

H-ALOY フェーシングシリンダの開発

Development of H-ALOY Facing Cylinder and Its Characteristics

田 中 守 通*
Morimichi Tanaka

要 旨

耐摩耗性と耐食性をもつH-ALOYフェーシングシリンダを開発した。本報告では被覆用合金H-ALOYと、これを鋼製シリンダ内面に被覆したH-ALOYフェーシングシリンダのもつ種々の特性ならびに用途について記した。

1. 緒 言

工業装置の機構的な役割をする部品のうち、シリンダ（またはライナ）形状のものにおいては、他の部品によって摩擦を受けたり、輸送物体によってかじり摩擦や腐食作用を受けて損傷することが多い。著しく損傷するシリンダには従来よりその内面は浸炭や窒化、高周波焼入、硬質クロムめっきなどの表面処理が行なわれて、損傷は軽減されてはいるが、まだ十分とはいえない。また他の表面処理のうち、肉盛溶接や溶射などによって耐摩耐食性を付与させるすぐれた方法があるが、シリンダ内面に施工することは非常にむずかしい。これらの問題点を解決するために金属表面被覆用耐摩耐食合金“H-ALOY”を開発し、この合金を鋼製シリンダ内面に被覆する方法を検討してきた。本報告ではこれまで開発してきたH-ALOYならびにH-ALOYフェーシングシリンダの特性調査から得た知見を記し、さらに今後広範囲な分野で使用されると考えるH-ALOYフェーシングシリンダの二、三の用途について記す。

2. H-ALOYの種類

市販されている金属表面被覆合金のうち、たとえば肉盛溶接用Co—Cr—W—C系合金においては、Co—Cr基による耐食性と炭化物析出による高硬度特性が付与されている。また溶射用Ni（またはCo）—Cr—B系自溶合金においては耐食性とホウ化物析出による高硬度特性のほか、B、Siにより地金に対する溶着性が付与されている。さらにFe系合金では、合金鉄のもつ耐摩耗特性が一般によく知られているが、なかでもBを添加した合金白鉄においてはホウ炭化物の析出によりすぐれた耐摩耗性が得られ、ハードフェーシング合金として用いられている。以上のような合金の

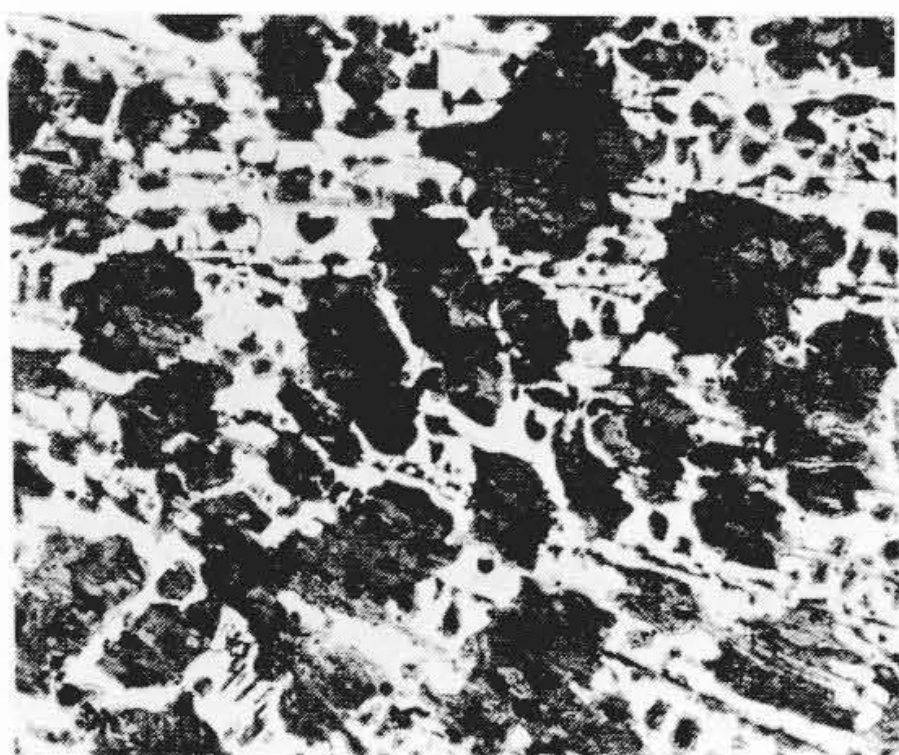
表1 H-ALOYの種類

H-ALOY	材 質	硬度 (H _R C)	特 性
H-10	鉄、ニッケル合金	59～65	高 耐 摩
H-20	コバルト、ニッケル、(鉄) 合金	46～54	耐摩、耐食
H-30	コバルト、ニッケル合金	45～50	高 耐 食
H-40	コバルト、ニッケル、鉄合金	52～56	耐摩、耐食
H-50	コバルト合金	55～60	高耐摩耐食

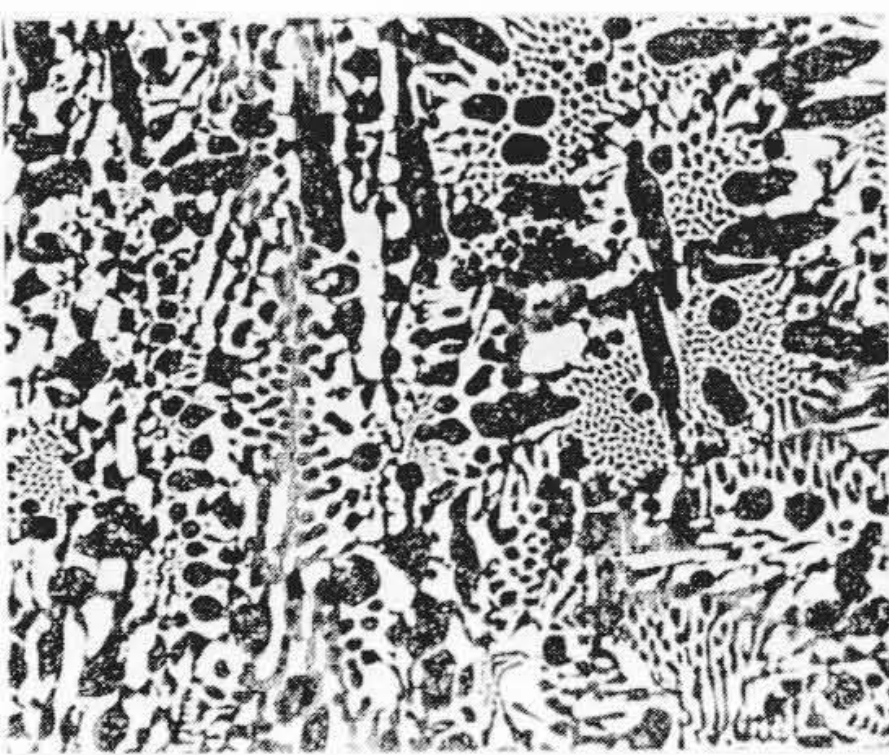
もつ種々の特性を生かし、鋼製シリンダの内面被覆用に開発したものが表1に示すH-ALOY各種合金である。これらの合金は大きく分けてFe基、Ni—Co基、Co基の3種類あり、いずれもBを含有させてホウ化物の析出による高硬度特性と地金に対する溶着性をもたせている。以下にH-ALOY各合金の特徴を記すことにする。

H-10は白鉄鉄組成分にB、Niを添加したものである。組織は図1に示すように白鉄組織であり、Hv900～1,200のかたさを有する白色のホウ炭化鉄とオーステナイトが変態したマトリックスから構成されている。組成成分中のNiはおもにかたさ調整用として用いられ、合金量の増加に従って図1(a)のようにマトリックスがHv400～500のパーライトから、図1(b)のようなHv700～800のベーナイトになり、さらには図1(c)のようにHv400～600のベーナイトと残留オーステナイトの混合したマトリックスになる。

