

最新の真空浸炭技術

Advanced Acetylene Vacuum Carburizing

岩 田 均 株式会社日本ヘイズ 取締役 工場長

1970年代に出現した真空浸炭の特長は高温短時間処理が可能で、品質面と作業環境に優れていることであった。しかし、プロパンガス使用によるすすの問題が解決できず、あまり普及しなかった。1997年、すす発生の問題を解決した新技術としてアセチレン真空浸炭技術が発表された。従来の真空浸炭に比べ、その優れた浸炭品質、浸炭再現性が認められ、現在いろいろな分野の量産部品に適用されてきている。特に自動車部品を中心にその品質結果が評価され、アセチレン真空浸炭技術が認められてきている。

The vacuum carburizing process was introduced in the 1970's, and the expected advantages were carburizing time reduction, high quality, and pollution-free. However, the process with propane gas was not approved in the field due to heavy sooting. The vacuum carburizing process with acetylene gas was developed seven years ago, and the sooting problem is now solved. The new technology, called the acetylene vacuum carburizing process, is now applied in various fields for mass production. The recent results of quality are reported in this paper.

1. 緒 言

真空浸炭技術が発表されて約30年経過したが、ガス浸炭に代わる技術として注目された。その主な特長として下記が挙げられる。

- (1) 高温短時間処理が可能となる。
- (2) 粒界酸化がなく、表面不完全焼入層が生じない。
- (3) 浸炭層の制御が簡単である。
- (4) 細穴、止り穴など複雑形状の浸炭が可能となる。
- (5) 作業環境に優れる。

各社が競って発表したが、使用ガスはメタンまたはプロパンが主流であった。プロパンガスによる真空浸炭炉の最大の問題点はすすの発生に伴いいろいろな弊害が発生することであった。アセチレン真空浸炭技術が発表されて約7年経過した。従来のプロパンガスによる真空浸炭におけるすすの問題点が解決し、その優れた浸炭品質、浸炭再現性が認められ、現在いろいろな分野に適用されはじめた。

アセチレン真空浸炭で、このすすの問題が解決できた最大の理由は、アセチレンガスを極低圧下(1 kPa以下)で浸炭ガスとして使用することによる。1 kPa以下という圧力は一般的真空熱処理に使用される圧力範囲であり、株式会社日本ヘイズは、この通常の真空圧力範囲で浸炭する方法を開発し、国内外で初めてすすの問題を解決した。現在稼働中の量産用アセチレン真空浸炭炉で得られた品質、経済性について最近の状況を解説する^{(1),(2)}。

2. 真空浸炭プロセス

2.1 浸炭層の制御

アセチレン真空浸炭法においても、プロパンガスによる真空浸炭と同様の飽和値調整法が適用できることが分かった。この方法は浸炭ガス導入期には状態図によって固溶する炭素濃度まで浸炭し、その後の真空拡散によって浸炭層の炭素濃度を制御する方法である。一定の浸炭温度においては浸炭時間と拡散時間によって、目的とする表面炭素量と浸炭深さが得られるのが真空浸炭の特長である。浸炭温度を上げれば浸炭時間を大幅に短縮することができ、経済的に浸炭を行うことができる。ガス浸炭炉では960程度が最高温度とされ、これ以上温度を上げると、たとえ浸炭時間短縮の効果が期待できるとしても、炉の損耗が激しく、トータルコストから高温浸炭は不経済となる。これに対して真空浸炭炉の炉構造は、基本的には一般の真空炉と同じであり、1100以上に耐えうる構造となっており、通常浸炭温度を930付近に制約することなく、より高い浸炭温度を自由に選ぶことができる。深い浸炭層を必要とする場合とか高級鋼(ステンレス鋼など)の浸炭においては、高温浸炭によって大幅に浸炭時間を短縮することができる。

