改良した微小交流電圧計を AC-DC 変換器として使用し、SWE 信号の平均値に比例した低周波出力を得る。この方法は、従来の研究で多く採用されてきた“カウント法”に比して、データの再現性などの点で優れていると考えられる⁵⁾。

2.2 試料

引張試験に使用した薄板試験片の形状を Fig. 2 に示す。検出する SWE のエネルギーは微小であるので、種々の雑音の影響を抑える措置を試験片に講じてある。まず、引張試験機付属のかみ込み式のつかみ具を廃し、試験片の両端に穴をあけ、ピンで試験機に固定した。次に引張試験に先立つてピン周辺だけにあらかじめ加重し、

SWE 検出時にこの部分が変形して SWE を放射する事を防止した。更に試料の両端にネオプレン板を吸音材として貼り付け、ピン周辺で発生する摩擦音を減衰させた⁵⁾。

Table 1 に実験に使用した試料の化学組成と機械的性質を示す。

Fig. 3 は試験片の熱処理後の組織写真である。SB42, A387-C および A515 の 600°C 熱処理材は、大部分が初析フェライトで、ところどころにパーライトが存在する。これに対し、900°C 熱処理材は、オーステナイト領域から徐冷しているため、完全なフェライトバンドが形成され、焼きなまし組織となつている。同図には 1100°C から水冷（溶体化処理）を行なつた SUS27 の組織も示す。焼きなまし双晶を含む单相のオーステナイト組織となつている。

3. 実験結果

900°C で焼きなましを行なつた SB42, A387-C および A515 について単純引張試験を行ない、SWE を検出した結果を Fig. 4 に示す。SWE は検出器出力端に換算した平均電圧（平均化時間 $\tau \approx 100$ msec）を表示してある。クロスヘッド速度を 3 mm/min に設定したので、歪速度は約 0.023%/sec となつた。いずれの試料でも、降伏点以前の弾性変形域ではほとんど SWE が記録されていない。降伏点における応力降下に伴つて大きな SWE が発生し、その後リューダース帯の形成と伝播に対応した SWE の不規則な変化が認められる。初期降伏の終了後の加工硬化域では、材料の巨視的な不均一変形が認められなくなり、SWE のレベルが著しく低下している。

Fig. 5 は、同一種の供試材について、実際の使用条件に近い熱処理として比較的低温の 600°C の焼きなましを施したものの SWE である。この処理は、压力容器などの完成時に実施される、歪とり熱処理に相当する。試料の組織が必ずしも同一ではないのに、900°C で焼きなましをした試料とほぼ類似の SWE のパターンが得ら

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of specimens.

	Chemical composition (wt%)										Tensile test			Hardness
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	V	Yield point kg/mm ²	Tensile strength kg/mm ²	Elongation %	HB
SB42	0.18	0.20	0.69	0.020	0.016	—	—	—	—	—	25	43	33	—
SUS27	0.06	0.70	1.62	0.027	0.016	8.83	18.42	—	—	—	—	63.8	64.8	170
A387-C	0.14	0.58	0.55	0.010	0.010	—	1.23	—	0.51	—	39.2	57.4	28.8	—
A515-70-60	0.12	0.22	0.65	0.011	0.006	—	—	—	—	—	32.7	47.9	30.7	—