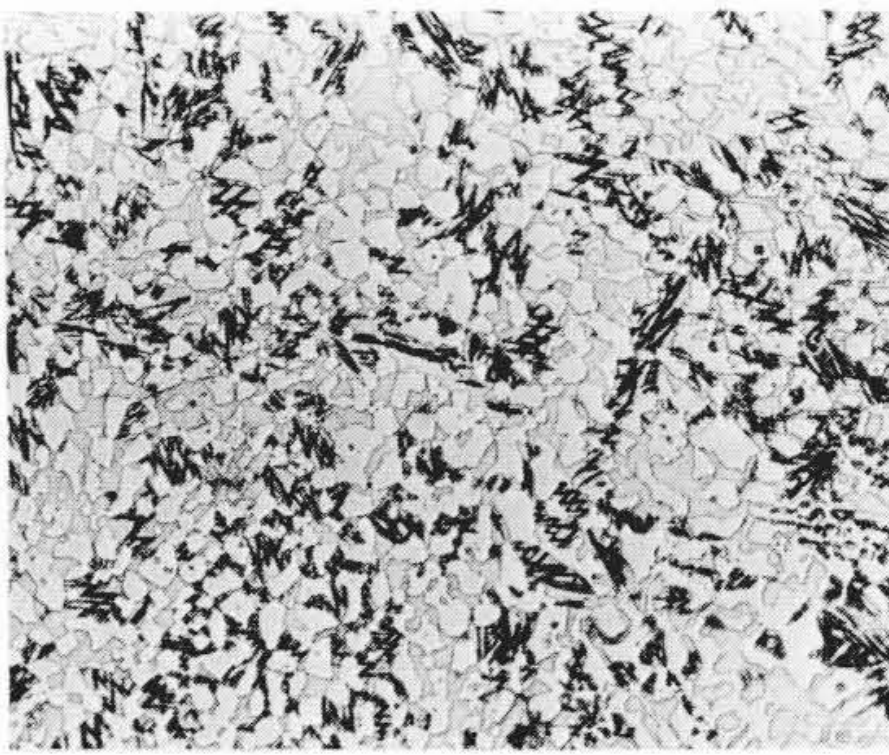
H-30はNiとCoの母金属にB、Crを添加したものである。組織は図2に示すように丸味を帯びた色の濃い(Ni、Co、Cr)—B系のホウ化物と色の薄いNi—Co—Cr固溶体から構成されている。この合金のかたさはB量によって変化する。たとえばB量が多くなるとHv1,000～1,300のかたさをもつホウ化物の析出量が増し、逆にHv250～300のかたさをもつ固溶体の量が減少するため合



(a) H_RC 42



(b) H_RC 62

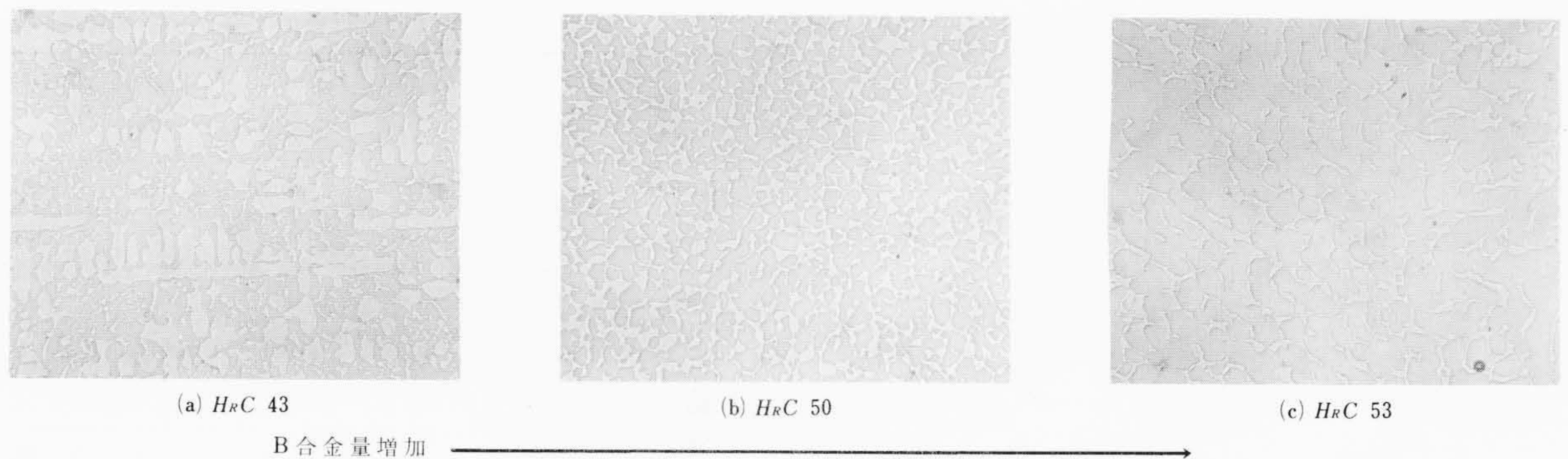
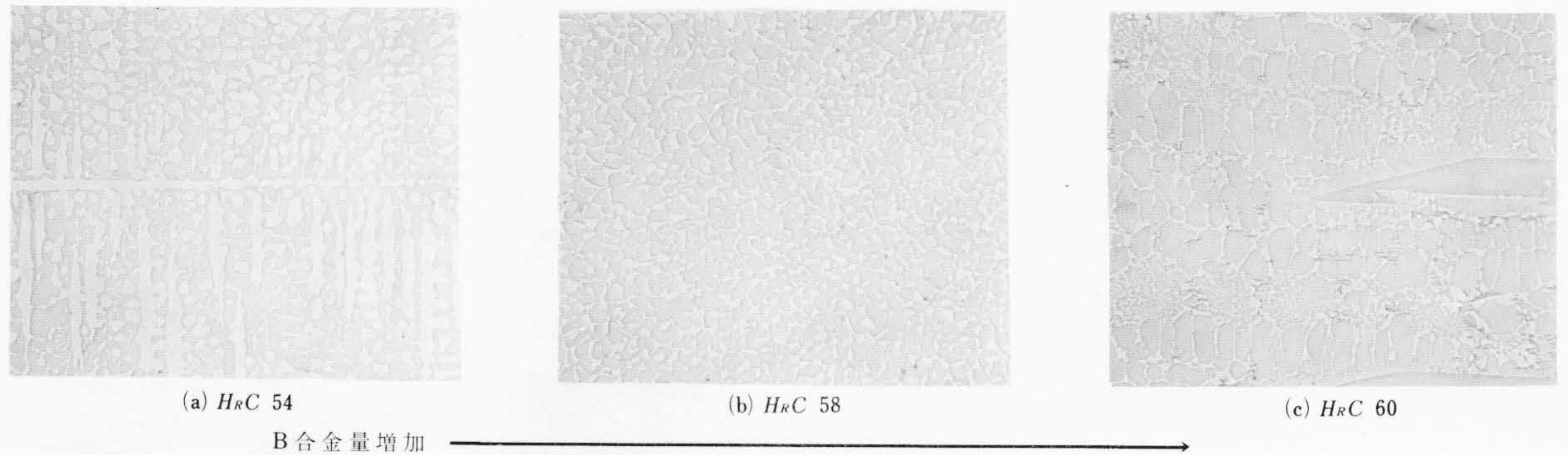


