

DESENVOLVIMENTO NA LIMPEZA E DECAPAGEM DO FERRO E DO AÇO ^{(1) (2)}

WILLIBALD MACHU ⁽³⁾

RESUMO

O Autor faz um apanhado geral dos problemas de limpeza dos metais, mostrando-lhes a importância para posteriores processos. Aborda a influência da superfície metálica para a escolha do ciclo de limpeza. Acena a modernos processos: soluções aquosas alcalinas, eletrolíticas, ultrassom, "Roto-finish" e "trowal" e limpeza por solvente.

Aponta os processos térmico, mecânico e por decapagem na remoção de casca; analisa o papel dos ácidos sulfúrico, clorídrico e fosfórico na decapagem. Aponta aceleradores e inibidores de decapagem e termina com a decapagem eletrolítica.

1. IMPORTÂNCIAS DA LIMPEZA NO ACABAMENTO DE METAIS

Experiências têm mostrado que o pré-tratamento dos metais é uma parte essencial do conjunto de operações de acabamento. Sabemos hoje que a proteção de metais contra a corrosão, pela aplicação de camadas protetoras e decorativas, é um processo complexo, influenciado pelos tratamentos preliminares, tais como os da limpeza e decapagem. Foi provado que defeitos oriundos dessas operações não podem ser ulteriormente removidos, mesmo pela melhor galvanoplastia, fosfatização ou anodização ou pela ótima qualidade de uma tinta. Constituiu um progresso nessas técnicas a aceitação geral do conceito de que esses tratamentos prévios têm pelo menos importância igual à dos ulteriores. De fato, na deposição de uma camada metálica sobre um metal, no caso da galvanização a quente, por exemplo, ocorre por fusão uma camada intermediária de uma liga ferro-zinco; no caso, porém, da galvanoplastia de aço com zinco (feita em temperatura baixa), a camada dêste não se liga por fusão com o metal base:

(1) Contribuição Técnica n.º 413. Apresentada ao XV Congresso Anual da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Originais recebidos em inglês; versão do Eng. Alexandre Foldes.

(3) Dr. Tech. Habil; Diplom Ing; Catedrático na Escola de Engenharia da Universidade do Cairo, Egito.

sua aderência ficou dependendo da absoluta limpeza da superfície dêste. Para os mais importantes metais usados para a deposição de camadas (tais como ferro-cobre; ferro-níquel-cromo; ferro-cromo, etc.) o mesmo raciocínio prevalece; nenhuma fusão ou formação de liga se realiza. A adesão de metais de camadas de eletro-galvanoplastia deve, portanto, seguir outros princípios.

Não falhamos ao atribuir a adesão da camada de metal, produzida à temperatura ambiente, a forças atômicas de atração. O raio de ação destas forças é, entretanto, muito pequeno; usualmente não excede de dois ou três diâmetros atômicos, ou cêrca de 10^{-7} ou 10^{-8} cm. Por essa razão, finas camadas de gordura, graxa, sujeira, óxidos e hidróxidos perturbam ou impedem totalmente a atração entre os dois metais. Felizmente, os eletrólitos usados têm uma certa habilidade em dissolver (ou remover) camadas na superfície do metal a ser coberto; mas êste não é sempre o caso.

Já a natural camada de óxido formada em ferro ou alumínio no ar (espessura de cêrca de 10^{-6} cm) é muito espêssa com respeito às forças atômicas de atração; assim a adesão das camaras será fácil. O grande problema em encobrir alumínio com outros metais, é o de remover a fina camada de óxido natural, a qual se refaz ao ar novamente muito depressa.

É também conhecido que a presença de gordura, graxa, óxidos e hidróxidos (os quais são geralmente não condutores para corrente elétrica) impede a passagem de elétrons e, assim, a descarga de ions. Nenhuma deposição do metal realiza-se; nesses lugares ocorrerá o fenômeno da formação de poros. H. B. Lindorf¹ provou que mesmo traços de impurezas orgânicas, de uma espessura de menos do que 0,05 de um filme monomolecular de cobre, causa na camada de níquel formação de poros de hidrogênio. Pelas razões ditas, a superfície de um metal a ser coberto por um depósito de metal aderente, deve ser *quimicamente limpa*; para outras operações de acabamento de metais não existe tão alta exigência para limpeza da superfície. Exemplo: o banho de fosfato (pH de cêrca de 2-3) está apto a dissolver finas camadas de ferrugem da chamada "ferrugem marron". No processo de anodização, o óxido natural de alumínio é intencionalmente engrossado. Mas o banho de fosfato não é bastante ácido para dissolver camadas mais fortes de ferrugem ou escamas de laminação; no entanto, elas podem impedir a formação de uma camada de fosfato. Enquanto finas camadas de gordura podem ser removidas por pulverização de uma solução de fosfato contendo emulsificantes e umectantes, as mais fortes camadas de gordura ou graxa, devem ser removidas pelos usuais métodos de limpeza.

Para aplicação de tintas, mesmo a camada grossa de óxido (cêrca de 0,01 mm a qual permanece depois da limpeza à chama em objetos de ferro e aço) não é tão prejudicial apesar que a melhor proteção contra corrosão por uma tinta é a obtida em superfície absolutamente limpa, por exemplo, com jato de areia. Uma melhor base para pintura é obtida quando a superfície limpa do ferro foi fosfatizada antes da pintura; neste caso, uma camada visível (de 0,3 a 5 microns) de fosfato cobre a superfície metálica, produzindo melhor adesão. Não há, entretanto, regras gerais para que a superfície do metal produza camadas mais uniformes e duradouras; cada questão deve ser considerada individualmente.

2. INFLUÊNCIA DA CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE DO METAL

A adesão e aparência do acabamento de um objeto de metal (seu bilho, por exemplo) são muito afetados, não somente pelas fôrças físicas de atração, mas também pelas reações químicas, as quais se realizam entre metal básico e camada. As propriedades físicas da superfície de um metal, e ainda mais as propriedades químicas, dependem muito das condições da superfície daquele metal. Exemplo: não somente a limpeza do metal base, mas também a espécie de pré-tratamento tem uma influência na qualidade e também na quantidade da camada aplicada.

Há uma diferença se a base do metal foi mecânica, química ou anódicamente polida, se é áspera ou lisa, se foi limpa por lixa ou por jato de areia. O mesmo aço pode uma vez ser tratado com facilidade quando êle está, por exemplo, na condição de fundido ou recozido; mas poderá causar trabalho quando êle está laminado a frio e encruado.

O pêso da camada de fosfato produzida pelo mesmo banho, sob as mesmas condições de operação, é mais do que o dôbro quando o metal foi limpo por solventes orgânicos ao invés de solvente alcalino; e ainda mais, quando decapado com ácidos em lugar do jato de areia. Por êsses motivos existe uma grande variedade de fatôres da superfície, os quais influenciam o resultado de galvanoplastia, fosfatização, pintura, etc. Está na prática do operador da *Limpeza e Decapagem*, achar o melhor processo. Apesar de parecerem à primeira vista processos simples, ainda existem muitos problemas não resolvidos nesse campo; são necessários grande prática e cuidado para obter uma superfície perfeitamente limpa e decapada, satisfazendo certas exigências de acabamento.

3. INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES DE IMPUREZAS

Para a escolha do mais adequado processo de limpeza, também a natureza da impureza superficial deve ser levada em consideração. Geralmente as seguintes espécies de impurezas são encontradas nos metais:

1. Camadas de ferrugem ou cascas de tratamento térmico, ligadas intimamente com a superfície do metal; são insolúveis em água e solventes orgânicos, mas solúveis em ácidos.
2. Gorduras orgânicas, lubrificantes, graxas de pasta de polimento. São insolúveis em água e álcalis, mas emulsificáveis em soluções alcalinas aquosas e solúveis em solventes orgânicos.
3. Partículas sólidas, aderindo "livremente" na superfície do metal por gorduras, lubrificantes (partículas de poeira, cavacos de metais, resto de abrasivos, etc.).

Na maioria dos casos, essas três espécies de impurezas estão simultaneamente presentes na superfície dos metais. Dado que êstes vários tipos precisam (devido às suas diferentes propriedades físicas e químicas) também diferentes tratamentos para serem removidos, qualquer processo de limpeza geralmente consistirá de diversas operações, cada uma delas usando diferentes agentes e métodos.

Atualmente, para se obter uma *verdadeira limpeza* na superfície do metal, incluindo operações de lavagem intermediária, muitos processos individuais de limpeza devem ser efetuados. Algumas vezes tais ciclos consistem de 10 ou mais operações sucessivas, com tanques próprios; assim, a operação de limpeza necessita uma grande variedade de equipamentos.

Usualmente o ciclo de limpeza inicia-se com a remoção de gorduras, óleos, graxas, dado que estas substâncias impedem que outras soluções aquosas (banhos de decapagem) molhem completamente a superfície. A seleção correta do melhor ciclo de limpeza não é um trabalho fácil; requer um perito. Não existem regras fixas, visto que a condição do metal a ser tratado difere de um lugar para outro e a condição final a ser alcançada está também dependendo das operações de acabamento. Geralmente a seleção do agente de limpeza, não depende do tipo de camada a ser aplicada, mas na espécie e grau de impureza, assim como na espécie da base do metal. Um dado tipo de impureza em aço requer diferentes operações de limpeza do que em cobre, latão, zinco ou alumínio; êstes metais são muito mais sensíveis a soluções fortemente alcalinas.