2.2 浸炭時間と拡散時間の制御

真空雰囲気中で昇温と各部の均熱が完了したら、ただちに浸炭ガス(アセチレン)を導入する。炉内は数秒で所定

の圧力に達し、処理物の表面各部は減圧下の浸炭雰囲気
に均一にさらされ、ごく短時間で表面に Fe_3C が析出し浸炭
が開始する⁽³⁾。所定時間浸炭ガスを供給したのち、ガスを
排出し再びもとの真空度に戻し拡散を行う。全浸炭・浸炭
および拡散のそれぞれの時間設定は、**第1表**に従って行う。
第1表は SCM415 にアセチレンガスを用い、いろいろな
温度で各時間浸炭を行い、得られた浸炭層の炭素分析によ
って、全浸炭時間と有効浸炭深さ 0.3% C と 0.4% C にした
場合の各種浸炭定数 K 値を求めた結果である。真空浸炭で
は、浸炭終了時の炭素量は状態図 (**第1図**) の飽和値とな
り炭素量が一定となる。求める表面炭素量も浸炭時間と拡
散時間の一定比率となり、R 値が与えられる。SCM415 以
外に S15C と SNCM420 についても、同様の試験を行って
K 値を求めたが、材質の違いはほとんどなかった。合金元
素の影響は、浸炭の難易性よりむしろ硬化能に影響を与え
る。

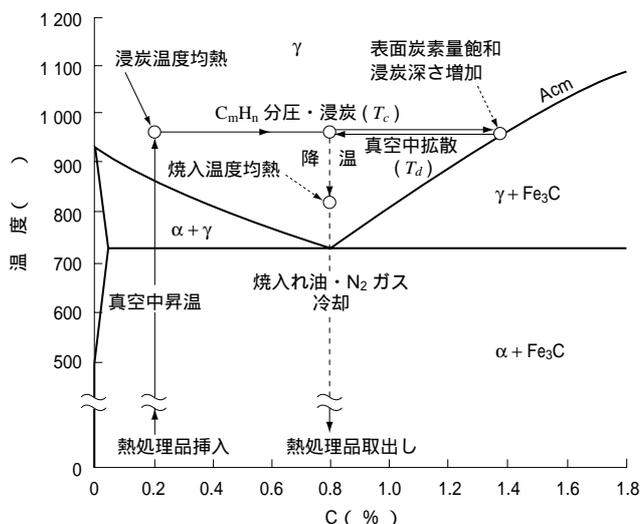
2.3 焼入れ

浸炭と拡散を終えたのち、焼入れ均熱時間が終了すると

第1表 アセチレン真空浸炭における浸炭温度と K 値と R 値
Table 1 Carburizing constant K and R value

0.8% 表面炭素量	浸炭温度					適用例
	900	930	980	1040		
K	全浸炭深さ	0.62	0.71	1.14	1.24	低炭素鋼・肌焼鋼
	有効浸炭深さ 0.3% C まで	0.44	0.54	0.78	1.04	肌焼鋼
	有効浸炭深さ 0.4% C まで	0.37	0.46	0.69	0.94	低炭素鋼
R	拡散時間 T_d	1.3	1.5	2.2	3.5	低炭素鋼
	浸炭時間 T_c					

(注) 浸炭深さ $D = K\sqrt{T}$ (mm) により算出
 $T_h = T_c + T_d$, $R = T_d/T_c$ で算出



第1図 状態図と飽和値調整法

Fig. 1 Equilibrium diagram and carburizing basics

窒素ガスで 80 kPa { 600 Torr } 付近まで復圧し油焼入れ
を行う。復圧設定値を任意の値に設定することで、焼入れ
油の冷却特性を変化させることができ、適正な焼入硬さを
得つつ、焼入ひずみの最適条件を得ることが特徴である。
ただしあまり油面圧が低いと、焼入れ油の冷却能が不足し
焼きが入らなくなる。最近では材質ごとに最適焼入硬さと
最適ひずみ量が得られるよう工夫されている。

また窒素ガスで 10 ~ 30 bar 近くまで復圧し、加圧ガス
冷却する方法も具体化されているが、本プロセスにおいて
は投入量・荷姿の多少の制約があり、焼入性の良い合金鋼
で比較的小物の場合は有効である。高温浸炭で粗大化した
結晶粒を微細化したいときは、拡散後炉内でガス冷却し再
び加熱室に移動して、焼入温度に加熱して油焼入れを行う。

