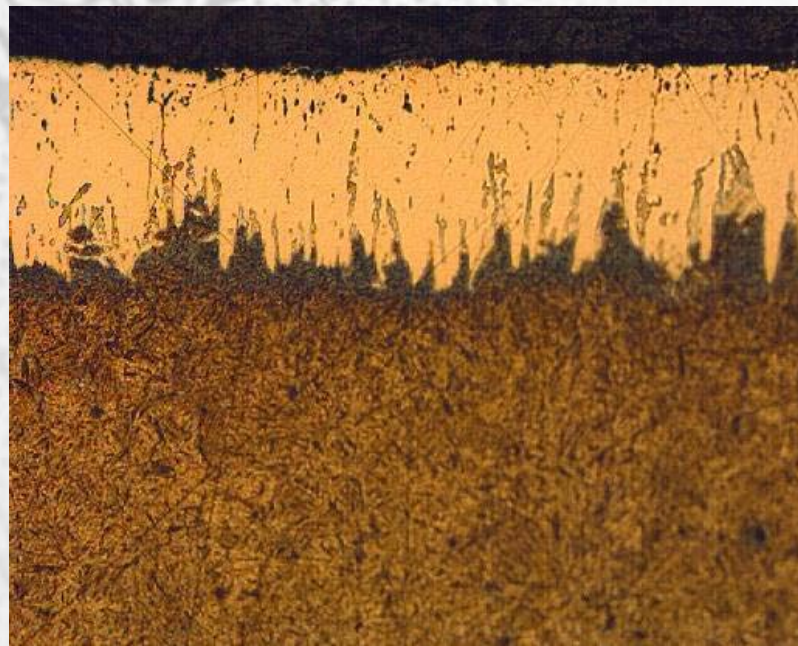


Practical Boronizing & Recent Advances in Boronizing Technology
実用ボロナイジング処理及び最近のホウ化技術的進展



ボディコート・ジャパン株式会社

<http://www.bodycote.co.jp>

- Boronizing is a boron diffusion process

ボロナイジングとはホウ素を拡散させる処理

- Pack cementation process is most commonly used in industry

- 業界ではパックスメンテーション法が広く用いられている

- Hard wear resistant case can be formed at sub-surface of a wide variety of ferrous and non-ferrous materials.

- 幅広い鉄・非鉄材料に耐磨耗性に優れた表層を形成することができる

- This process is not a coating process

ボロナイジング処理はコーティングではない

- Boron atoms diffuse into the metal surface and form metal borides. With ferrous materials, the boride layers attain a hardness of between 1500HK to 2300HK

- ホウ素原子は金属表面に拡散して金属ホウ化物を形成する。
鉄材料と結合したホウ化層の硬度は1,500HK～2,300HKに達する。

- Boride layers provide extremely good wear resistance for severe applications
ホウ化層は極めて耐磨耗性に優れ、過酷な使用に耐える
- Bodycote has been performing this process since the 1970's in USA
ボディコート社は1970年代から米国内で手がけている
- Currently performed at Bodycote plants in:
弊社ボロナイジング処理工場一覧
 - Melrose Park, IL 米国イリノイ州メルローズ・パーク市
 - Rochester, NY 米国ニューヨーク州ロチェスター市
 - Houston, TX 米国テキサス州ヒューストン市

ボロナイジング処理の効果①

- Typical case depths range from .0005-.008”
一般的な硬化層の深さは0.0127～0.2032 mm (0.0005～0.008インチ)

- Iron - boride compound hardness is 1500-2300 HK
ホウ化鉄化合物の硬度は1,500～2,300 HK

(68 HRC = 920 HK)

- Higher hardness and better wear resistance than:
 - hardened tool steels
 - hard chrome platings
 - other case hardening processes such as carburizing, nitriding, ferritic nitrocarburizing.

優れた硬度および耐磨耗性は、次のものを上回る

- 焼入工具鋼
- クロムメッキ
- その他浸炭、窒化、フェライト軟窒化などの表面硬化処理

- Hardness is not affected by temperatures up to 1200F.
硬度は650°C (1,200° F) まで温度の影響を受けない

