

高压ガス (30 bar) を用いた真空焼入炉

Vacuum Quenching Furnace Using High Pressure Gas

勝 俣 和 彦 株式会社石川島岩国製作所 真空・新素材炉技術部 次長

ガス冷却式焼入炉としては世界最高圧の 30 bar 炉を開発した。この炉で冷却テストを行った結果、200 までの冷却時間は 6 bar 冷却の約 50%、有効作業域内の冷却時間差は約 6 秒であり、均一冷却性が確認された。さらに焼入れ材 (SCM435) の硬さは 480 ~ 520 HV の範囲にあり、すべての供試材で焼入れ組織を呈しており、均一焼入性に優れていることが確認された。

A vacuum quenching furnace using 30 bar gas pressure, the highest pressure in the world, was developed. Metal quenching tests using the newly developed furnace obtained remarkable results. Quenching time from 1 050 to 200 was reduced to about 50% of that achieved by the gas pressure of 6 bar. Quenching time difference in the work zone was detected within only 6 seconds. Surface hardness of test pieces were distributed within the range of 500 ± 20 HV. The surface crystal structure of all test pieces was properly quenched. These results show that the high pressure gas quenching process is an excellent and effective method for the uniform quenching process.

1. 緒 言

真空雰囲気もっている特性を利用した熱処理プロセスは、設備技術の進歩に伴い近年鉄鋼材料、非鉄材料を問わず多岐にわたり工業界に適用されるに至った。熱処理における課題は大型金型の歪みの低減、自動車そのほか輸送用機器に使用される浸炭部品における熱処理変形の改善である。

ガス冷却は、油冷却に比べ冷却能における温度依存性が少ないと考えられ、また流動性が極めて高くガス流れの陰になった部分の滞留範囲が少ない。このため、形状変化の大きい被処理品の各部位の歪み量や多段に積載された被処理品の歪みばらつきが少ないと考えられる。さらに冷却能を自由に選択することが可能であり、歪み量および全体歪みのばらつき低減が可能であると考えられている。

高压ガス冷却は、油冷却に比べ冷却能力が劣るため、この改善に関する技術開発は、1990 年代初頭にドイツ、フランスで進められ、ヨーロッパを中心に量産技術として実用化されている。我が国では高压ガス保安法による 10 bar を超える基準が厳しいため、基礎研究が遅れていた。近年、我が国における当該技術に関するニーズが高まってきた。株式会社石川島岩国製作所（以下、IS と呼ぶ）は世界最高の 30 bar 高压ガス冷却真空熱処理炉を開発し、確証試験を実施したので報告する。

2. 試験炉の開発と試験結果

2.1 試験炉の構造

第 1 図に試験炉の概要構造を示す。本試験炉は加熱と冷却を専用の室で処理する 2 室炉タイプを採用している。また搬送装置をユニット化して分離することによって加熱室および冷却室外部に待機させる構造とし、搬送駆動系を加熱室内に設置した場合の熱対策や冷却室内に設置した場合のガス流れの妨げなどの弊害をなくした。