3. 真空浸炭の量産適用による品質

3.1 浸炭均一性

現在アセチレン真空浸炭は、いろいろな部品・製品に適
用されている。自動車部品 (材質 SCM, SCr, SNCM など)
におけるロット内、ロット間の浸炭硬化層のバラツキ
を調査した結果、一般的な浸炭深さ 0.5 ~ 0.8 mm におい
てはロット内外において ± 0.05 mm 以内 (バラツキ幅
0.1 mm 以内) であった。また単体内の浸炭深さのバラツ
キは通常のギヤなど汎用部品からディーゼルノズルなどの
複雑形状まで、おおむね 0.1 mm 以内が標準の浸炭サイク
ルで得られることが分かった (**第2表**)。自動車用ギヤに
おける表面炭素量のロット内のバラツキを調査した結果を
第3表に示す。**第3表**から表面炭素量は設定値 $\pm 0.05\%$ 以
内が得られ、実用上全く問題ないことが検証された。アセ
チレン真空浸炭においては、ガス浸炭と比較し単体内・ロ
ット内・ロット間の浸炭均一性についてそんな色ないことが
分かった。また、得られた金属組織は粒界酸化層もなく正
常な浸炭焼入組織を呈示している。

3.2 製品光輝性

アセチレン真空浸炭においては表面が大変光輝に仕上が
ることが分かり、部品によっては大変美麗に仕上がるため、

第2表 ロット内の浸炭バラツキおよび工程能力 (自動車部品)
Table 2 Process capability of case depth

位置 No.	1	2	26	27	X	R	Cpk
表面硬さ HV	758	768	749	742	757	34	2.3
全浸炭深さ (mm)	0.64	0.69	0.72	0.67	0.69	0.08	1.9

(注) X: 平均値, R: バラツキ幅, Cpk: 工程能力指数,
仕様: 全硬化層深さ, 0.70 ± 0.05 mm, 材質: SCM420H,
処理段数: 7 段, 重量 30 g/本, 8 000 本

第3表 表面炭素濃度のロット内の変動
Table 3 Uniformity of surface carbon contents

炉位置	炉入口側	炉奥側	
段数	4	0.79	0.81
	3	0.79	0.78
	2	0.79	0.78
	1	0.83	0.85
	平均	0.83	
バラツキ幅	0.78 ~ 0.85% C, 0.07% C		
処理品	ギヤ SCM420H		
硬化層	有効 0.8 mm		

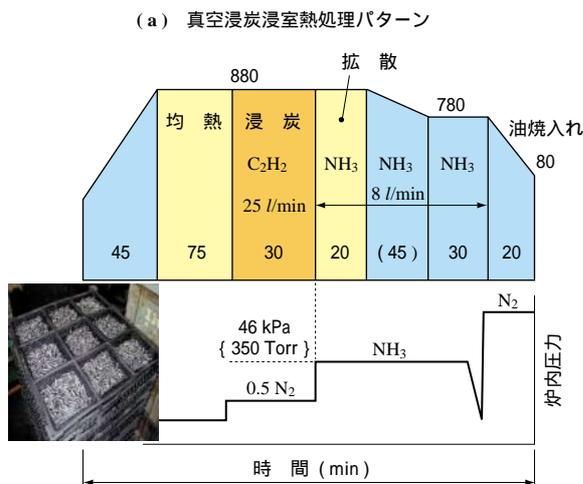
(注) 単位: 炭素量 wt%, 測定: 発光分析

後工程のメッキ工程が手間を掛けずにすむとか、ユーザによっては一部浸炭後の表面のまま出荷する例もある。この理由は、アセチレン真空浸炭においては通常の真空熱処理における圧力と同等の低い真空圧力で浸炭するため、表面活性度が増すものと推察する。

4. アセチレン真空浸炭による量産適用技術

4.1 真空浸炭浸室

アセチレン真空浸炭において所定の工程内にアンモニアガスを導入することで窒素ガスが α 相に固溶し、浸炭効果が得られることが分かり、自動車部品に幅広く適用されている。代表的なアセチレン真空浸炭浸室プロセスを第2図に示す。表面の固溶窒素濃度の制御はアンモニア流量と相関があり、導入アンモニア流量によって固溶窒素量が安定し制御できることが分かり、基本性能の向上に役立つことが分かった。高温強度の確保、疲れ強さの向上など次項で述べる高炭素浸炭との複合熱処理によって、材料の高機能