Boronizing – Results of process

ボロナイジング処理の効果②

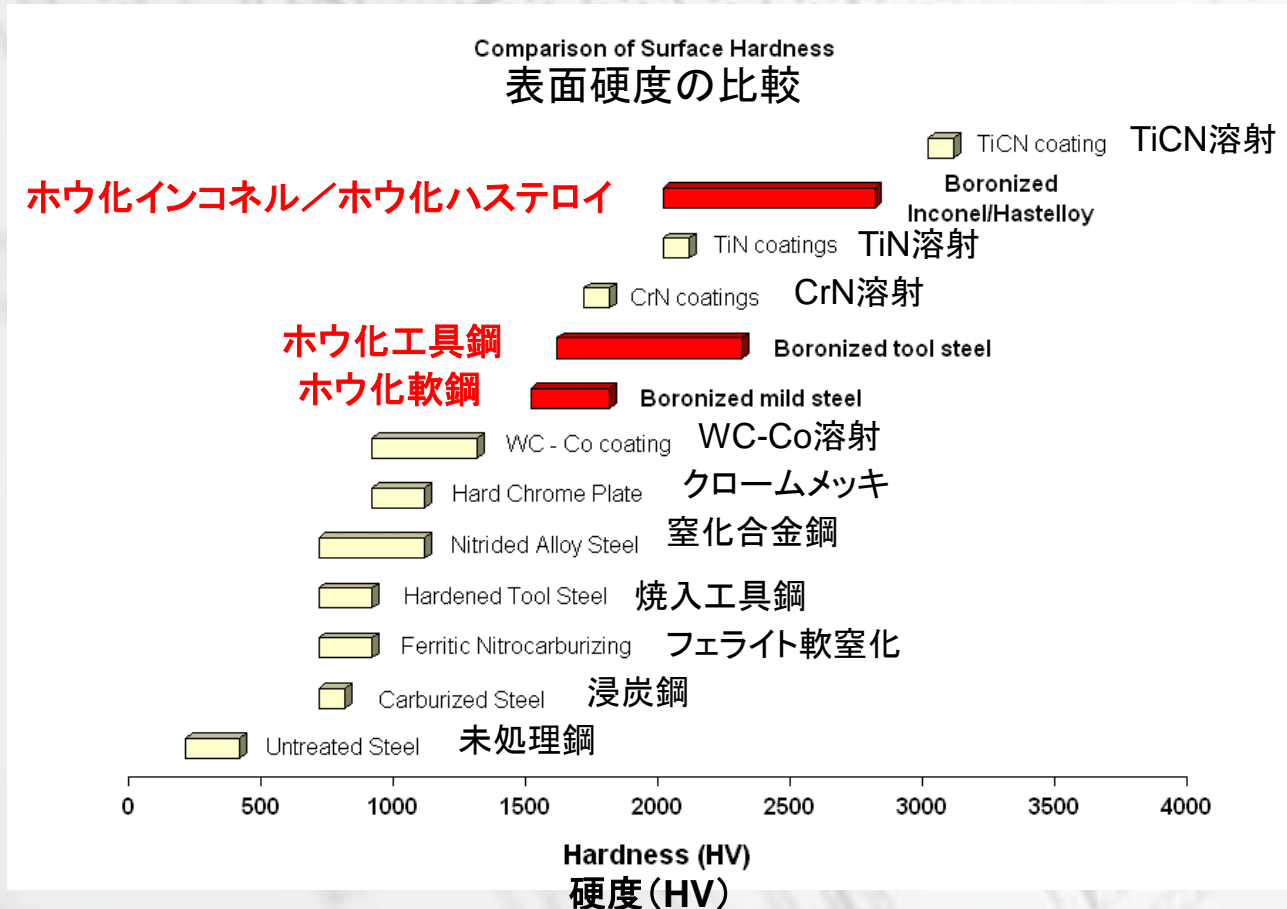
- Good corrosion resistance to acids
酸に対する優れた耐食性
- Reduces coefficient of friction
摩擦係数の減少
- Can often be combined with other heat treatments to improve the properties of the base metal as well.
他の熱処理との併用で、母材の特性を向上できることが多い
 - Neutral hardening 中性硬化
 - Carburizing 浸炭
 - Austemper オーステンパー
 - Induction hardening 高周波焼入れ
 - Solution Treat & Age (PH steels, Inconel) 溶体化処理兼時効処理 (PH鋼、インコネル)

ボロナイジング処理の物理的特性①

- Surface Hardness

表面硬度

- Yields higher surface hardness than any other heat treatment process available
- ・他の熱処理方法に比べて優れた表面硬度の向上を得ることができる



ボロナイジング処理の物理的特性②

- Wear resistance is consistently better than any other heat treatment process available.