2.2 仕様と特徴

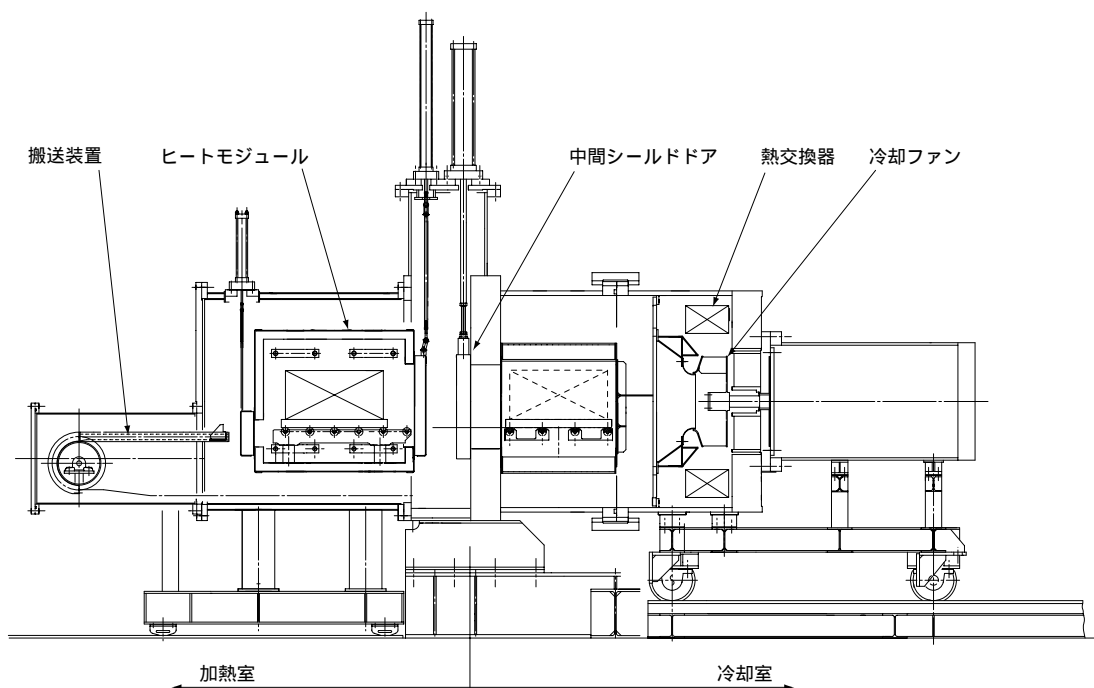
2.2.1 仕 様

開発した試験炉の主な仕様を次に示す。

加熱方式	グラフアイトヒ - タによる抵抗加熱
操業温度	真空加熱 540 ~ 1 280
均熱性能	設定温度 ± 5 （空炉、真空）
到達圧力	1.3 Pa より高真空 （加熱室・冷却室とも同じ）
排気速度	15 分以内（大気圧から 10 Pa まで）
加熱速度	35 分以内 （空炉時、常温から 1 100 まで）

2.2.2 特 徴

- (1) 30 bar 加圧冷却が可能、かつインバ - タによる風量調整および圧力調整が可能
- (2) ガス切換装置で上からの一方向吹込み、下からの



第 1 図 概要構造
Fig. 1 General structural drawing

一方向吹込みおよび上下交互吹込みの 3 方式が選択可能

- (3) ガス流れの整流化機能をもち、有効作業域内（被処理品装入寸法）の均一冷却が可能
- (4) アセチレンガスによる真空浸炭が可能

2.2.3 試験機と生産機の相違点

第 1 表に主要仕様の有効作業域，装入質量（グロス），常用最高使用温度，ガス冷却最高圧力を示す。

2.3 試験について

試験の実施に当たり，まず測温システムの開発から手掛けた。従来，多室型真空炉（真空シールドドアで各室が隔離された炉）における測温方法はデータストア式またはテレメトリー式が一般的であり，この測定装置のために多くの空間を確保する必要があった。IS で開発のシステムは，測定箇所に熱電対を取付けるだけで，特に測温システムのために必要とする空間は不要である。測定スペースの確保とガス流れへの影響に関する悪影響を排除した。第 2 図は

加熱から冷却まで連続的に採取した測温例のデータを示す。

2.3.1 供試材

2.3.1.1 冷却速度測定

冷却速度測定用供試材の配置を第 3 図に示す。供試材は $\phi 200 \times 200 \text{ mm}$ ， $\phi 150 \times 150 \text{ mm}$ ， $\phi 100 \times 100 \text{ mm}$ および冷却速度分布測定用の供試材として $\phi 50 \times 60 \text{ mm}$ を設置した。測定材料は SS400 を用いた。なお，供試材中心に温度測定用熱電対の挿入穴 $\phi 6 \text{ mm}$ をあけている。

2.3.1.2 有効作業域内の硬さばらつき測定

焼入れ硬さ測定および組織観察用供試材として $\phi 20 \times 80 \text{ mm}$ の SCM435 を用いた。また，ダミー材として $\phi 20 \times 80 \text{ mm}$ の S25C を用意した。