(c) H_RC 53

Ni合金量増加

図1 H-10の組織とかたさ(×100×½)

* 日立金属株式会社若松工場

図2 H-30の組織とかなさ ($\times 100 \times \frac{1}{2}$)図3 H-50の組織とかなさ ($\times 100 \times \frac{1}{2}$)

金のかたさは高くなる。これらの現象は図2からわかる。H-20およびH-40はC, Feを添加し若干固溶体のかたさを高めたものであるが、組織はH-30にほぼ類似する。

H-50はCoを母金属とし、B, Crなどの元素を添加したものである。組織は図3に示すように(Co, Cr)-B系のホウ化物とCo-Cr系の固溶体から構成されており、H-30に類似している。また合金のかたさはB量が多いほどホウ化物の析出量が増し高硬度になる点もH-30に類似している。しかしこの合金は組成成分中のNiの含有量を極力押えているために、H-30より高硬度になる。この原因は図4から明らかなように、合金組成成分中のNi量が減少するとマトリックス(Co-Ni-Cr固溶体)のかたさが上昇するからである。このような理由でH-50はH-10のかたさには及ばないが、非鉄系合金中最も高いかたさが得られる。

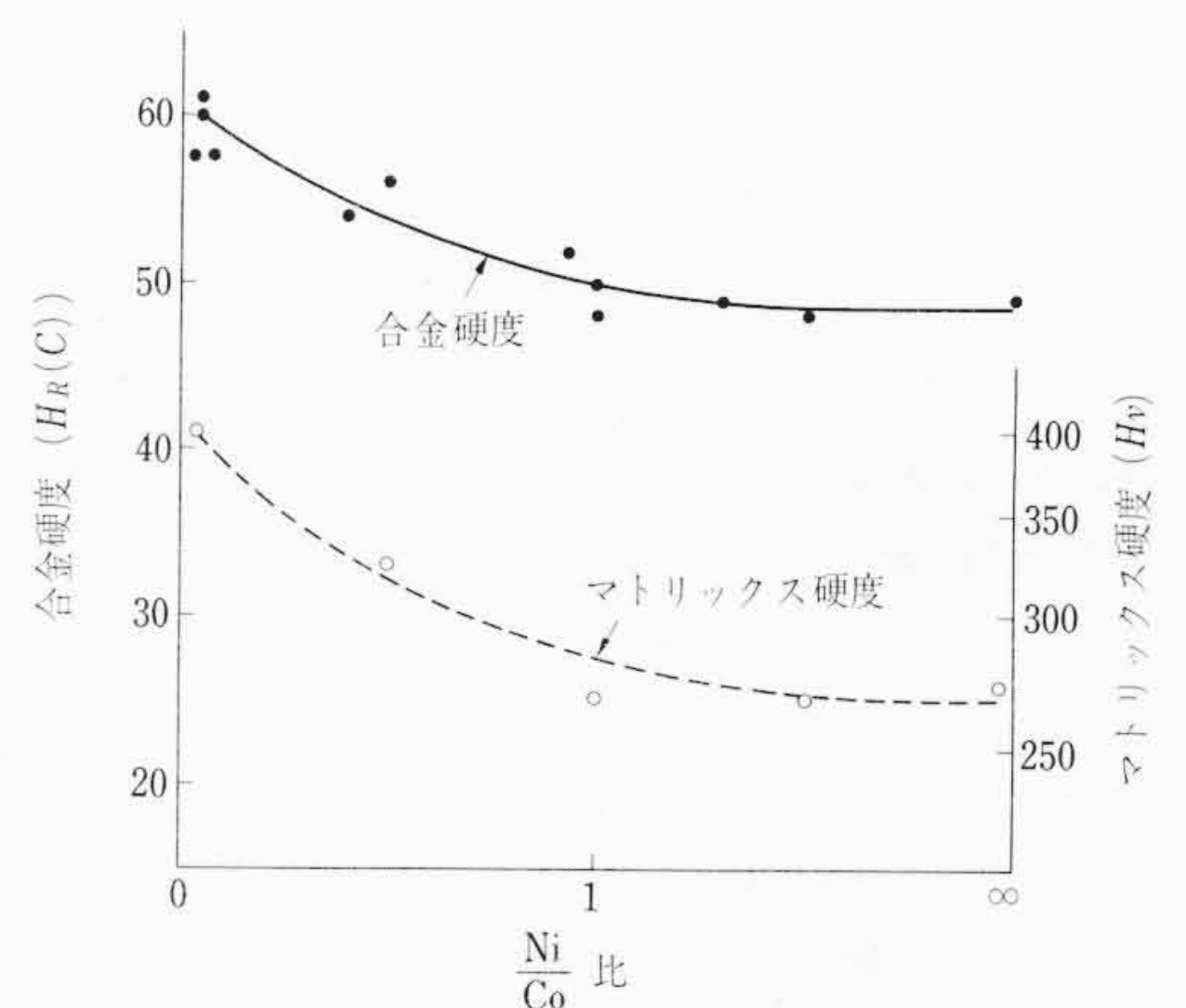
以上のH-ALOY各種合金は後に述べる硬度特性、耐食性、溶着性の調査を行なうことによって、耐摩耐食性金属表面被覆用合金として十分仕様に耐えうることを確認した。

3. H-ALOYの特性

耐摩耐食性金属表面被覆用合金として開発したH-ALOY各種合金は高硬度特性や耐食性のほか、地金に対して強固に溶着する性質をもつ必要がある。また地金材質に制限されることなく多くの材質にH-ALOYを被覆できることが望ましい。これらの要求される性質をH-ALOY各合金がもっているかどうか、確認のための調査を二、三行なってきたので以下に述べる。

3.1 硬度特性

金属面の摩耗による損傷を軽減するためには、その面のかたさを高めることが有効であり、一般的な考え方である。そのために熱処理による表面硬化処理や、硬質金属を化学的に被覆するめっき処理、異種合金をや金的に被覆する肉盛溶接や溶射などの処理は、いずれも金属面のかたさをHRC 40以上の高硬度にし耐摩耗性を付与する手段として従来より用いられている。これに対してH-ALOY各種合金は表1に示しているように、上記の種々の表面硬

図4 合金の $\frac{\text{Ni}}{\text{Co}}$ 比と硬度の関係 (H-50系およびH-30系)

化処理によって得られるかたさと同等あるいは同等以上のかたさが得られるので耐摩耗性は劣らない。

また摩耗に対しては一般に金属の摩擦係数が小さいほうが耐摩耗性が良いといわれている。これに対してH-ALOY各種合金はホウ化物やホウ炭化物を多量に析出しているので、摩擦係数の小さいことが推測され、組織的にみても良好な耐摩耗性が予想される。

H-ALOYフェーシングシリンダが高温で使用される場合にはH-ALOYの高温におけるかたさが摩耗に影響する。そこでH-ALOYの高温におけるかたさを調査したものが図5である。高温かたさ測定に際し、窒化鋼を窒化(SACM1 塩浴室化 $570^{\circ}\text{C} \times 5\text{h}$)した試料およびH-ALOYの母金属となるFe, Ni, Coも平行して測定した。図5から明らかなように、H-ALOYの高温における軟化傾向はきわめて小さい。この結果、低温では窒化鋼のほうがはるかに高硬度であるが、約 400°C 以上の高温ではH-ALOYのほうがまさっている。特にH-50とH-30の非鉄系H-ALOYの軟化傾向は小さい。このようなH-ALOYの高温における軟化傾向が小さい理由として、まず組織中に多量に分布するホウ化物やホウ炭化物など硬質粒子