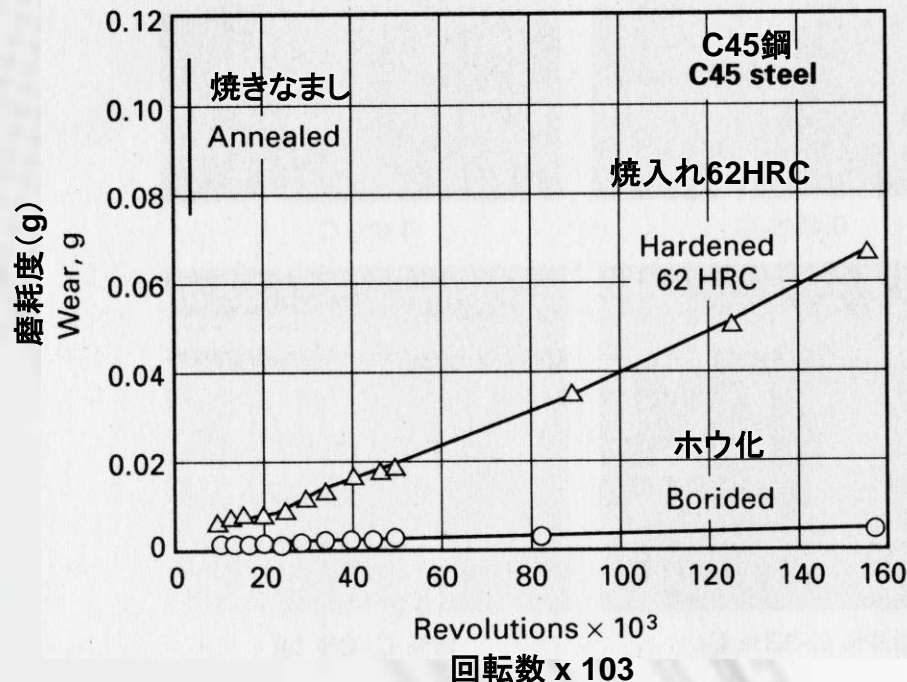
他の熱処理方法に比べて一貫して優れた耐磨耗性を得ることができる

- Typically can obtain 3-5 times more service life in high wear environments by boronizing vs conventional heat treatments (carburizing, nitriding)

・ボロナイジング処理により、高磨耗環境下における耐用年数を一般的に従来の熱処理(浸炭、窒化)の3~5倍にできる

- Dependant upon base material chemistry, layer depth, and layer hardness

・母材の性質および層の深さと硬度が影響する



Effect of boriding on wear (Faville test)
1045 steel boronized at 900C for 3 hours

900°Cで3時間ホウ化処理を行った
045鋼のホウ化による
磨耗への効果(ファビル試験)

ボロナイジング処理の物理的特性③

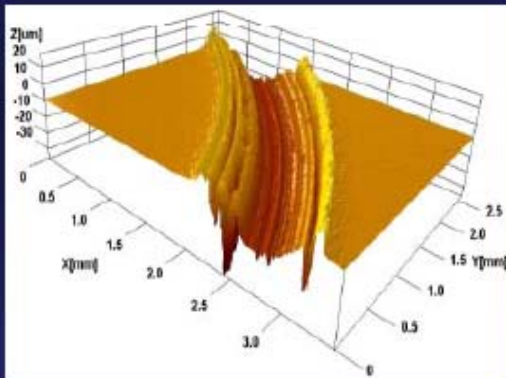
Wear Resistance of As-is, Carburized, And Boronized Steel