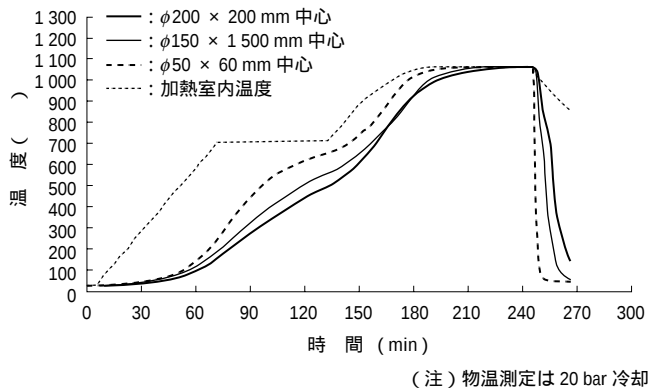
2.3.1.3 油冷却とガス冷却の変形ばらつき測定

油冷却とガス冷却の変形ばらつき測定は外径 $\phi 60 \text{ mm}$ の供試材に芯をずらし $\phi 40 \text{ mm}$ の孔をあけ，薄肉部にスリットを入れた SCM420 試験片を用意した。

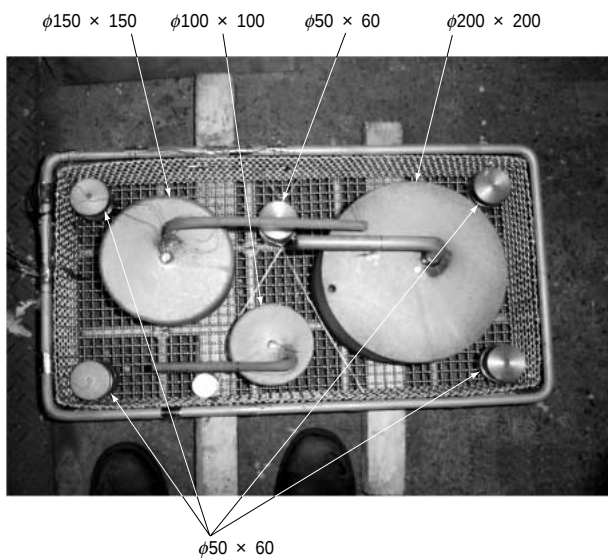
第 1 表 主要仕様
Table 1 Main specifications

項 目	単 位	試 験 機	生 産 機
有効作業域	(mm)	幅 300 × 高 300 × 長 600	幅 600 × 高 600 × 長 1000
装入質量	(kg・グロス)	150	600
常用最高使用温度	()	1 280	1 100 (1 280)
ガス冷却最高圧力	(bar)	30	20 (30)

(注) ()内数値はオプションを示す。



第 2 図 測温例
Fig. 2 Temperature measurement example



第 3 図 冷却速度測定用供試材の配置 (単位: mm)
Fig. 3 Arrangement of test pieces for cooling speed measurement (unit: mm)