4. LIMPEZA POR MEIO DE SOLUÇÕES AQUOSAS ALCALINAS

Os mais baratos e importantes agentes de limpeza são os de solução aquosa de alcalihidróxidos (carbonatos, fosfatos, silicatos e cianuretos): não removem óleos e gorduras pela saponificação, dado que sua concentração é pequena e o tempo de aplicação muito curto. Com uma concentração de 3% a 10% e um tempo de limpeza de 3 a 30 minutos, transformam óleos e gorduras em emulsão, a qual pode ser facilmente removida da superfície do metal, movimentando a solução ou objeto. Somente ácidos, graxas livres são saponificados em pequena escala durante a limpeza alcalina. Os sabões alcalinos formados auxiliam a limpeza, dado que atuam como agentes emulsificantes. Visto que soluções aquosas alcalinas não molham superfícies gordurosas ou oleosas, as soluções modernas contêm umectantes sintéticos, consistindo, por exemplo, de sulfonatos ou amidos de substâncias orgânicas, tais como álcoois graxos sulfonados. Estas substâncias facilitam também a formação de uma emulsão das gorduras; têm, comparadas com os sabões antigamente usados, a vantagem de que não formam sabões insolúveis de cálcio e de magnésio e também não são decompostos por ácidos. O efeito da limpeza dos álcalis é mais elevado quanto maior a concentração do chamado álcali ativo Na_2O e mais alto o valor pH

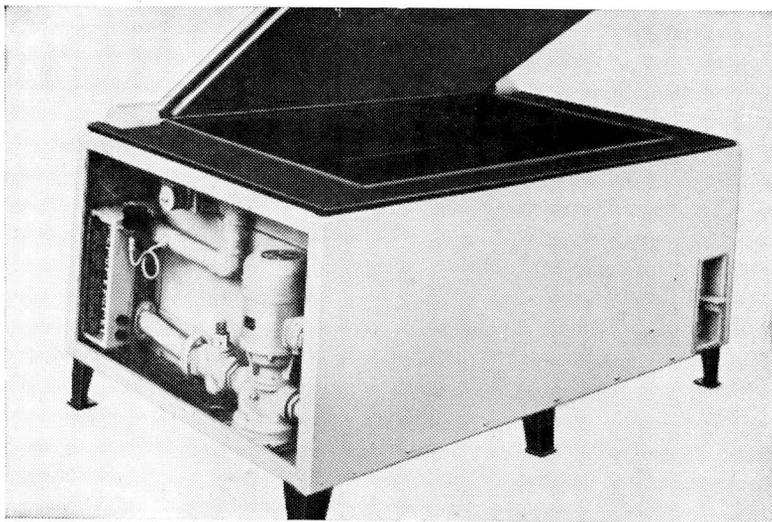


Fig. 1 — Aparelho para limpeza alcalina, com solução fervente e instalação para circulação (Schering Ag., Berlin).

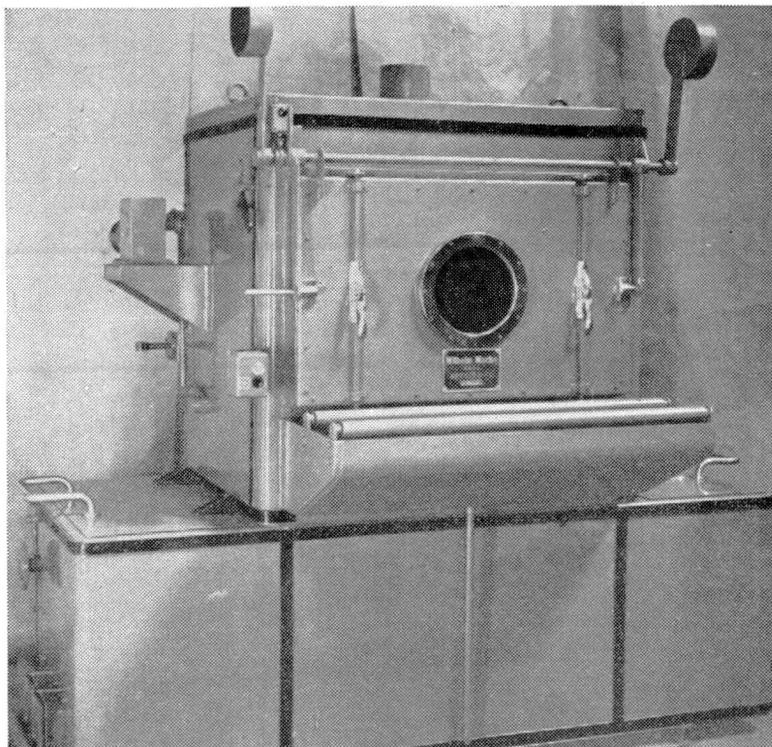


Fig. 2 — Aparelho de uma câmara para limpeza, construído de acôrdo com sistema de 2 ou 3 câmaras; também pode ser usado para decapagem a jato e fosfatização a jato (Wilh. Wache, Hamburg — Fuhlbuttel, Alemanha).

da solução. Metais mais oleados requerem soluções mais concentradas de limpeza, tendo maior pH. Mas, visto que essas fortes soluções alcalinas atacam metais sensíveis (cobre, latão, zinco e alumínio) os banhos de limpeza para êstes metais devem ter valores de pH certos. Enquanto ferro e aço podem ser limpos por soluções tendo pH de 13-14; o banho não deveria exceder a um pH de 12,5 para cobre e latão; 11,0 para latão e 10,0 para zinco e alumínio. Se os metais não forem muito sujos, mesmo para ferro e aço, soluções de pH baixo são aconselháveis.

A construção e tamanho dos aparelhos de limpeza dependem da qualidade e quantidade dos metais a serem limpos, seu tamanho, a fonte do calor acessível, o grau de sujeira e se o processo deverá ser efetuado continuamente ou em banhos. Dis-

tinguimos limpeza alcalina em aparelhos operados a mão por soluções ferventes, por líquidos circulados mecânicamente, pulverização e limpeza de tamboramento. O mais moderno processo de limpeza é o de pulverização, no qual a solução quente de limpeza é pulverizada de 1 a 2 minutos sôbre os objetos.

Tôda a operação de limpeza (incluindo lavagem em água quente e fria, secamento e mesmo fosfatização e envernizamento) pode ser executado em processos contínuos. A ação mecânica do líquido pulverizado transforma não sômente as gorduras e óleos da superfície do metal numa emulsão, mas remove-o juntamente com impurezas sólidas, exceto ferrugem e crostas.

Peças muito grandes a serem tratadas em aparelho ou tanque (grandes recipientes, tanques, pontes, mastros ou máquinas inteiras), podem ser limpas por um jato de solução alcalina diluída, o qual é dirigido sôbre a superfície do metal por meio de um tubo de vapor ou ar à pressão de 6 a 20 atmosferas.

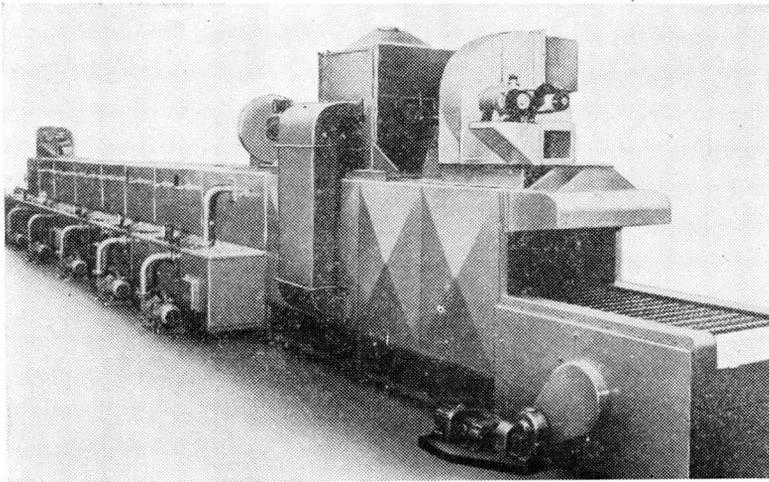


Fig. 3 — Equipamento completamente automático de 6 câmaras, para limpeza e fosfatização em zona de secagem (Wilhl. Wache, Hamburg — Fuhlbuttel, Alemanha).

5. LIMPEZA ELETROLÍTICA

Melhoramento essencial da limpeza alcalina é o da *Limpeza Eletrolítica*: essencialmente as mesmas soluções de limpeza são usadas, mas o objeto a ser limpo forma Cátodo ou Ânodo de

um circuito eletrolítico. Densidade de corrente de 1-15 Amp/dm², com grandes volumes de hidrogênio e oxigênio surgentes da superfície do metal, removem mecânicamente gorduras, óleos e partículas auxiliados pela ação química dos agentes da solução limpadora. Dentro de 1-2 minutos, a 80-90°C, um melhor efeito de limpeza é obtido do que simples soluções de imersão.

Os materiais para limpeza eletrolítica têm melhor efeito de limpeza do que outras operações e é assim extensivamente usado em instalações de galvanoplastia. Não somente existe grande demanda para limpeza de metais, mas também o necessário equipamento elétrico e disponível.

Experiências têm mostrado que superfícies mais limpas são obtidas se a polaridade da corrente é trocada pelo menos uma vez durante a operação, o melhor no fim desta. Partículas sujas usualmente têm uma carga elétrica positiva; imigram sob a influência da corrente como cátions em direção ao Cátodo, por exemplo, os objetos de metal e estragam-se novamente, desde que são descarregados no Cátodo e cataforéticamente lá depositados. Para se evitar a deposição da sujeira no Cátodo, deve-se trocar, pelo menos uma vez, a polaridade da corrente, por poucos segundos, antes de retirar-se as peças limpas. Pelo tratamento anódico, as partículas sujas depositadas são repelidas dentro do banho; eventualmente os metais esponjosos eletro depositados são removidos ou o hidrogênio absorvido é novamente expelido.