無処理、浸炭鋼およびホウ化鋼の耐磨耗性

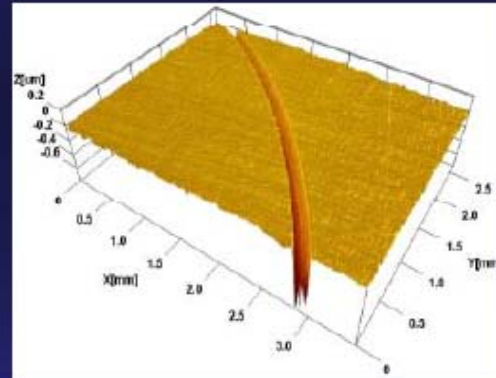
■ピン・オン・ディスク型摩擦摩耗試験機



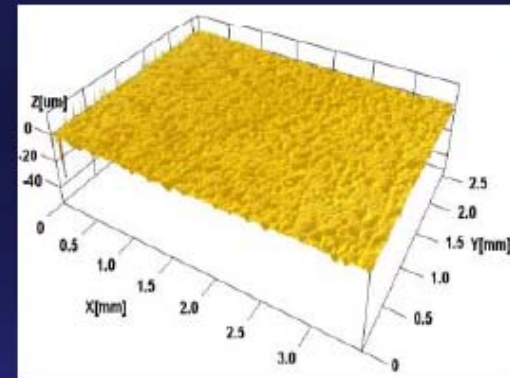
Pin
On
Disk
Wear
Test
Machine



As-is
■無処理



Carburized
■浸炭



Borided
■ホウ化

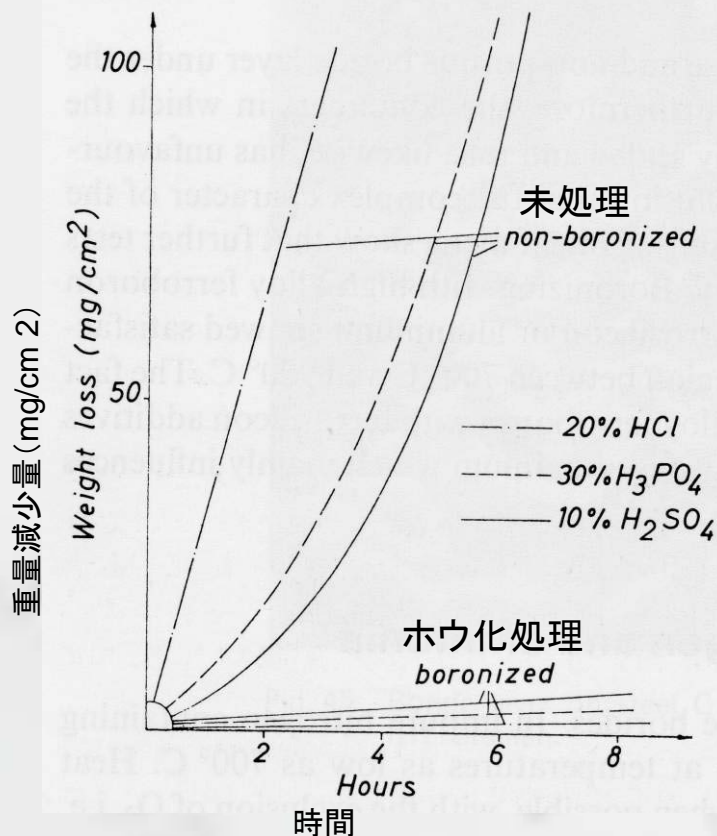
ボロナイジング処理の物理的特性④

Resistance to non-oxidizing acids

耐酸性

- Boronized and un-boronized samples of 1045 steel were exposed to the following acids and measured for weight loss

ホウ化処理有りと無しのAISI1045鋼 (JIS S45C) サンプルを次の酸にさらした後に重量の減少分を測定した。



- 20% Hydrochloric acid (HCl)
 - 塩酸 (濃度20%)
- 30% Phosphoric acid (H₃PO₄)
 - リン酸 (濃度30%)
- 10% Sulfuric acid (H₂SO₄)
 - 硫酸 (濃度10%)
- Can observe that boronizing helps mild steel parts resist attack from most acids
 - ボロナイジング処理によって軟鋼部がほとんどの酸の攻撃に耐えていることが観察される

ボロナイジング処理の物理的特性⑤

- Corrosion resistance to salt-spray or oxidizing acids is not increased

塩水噴霧または酸化酸に対する耐食性は向上しない

- Stainless steels are negatively impacted by boronizing
 - ステンレス鋼はボロナイジング処理によって悪影響を受ける
- Inconel & Ni-based superalloys will still retain good corrosion properties and can pass NACE requirements and several hundred hours of salt spray testing
 - インコネルおよびNi基超合金は優れた腐食性が損なわれず、NACE要件および数百時間に及ぶ塩水噴霧試験をクリアできる



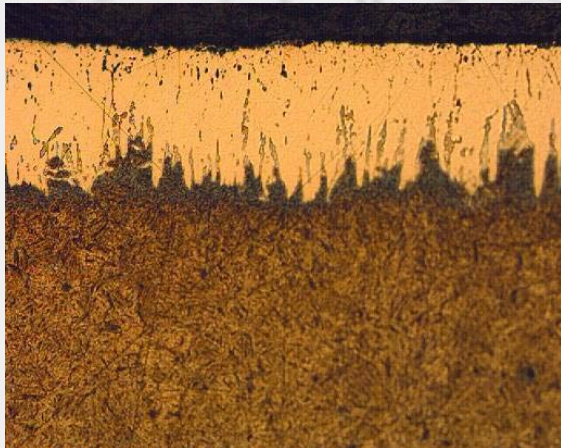
Untreated 316 SS
未処理 316 SS



Boronized 316 SS
ホウ化処理 316 SS



24 hour salt spray comparison
24時間塩水噴霧後の比較



- As boron atoms diffuse into the surface of a ferrous material, they form a thin layer of iron boride compound whose morphology and depth varies by base material used