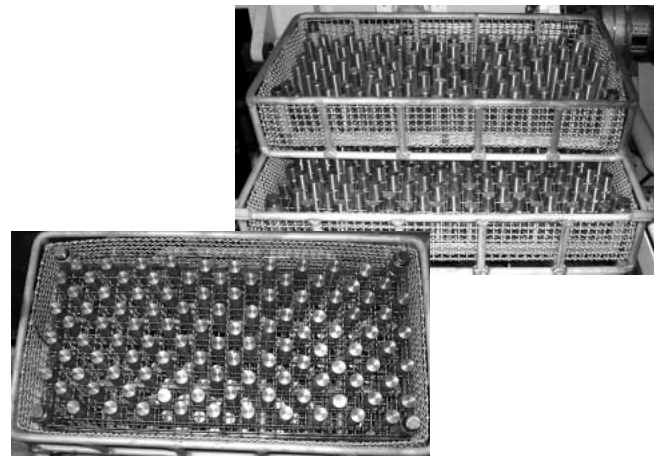
2. 3. 2 試験方法

2. 3. 2. 1 冷却速度測定

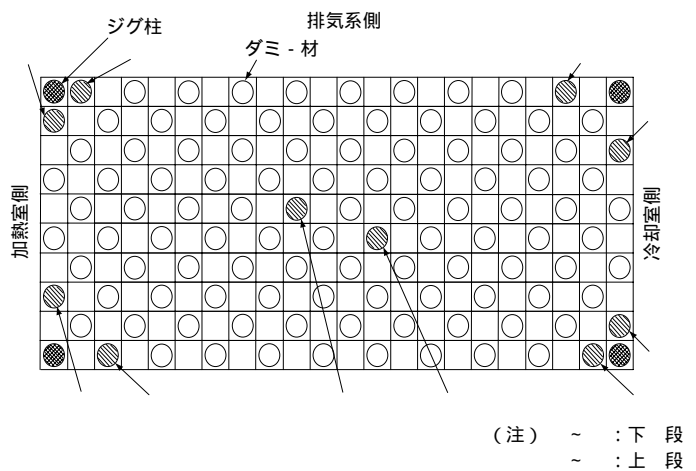
- (1) 本試験炉の冷却性能を確認するため、まず冷却圧力をパラメータ (10, 20, 30 bar) とし比較試験を行った。このデータを基に単室型真空熱処理炉による 6 bar 加圧ガス冷却の試験結果と比較した。
- (2) φ50 × 60 mm 供試材を中心付近と 4 隅に配置し、有効作業域内の冷却分布を測定した。
- (3) 上からの一方向、下からの一方向および上下交互吹込みによって冷却能を測定した。

2. 3. 2. 2 有効作業域内の硬さばらつき測定 (確認試験)

有効作業域内の硬さばらつき測定は第 4 図のようにバスケットを 2 段にして、供試材を第 5 図のような段取りで配置し、測定位置を決めて行った。硬さ測定用供試材はバス



第 4 図 硬さばらつき確認試験における供試材の配置
Fig. 4 Arrangement of test pieces for hardness measurement



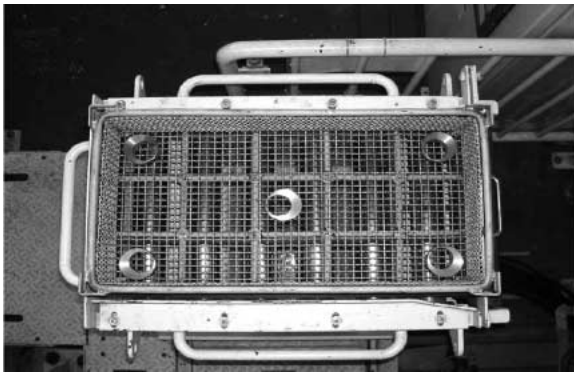
第 5 図 硬さばらつき確認試験における供試材の測定位置
Fig. 5 Measured points of hardness

ケットの 4 隅と中心付近にセットし、上下のバスケットとも同一箇所を測定ポイントとした。そのほかの場所にはダミー材を配置し、バスケットに充てんした。冷却ガスとして窒素ガスを用いた。硬さ測定および組織観察は、供試材中央部の切断面について実施した。試験条件は冷却圧力を 20 bar とし、上下交互吹込みで行った。

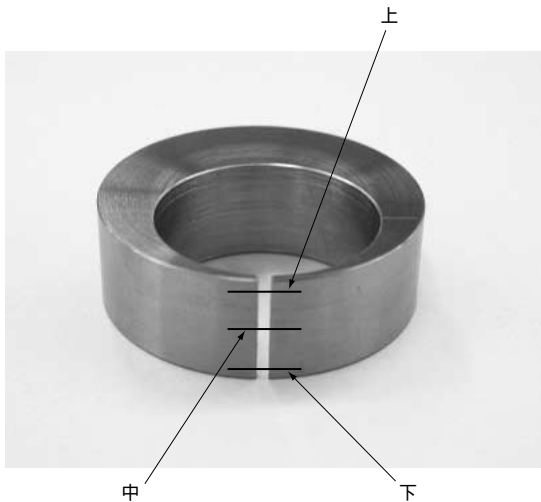
2. 3. 2. 3 油冷却とガス冷却の変形ばらつき測定 (確認試験)