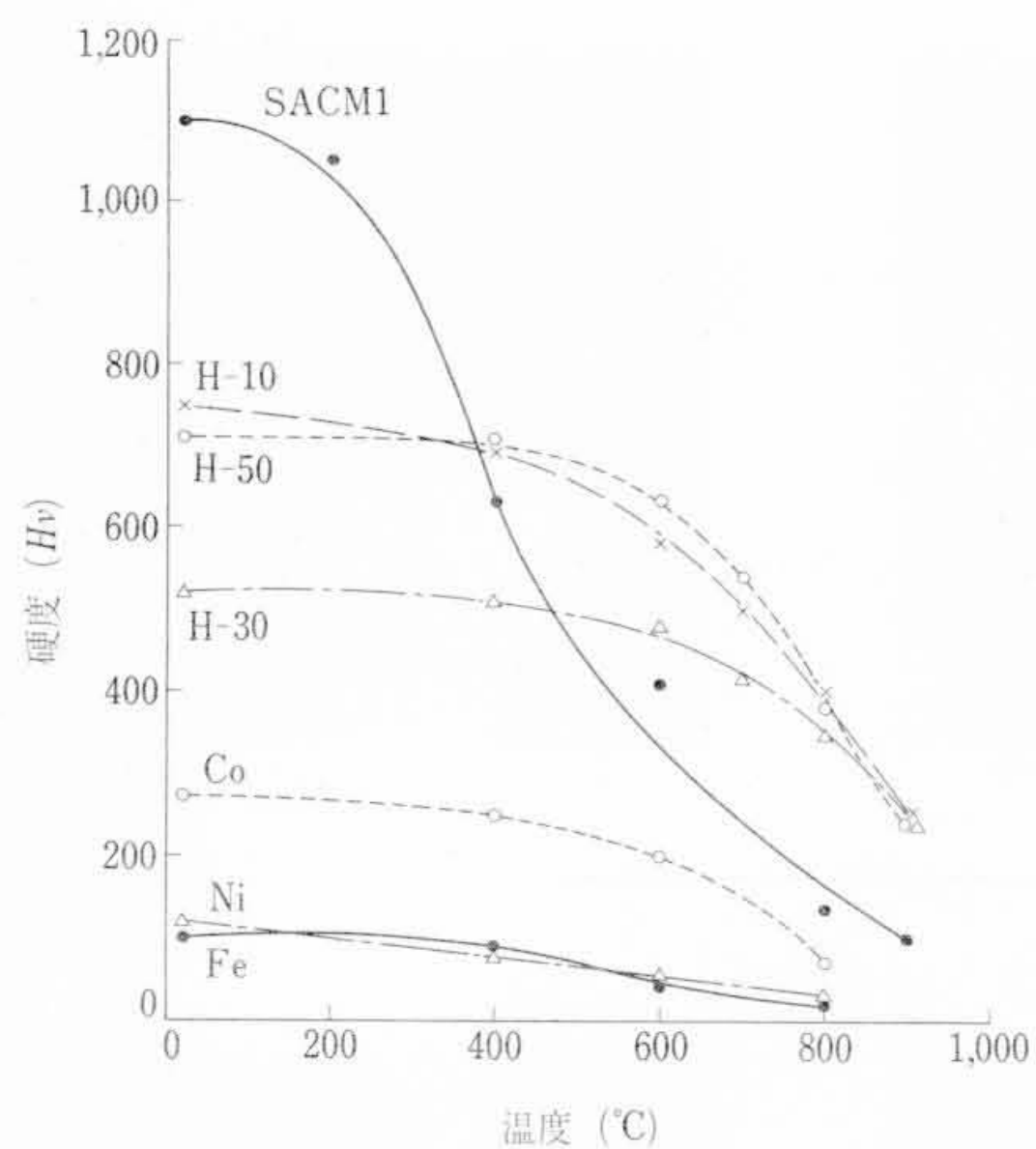


図5 H-ALOY, 窒化鋼, Co, Ni, Feの高温硬度

の存在があげられるが、さらにこれらの粒子を包む固溶体のかたさにも関係があると考えられる。この固溶体のみの高温かたさは実測されていないが、図5に付記したFe, Ni, Coの高温かたさによってある程度推測される。すなわちFe, Ni, Coの中ではCoは最も高温かたさが高いので、Coを多量に含有するH-50やH-30系合金では固溶体の高温かたさも影響して高温硬度特性が得られるものと思われる。

3.2 耐食性

合金の腐食は摩耗と同じように条件によって種々異なった様相を呈するが、合金の耐食性について検討する場合にはおもにその合金の組成成分をもって考究するのが一般的である。以下にH-ALOY中の代表的組成成分をもつH-10, H-30, H-50と窒化鋼(SACM1塩溶窒化済み)、ステンレス鋼(SUS27)の耐食性を比較調査した結果について述べる。

表2は各種腐食条件の下における試験結果である。試料はすべて $5 \times 5 \times 10$ (mm)で、液体腐食の場合は試料を試験管内の液体中に浸せきして、塩素ガス腐食の場合は管状電気炉中を貫通するガラス管内に試料を置き脱気した塩素ガスを流して腐食させた。また腐食時間と温度は、液体腐食の場合はすべて20h, 20°C, 塩素ガス腐食の場合は2h, 300°Cである。実験後各試料を秤量(ひょうりょう)し、腐食減量によって耐食性を評価した。

材質別にみるとH-10, SACM1, SUS27などFe基合金は全般的に各腐食条件による耐食性が劣っている。とくにH-10は他のH-ALOYに比べて耐食性が劣っているのが目立ち、中でも硝酸による腐食作用が激しい。

H-30とH-50は他の合金に比べてきわめて耐食的である。しかし硝酸においてのみ比較的劣る。これはNiおよびCoの硝酸に対する劣性⁽¹⁾が影響しているものと思われる。

SACM1では窒化層自身はかなり耐食性をもっており、特に大気、油脂類、アルカリ、燃焼排気などに強いといわれているが、調査した合金の中ではステンレス鋼と同様に全般的に耐食性が劣っている。これらは母金属がFeであり、他のNi, Co合金に比べてFeの劣性が影響しているものと思われる。