ホウ素原子は鉄材料表面に拡散してホウ化鉄化合物の薄い層を形成する。層の形態と深度は使用母材により異なる

- Iron-boron phase stability 鉄 - ホウ素の相安定性**

Two different iron borides compounds can form during boronizing

・ボロナイジング処理で2つの異なるホウ化鉄化合物を形成することができる

■ Fe₂B

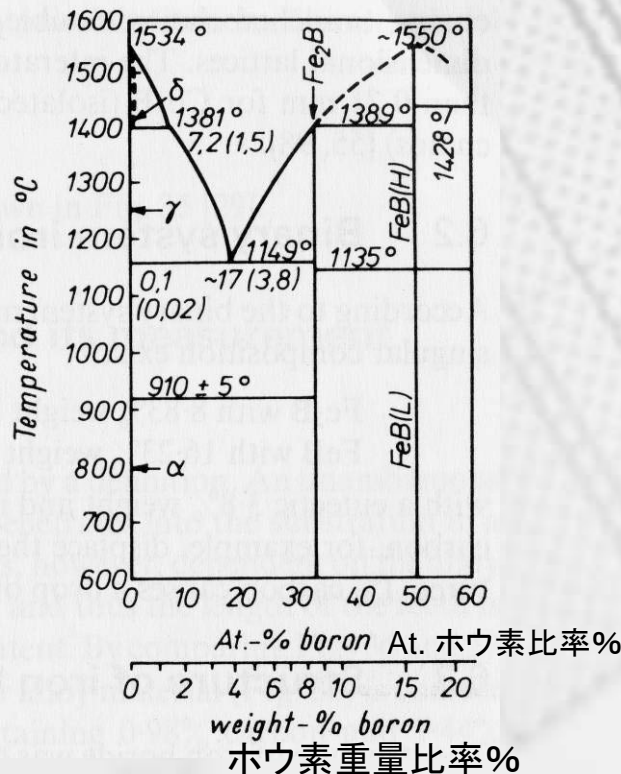
■ FeB

- Initially, we will start to form Fe₂B first with a ratio of boron to iron atoms in the layer of 33%

・はじめに、層内の鉄原子に対するホウ素の比率33%でFe₂Bが形成され始める

- If the concentration of boron atoms at the surface exceeds 33%, we will begin to form a second compound layer of FeB

・ホウ素原子の表面濃度が33%を超えると第2の化合物、FeB層が形成され始める



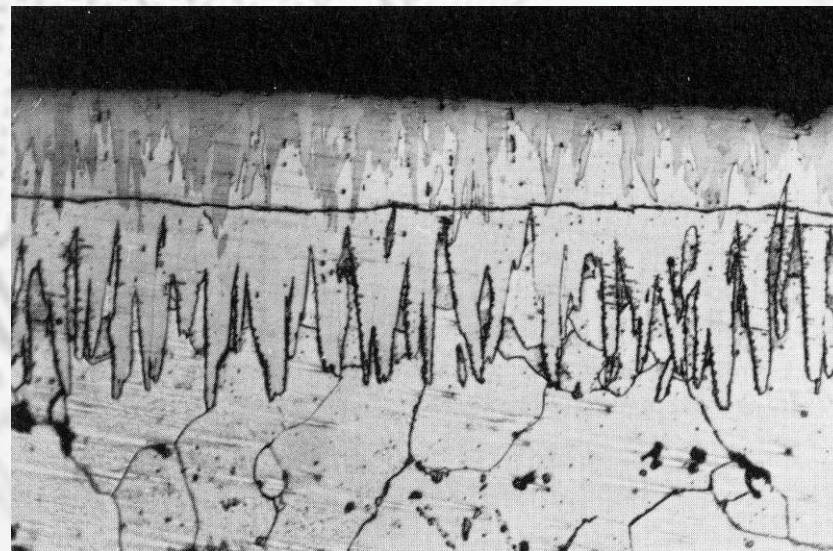
摂氏温度

Microstructure of iron-boride layers

ホウ化鉄層のミクロ構造

- The microstructure that yields the best properties is a single phase compound layer of Fe_2B with no FeB present
最適特性が得られるミクロ組織はFeBが存在せずFe₂Bから成る単相化合物の層である
- A boronized layer with a two phase structure of Fe_2B and FeB will easily crack and spall during cooling or if mechanically stressed
Fe₂BとFeBの二相構造を持つホウ化処理層は冷却時または機械的応力が加わると破碎しやすい
 - Difference in thermal expansion coefficients between Fe_2B and FeB is primarily responsible for this.
 - ・この主たる原因はFe₂BとFeB間で熱膨張係数が異なることである
 - Avoid FeB formation by using shorter times and lower temperatures to keep B concentration below 33%.
 - ・より短い時間、より低い温度でホウ素濃度を33%未満に抑え、FeBが形成されることを回避する。
 - For deeper cases, it is common practice to post-anneal any FeB formed to further diffuse high concentrations of boron into the metal and dissolve the FeB into Fe_2B
 硬化層が厚くなると形成されるFeBを後熱処理することが一般的で、高濃度のホウ素を金属材料へさらに拡散させてFeBをFe₂Bにかえる。

Property 特性	FeB	Fe ₂ B
Structure 構造	Rhom bic	Tetragonal
Wt% boron ホウ素重量%	16.23	8.83
Residual Stress on cooling 冷却時残留応力	Tensile	Compressive
Coefficient of linear thermal expansion x 10 ⁻⁶ /K 線形熱膨張係数 x 10 ⁻⁶ /K	23	7.9-9.2
Hardness HV0.1 硬度 HV0.1	1900-2100	1800-2000
Density g/cm ³ 密度 g/cm ³	5.75	7.43