Desde que no ânodo, íons de hidrogênio *não* possam ser descarregados, o hidrogênio será absorvido; isso é que causa o desenvolvimento do hidrogênio. Ferro e aço são freqüentemente limpos anódicamente. Metais sensíveis, como alumínio, zinco, ou latão, entretanto não podem ser tratados anódicamente, desde que eles sejam severamente oxidados e coloridos por camadas de óxidos. Somente um tratamento anódico curto, depois da limpeza Catódica, é usado para estes metais.

Um novo desenvolvimento em limpeza eletrolítica é o do uso de eletrólitos neutros, livres de cianuretos alcalinos altamente venenosos. Estes banhos consistem de 10-15% de solução de sulfato de sódio, o qual é usado a 8-12 Volts; 4-15 Amp/ dm²; 20°C e de 1 a 3 minutos. O aço pode ser limpo nessa solução anódica e catódicamente; todos os outros metais devem ser limpos somente catódicamente. De outro modo, seriam eles severamente atacados no ânodo. Eletrólitos neutros também têm a vantagem que não há problema sobre a disposição da perda dos eletrólitos.

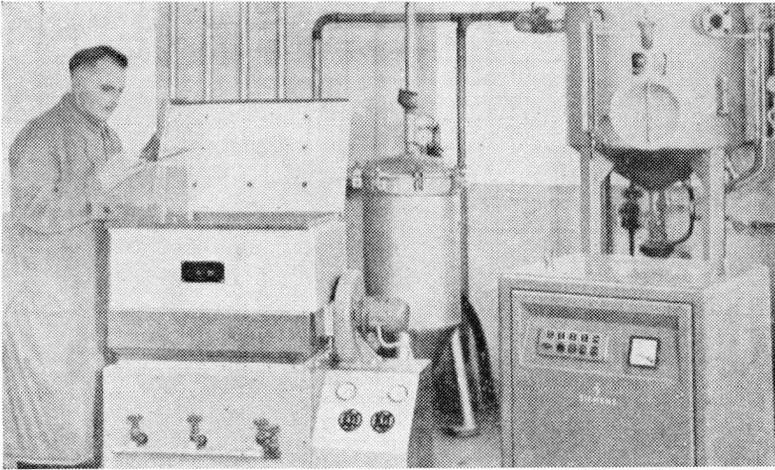


Fig. 4 — Limpador com ultrassom, usando solventes orgânicos (Wacher-Chemie GMHB; Munche, Alemanha); três câmaras absorventes do solvente e gerador do ultrassom.

6. LIMPEZA COM ULTRASSOM

O mais moderno processo de limpeza é o por ultrassom: consiste na aplicação de ondas de alta frequência de som para auxiliar a remoção de gorduras, óleos, partículas sólidas de sujeira por soluções alcalinas e diluídas aquosas ou solventes orgânicos. Mas pode ser usado na decapagem de ferro^{2, 5}, e em galvanoplastia. A alta frequência das ondas ultrassônicas propaga-se muito facilmente nas soluções e os sólidos vão aceitar estas vibrações. Vibrando então muito intensamente, a pressão local tem uma força até 100.000 atm em líquidos livres de gases, o que pode ocorrer. Estas forças causam localmente pressões altas, seguidas, em um curto momento, por um vácuo. Estas mudanças contínuas entre pressões altas e vácuo podem mesmo causar cavitação da superfície do metal. As altas frequências e pressões são também a causa de que partículas sujas e gorduras são lançadas da superfície do metal, como por uma explosão. Mesmo em superfícies irregulares (tendo profundas cavidades, espaços vazios e buracos) uma completa limpeza é obtida dentro de poucos segundos. As usadas frequências de som podem causar acelerações de forças 100.000 vezes maiores do que a força gravitacional de atração da terra. Infelizmente, o alcance das ondas ultrassônicas não é muito longo; ante a necessidade de altas energias, somente pequenos aparelhos podem ser usados e, assim, somente pequenos artigos de metais podem ser limpos.

A limpeza ultrassônica é, entretanto, nosso mais efetivo processo de limpeza, se bem que usado somente para certos artigos (partes de relógios, de máquinas de escrever, de fotocâmeras, etc.).

Ondas ultrassônicas são também muito efetivas em decapagem do ferro; cerca de 1/3 do óxido de ferro presente é arremessado e removido mecânicamente pelas fortes forças de aceleração das vibrações. Assim também cerca de 1/3 da decapagem por ácido, seria poupado, com menos perda no banho respectivo. O melhor efeito na decapagem é obtido quando a intensidade do tratamento ultrassônico torna-se tão severo que quase ocorre cavitação na superfície do metal. Decapagem ultrassônica é também usada para decapagem contínua de fios e fitas onde a necessitada energia de som é de 2 Watts por cm². O tempo de decapagem pode assim ser diminuído cerca de 50%, devido ao forte suporte da decapagem química pelo ácido e pelos efeitos mecânicos de ultrassom.

7. TAMBORAMENTO PELOS PROCESSOS "ROTO-FINISH" E "TROWAL"

"*Roto-Finish*"^{6, 8} e "*Trowal*"^{9, 11} são combinações de métodos de limpeza química e mecânica; chegam a uma alta perfeição e são aplicáveis, de preferência, para pequenas peças de metais, apesar de que maiores objetos (tais como pára-choques) também podem ser tratados. Estes processos são executados em giratórios ou vibradores ou tambores (figs. 5 e 6), onde os objetos de metais são desengraxados e desincrustados, fixados a rebarba, causadas pela estampagem ou prensagem, lisos e quase com polimento. Isto pode ser obtido pela adição de especiais granulações, consistindo de carbonato de cálcio ou materiais similares no processo "*Roto-Finish*" e de óxido de alumínio fundido no processo "*Trowal*". Além disso, certas adições químicas são feitas, chamadas compostos, as quais facilitam o tratamento e influenciam a fricção das partes uma com a outra.

Os processos "*Roto-Finish*" e "*Trowal*" são muito econômicos e de especial vantagem para o tratamento de grande número de pequenos artigos de forma irregular, os quais podem ser limpos antes de galvanoplastia, fosfatização ou anodização. Mais de 50.000 peças podem ser tratadas ao mesmo tempo, limpas e polidas em poucas horas. Ambos os processos podem também ser efetuados continuamente e inseridos dentro do transportador contínuo para a operação do acabamento de metais.

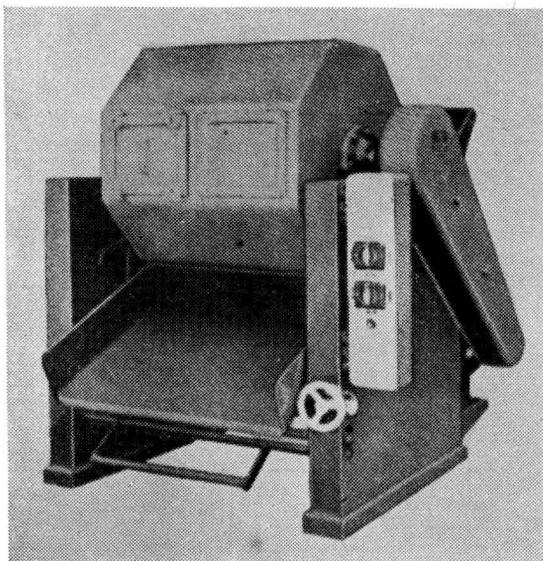


Fig. 5 — Tambor octogonal "Trowal" (W. Ealter, Vohwinkel; Elberfeld, Alemanha).

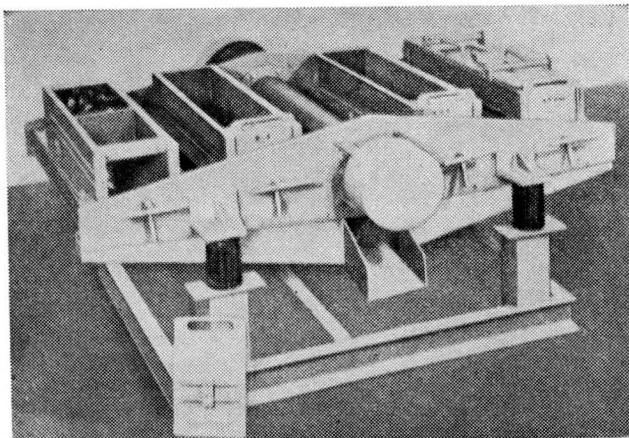


Fig. 6 — Vibrador "Trowal" com 4 recipientes (traseiro); o esvaziamento é feito pelo mesmo método para todos os recipientes (W. Ealter, Vohwinkel, Elberfeld, Alemanha).

8. LIMPEZA COM SOLVENTES

Graxa, gordura e óleo podem ser removidos da superfície de metais pelo tratamento com solventes orgânicos de duas espécies: com substâncias inflamáveis (como gasolina, querosene, tolueno, etc.) e outro, incluindo hidrocarbonetos clorados não inflamáveis, tais como tricloretileno (tri), percloroetileno (per), tetracloreto de carbono (tetra), etc. Apesar do perigo de explosões e fogo no uso de solventes inflamáveis, eles são muito aplicados, especialmente em pequenas oficinas, devido ao baixo preço.