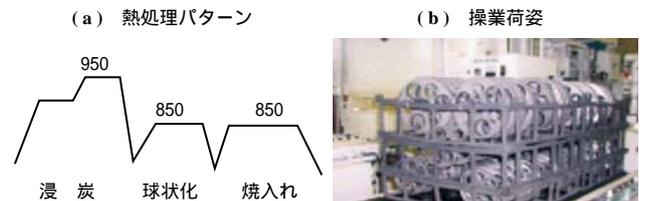


第2図 アセチレン真空浸炭浸室操業例
Fig. 2 Typical vacuum carbonitriding process

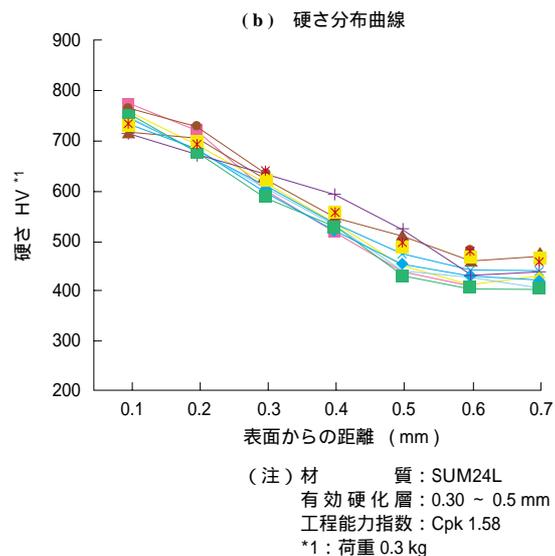
化という観点で高炭素浸炭浸室プロセス、また現在肌焼鋼の浸炭浸室プロセス適用の具体的な運用が検討されている。浸炭浸室処理にショットピーニングを加えることで機械的性質がかなり改善されたとの報告があり今後に期待される⁽⁴⁾。

4.2 高炭素真空浸炭

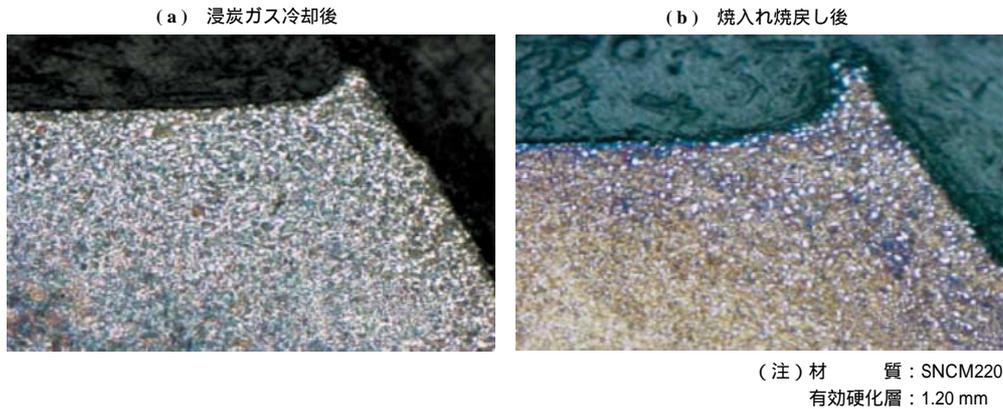
炭化物を微細に析出させる高炭素浸炭は、ガス浸炭では操業上いろいろな問題があった。これに対しアセチレン真空浸炭によれば容易に高炭素浸炭が可能である。各種自動車部品・工作機械部品・金型部品など量産部品に適用範囲を拡大してきたが、浸炭層における炭化物の大きさ、形状、析出層いずれも満足できる品質が得られ、耐摩耗性の向上、疲労強度の改善に大きく貢献している。代表的操業例を第3図、第4図に示す。工作機械部品、ショットブラスト機部品、一般機械部品などに性能の向上が認められ、製品によっては従来のガス浸炭の高濃度浸炭の2倍以上の寿命が得られた例もあり、耐摩耗性が重要な部品に広く応用が期待できる。また、高温疲労強度改善、耐焼付性改善のため、さらに窒化を加え高炭素浸炭浸室のプロセスも具体化が検討されている⁽⁵⁾。