Boronizing - Dimension Control

ボロナイジング処理の寸法制御

Because it is a high temperature process, some distortion is expected

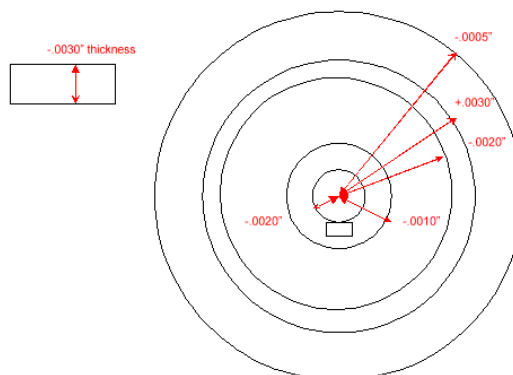
高温処理による多少のひずみが予想される

- Cannot machine or grind after process to cleanup dimensions due to hardness of boride layer
- ・ホウ化層は硬いので、処理後は寸法を整えるための機械加工や研磨はできない
- Most successful boronizing applications are parts that do not require tight tolerance dimensional control
- ・ボロナイジング処理が最もうまく使えるのは寸法制御に厳密な許容差を必要としない所
- Exception is Nickel-based superalloys that do not distort due to excellent high temperature creep resistance
- ・例外はニッケル基超合金で、耐高温クリープ性に特に優れているためひずまない



316SS cylindar boronized
ステンレス316ホウ化処理シリンダー

	Dimension (in)	Change (in)
	寸法(インチ)	変化(インチ)
ID 内径	4.24	-.009"
OD 外径	6.70	-.002"
Length 長さ	7.00	-.002"



Boronized Inconel 718 balls valve components

Lap polished using diamond compound after boronizing to restore seal-tight surfaces

ホウ化処理したインコネル718ボール弁部品
表面の封止締りを修復するためボロナイジ
ング後にダイヤモンドコンパウンドでラップを
研磨

ボロナイジング処理工程①

■ Step 1: Pretreatment of parts

手順1 部品の下処理

- Rounding of sharp corners is recommended
 - ・とがった角はできるだけ面取りしておく
- Corrosion preventives should be removed prior to packing of parts in the boronizing agent
 - ・防食剤は部品をボロナイジング剤に入れる前に取り除いておく

■ Step 2: Parts must be fixtured in contact with boronizing agent

手順2 部品は必ずボロナイジング剤と接触するよう据え付ける

- Parts can be embedded in a boron powder pack
 - ・部品はホウ素粉末パックに埋め込んでもよい
 - Boronizing paste can be painted onto the parts
 - ・ボロナイジングペーストは部品に塗布できる
 - Possible to partial boronize
 - ・部分的ホウ化処理も可能
-
- Packing only a portion of the parts in powder
 - 部品の一部だけを粉末に入れる
 - Selectively painting the parts with paste
 - 部品へのペースト塗布を選択的に行う
 - Use stop-offs such as SiC powder, Alumina powder, copper (adhesive or plated), Ekrit powder, Tesa-tapes
 - SiC粉末、アルミナ粉末、銅(接着またはメッキ)、Ekrit粉末、テサテープなどの制止材を使用する

■ Step 3: Boronize

手順3 ホウ化処理

- Apply temperature and time to parts fixtured in contact with boronizing agent
- ・ボロナイジング剤に接触させて据え付けた部品に所定の温度と時間で処理する
- Slow cool the load after boronizing
- ・ボロナイジング処理後、徐冷する

■ Step 4: Remove parts from boronizing agent

手順4 ボロナイジング剤から部品を取り出す

- Remove parts from boronized powder pack and then clean off any “stuck-on” powder or paste that remains
- ・ホウ化処理の済んだ粉末パックから部品を取り出し、「張り付いた」粉末や残ったペーストをきれいに取り除く
- This step can sometimes be a challenge due to sintering and bonding of powder during process
- ・この手順は処理過程で焼結や結合が起きて難しい作業になることがある

■ Prior / Subsequent Heat Treatment

可能な前処理・後処理

— Carburizing 浸炭

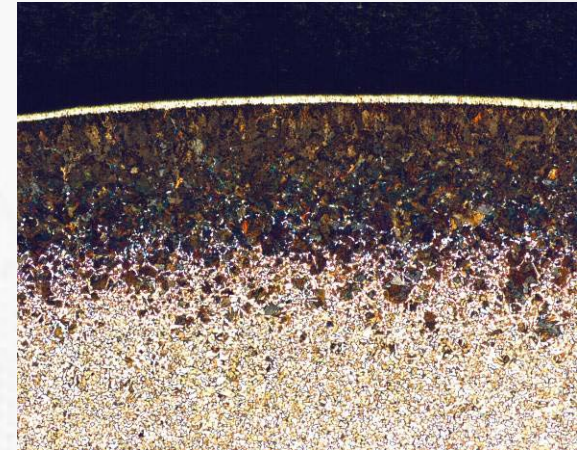
- Can be done prior to boronizing to increase total case depth in a part and provide a second deeper hardened layer underneath the boronized layer. Requires reheat and quench cycle to be done after boronize cycle to harden