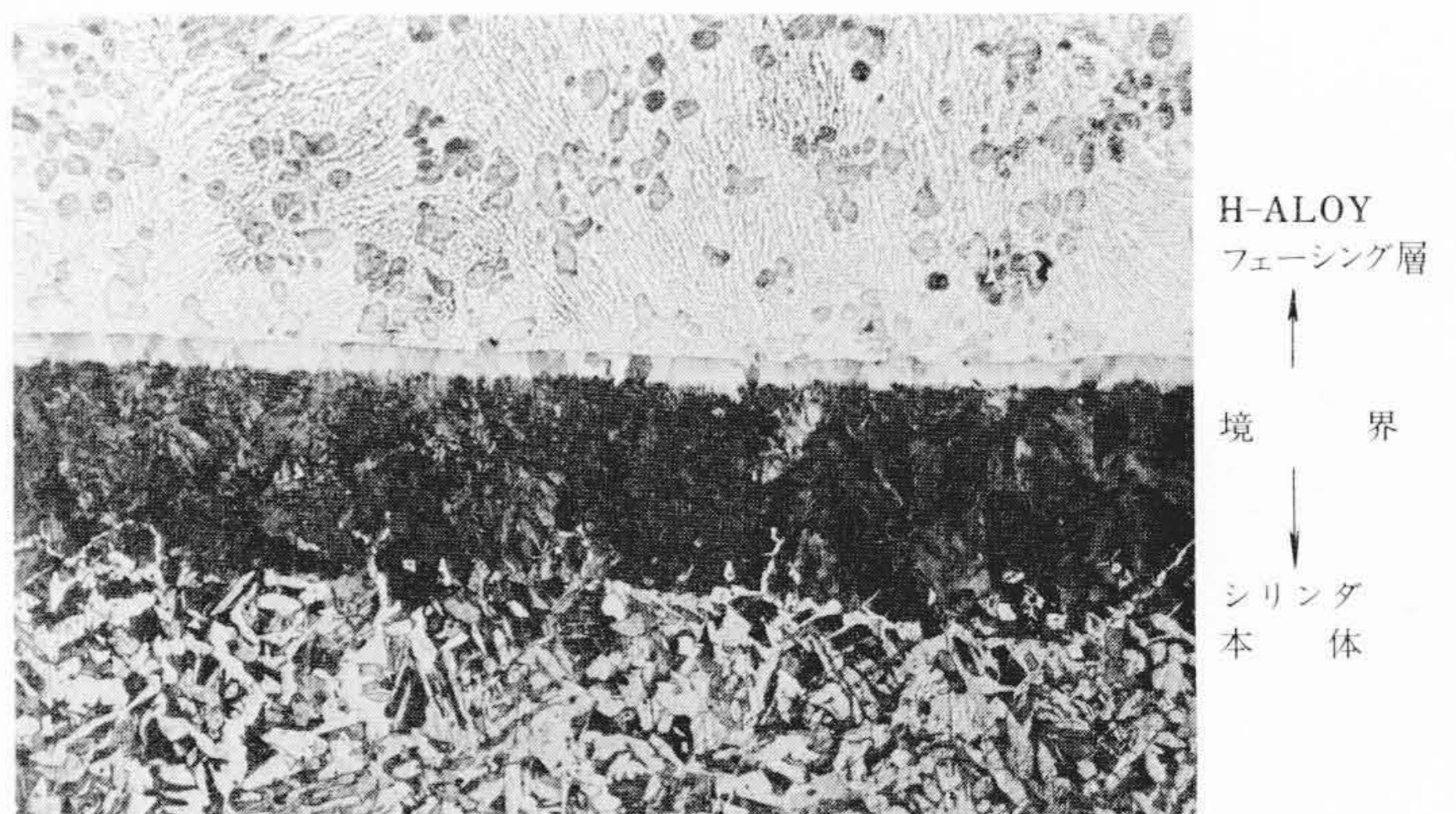
SUS27では硝酸に対してのみきわめてすぐれた耐食性を示している。これは含有するCrによって表面が不動態化したことによるものと思われる。H-30やH-50にもCrが含まれているが、SUS27に比べて含有量が少ないため硝酸に対して不動態化せず、これを行なわせるためには15%以上の添加が必要⁽¹⁾であると思われる。

3.3 溶着性

Bを含むH-ALOYは地金表面に熔融状態で被覆することにより完全に溶着する。これは地金面に付着している酸化被覆がH-ALOY

表2 各合金の腐食条件と腐食量($\times 10^{-3}$ g)

条 件	合 金	H-10	H-30	H-50	SACM1	SUS 27
50% 塩 酸		22	2	3	67	70
50% 硫 酸		7	1	1	15	36
50% 硝 酸		> 3,000	71	1,002	22	< 0.1
50% 臭 化 水 素		2	1	1	16	10
50%硝酸アンモニウム		5	< 0.1	< 0.1	2	< 0.1
85% 乳 酸		< 0.1	< 0.1	< 0.1	13	2
10% フッ化水素		6	1	1	28	8
10% 塩 酸		< 0.1	< 0.1	< 0.1	1	< 0.1
10% 硫酸ナトリウム		< 0.1	< 0.1	< 0.1	1	< 0.1
0.5% 亜 硫 酸		< 0.1	< 0.1	< 0.1	1	< 0.1
99% 塩 素		2,500	1	—	2,077	—

図6 H-10/S25C境界部断面組織($\times 50\times$)

によって溶解され、 B_2O_3 のホウ酸ガラスとなって浮上するためであり、溶接作業でホウ砂やホウ酸を溶剤として用いるのと同じようにH-ALOY自身が溶剤としての働きをするためと考えられる。さらにH-ALOYの溶着性に関係する要因として、BやCの地金側への拡散が考えられる。すなわちH-ALOYが地金表面に接触した場合、地金側へこれらの元素が拡散して地金表面層の融点を下げ、H-ALOYの溶体と融合しやすくなる。図6は鋼製シリンダの内面にH-10をフェーシングした溶着部周辺の断面組織である。H-ALOYと地金との境界には白層から成る拡散融合層が認められる。また地金側には黒色の硬化層(Hv約300)が認められるが、これはH-10組成成分中のBやCの拡散侵入によって生成したものと思われる。

このような溶着形態は他のH-ALOYと合金鋼やステンレス鋼などの種々の地金材料との境界においても認められる。またこれらの境界は拡散融合層から成るのでフェーシング層の接着強度はきわめて大きいことが推察される。

以上のようにH-ALOYに必要とされる特性についてこれまでに調査してきた結果を記したが、硬度特性や溶着性に対しては種々のすぐれた性質をもっていることが確認された。しかしかたさや耐食性に対してはH-ALOY間はかなり性質を異にするものがあるが、これはH-ALOYの用途を考えH-ALOY各材質間から適した材質を選ぶことにより対処できるものと思われる。

4. H-ALOY フェーシングシリンダの特性

耐摩耐食合金H-ALOYを鋼製シリンダ内面に溶着被覆したH-ALOYフェーシングシリンダは他の表面処理をしたシリンダとは異なる種々の特性が見いだされる。

まず第一に、従来より施工されている鋼製シリンダ内面の表面処理は、おもに焼入れや浸炭窒化を行なって地金表面層組織を変

質させる方法である。これらの処理では表面硬化層は得られるが耐食性は十分得られない。これに対してH-ALOYフェーシングシリンダには耐摩耗性と耐食性の両性質を具備させることができる。

第二に、H-ALOYフェーシングシリンダは地金と全く性質を異にする合金を被覆した複合二重管 (Bi-metallic Cylinder) となっており、構造的に従来のものと大きな違いがある。この構造的な違いから得られるH-ALOYフェーシングシリンダの特性について下記する。

4.1 深 硬 性

図7はシリンダ内面にH-50を2mmフェーシングしたものと、窒化鋼を塩溶窒化したものの深硬性を比較したものである。H-ALOYフェーシング層の厚み2mmの間の硬度変化をみると、シリンダ本体との境界近辺で急激な硬度低下が生じているが、フェーシング層の約70%以上は表面のかたさが内部まで維持されている。これに対して窒化層の場合は、かたさは表面からただちに急激な低下を示す。この硬度低下を緩和するためには窒化層の厚みを増すように窒化温度を上げるか、処理時間を長くすればよいが、厚みは0.5mm程度までが限度のようである。

一般に窒化や浸炭のようにNやCを地金に拡散させる方法や、高周波焼入れや火炎焼入れのように熱の拡散を利用する方法では図7の窒化層のように硬化層の深硬性が劣る。これに対して肉盛溶接や溶射などの金属被覆する方法では、被覆層のかたさ変化がきわめて小さいので、被覆層を厚くすることによって容易に深硬性を大にすることができる。H-ALOYフェーシングシリンダにおいても金属被覆の利点が活かされ、フェーシング層 (H-ALOY層) の厚みを大きくすれば大きな深硬性が得られるが、通常のシリンダでは厚みは1～3mmで十分である。