Mais importantes são os hidrocarbonetos clorados, os quais são muito usados nas indústrias de limpeza de metais. Todos os solventes orgânicos têm a vantagem de dissolver qualquer tipo de graxa, gordura ou óleo e não atacam os metais. Somente tricloretileno ataca o alumínio e suas ligas, mas o mesmo não acontece com o percloroetileno. Suas desvantagens: são de alto preço e são voláteis e venenosos. Soluções podem ser purificadas por destilação; vapores podem ser recuperados por filtros de carbono ativo.

Solventes orgânicos são usados somente antes da limpeza, desde que não produzam uma superfície absolutamente limpa, por exemplo, para galvanoplastia. Limpeza por solvente é executada por imersão, com vapor ou jato, ou por combinações dos mesmos. Vapores estão sempre livres de gordura ou óleo e produzem assim superfícies mais limpas. Mas, dado que o vapor limpa somente depois da sua condensação nas partes mais frias dos metais, somente objetos maiores (tendo uma maior capacidade calorífica) podem ser limpos por vapores. Vapores não têm qualquer efeito de limpeza mecânica; as poeiras, por exemplo, não podem ser removidas.

Limpeza a jato também remove partículas sólidas, como abrasivos de pastas de polir, cavacos de metais, etc. Partículas sólidas podem ser removidas das superfícies de metais por solventes orgânicos contendo pequenas concavidades e por isso esferas flutuantes ou cilindros de materiais sintéticos. No assim chamado processo Petrinol, estas esferas, etc., esfregam durante o levantamento e afundamento dos cestos, contendo os metais a serem limpos, como um pano com suas impurezas e partículas sólidas.

9. LIMPADORES DE EMULSÃO

Os solventes orgânicos não podem ser usados quando os objetos a serem limpos estão molhados ou encobertos por impurezas saponáceas, como por exemplo, depois de usar emulsões lubrificantes em operações de perfuração.

De acôrdo com um novo desenvolvimento, solventes orgânicos podem ser usados na forma de emulsões aquosas, preparadas de gasolina (ou querosene), água e emulsificantes na razão de 1:60, e usados por imersão, ou melhor, pela pulverização.

A limpeza pelas emulsões é muito econômica; não ataca os metais e pode ser usada praticamente para tôda espécie de objetos de metais. Elas são entretanto apropriadas somente para a remoção de impurezas leves. Óleos pesados, gorduras, lubrificantes (os quais são comprimidos dentro dos poros da superfície do metal durante operações como a da estampagem) causam dificuldades. Limpadoras e emulsificantes são também uma operação preliminar, desde que deixam sempre um filme do limpador de emulsão na superfície limpa. Este filme fino de querosene é, entretanto, um excelente pré-tratamento para fosfatização; facilita especialmente a obtenção de camadas de fosfato de fina granulação. O conhecido efeito favorável da querosene em emulsão, para a fosfatização, é uma prova do fato de que não existe uma regra geral com respeito à limpeza da superfície de um metal para uma operação de acabamento. Enquanto grossas camadas de gordura ou óleos impedem a fosfatização, o fino filme de querosene, depois da aplicação da limpeza por emulsão, melhora a camada de fosfato. Muito provavelmente este fino filme de solvente causa a formação de mais núcleos para a cristalização de fosfatos inorgânicos, enquanto impedem, ao mesmo tempo, o crescimento lateral dos cristais, assim encaminhando a cristais mais numerosos e finos.

Limpadores de emulsão podem também ser aplicados em forma de concentrado, mergulhando objetos de metais por alguns segundos dentro da mistura de querosene e emulsificante. O limpador penetra nas gorduras e óleos na superfície do metal e os encharca. Se água fôr depois pulverizada sôbre os objetos de metais encharcados, as gorduras são emulsificadas e lavadas da superfície do metal. Tôda essa operação dura somente uns poucos minutos.

Um outro processo é o do chamado *limpador-em-duas-fases*. o qual consiste de uma fase superior do solvente orgânico (apto

a dissolver lubrificantes e de corte) e uma fase inferior, consistindo de uma emulsão aquosa do solvente, que pode remover sais e impurezas à base de sabão. As peças são removidas para cima e para baixo, em cestos, através de duas fases em direção vertical; são assim limpas.

A limpeza por limpador de emulsão pode ser combinada com decapagem e fosfatização; a ferrugem e partes do metal com casca, são tratados com uma mistura de água, ácido fosfórico, solvente orgânico e emulsificador. A emulsão quente destas substâncias é pulverizada, por alguns minutos, sobre os metais; realiza decapagem, limpeza e fosfatização ao mesmo tempo. O excesso de ácido fosfórico, aderindo nas peças, forma na secagem uma camada fina de ferro fosfato, sendo base para a pintura.

10. REMOÇÃO DE CASCA POR PROCESSO TÉRMICO

As camadas de óxido no aço podem ser removidas mecânica, térmica ou quimicamente. Um recente processo para remoção de casca é o denominado "flame-scarfing". A camada de óxido (de coeficiente de dilatação térmica diferente do que o da base) é aquecida rapidamente por uma chama acetileno-oxigênio. O óxido, quebradiço, rebenta em finos flocos, descasca-se e é parcialmente lançado pela pressão da combustão de gases.

Este tratamento, entretanto, produz uma superfície coberta por um fino filme de óxido e algumas vezes também um pouco da primitiva camada permanece. Assim este processo é somente apropriado e usado para a preparação de grandes peças de ferro para pintura. A maior vantagem realizada é que os objetos estão completamente secos, quando a tinta é aplicada enquanto as partes do metal estão ainda mornos; nenhuma condensação de água pode ocorrer.

11. REMOÇÃO DE CASCA POR PROCESSO MECÂNICO

A trituração mecânica (ou jato de areia) é processo que, hoje em dia, ganha mais atenção. Quando partículas afiadas de areia de quartzo (ou de aço, ou de pequenas partes de arame de aço) são assoprados sob pressão ou (em modernas fábricas)

atirados pela ação centrífuga contra uma superfície de aço, pequenas partículas são removidas pela ação mecânica destes abrasivos. O processo, entretanto, conduz somente a uma superfície áspera, a qual não é muito apropriada para galvanoplastia, mas excelente base para aplicação de fosfato, tinta, borracha, plástico e camadas de metal pulverizado. Estas camadas são ancoradas nas ondulações da superfície áspera produzida, e possuem assim uma boa adesão.

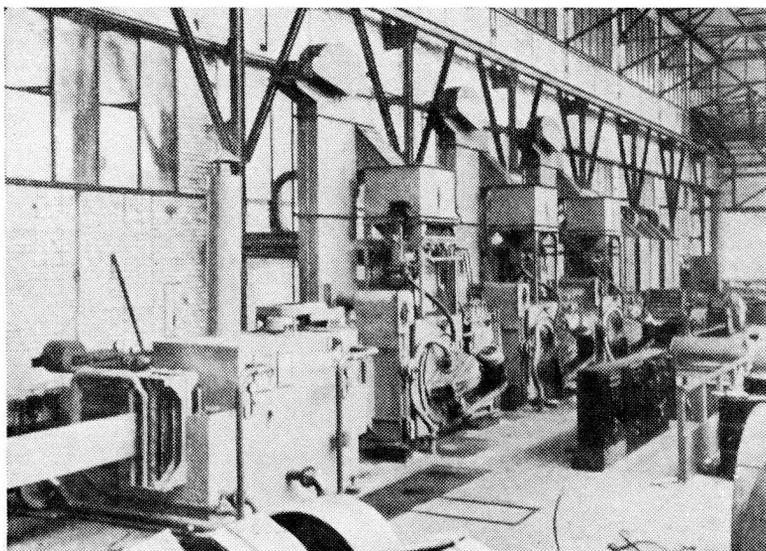


Fig. 7 — Máquina para decapagem mecânica por jato de areia com transporte mecânico com fita de aço; 6 aparelhos de limpeza centrífuga com adicional equipamento de lavagem (A. Gutman Ag., Hamburgo).

Camadas de fosfato em superfície de jato de areia são muito granuladas; comportam-se ótimoamente na resistência à corrosão. Os gastos em limpeza por jato de areia em fábricas modernas não são mais altos do que os de remoção de casca por decapagem. Uma grande vantagem do jato de areia é o fato de que líquidos venenosos perdidos na decapagem não precisam ser recuperados ou neutralizados, antes de serem lançados em lagos ou rios. Por essa razão, jato de areia é já muito usado em trabalho contínuo, em fábricas para remoção de cascas em objetos

de metais de formato adequado, tais como arames e fita de aço (fig. 7).

Uma desvantagem é que algumas vêzes partículas de poeira aderem muito firmemente na superfície do metal; isso causa trabalhos ou necessidade de um tratamento especial, por exemplo, lavando com pressão de água para ser removido. Também artigos com formatos irregulares não podem ser tratados pelo jato de areia, dado que esta não tem acesso às cavidades.