第3図 高炭素浸炭の操業サイクル例
Fig. 3 Typical operation of supercarburizing



(注) 材質: SUM24L
有効硬化層: 0.30 ~ 0.5 mm
工程能力指数: Cpk 1.58
*1: 荷重 0.3 kg



第 4 図 高炭素浸炭組織
Fig. 4 Microstructure of supercarburizing

4.3 ステンレス鋼の浸炭

耐食性に優れたステンレス鋼に浸炭し耐摩耗性の向上を付加し、高機能化を図るといった観点でステンレス鋼に浸炭する方法は、以前から試みられていた。しかし設備上の制約があり普及しなかった。アセチレン真空浸炭によれば温度の制約がなく 1 000 以上においても全く問題なく浸炭されることが分かった。自動車部品にアセチレン真空浸炭した硬さ分布、金属の組織、荷姿を第 5 図に示す。

5. 全自動真空浸炭炉

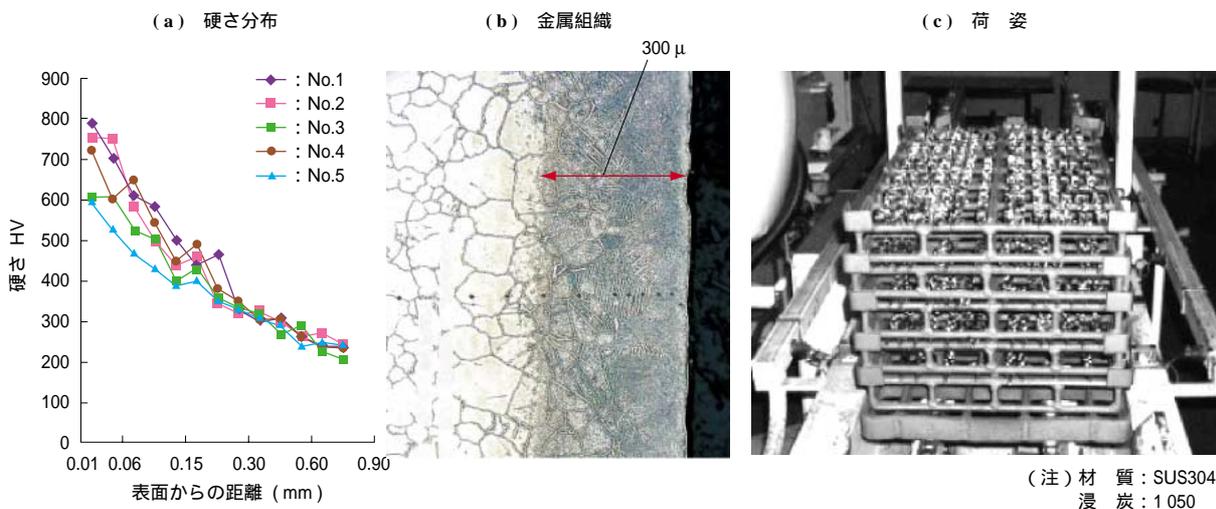
真空浸炭炉が工場に設置される例として、通常のガス浸炭熱処理工場に設置される場合の設置例を第 6 図に、新たに真空熱処理工場として新設される例を第 7 図に示す。前洗浄 浸炭 後洗浄 焼戻しとコンピュータで全自動制御され、いずれも真空浸炭炉・焼戻し炉・真空洗浄機の設備構成である。焼戻しまで全自動で制御される。本来バッチ