4.2 H-ALOYフェーシングシリンダの応力解析

鋼製シリンダ内面に異種合金のH-ALOYが溶着している、H-ALOYフェーシングシリンダに内圧または外圧がかかった場合は、従来から用いられている単体のシリンダとは異なる応力分布がシリンダ内に生ずることが予想される。ここではシリンダに内圧のみがかかった場合のシリンダ内の応力分布を検討してみる。なお求める応力はシリンダの破壊に結びつきやすい接線方向応力 (σ_t) に限定した。

単体のシリンダに内圧のみがかかった場合、シリンダの中心から半径 r の円筒面における σ_t は

$$\sigma_t = \frac{r_1^2 P_i}{r_3^2 - r_1^2} \left(\frac{r_3^2}{r^2} + 1 \right) \quad \dots\dots(1)$$

ここに、 σ_t : 接線方向応力

r_1 : シリンダの内半径

r_3 : シリンダの外半径

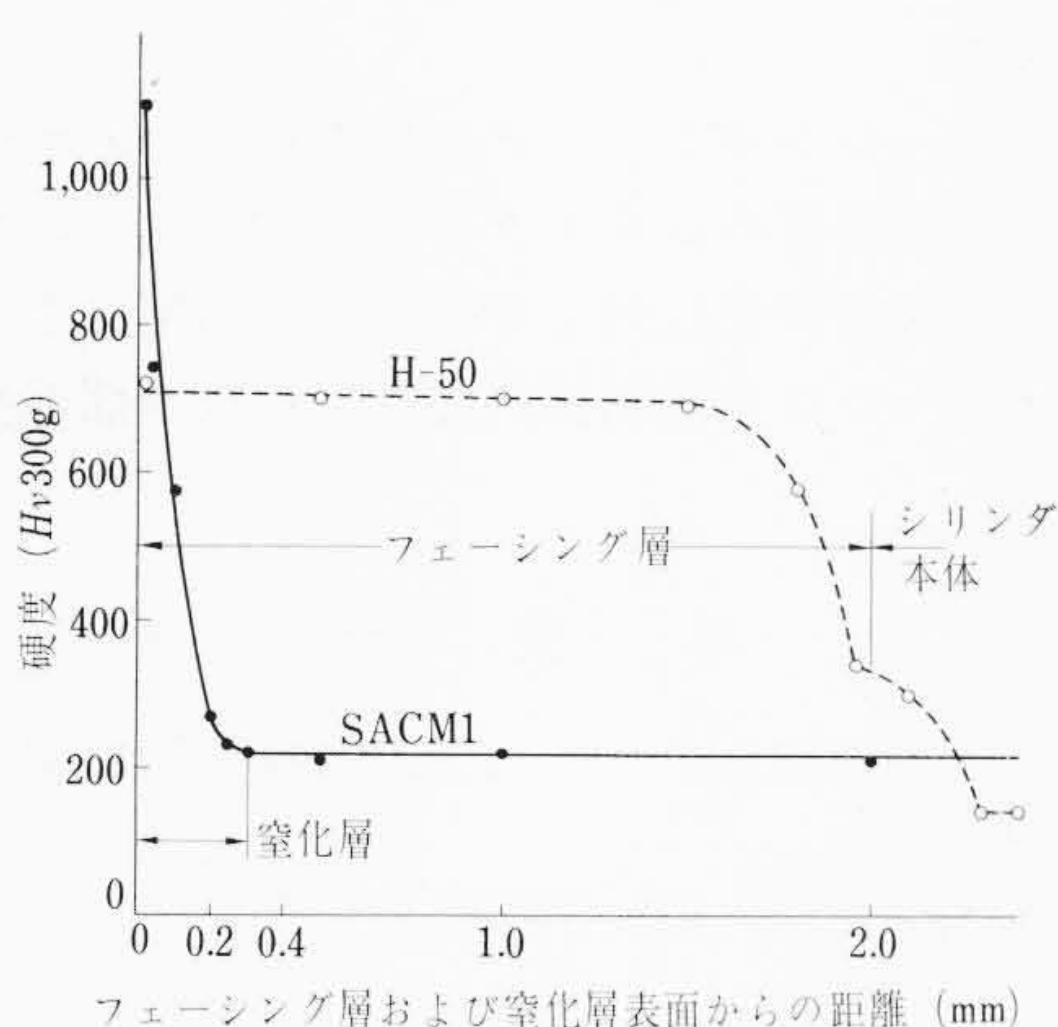


図7 H-50フェーシング層と窒化層の深硬度

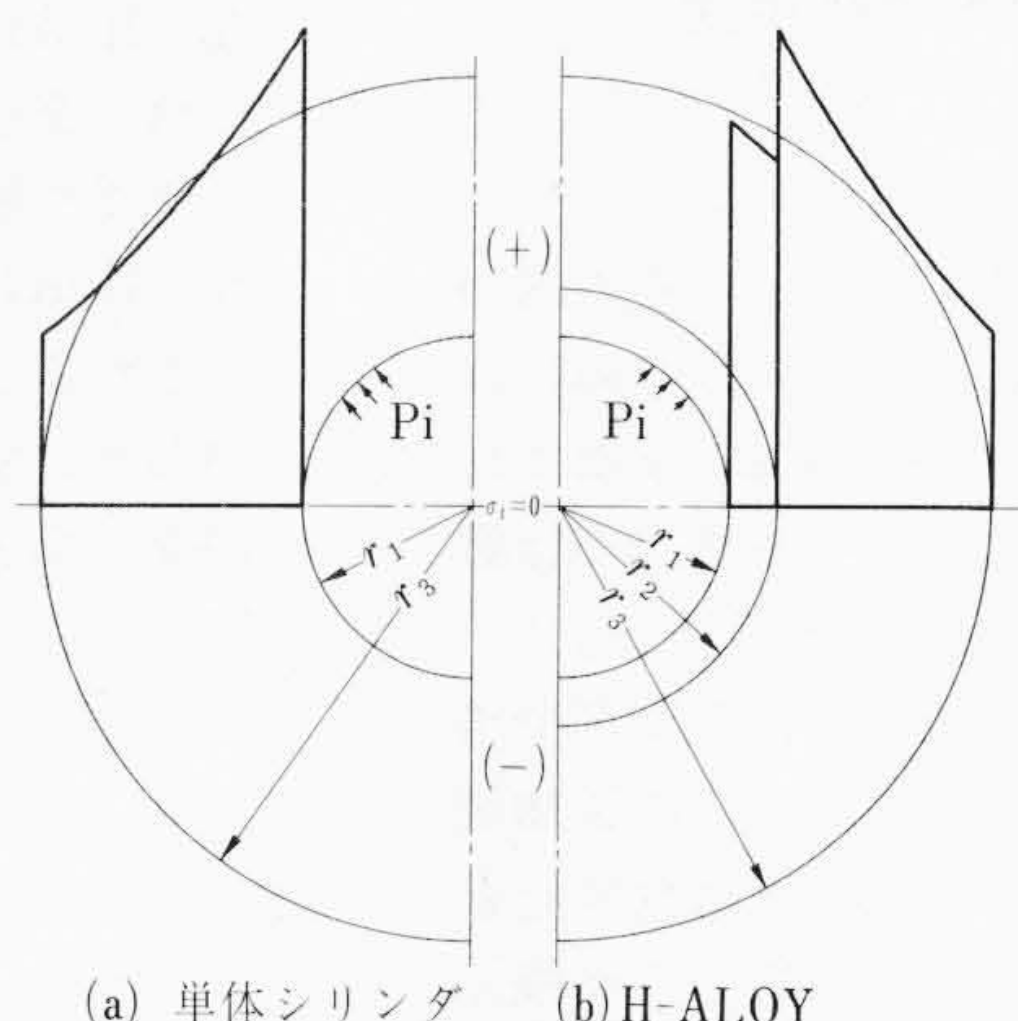


図8 シリンダ内の接線方向応力 (σ_t) 分布 (r_2-r_1 : H-ALOY層の厚さ)