供試材 (C 型試験片) を第 6 図のように 4 隅と中心付近に平置きした。測定位置は第 7 図に示すスリットの上側、中央部、下部の 3 か所である。この下部はバスケット接地面側を示す。

試験条件として、油冷却は油を攪拌した条件下で実施し、ガス冷却は冷却圧力を 20 bar とし上下交互吹込みで実施した。また、冷却前に 930 °C で真空浸炭処理 (浸炭深さ 0.8 mm を目標) を行い、その後 870 °C まで徐冷した後



第 6 図 変形ばらつき確認試験における供試材の配置
Fig. 6 Arrangement of test pieces for detection of the distortion



第 7 図 変形ばらつき確認試験における供試材の測定位置
Fig. 7 Measurement points

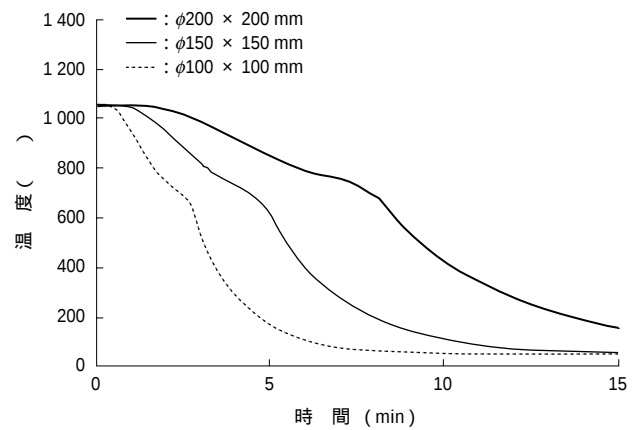
に各条件の冷却を行った。

2.4 試験結果とその考察

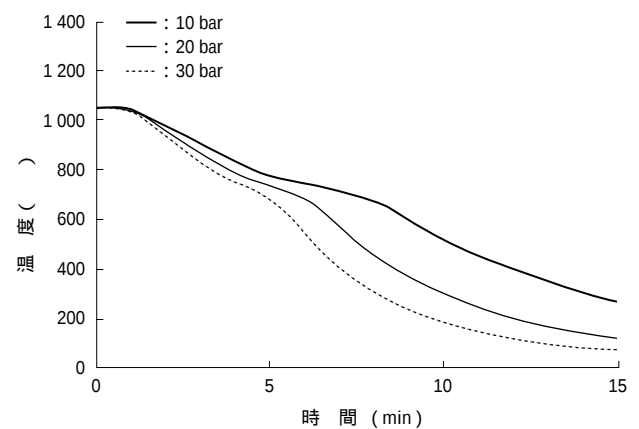
2.4.1 冷却速度測定

2.4.1.1 試験結果

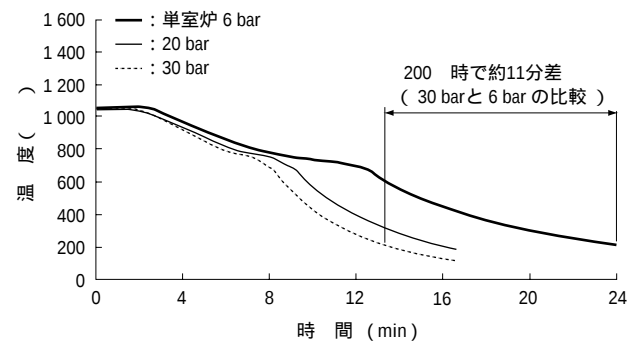
- (1) 第 8 図に 30 bar 冷却時における各供試材中心部の冷却速度曲線を示す。
- (2) 第 9 図に供試材 $\phi 150 \times 150$ mm における冷却圧力の冷却速度曲線を 10, 20, 30 bar で試験した結果を示す。
- (3) 第 10 図に供試材 $\phi 200 \times 200$ mm において、単室型真空熱処理炉による 6 bar 加圧ガス冷却試験の結果と本試験炉における 20, 30 bar 加圧ガス冷却試験の結果との比較を示す。
- (4) 第 11 図に $\phi 50 \times 60$ mm 供試材を中心付近と 4 隅に配置し、有効作業域内の冷却ばらつきの結果を示す。
- (5) 第 12 図に上からの一方向、下からの一方向および