部品の全体的な硬化層深さを高めるためにボロナイジング処理前に実施し、ホウ化処理層下方にそれより深い第2の硬化層を作ることができる。ホウ化処理サイクル後に硬化のため行う再加熱急冷サイクルが必要。

— Induction hardening 高周波焼入れ

- Can be done after boronizing to obtain second hardened layer underneath the boronized case. Does not affect boride compound zone due to short times at heat during induction hardening

ホウ化処理層下方に第2の硬化層を作るためボロナイジング処理後に実施することができる。高周波焼入れ時の加熱時間が短いのでホウ化物域に影響を及ぼさない。



Boronizing Process

ボロナイジング処理工程②

– Quench and temper, Martempering, Austempering

焼入れ焼き戻し、マルテンパー、オーステンパー

- Can be reheated in vacuum, salt or protective atmosphere and quenched without affecting boride layer on carbon or alloy steels

真空中、含塩大気または保護雰囲気中で再加熱することができ、炭素鋼または合金鋼のホウ化層に影響を及ぼすことなく急冷できる

– Air hardening

空気焼入れ

- Air hardening materials can be hardened simultaneously by simply cooling in air from the boronizing temperature

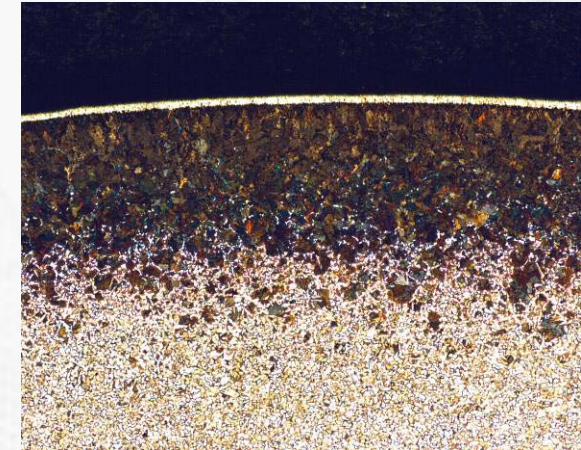
空気焼入れ材料はボロナイジング温度から空冷するだけで同時に硬化することができる

– Phase change by homogenizing

拡散焼きなましによる相変化

- To eliminate any FeB present

存在しているFeBを取り除くため



A faint, light-colored technical drawing of a mechanical assembly, possibly a piston and connecting rod, serves as the background for the slide. The drawing shows various components with hatching and dimension lines, though the details are not clearly visible due to the low opacity.

Boronizing – Applications
ボロナイジング処理の応用

- Materials that can be processed
処理できる材料
 - Ferrous materials 鉄材料
 - irons, plain carbon, alloy, stainless, and tool steels are all possible. This is because the boride compound formed is an iron boride so we only need iron to be present in the material to do this
 - 鋼鉄、普通炭素鋼、合金鋼および工具鋼はすべて処理可能。形成されるホウ化物はホウ化鉄であるため、ボロナイジング処理では必ず材料に鉄が含まれていなければならない。
 - Nickel-based alloys ニッケル基合金
 - Cobalt-based alloys コバルト基合金
 - Molybdenum モリブデン
 - Sintered carbides 焼結カーバイド
 - Aluminum, silicon and nitrogen bearing steels are not good candidates for boronizing since they form brittle layers
 - アルミニウム、シリコンおよび窒素軸受鋼は形成される層がもろくなるのでボロナイジング処理には向かない
 - Leaded and resulphurized steels are not recommended as they promote boride layer spalling and cracking
 - 加鉛鋼および再浸硫処理鋼はホウ化層を破砕しやすいので向かない

Armature shaft 電機子軸

- Bodycote was able to solve a warranty problem for a hammer drill tool.
- **ハンマードリルの保証問題を解決できました**
 - Gear teeth on armature shaft in electric motor
 - **・モーター内部電機子軸のギア歯**
 - Parts were previously carburized only and wore out prior to warranty dates.
 - **部品は浸炭されていただけで保証期日前に磨耗していた**
 - Solved the wear problem by selectively boronizing on top of a carburized case in the gear teeth only
 - **ギア歯の浸炭硬化層上部のみを選択的にボロナイジングすることで磨耗問題を解決**