P_i : 内圧

となり、応力は図8(a)に示すように内面の最大引張応力から外面の最小引張応力へと減少する。

ところがシリンダ内面にH-ALOYを被覆した場合には材質の相違する複合二重管となっているので、応力分布は図8(a)のように単純なものにはならない。いまH-ALOYが半径 r_2 の円筒面で完全に溶着しており、内圧 P_i が加わったとき r_2 におけるH-ALOYの半径方向の変位 u_i とシリンダ本体の変位 u_o は等しいと仮定する。このとき r_2 において材質の相違から応力こう配は不連続になり、溶着面に未知の圧力 P_m が発生する。この P_m の大きさは次のような考えから求められる。

H-ALOY層は内圧 P_i と外圧 P_m を受け、シリンダ本体は内圧 P_m (外圧は0) を受けることになるが、 $r=r_2$ におけるH-ALOY層とシリンダ本体の各変位は厚肉円筒の変形の一般式⁽²⁾を用いて

$$u_i = \frac{(m_1-1)(r_1^2 p_i - r_2^2 p_m) r_2 + (m_1+1)(p_i - p_m) r_1^2 r_2}{m_1 E_1 (r_2^2 - r_1^2)} \quad \dots\dots(2)$$

$$u_o = \frac{(m_2-1) P_m r_2^3 + (m_2+1) P_m r_2 r_3^2}{m_2 E_2 (r_3^2 - r_2^2)} \quad \dots\dots(3)$$

ここで、 $E_1, \frac{1}{m_1}$: H-ALOYの縦弾性係数とポアソン比

$E_2, \frac{1}{m_2}$: シリンダ本体の縦弾性係数とポアソン比

となる。しかし仮定により、 $r=r_2$ において $u_i=u_o$ であるから、(2)(3)式より P_m を求めて整理すると、

$$P_m = \frac{\frac{2 P_i r_1^2}{E_1 (r_2^2 - r_1^2)}}{\frac{r_2^2 + r_1^2}{E_1 (r_2^2 - r_1^2)} + \frac{r_3^2 + r_2^2}{E_2 (r_3^2 - r_2^2)} + \frac{1}{E_2 m_2} - \frac{1}{E_1 m_1}} \quad \dots\dots(4)$$

となる。したがってH-ALOY層とシリンダ本体に生ずる応力は厚肉円筒の応力の一般式⁽²⁾を用いて、

H-ALOY層では、

$$\sigma_t = \frac{r_1^2 p_i - r_2^2 p_m}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{r_1^2 r_2^2 (p_i - p_m)}{r^2 (r_2^2 - r_1^2)} \quad \dots\dots(5)$$

シリンダ本体では、

$$\sigma_t = \frac{r_2^2 p_m}{r_3^2 - r_2^2} \left(\frac{r_3^2}{r^2} + 1 \right) \quad \dots\dots(6)$$

となる。したがってH-ALOYおよびシリンダ本体の $E_1, \frac{1}{m_1}$ 、および $E_2, \frac{1}{m_2}$ と(4)(5)(6)式によりH-ALOYフェーシングシリンダ内の応力が算出される。

H-ALOY各種合金の縦弾性係数は約17,000kg/mm²であり、ポアソン比は約0.2と推定され、鋼製シリンダ本体の縦弾性係数は約21,000kg/mm²であり、ポアソン比は約0.33と推定される。このようなH-ALOYとシリンダ本体の縦弾性係数とポアソン比の違いが溶着部で不連続な応力こう配を生じ、一般にH-ALOYフェーシ

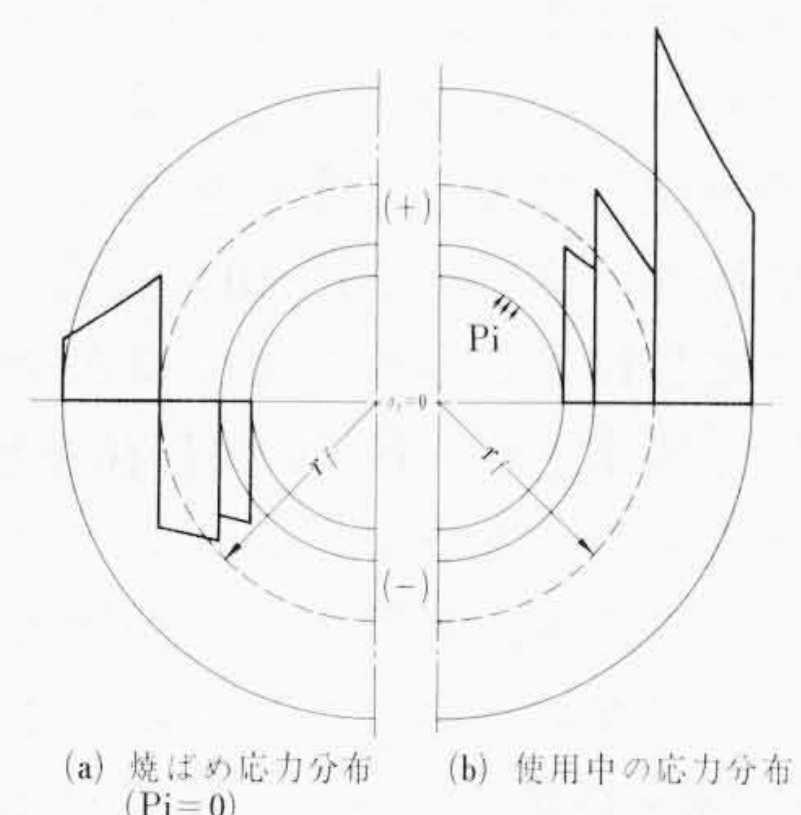


図9 本体焼ばめを行なったH-ALOYフェーシングシリンダの接線方向応力 (σ_t) 分布 (r_f : シリンダ本体焼ばめ半径)