第 8 図 30 bar 冷却時における各供試材中心部の冷却速度曲線
Fig. 8 Cooling curve of test pieces at 30 bar cooling



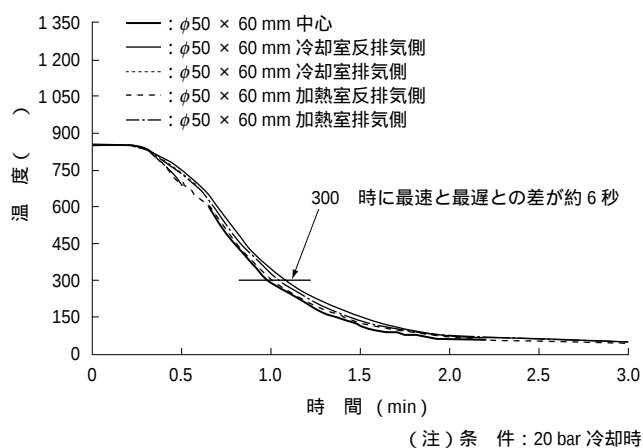
第 9 図 供試材 $\phi 150 \times 150$ mm における各冷却圧力の冷却速度曲線
Fig. 9 Cooling curve at 10, 20, and 30 bar
Test piece size : $\phi 150 \times 150$ mm



第 10 図 供試材 $\phi 200 \times 200$ mm における各冷却圧力の冷却速度曲線
Fig. 10 Cooling curve at 6, 20, and 30 bar
Test piece size : $\phi 200 \times 200$ mm

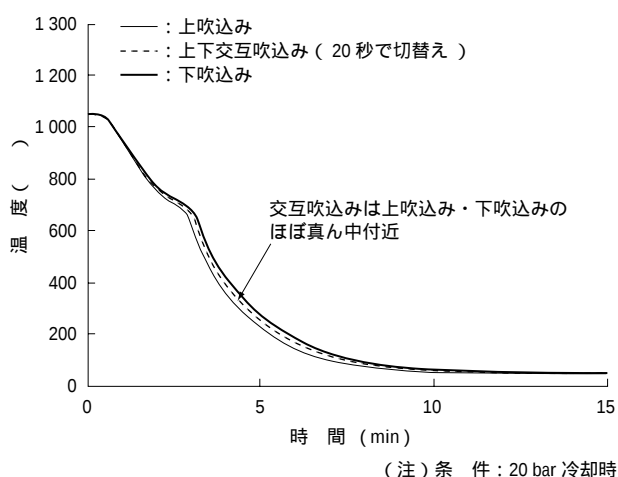
上下交互吹込みによる冷却速度の比較結果を示す。

- (6) 第 13 図はバスケット中心付近にセットした $\phi 50 \times 60$ mm 供試材において、30 bar の冷却曲線を基に求めた平均熱伝達率（表面の境界条件を均一とした）の結果と出光石油化学株式会社からの提供によるコールドクエンチ油（Dn. マスタークエンチ A）の無攪拌