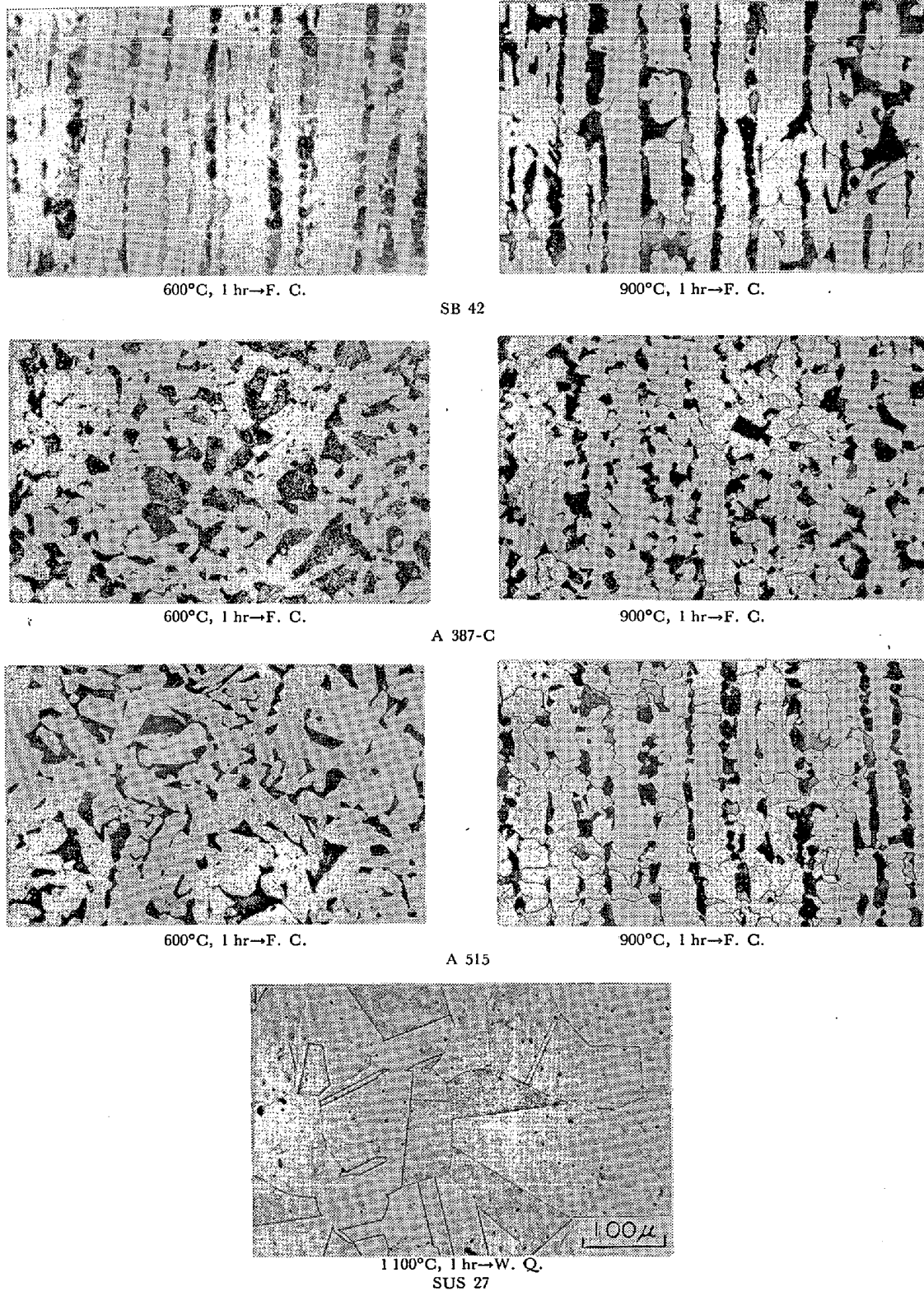


Fig. 3. Micro structures of specimens.

れているのが注目される。比較的低温の熱処理を行なった試料でも、初期降伏の段階で大きな SWE が生じる事は、これらの材料を用いた構造物に SWE 法を適用する事の有用性を示唆していると考えられる。

Fig. 6 は、SUS27 の溶体化処理材の SWE の検出を

試みた結果を示している。上述の炭素鋼や低合金鋼に比して、SWE のレベルが著しく低い。SUS27 では、炭素鋼のように初期降伏やリュース帯を伴う不均一変形が認められないことが、SWE のレベルを低くする原因の一つであると考えられる。しかし、SUS27 と同じ結