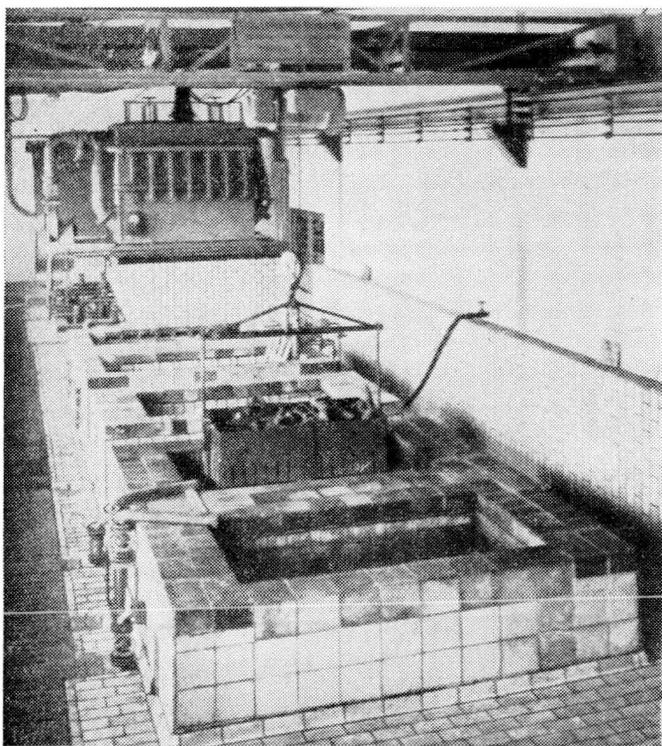


Fig. 8 — Instalação de decapagem para peças forjadas, composto de: tanques com exaustor na beirada e ar soprado; 2 tanques de decapagem; tanque de lavagem a quente e a frio; tanque de neutralização. Tôdas as partes visíveis são de ferro protegido por pinturas anticorrosivas. Paredes e assoalho feitos de tijolos anti-ácidos; a fábrica inclui também um regenerador de ácido sulfúrico, um neutralizador contínuo para águas usadas e tanque para armazenamento de ácido sulfúrico (Steuler — Industrierwerke, Hohn-Grenzhäusen perto Koblenz; Alemanha).

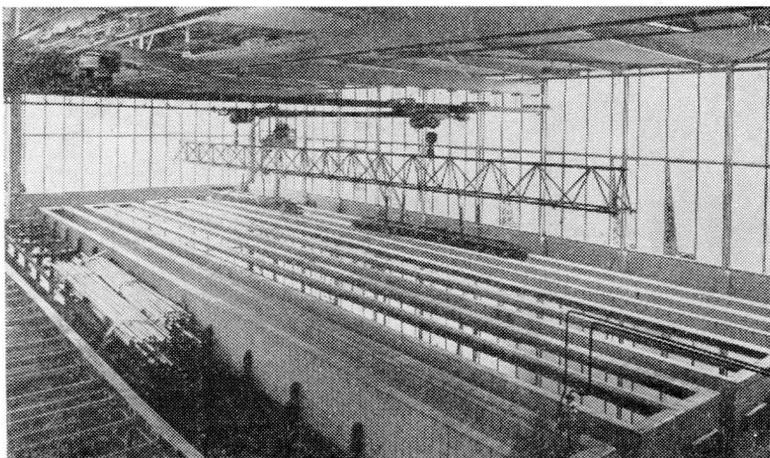


Fig. 9 — Instalação de decapagem; tubos e barras pendem em ganchos ou correntes e são mergulhados no banho (Keramchemie, Siershahn; Alemanha).

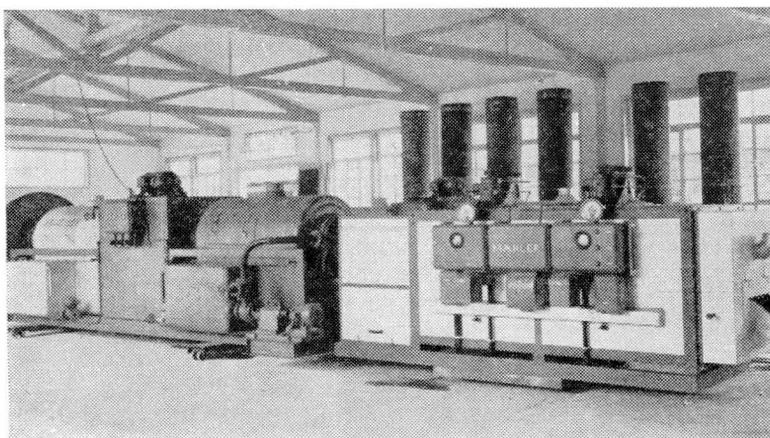


Fig. 10 — Aparelho de limpeza e decapagem, com estufa de secagem, para pequenas peças, as quais são transportadas através do aparelho por meio de transportador espiral (J. Mahler, Esslingen-Neckar; Alemanha).

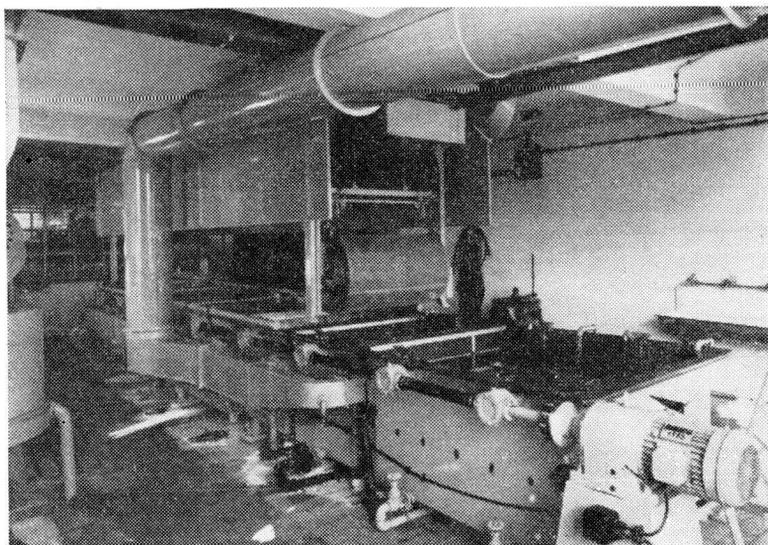


Fig. 11 — Operação automática de limpeza alcalina e decapagem com ácido para pequenos artigos, tratados em tambores com exaustor (Schering AG.; Berlin).

12. DESENFERRUJAMENTO E REMOÇÃO DE CASCA POR DECAPAGEM

O mais barato e também o método mais comum da remoção da ferrugem da superfície de metais é a decapagem pelo processo de ácidos minerais (figs. 8 e 11), para os metais anfotéricos alumínio e zinco também com álcalis. O processo de decapagem consiste, principalmente, na penetração do ácido, através de poros ou fendas da camada de óxido, até à base do metal. O ácido reage com o metal, destruindo a conexão deste com a camada de óxido. Dado que a mais profunda camada de óxido no ferro é a mais facilmente solúvel (a chamada Wüstite, tendo aproximadamente a composição de FeO) o ataque do ácido processa-se rapidamente nessa camada. O hidrogênio evoluído, originário da dissolução do ferro metálico pelo ácido, auxilia o quebraamento e dispersão da camada, a qual rompe-se na forma de pequenas partículas ou flocos, formando lama no fundo do tanque de decapagem. Este efeito removedor, mecânico, durante a decapagem, excede em peso a dissolução química da camada de óxido quando se usa ácido sulfúrico; torna-se quase desprezível em ácido hidrocloreto, o qual decapa mais ou menos pela dissolução química dos óxidos. Esta é uma das grandes diferenças da decapagem com esses ácidos.

13. DECAPAGEM PELOS ÁCIDOS SULFÚRICO OU CLORÍDRICO

Existem outras diferenças essenciais em decapagem do ferro, usando-se êstes dois ácidos. Na decapagem com ácido sulfúrico, o índice de decapagem na temperatura ambiente é muito pequeno, enquanto o ácido clorídrico mostra, em temperatura ambiente, uma rápida velocidade na decapagem. Deve-se entretanto, com ácido sulfúrico e para se ter uma decapagem razoável num tempo não mais do que 30 minutos, decapar a uma temperatura, o que implica em equipamento aquecedor. Como se pode ver nas figuras 12 e 13 (de acôrdo com Wisterbottom e Reed¹²), um aumento de temperatura é muito efetivo para decapagem com ácido sulfúrico. Por outro lado, para se aumentar o índice de decapagem do ácido clorídrico, não se pode usar alta temperatura, dado que o ácido é volátil e seus vapores poderiam causar ataques severos na construção de ferro da sala de decapagem. Pelas reações químicas exotérmicas durante a decapagem, o ácido clorídrico se aquece, sem equipamento aquecedor externo, a uma temperatura de cerca de 35-40°C, que é a usual para aquêle ácido. Se quisermos aumentar o índice de decapagem com ácido clorídrico, aumenta-se sua concentração e não sua temperatura.

Outra diferença entre ambos os ácidos na decapagem é a de que o clorídrico não ataca muito a superfície do ferro. Se quisermos decapar partes de ferro ou aço sensíveis (os quais não devam ser atacado) êsse ácido é o usado em lugar do sulfúrico.

Também o desenvolvimento de hidrogênio é maior com ácido sulfúrico: molas e cordas de aço são sempre decapadas por ácido clorídrico. O mencionado ácido é, entretanto, mais difícil de transportar e armazenar; para grandes embarques (de uma ou duas toneladas) vasilhas de barro devem ser usadas; o ácido sulfúrico pode ser transportado em tanques de aço.

O armazenamento de ambos os ácidos pode ser efetuado em tanques de concreto armado, revestidos por tijolos anti-ácidos e ladrilhos vidrados. Regeneração de materiais perdidos de ambos os ácidos pode ser efetuada em modernas fábricas de decapagem. A regeneração só compensa para altas produções.

Decapagem com ácido sulfúrico é muitas vêzes mais usada do que a com ácido clorídrico, dado especialmente que êsse ácido é mais barato. Em caso de não se ter fonte de calor ou então materiais sensíveis a serem decapados, o HCL é usado também freqüentemente em galvanização a quente, quando o fluxo cloreto de zinco é aplicado.