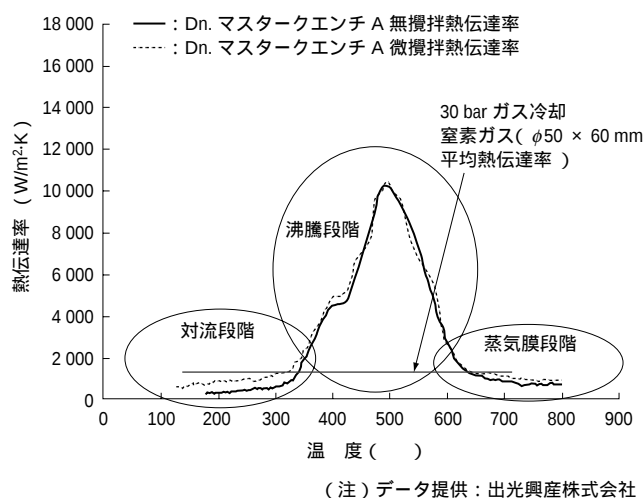
第 11 図 供試材 $\phi 50 \times 60$ mm における有効作業域内の冷却ばらつき結果

Fig. 11 Dispersion test with cooling delay between center and corner
Test piece size : $\phi 50 \times 60$ mm



第 12 図 供試材 $\phi 100 \times 100$ mm における流れ方向別の冷却速度

Fig. 12 Comparison of cooling speed by gas flow directions
Test piece size : $\phi 100 \times 100$ mm



第 13 図 無攪拌油冷却と 30 bar ガス冷却との熱伝達率比較
Fig. 13 Heat transfer coefficient of oil cooling without stirring and 30 bar gas cooling

時の熱伝達率を示す．ちなみに油の熱伝達率は 3 段階の冷却フェイズ（蒸気膜段階，沸騰段階，対流段階）がある．

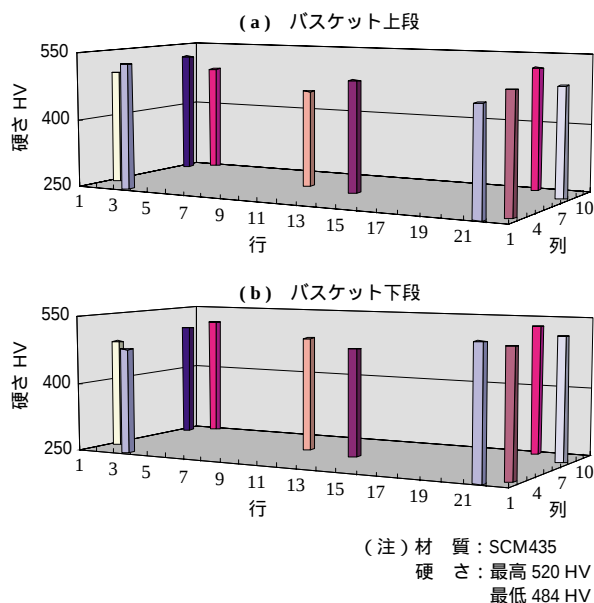
2.4.1.2 考 察

- (1) 20 bar および 30 bar と単室炉 6 bar 加圧ガス冷却曲線測定の結果，200 までの冷却時間は 30 bar 加圧冷却が 6 bar の約 50% であった．冷却潜熱の発生を抑制することができ，かつ 550 以下の低温における冷却が早いことが確認された．
- (2) 有効作業域内における冷却ばらつき測定の結果，有効作業域内の最速と最遅との冷却時間の差は約 6 秒で，均一冷却性が確認された．
- (3) 上からの一方向吹込みと下からの一方向吹込みを比較すると，上からの一方向吹込みが冷却能は大きく，その差は約 10% 程度であった．上下交互吹込みの冷却能は，上吹込みと下吹込みの中間の冷却能を示し，吹込み方向の切替えロスが極めて少ないことが確認された．
- (4) 30 bar 冷却は無攪拌の油冷却とを比較した結果，沸騰段階および対流段階の熱伝達率とほぼ同等以上の結果が得られた．