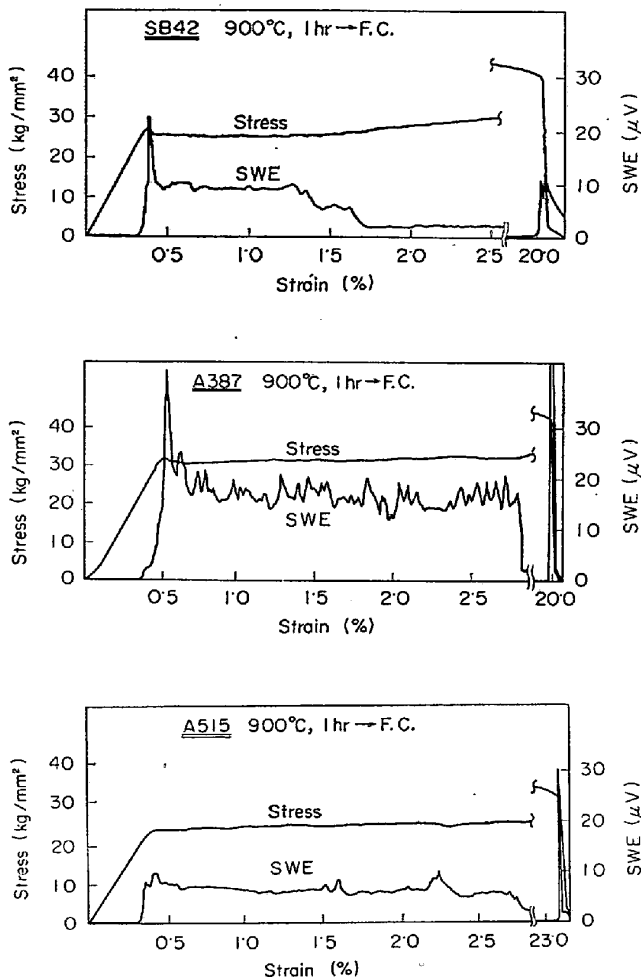


Fig. 4. SWE in alloy steels full-annealed at 900°C for 1 hour.

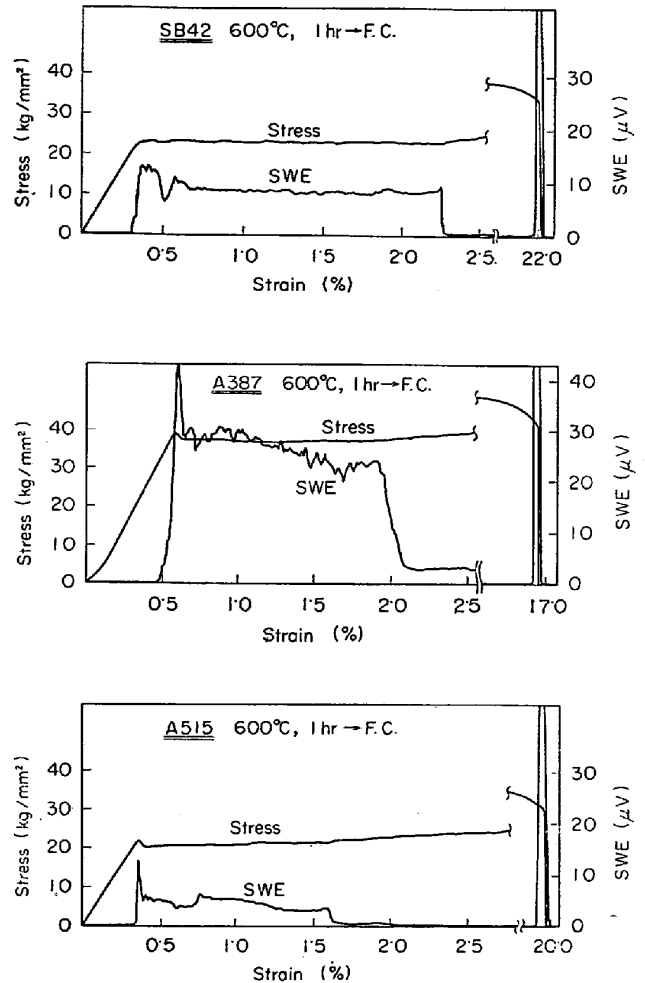


Fig. 5. SWE in alloy steels annealed at 600°C for 1 hour.

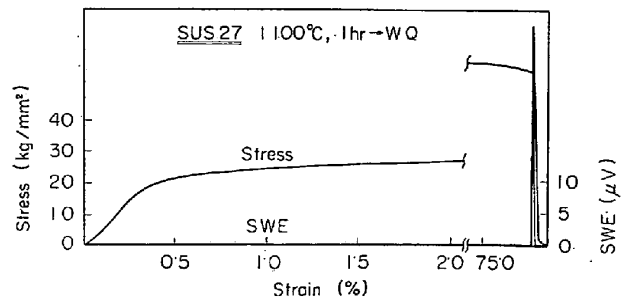


Fig. 6. SWE in solution-treated stainless steel.