14. DECAPAGEM COM ÁCIDO FLUORÍDRICO

Esse ácido é usado para decapagem de peças de ferro fundido, especialmente para remoção de areia, dado que a superfície destas partes consiste de silicatos derretidos, incluindo partículas de areia, insolúveis em ácidos, exceto o fluorídrico. Esse ácido é geralmente aplicado em mistura com os ácidos sulfúrico ou clorídrico, visto que o ácido fluorídrico não ataca o ferro e o aço, longas horas de decapagem podem ser aplicadas sem excesso na decapagem e o perigo de virar quebradiço pelo hidrogênio. O ácido fluorídrico é muito venenoso e agressivo; é difícil a cicatrização das suas feridas na pele. Assim, os tanques de decapagem devem ser providos com equipamento de exaustão de vapores e protegidos com betume, plásticos ou borracha.

15. DECAPAGEM COM ÁCIDO FOSFÓRICO

Decapagem com ácido fosfórico torna-se cada vez mais usado, pois este ácido atua lentamente em aço; um excesso de decapagem não ocorre. Uma especial vantagem desse ácido é a de que sua permanência não é prejudicial e a enxaguadura não precisa ser executada com o cuidado necessário para o ácido sulfúrico ou clorídrico.

Em contraste com os dois últimos ácidos, o ácido fosfórico forma com ferro um fosfato insolúvel, o qual favorece a adesão de tintas e vernizes e prolonga sua durabilidade. Em testes feitos na Inglaterra, foi verificado que a duração da tinta dobra quando o ácido fosfórico é usado para decapagem, em lugar de outros ácidos. O mesmo efeito pode ser obtido depois da decapagem com esses ácidos, desde que as peças sejam depois tratadas com uma solução diluída (aproximadamente 2%) de ácido fosfórico.

Esse ácido é especialmente ajustável para decapagem de peças a serem finalmente pintadas ou fosfatizadas. Também se os objetos têm dobras ou rugas (nos quais restos de ácido de decapagem podem acumular-se), decapagem fosfórica é a aconselhável. Ácido fosfórico sobrepuja-se também sobre todos os outros ácidos em decapagem para esmaltação a fogo.

Para diminuir o custo da decapagem (pois com ácido fosfórico torna-se cara) ácido sulfúrico é comumente usado na pré-decapagem (concentração de cerca de 15% a 60-80°C); a decapagem é terminada usando-se uma solução quente de 2% de ácido fosfórico, por imersão.

Ácidos fosfóricos perdidos na solução de decapagem podem ser completamente regenerados por um processo moderno de

passagem da solução através de trocadores de base em colunas. O ferro é levado pelo trocador de base e substituído por íons de hidrogênio; é obtido ácido fosfórico puro e o trocador de base usado é regenerado por ácido sulfúrico. Assim, atualmente, este ácido é usado para o processo de decapagem e o ácido fosfórico não é mais um ácido de decapagem dispendioso.

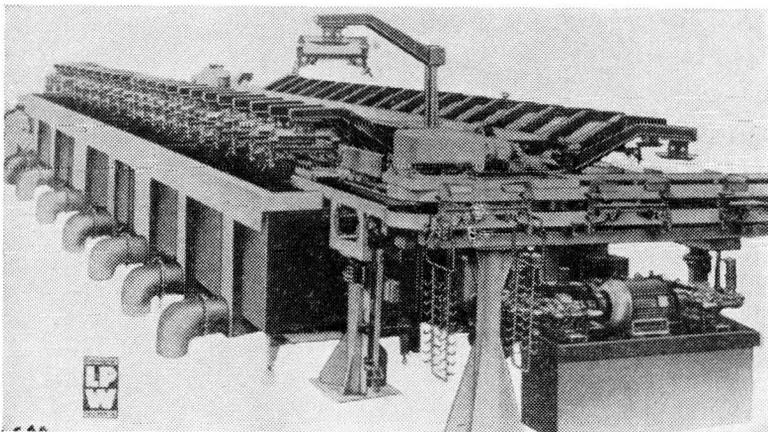


Fig. 12 — Aparelho automático para decapagem eletrolítica Bullard-Dumn (Langbein-Pfanhauser Werks; Neuss-Rhein; Alemanha).

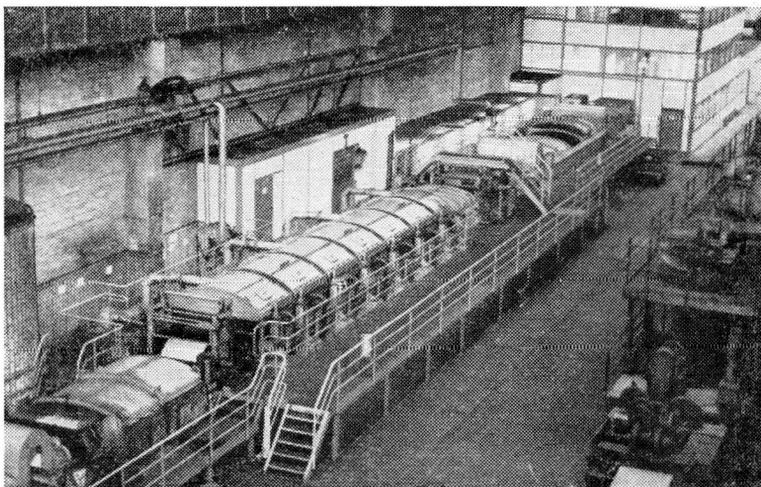


Fig. 13 — Aparelhos de decapagem eletrolítica para fundição de aço-liga em forma de fitas (F. Ruthner, Wien; Áustria).

16. ACELERAÇÃO DA DECAPAGEM

Muitas vezes é necessário aumentar-se a velocidade da decapagem, para o que existem meios físicos, químicos e orgânicos. Um dos mais simples e muito usados é o da movimentação do ácido e das peças, respectivamente; é efetuado por periódicos levantamentos e mergulhamentos dos cestos nos quais estão as peças, algumas vezes também por meio de sopros de ar comprimido dentro do banho.

Intensivo e especial é o movimento do ácido de decapagem quando este é pulverizado, e mais ainda quando ondas ultrasônicas são usadas, como auxiliares da decapagem. Na decapagem por pulverização, o ácido é pulverizado, sob uma pressão de cerca de 1,5 atm, sobre os objetos numa câmara revestida com borracha. Pelo efeito mecânico da pulverização, uma boa parte de camadas é removida mecanicamente; assim um tempo curto na decapagem é obtido. Também o oxigênio (levado pelo líquido em sua passagem através do ar) ajuda a decapagem. Usando-se, por exemplo, uma solução de ácido sulfúrico a 5-15%, ou em caso os objetos a serem pintados, dilui-se ácido fosfórico, a 70-75°C e a decapagem é concluída dentro de 1-3 minutos.

Este processo *pulverização-decapagem* pode também ser efetuado em fábricas completamente operadas automática e continuamente, onde outros tratamentos necessários (limpeza, lavagem, secagem, pintura, etc.) são feitos nos mesmos equipamentos, um após outro. Nos EUA também metais não-ferrosos, tais como o latão, são decapados continuamente; por exemplo, fitas com uma largura de 700 mm passam através da zona de pulverização-decapagem com a velocidade de 180 m/minuto.

Aceleradores comerciais de decapagem consistem usualmente de agentes de umedecimento; favorecem a penetração do ácido pelos poros e rachaduras de camada de óxido e aumentam, assim, a velocidade da decapagem. Alguns tem um pequeno efeito de inibição. Seu principal propósito é compensar a diminuição do índice de decapagem devido ao uso de inibidores, desde que neste caso a ação mecânica das bôlhas de hidrogênio está faltando. Os agentes de umedecimento realmente não aumentam o tempo de decapagem, mas diminuem o tempo de decapagem mais vagaroso em presença de inibidores, para o valor e índice, os quais serão obtidos, se inibidores não forem usados.

Deve ser mencionado que agentes umedificantes têm um efeito favorável para diminuir a quantidade de ácido perdido na decapagem, carregado com as peças quando deixam o banho. As soluções de decapagem formam gotas solúveis, as quais caem mais facilmente quando agentes de umedificantes estão presentes.

Estas perdas são realmente grandes, dado que a 1 m² da superfície do ferro aderem pelo menos 100 ml de substâncias de decapagem. Assim, na decapagem de folhas de ferro finas, cada carga de 2 t arrasta cerca de 40 litros do banho, exaurindo em cerca de 150 cargas um tanque de 6.000 litros. Um novo desenvolvimento na assistência da decapagem são os chamados “*scale-loosener*”; são aplicadas nas peças de ferro na forma líquida antes do recozimento. Reagem então a uma temperatura mais alta com a superfície do aço (ou com óxidos de ferro presente) transformando-os em uma camada de pouca aderência, trincada e facilmente removível. Agentes umectantes diminuem a aderência de lama preta depois da decapagem, desde que eles causam o desprendimento daquela lama. Podem também remover finas camadas de óleos e gorduras, as quais diminuíram a ação do ácido de decapagem.

17. INIBIDORES NA DECAPAGEM

Desde que as camadas de óxido em ferro e aço sempre têm uma espessura irregular, o ácido de decapagem ataca em algumas partes as bases do ferro, enquanto em outros ainda está presente o óxido.