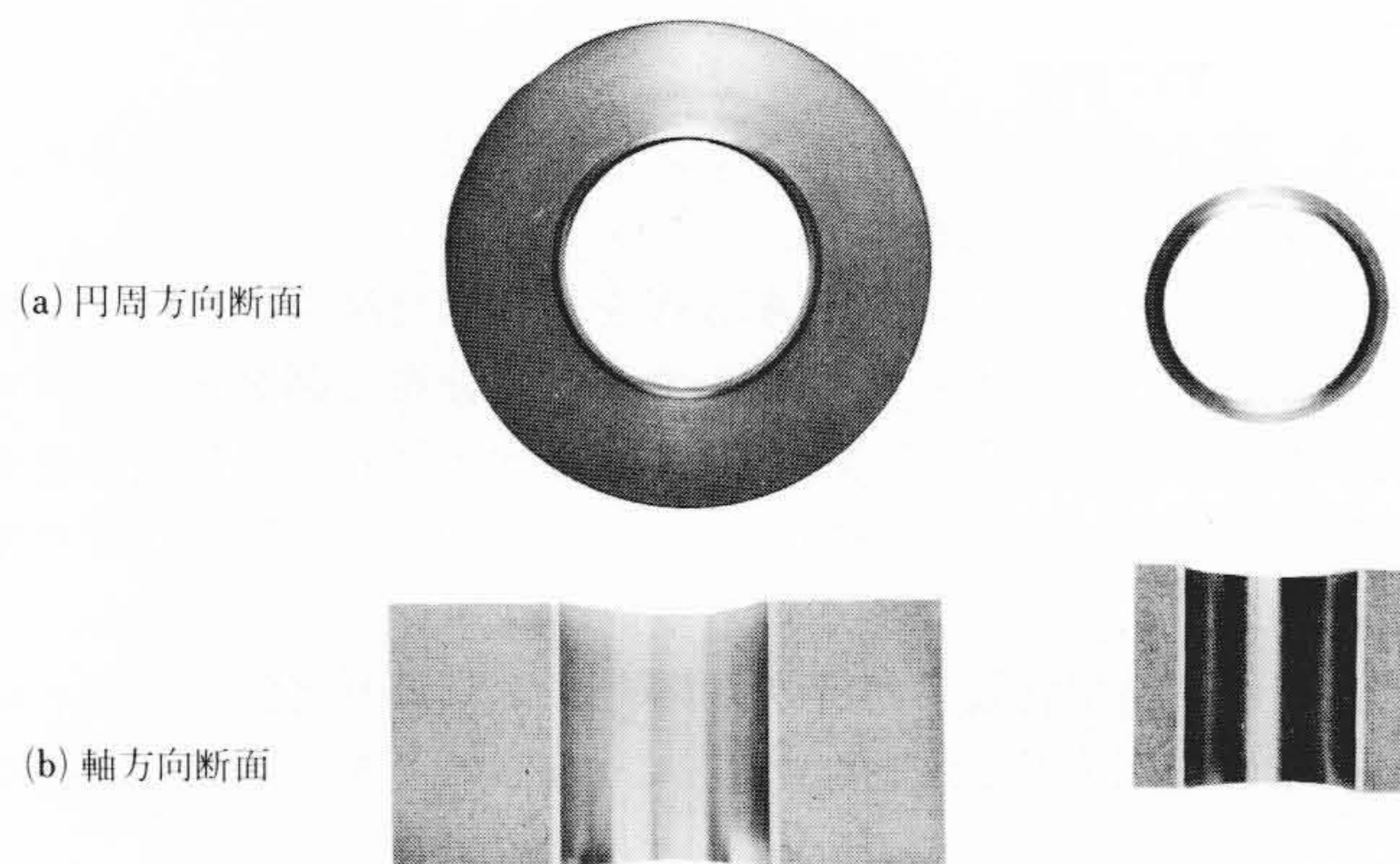


図10 H-ALOYフェーシングシリンダの断面

グシリンダの応力分布は図8(b)に示すようになる。すなわち、H-ALOY層では引張応力が低下し、かつ図8(a)に示す単体シリンダよりも内面の引張応力が低くなる傾向を示している。

以上のようにH-ALOYフェーシングシリンダでは内面に発生する引張応力が単体シリンダよりも低くなる特性をもっている。しかしH-ALOYの引張破断強度は $35\sim 45\text{kg/mm}^2$ であるので、シリンダの設計にはH-ALOYの強度を十分に配慮しておく必要がある。なおシリンダ本体を焼ばめによる組立構造にし、内層に圧縮応力を発生させる方法がある。この方法を用いればシリンダ内面に発生する引張応力を著しく低下させることができるので有効である。この模様を定性的に描いたものが図9である。

4.3 H-ALOYとシリンダ本体の材質選択

先にH-ALOYの地金に対する溶着性と溶着状態を記したが、鋼製シリンダ内面にH-ALOYを被覆した場合も溶着面全面にわたって完全な拡散溶着が生ずる。また遠心力によってH-ALOYの溶体を被覆するためにフェーシング層の厚みは均一になり、組織は緻密(ちみつ)になる。図10はH-ALOYフェーシングシリンダの円周方向断面と軸方向断面を示したものであるが、H-ALOY層はいずれも均一である。またH-ALOY各種合金はシリンダ本体材質が炭素鋼であっても合金鋼やステンレス鋼であっても被覆することができる。しかしH-ALOYとシリンダ本体の鋼材は用途に応じて選択する必要がある。たとえばシリンダ内面の摩耗や腐食のみを必要とする場合は要求される性質をもつH-ALOYのみを選びシリンダ本体は安価な鋼材で十分である。しかしシリンダにかかる内外圧が高い場合や、外周面が他の装置部品と連続し機械的な負荷がかかる場合、耐食性が要求される場合などにはシリンダ本体として相応した鋼材を選ぶ必要がある。

5. H-ALOYフェーシングシリンダの用途

H-ALOYのもつ種々の特性を生かしたH-ALOYフェーシングシリンダは多くの分野で使用されうる。たとえばセメントや生コンクリート、スラリーなどを輸送するポンプラインでは、その内面は硬質粒子によって摩耗を受けやすい。これを防止するためには耐摩耗性にすぐれるH-10を被覆したシリンダが適する。またこれらの硬質粒子を含む液体に塩水や薬液が混じっている場合には耐食性も要求され、H-50やH-40を被覆したシリンダが適する。

プラスチック成形用シリンダでは、プラスチックに定安剤や滑剤、充てん剤、補強剤などが混入しているとき、これらの添加剤によって摩耗や腐食を受ける。これに対しては高耐摩耐食性をもつH-50を被覆したシリンダが好適である。また耐食性のみが強く要求される場合には、高耐食性をもつH-30が適する。

空気や水を圧縮する特に高压オイルレス式圧縮機のシリンダライナでは、ピストンによる摩耗やかじりあるいは水分による腐食



図11 H-ALOYフェーシングシリンダ製品

が生ずるので、耐摩耐食性をもつH-50またはH-40を被覆したシリンダが適する。

H-ALOYフェーシングシリンダは以上の用途のほか化学装置や建築土木用機械、工作機械などに組み込まれている円筒部品にも応用される。ただしシリンダの使用温度が高温になる場合は、シリンダの加熱冷却はできる限り緩慢である必要がある。これはH-ALOYの材質そのものが脆(もろ)いために、シリンダ内に大きな熱応力を発生させるとH-ALOYフェーシング層が破壊する危険があるからである。

図11は二、三の用途に使用されたH-ALOYフェーシングシリンダおよびライナなどである。これらは窒化や焼入れ処理をした従来の製品より2～4倍の寿命延長が達せられた。

6. 結 言

シリンダ内面の摩耗や腐食による損傷を防ぐために、鋼製シリンダ内面に耐摩耐食合金H-ALOYを溶着被覆したH-ALOYフェーシングシリンダを開発した。本報告ではH-ALOY各種合金とH-ALOYフェーシングシリンダのもつ特性ならびに用途についてこれまで調査検討を行なって得た知見を記した。これを取りまとめると次のとおりである。

- (1) H-ALOYにはFe基、Ni-Co基、Co基から成る5種類の材質があり、常温硬度と高温硬度はともに高い。
- (2) 非鉄系H-ALOYはすぐれた耐食性をもっている。
- (3) H-ALOYは炭素鋼や合金鋼、ステンレス鋼などの地金材料と拡散融合して強固に接着する。
- (4) H-ALOYフェーシングシリンダのフェーシング層は深硬度が大であり、その組織は緻密である。またシリンダ本体との溶着面は均一である。
- (5) H-ALOYフェーシングシリンダに内圧がかかったとき、内面に発生する引張応力は従来から用いられている単体シリンダより低下する。
- (6) H-ALOYフェーシングシリンダは耐摩耗性や耐食性が要求される多くの工業装置のシリンダに応用することができる。

終わりに臨み、本開発研究に対して基礎から応用に至るまでご懇切なご指導を賜わった日立金属株式会社本社技術部部长中村信夫博士に深謝する。

参 考 文 献

- (1) 清水, 門井: 金属材料腐食データ, 57, 209 (昭42. 日本防錆技術協会)
- (2) 鶴戸口ほか: 材料力学(下), 379 (昭34. 裳華房)