晶構造の面心立方晶金属であり、かつ巨視的な不均一変形を呈さない純アルミニウムでは、Fig. 7 に示すようにかなり高いレベルの SWE が検出される⁸⁾。したがって SUS27 において SWE が特に微弱な原因が、その結晶構造に帰因するものとは考えられない。現在行なっている銅合金の実験によると、積層欠陥エネルギーを低下させると考えられている合金元素の添加によつて、SWE のレベルが著しく低下している事から、SUS27 における SWE の微弱な原因が転位の積層欠陥エネルギーが低い事によるものと推論される⁹⁾。

SWE の発生機構がどのようなものであるにしても、SUS27 で変形に伴う SWE が微弱であることは、この種のステンレス鋼を使用した構造物や圧力容器に対する安全監視に SWE 法を適用する場合の問題として留意すべきことと思われる。

本報では、SWE の基本的な特性を把握するために、できるだけ単純化した条件下での実験を行なった。実際の構造物に用いられるような厚板では、SWE の弾性エ

ネルギーが複雑な伝播姿態をとる事が予想される⁴⁾。また、同一種の試料を用いた実験でも、引張変形と圧縮変形とでは、不均一変形の様相が異なる事に対応して SWE のパターンが変化する⁶⁾。今後は SWE 法の実用化上の問題として、これらの複雑な要素を加味した検討が要求されよう。

4. 結 言

高圧設備材としての使用頻度が高い各種の炭素鋼や合

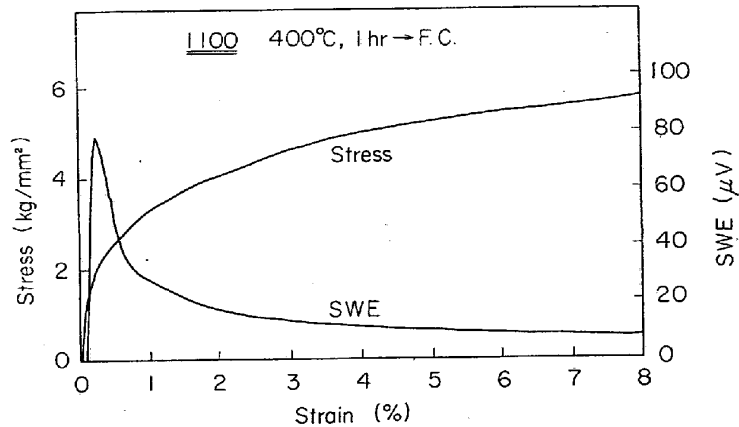


Fig. 7. SWE in commercial-purity aluminum annealed at 400°C for 1 hour.

金鋼の単純引張試験時の SWE を測定した。

SB42, A387-C や A515 では、実際の構造物の歪とり熱処理に類似した比較的低温の焼きなましをした試料でも、高温の焼きなまし材と同様に、初期降伏の段階で強大な SWE が観測された。この実験結果は、この種の材料を使用した構造物の非破壊検査や安全監視に SWE 法を適用する事の有用性を示唆していると考えられる。一方、溶体化処理を施した SUS27 の SWE は、上述した合金に比して著しく微小であることが判明した。

実験にご助力いただいた佐下橋市太郎氏、三浦康弘氏、吉田安徳氏、田中博氏に謝意を表する次第である。

文 献

1) 例えば小野：鉄と鋼，59 (1973) 9, p. 132

- 2) 羽田野，佐下橋，吉田，丹羽：非破壊検査，21 (1972) 4, p. 234
- 3) 渡辺，走崎，有田：非破壊検査，22 (1973) 12, p. 757
- 4) I. G. PALMER: Mat. Sci. Eng., 11 (1973), p. 227
- 5) 羽田野：非破壊検査，20 (1971) 11, p. 597
- 6) 羽田野，丹羽，岸，堀内：非破壊検査，21 (1972) 4, p. 219
- 7) 羽田野，丹羽：Proc. 7th Int. Conf. NDT., Warszawa (1973. 6) E-12
- 8) 羽田野，田中，堀内，丹羽：金属学会誌，(投稿中)
- 9) 羽田野：Stress-Wave Emission の研究，東京大学学位論文 (1973. 12)
- 10) 羽田野：音響学会誌，31 (1975) 1, p. 3
- 11) 羽田野：J. Acoust. Soc. Amer., (1975. 2, in press).