炉であるが、浸炭熱処理パターンの制御を集中制御し全自動運転が可能となり、納入先のほとんどが自動化され使用されている。

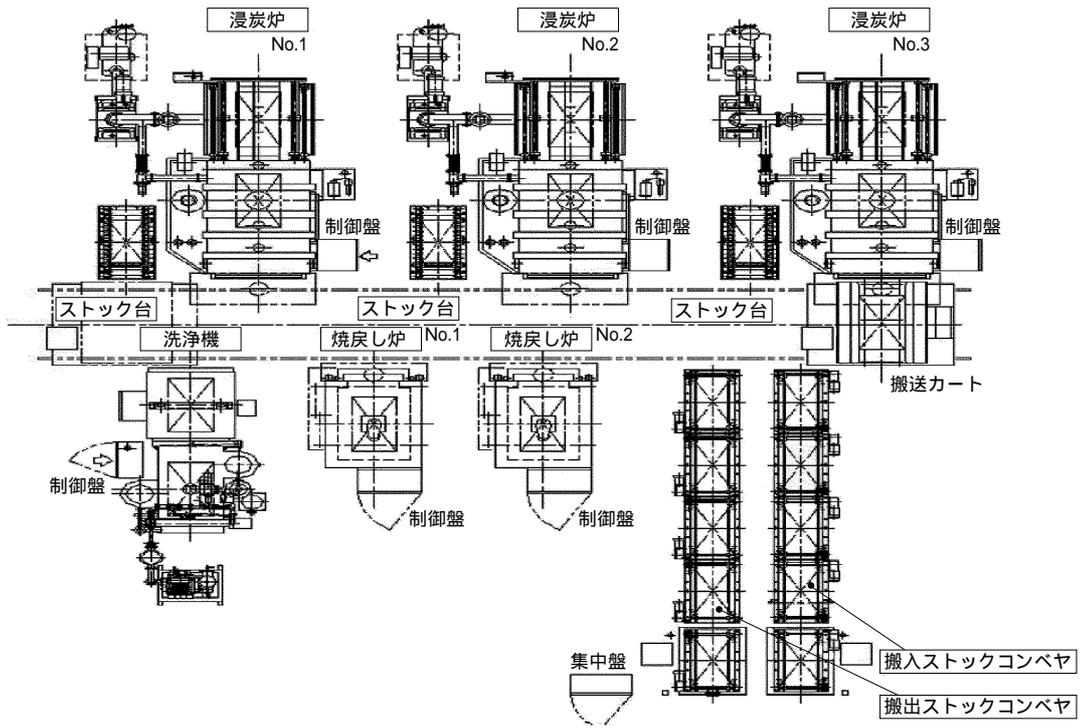
2003 年にこれらのバッチ炉に対しさらに生産量を増すために、株式会社日本ヘイズは加熱室が最大 4 室まで設置でき、油槽を共有し設備処理能力を向上させた V-MALS 型連続真空浸炭炉を開発した。本連続真空浸炭炉は多品種多量への対応および少品種多量にも対応可能で、加熱室は生産状況に応じ増設可能なフレキシブルな設備である。最近の応用例として増設加熱室の代わりに第 2 油槽として増設、また対流加熱室の設置によって処理時間を短縮することも可能である。V-MALS 型連続真空浸炭炉の外観を第 8 図に、主たる設備仕様を第 4 表に示す。