Assim, uma ultra decapagem “em gravura” pode ser causada. O hidrogênio, evoluído durante a ação do ácido sobre os metais descobertos, favorece parcialmente pelo seu efeito mecânico o processamento da decapagem, mas, por outro lado, é muito prejudicial, dado que ele é parcialmente absorvido pelo ferro e causa fragilidade. O hidrogênio absorvido é também a razão pela imperfeição na galvanização a quente do ferro (chamado “fôlha cinza”) ou descascamento de camadas de galvanoplastia. Arames ultra-decapados falham na trefilação. O hidrogênio evoluído dispersa também o líquido de decapagem na sala, causando corrosões e inconveniências para os trabalhadores.

Praticamente, tôdas estas desvantagens, devidas à evolução do hidrogênio, podem ser evitadas no caso dos chamados *inibidores* serem adicionados aos ácidos. Consistem de compostos orgânicos, na maioria das vezes contendo enxôfre e nitrogênio de pequena solubilidade. São aptos a diminuir a solubilidade do ferro de cerca de 90-95%, enquanto a solubilidade do óxido de ferro praticamente não é afetada. Sua única desvantagem é a do aumento do tempo de decapagem, dado que os efeitos mecânicos das bôlhas de hidrogênio estão faltando. Atualmente, o tempo de decapagem é aumentado de cerca de 1/3 quando inibidores são usados. Mas, desde que em presença de inibidores, o processo de decapagem pode ser feito muito mais cuida-

dosamente, sem nenhum prejuízo; a temperatura, assim como a concentração do ácido podem ser aumentadas, encurtando assim o tempo de decapagem, como já foi mencionado.

O mecanismo de inibidores na decapagem podem ser explicados como segue (W. Machu^{13, 16}; W. Machu e I. H. Morcos^{17, 18}):

As partículas de inibidores são primeiramente absorvidas somente nas áreas anódicas, maior centro ativo da superfície do metal. Esta absorção acontece independentemente da carga elétrica do inibidor, somente pela energia dos centros ativos da superfície do metal. Assim não é correta a distinção entre inibidores catódicos e anódicos. A obstrução dos ânodos locais causa, para todos os inibidores, primeiramente uma polarização anódica e a formação de um filme tendo uma pequena resistência ôhmica, dado que as áreas anódicas são sempre menores do que as catódicas.

A ocorrência de uma polarização anódica e bloqueamento dos ânodos locais por um filme, é a prova que a ultra-voltagem de hidrogênio não é a explicação para a ação do mecanismo do inibidor. Bons inibidores têm então a habilidade de formar, depois de bloquear os ânodos locais, maiores áreas dos cátodos locais, um filme do inibidor. Então a resistência ôhmica torna-se muito alta, cerca de 100 ohms, em lugar de somente 1-2 ohms quando somente os ânodos são bloqueados. Paralelamente o tempo do efeito da inibição aumenta de 99%, indicando que praticamente o ataque do ácido no metal está completamente parado. O filme inibidor evita não somente as reações químicas de dissolução do ferro, mas diminui o índice de difusão dos íons em direção da superfície do metal (W. Machu¹⁴).

Desde que a reação primária é a adsorção, o processo depende da condição da superfície, concentração e meio; os inibidores dependem também da condição de superfície e do ambiente. Encontramos o máximo da resistência em filme em ácidos de ferro acima de 1.200 ohms, enquanto E. J. Simmons¹⁹ encontrou em óleo médio em resistência de ferro acima de diversas centenas de milhares de ohms. Podemos declarar uma relação clara entre efeito de inibição, resistência de filme, tempo de adsorção do inibidor.

18. DECAPAGEM ELETROLÍTICA

Outros meios de acelerar a decapagem são os da aplicação de corrente elétrica; as peças metálicas são tratadas tanto como cátodo, ânodo ou condutor intermediário²⁰. Mesmo a corrente alternada pode ser usada. Enquanto polarização catódica causa

proteção do metal, a polarização anódica aumenta sua solubilidade. Usando-se corrente alternada, com surpresa efetua-se uma proteção, como W. Machu e O. Ungersbock²¹ mostraram; o catódico protege a meia-onda e é mais eficiente do que o anódico.

O melhor método de decapagem eletrolítica é o do uso combinado de tratamento catódico e anódico, um depois do outro, desde que a polarização anódica remova hidrogênio, o qual foi absorvido durante decapagem catódica. Decapagem eletrolítica necessita de equipamentos elétricos, análogos aos das fábricas de galvanoplastia. Algumas vezes é efetuado nessas fábricas, desde que o equipamento seja disponível. Decapagem eletrolítica é mais cara do que simples decapagem por ácidos, mas diminui de um terço o tempo da operação.

Mais importante do que a decapagem eletrolítica em ácidos é o processo efetuado, tanto em sais fundidos, como em soluções aquosas alcalinas. Alcalis não atacam ferro ou ligas de aço, mas também não podem dissolver óxidos de ferro. Mas, se a ação dos álcalis é ajudada por alternância da polarização dos metais (como ânodos e cátodos), com redutores fortes ou com agentes oxidantes presentes, a remoção da camada de óxido é possível.

Um desses processos é a decapagem em hidrato de sódio de Du-Pont (22-25). Em soda cáustica fundida, sódio metálico é dissolvido e hidrato de sódio formado, passando-se hidrogênio através do fundido. NaH é um forte agente de redução; reduz todos os óxidos, exceto o óxido crômico para metal. A 370°C, mergulhando-se os objetos de metal dentro do fundido, em poucos minutos a ferrugem e a casca é reduzida; depois de um curto mergulho, dentro dos ácidos, obtém-se uma superfície de metal limpa. Este processo é especial para decapagem do aço inoxidável e titânio.

Um outro processo parecido é o chamado *KOLENE-PROCESS*^{26, 27}: os metais são tratados em hidróxidos de sódio fundido contendo certas adições, a 450°C, e alternadamente tratados com cátodo e ânodo, a 3-6 V; 0,8-2,5 Amp/dm²; por 5-15 minutos.

Os óxidos são tornados soltos, velhas tintas removidas, a grafita é oxidada e a superfície limpa. Então as mercadorias são tratadas por uns poucos segundos em 20% ácido sulfúrico com 1% de ácido fluorídrico. Este processo é muito usado para a limpeza de aços especiais, aços inoxidáveis, ferro fundido, etc. Partes de ferro fundido podem ser estanhados, galvanizados ou soldados depois daquele tratamento, dado que a grafita foi oxidada na superfície.

Outro processo alcalino da remoção de casca é o *EKO-VIRGO*²⁸: hidróxido de sódio fundido, contendo adições ativadoras (tais como nitrato de sódio ou permanganato de potássio) é usado a 480-540°C, por 5-25 minutos. Os óxidos são transformados em forma facilmente solúvel em ácidos. Este processo é conveniente para o tratamento de níquel, ferro fundido e ligas de aço.

Um novo desenvolvimento é a remoção da casca por meios eletrolíticos em soluções aquosas concentradas de sais alcalinos. Um processo usa cerca de 30% de solução do cianureto de potássio (eventualmente também de outros sais alcalinos) a 125-140°C, mudando a polaridade da corrente cada 10 segundos. São usadas densidades de corrente (15 Amp/dm²; por 8-15 minutos) se camadas grossas devem ser removidas. Um outro processo é o de 20-25°C, por 2-20 minutos; para camadas mais pesadas, 48°C. Ânodos são sempre de grafita. A desvantagem desse processo é o uso de cianureto de potássio, venenoso, causando trabalhos no despêjo das águas e eletrólitos. Assim, a tendência hodierna é o desenvolvimento de soluções alcalinas para remoção de casca, mas em banhos isentos de cianuretos.

BIBLIOGRAFIA

1. H. B. LINDFORD e J. J. GRUNWALD — *Plating*, **46**, 1959, Sept., 1039-45.
2. C. I. A. KELLARD — *Electroplating Metal Finishing*, **8**, 1955, 94-98.
3. TH. L. KEARNEY e J. ACOUSTIC — *Soc. Amer.*, **26**, 1954, 244-246.
4. H. I. GOLLMICK e K. TESSER — *Metalloberflache*, **10**, 1956, 233-237.
5. W. LIPPERT — *Techn. Gemeinschaft, Berlin, Band*, **6**, Nr. 11-12, 1958, 464-5.
6. W. SCHONIG — *Werstatt und Betrieb*, **86**, 1953, 57-60.
7. H. NAN e A. O. FITZLER — *Metalloberflache*, **5**, 1953, B 41-47.
8. Engl. Patent 634498; *Electroplating Meta. Finishing*, 1950, Nr. 11, 434.
9. L. LECHNER — *Metalloberflache*, **8**, 1954, A 26-30.
10. H. CHASE — *Metal Finish*, **52**, 1954, No. 10, 65-67.
11. C. I. A. Kellard *Electro plat. Met. Finish.*, **8**, 1955, 94-98.
12. A. B. WINTERBOTTOM e J. P. REED — *J. Iron Steel Inst.*, 1932, II, 159.
13. W. MACHU — *Korrosion u. Metallschutz*, **10**, 1934, 377-388; **13**, 1937, 1-20; **13**, 1937, 20-37; *Trans. electrochem. Soc.*, **72**:333, 1937.
14. W. MACHU — *Ibidem*, **14**, 1938, 324 ff.