Severe Service Valves (Oil & Gas/Chemical Industry) 条件の厳しいサービス弁 (石油ガス工業、化学工業)

- Ball valves, sliding gate valves,
ボール弁、引込みゲート弁
 - Abrasion resistance, high temperature resistance and resistance to acid attack
 - 耐摩耗性、耐熱性および酸攻撃耐性



Inconel 718 and Hastelloy C-276 ball valves for oil & gas refineries

石油ガス精製所のインコネル718およびハステロイC-276のボール弁

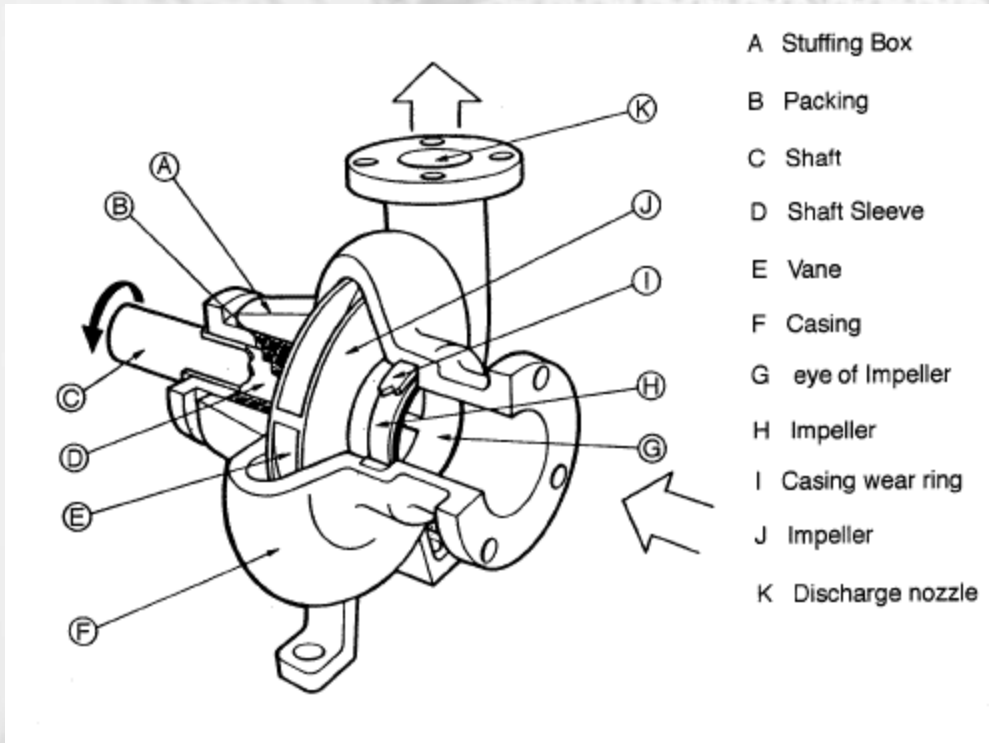
Pumps ポンプ

- Industrial Pumps

工業用ポンプ

- Boronizing has been utilized to increase wear and corrosion resistance of impellers and pump housings that have abrasive mixtures or acidic solutions passing through them

- ・ ボロナイジング処理は、内部を研磨剤混合物または酸性溶液が流れるインペラおよびポンプハウジングの耐磨耗耐食性を向上させるため用いられてきた



- A Stuffing Box
- B Packing
- C Shaft
- D Shaft Sleeve
- E Vane
- F Casing
- G eye of Impeller
- H Impeller
- I Casing wear ring
- J Impeller
- K Discharge nozzle

- A スタッフィング・ボックス
- B パッキング
- C 軸
- D 軸スリーブ
- E ベーン
- F ケーシング
- G インペラの目玉
- H インペラ
- I ケーシング磨耗リング
- J インペラ
- K 吐出しノズル

Flow Control Valves 流量制御弁

- Boronized to reduce wear caused by erosion from abrasive materials with particulate flowing through valves
 - ・弁を通して流れる微粒子の混じった研磨剤の浸食による磨耗を抑制するためホウ化処理される
 - Trim components to induce pressure drops resulting in high velocity flows
 - ・圧力低下をもたらして流れを高速にするトリムコンポーネント



Application Examples 使用例

- Brick Manufacturing tools

れんが製造ツール

- Exposed to flows of highly abrasive materials during manufacture of refractory bricks
 - 耐火れんがの製造時に研磨力の強い物質の流れにさらされる
- Boronizing of hardened D6 tool steel core pins extended life from 150 shots to 400 shots of service time
 - 硬化D6工具鋼コアピンのボロナイジング処理によって、寿命が延び使用回数が150から400になった





THANK YOU!

本資料のダウンロード先:

<http://www.bodycote.co.jp/pdf/Boronizing.pdf>

改定: 2011年5月16日