6. 結 言

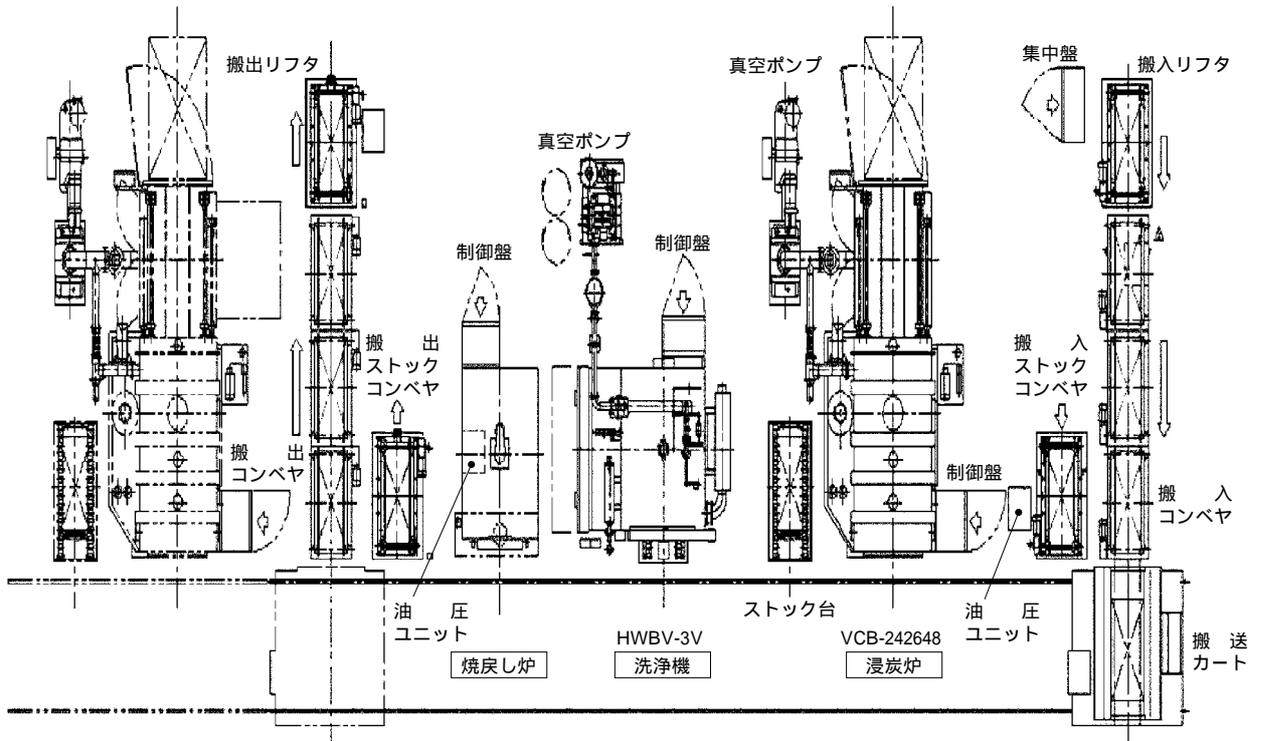
不飽和炭化水素ガスであるアセチレンを使用した真空浸



第 5 図 ステンレス鋼の真空浸炭例
Fig. 5 Carburizing of stainless steel SUS304



第 6 図 真空浸炭炉自動化例 (3 基)
 Fig. 6 Full automatic vacuum carburizing furnace (3 furnaces)



第 7 図 新設された真空浸炭炉自動化例 (2 基)
 Fig. 7 Full automatic vacuum carburizing furnace (2 furnaces)

(a) 全体



(b) 加熱室・油槽



第 8 図 V-MALS 型連続真空浸炭炉外観

Fig. 8 Typical V-MALS continuous vacuum carburizing furnace overall

第 4 表 V-MALS 型連続真空浸炭炉の主たる設備仕様

Table 4 Specification of V-MALS continuous vacuum carburizing furnace

加熱室	設備電力 (kW)	油 槽		処 理 例			
		容 量 (l)	(基)	浸炭深さ 0.5 mm		浸炭深さ 1.0 mm	
				タクト	処理量 / 時間	タクト	処理量 / 時間
1	約 150	5 200	1	3.5	185	5.0	130
2	約 260	5 200	1	1.75	370	2.5	260
3	約 370	5 200	1	1.17	550	1.67	370
4	約 480	5 200	1	0.88	740	1.25	520

炭が生産ラインで稼働して 7.5 年経過し、従来のプロパン (株式会社日本ヘイズ) による真空浸炭の問題点すなわちすすの発生に伴う諸問題を根本的に解決することができた。そして得られた品質はガス浸炭に遜色ないことが分かった。コーナ部の炭化物析出の問題を解決し、アセチレンガスの安全性については種々検証され、安全・安定操業についていろいろな角度から配慮されるにいたった。今後、さらに

残されたプロセス、設備上の課題、改善点を解決し、地球環境にやさしい省エネルギー浸炭プロセスとしてアセチレン真空浸炭を進化・発展させたい。

謝 辞

本稿の紹介に当たり株式会社デンソー奥村氏およびいすゞ自動車株式会社の松井氏に貴重な助言をいただきました。ここに記し感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 久保田 健, 山本長那, 岩田 均, 石川邦彦: アセチレンガスによる高品質真空浸炭法 日本熱処理技術協会第 43 回講演大会概要集 1996年 pp.3 - 4
- (2) M. Sugiyama, K. Ishikawa and H. Iwata: Vacuum Carburizing with Acetylene Proceedings of 18th ASM Heat Treating Society Conference (1998.10) pp.29 - 33
- (3) 奥村 望: アセチレンを用いた真空浸炭法 熱処理 Vol.38 pp.194 - 197
- (4) 衛藤洋仁, 松井勝幸, 神 泰行, 安勝 柱: ショットピーニングにおける残留オーステナイト, 加工誘起マルテンサイトおよび予応力が圧縮残留応力に及ぼす影響 日本機械学会論文集 (A 編) 69-680号 pp.37 - 44