2.4.2 有効作業域内の硬さばらつき測定

2.4.2.1 試験結果

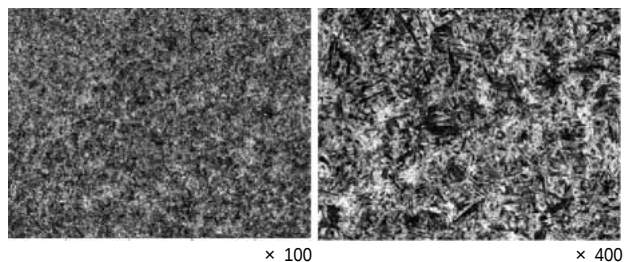
バスケットごとの硬さばらつき結果を第 14 図に示し，顕微鏡組織を第 15 図に示す．第 15 図はバスケット内における供試材中央部の硬さが最高値を示した供試材と最低値



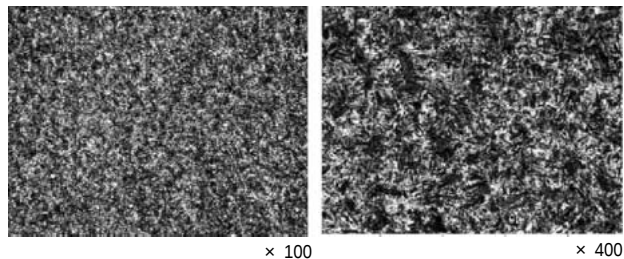
第 14 図 有効作業域内の硬さばらつき結果

Fig. 14 Hardness within work effective zone

(a) 最高値硬さの組織



(b) 最低値硬さの組織



(注) 材質: SCM435

第 15 図 供試材の中央部の顕微鏡組織
Fig. 15 Crystal structure of central part material

を示した供試材の切断面の組織を示す。

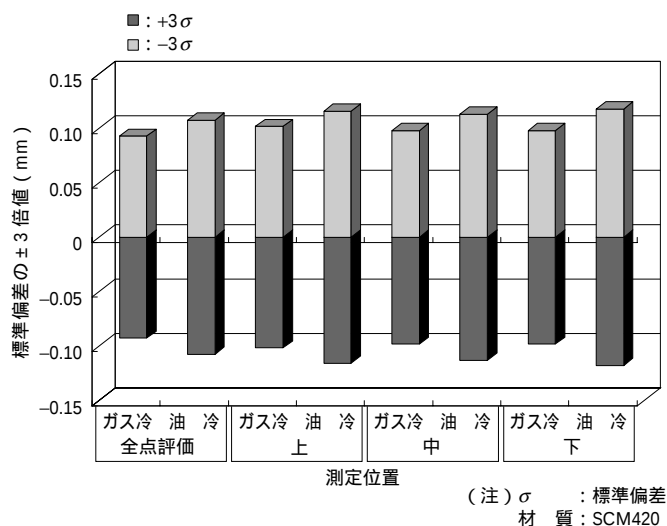
2.4.2.2 考 察

供試材の硬さ測定の結果、硬さは 484 ~ 520 HV の範囲にあり、また、組織観察の結果でもすべて供試材が焼入れ組織を呈しており、均一冷却性に優れていることが確認された。

2.4.3 油冷却とガス冷却の変形ばらつき測定

2.4.3.1 試験結果

第 16 図はスリットの変化量のばらつきを各測定部位と全点において標準偏差 σ を導き、 $\pm 3\sigma$ 値でばらつき幅を示す。



第 16 図 油冷却とガス冷却の変形ばらつき比較

Fig. 16 Comparison of distortion by oil cooling and gas cooling

2.4.3.2 考 察

各測定点および全点ともほぼ油冷却に比べ、ガス冷却は 8 割程度のばらつき幅となった。しかし本評価は 1 段積載の平置きとして評価しているため、ばらつきはそれほど観測できなかった。多段に積載した積試験によってばらつきの傾向はより明確となると考える。

3. 結 言

以上の試験の結果、30 bar 加圧ガス冷却では冷却速度の実測値、焼入れ材の硬さ測定結果および金属組織観察の結果から、沸騰段階を除く油焼入れに近い冷却能が得られたものと推定される。また、有効作業域内の優れた均一冷却性を確認しており、被処理品のばらつきを少なくすることが可能と考えられる。