15. W. MACHU — Archiv F. Eisenhüttenwesen, **30**, 1959, H. 3, 145-152.
16. W. MACHU — Petroleum Congress, Cairo, 1959.
17. W. MACHU e I. H. MORCOS — Werkstoffe und Korrosion, **11**, 1960, 81-87.
18. W. MACHU e I. H. MORCOS — Ibidem, **11**, 1960, 156-162.
19. E. J. SIMMONS — Corrosion (Houston), **11**, 1955, 255t/260t.
20. W. MACHU — Oberflächenvorbehandlung von Eisen — und Nichteisenmetallen, Akadem. Verlagsges. Leipzig, 2. Aufl., 1957, pp. 359-372.
21. W. MACHU e O. UNGERSBOCK — Arch. f. Eisenhüttenwesen, **14**, 263-265, 1934; Drahtwelt, **32**, 141-146, 1939.
22. L. U. EVANS — Iron Steel, **26**, 134-136, 1953; I. Inst. Prod. Engrs. **22**, 280, 1953.
23. R. SPRINGER — Metalloberfläche, **7** (A) 9-12, 1953.
24. L. WETTERNICK — Berg — und Huttenmann. Monatsh., **94**, 34-37, H. 2, 1949.
25. I. M. GILL e D. E. DERBACHER — Chem. Eng., **60**, Nr. 3.217-219, 1953.
26. W. F. SHERMAN — Iron Coal Trades J., **143**, 479, 1941; Iron Age **148**, n. 3-4, 38-40, 1941.
27. R. KUHN — Galvanotechnick, **50**, 1959, 594-5.
28. J. A. MONKS e J. McMULLEN — Metallurgia, **38**, 311-313, 1948.
29. R. HOFFMAN — Galvanotechnick, **50**, 1959, 661-663.



DISCUSSÃO ⁽¹⁾

Newton Miller Rangel ⁽²⁾ — O Prof. Machu há pouco falou sobre o cádmio. Tem-se a impressão de que, por sua proximidade com o ferro na escala eletro-motriz, êle seria um elemento de proteção metálica bem eficiente nos locais onde a corrosão deva ser mais acentuada. O senhor poderia explicar isto?

A. Foides ⁽³⁾ — O Prof. Machu acha que, pela formação de óxido e hidróxido de zinco, sendo pouco mais negativo o zinco do que o cádmio, a ação protetora do cádmio dura muito mais tempo e fica mais brilhante.

(1) Contribuição Técnica n.º 413. Discutida na Comissão «E» do XV Congresso Anual da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista; do Instituto Militar de Engenharia; Rio de Janeiro, GB.

(3) Membro da ABM e intérprete durante os trabalhos da Comissão; Presidente da Sunbeam do Brasil; São Paulo, SP.

te que o zinco. Foram feitas experiências em atmosferas corrosivas artificiais, mas que não podem ser absolutamente confirmadas por experiências feitas externamente, na prática. Ele acha que, especialmente nos trópicos, não há grande diferença entre o cádmio e o zinco.

Peter Boer (4) — Quería fazer duas perguntas. Primeira: qual o método de laboratório mais simples e melhor para determinar a resistência contra corrosão de peças tratadas com anti-corrosivos? Segunda: qual é o inibidor aconselhável se o aço e o ferro estão decapados com ácido clorídrico?

A. Foldes — O Prof. Machu explica que, até agora, não pôde ser encontrado um método que reproduzisse aceleradamente a corrosão ao ar livre. Os resultados dos aparelhos referidos não são, em muitos casos, reproduzíveis. Em sete casos diferentes, somente com solução de cloreto de sódio resultaram resultados comparáveis.

Por isso ele recomenda que se use o aparelho de pulverização, mas, ao invés de soluções puras de cloreto de sódio, use-se solução com pequena adição de ácido acético e nitrato de cobre; as composições exatas podem ser obtidas pelos respectivos «standards».

Além desse método de neblinas artificiais, existe o de uma pasta artificial, composta de caulim, sulfato férrico e nitrato de cobre, em certas porcentagens; estas pastas, especialmente na indústria automobilística da Europa, estão reproduzindo artificialmente a agressividade da lama. Aplicada nas peças e sendo estas colocadas em gabinetes de 95° de umidade relativa, a uma temperatura de 35°C mais ou menos, — estes dados são citados de memória — em 16 horas, aproximadamente, estão dando resultados correspondentes aos de um ano de corrosão de automóvel ao ar livre. Dessa maneira, podem ser obtidos resultados correspondentes aos que seriam obtidos ao ar livre e, principalmente, são reproduzíveis.

O Prof. Machu acha que, em geral, até hoje não se conseguiu chegar, em testes de corrosão, a resultados absolutamente certos. Ele entende que nem todos os casos de agressividade podem ser reproduzidos; por isso, na questão da corrosão artificial, a corrosão ao ar livre apresenta até hoje um ponto vulnerável. Ele recomenda ainda que se tomem como bons os respectivos «standards», americanos ou alemães, que dão índices da corrosão acelerada de certas peças.

Diz ainda o Prof. Machu que, na Alemanha, usa-se submeter peças ao gás de atmosfera industrial, que é uma mistura ideal de $SO_2 + CO_2$ produzidos por quantidades determinadas de sulfito de sódio e de carbonato de sódio. Certas variações de horas de ataque, retratam, relativamente, a resistência contra a corrosão.

Posso acrescentar, neste ponto, que esses resultados, aqui no Brasil, não são de grande importância, porque os ataques que temos não são os de gases industriais. Mas, num país com uma costa tão longa, nosso problema é o de proteção contra a corrosão provocada por neblina de água salgada. São poucos aqui os lugares que têm praticamente atmosfera industrial. Este teste de gás de $SO_2 + CO_2$ é para reproduzir a atmosfera que, na Alemanha, existia na zona do Ruhr; aplica-se só para carros de exportação para países altamente industrializados.

Georges Fischer (5) — Pergunto como evitar ou diminuir a formação de espuma em banhos alcalinos de limpeza em peças anteriormente tratadas para estampagem à base de graxas animais.

(4) Membro da ABM; Engenheiro da Laminação Nacional de Metais; São Paulo, SP.

(5) Engenheiro da Willys Overland do Brasil; São Paulo, SP.

A. Foldes — O Prof. Machu diz que sendo trabalhado com ácido sulfúrico, à temperatura maior, geralmente é mais fácil obter-se inibidores de ação maior, porque no ácido muriático, as moléculas são muito menores. que os senhores têm de pensar numas árvores sem galhos, através da qual as moléculas passam facilmente. Mas se a árvore está cheia de galhos, é mais fácil os átomos passarem por entre esses galhos. Principalmente em certos produtos orgânicos derivados (que no caso que estamos figurando, seriam cheios de galhos) os átomos menores, como os do ácido muriático, dificilmente passariam. Por isto êle recomenda o uso de produtos orgânicos, de grande derivação por todos os lados, formando grandes galhos.

William R. Batorffy (6) — Desejaria saber se há divergência entre os pontos de vista alemão, americano e inglês nos «standards» para ensaios de neblina artificial de corrosão. E, quando fôr feita uma Norma Brasileira para estes testes, as de que País seriam mais recomendáveis para o Brasil?

A. Foldes — O Prof. Machu explica que existem diferenças entre os testes dos diferentes países. Aliás, é uma boa oportunidade para lembrar aos senhores da indústria automobilística que está na hora de se elaborar uma *Norma Brasileira* para o teste de corrosão, justamente para cotejar os elementos de proteção contra a corrosão. Mas o Prof. Machu acha que, no presente, ainda é melhor usar pulverização de solução de cloreto de sódio com ácido acético, como foi dito anteriormente.

Representante da «Monark» — Qual o tamanho e a dureza mais indicados para as bolinhas de aço a serem empregadas para preparar superfícies lisas antes da fosfatização para pintura?

A. Foldes — O Prof. Machu responde que é difícil fazer uma recomendação geral, porque depende do tipo de escama a ser removida. Por isso, o tamanho e a dureza de pedacinhos de aço usados nesse tratamento têm que ser determinados cada vez, de acôrdo com a peça a ser tratada.

P. Balogh (7) — Como se evita a formação de óxidos sôbre metais na remoção de escamas por intermédio de chama?; segundo, pede os mesmos elementos, sôbre a limpeza com jato de areia; terceiro, pede as aplicações ultrassônicas na indústria de galvanoplastia e quais são as melhores freqüências.

A. Foldes — O Prof. Machu responde que não pode, em geral, ser evitada a formação de óxidos e que sempre fica 0,1 de espessura mais ou menos. Mas, um jato de areia pode remover o metal puro, o que dá uma adesão melhor do metal, porém, influi no brilho da superfície da pintura.

Diz que tôdas as experiências de aplicação de «ultrassom» para galvanoplastia foram interrompidas, porque até agora os resultados não permitiam a sua continuação. Mas, acha que se poderia ter uma diminuição substancial no tempo de tratamento por intermédio de «ultrassom» e que provávelmente vai ser tentada alguma coisa neste sentido. Acha, ainda, que o «ultrassom» deve ser empregado em peças menores, de 200 a 500 mm, porque a freqüência e a demanda de eletricidade aumentam de tal forma que não pode esse processo ser feito, economicamente, em peças maiores.

(6) Engenheiro e Membro da VDI; da firma Batorffy; São Paulo, SP.

(7) Engenheiro da Philco do Brasil; São Paulo, SP.

Ernesto Léo Mehlich (8) — Na indústria automobilística testamos o sistema metal fosfatizado PRIMER-ESMALTE. Adota-se geralmente a exposição ao WEATHER-OMETER, pelo método da ASTM. Qual a relação entre o SALT-SPRAY e o WEATHER-OMETER? Qual desses testes se aproxima mais das condições verdadeiras?

A. Foldes — Diz o Prof. Machu que não existe ainda um método de comparação entre a verdadeira corrosão, a de ar livre, e um teste acelerado de laboratório. Ambos os processos citados são *acelerados*; dão índices que, para cada um deles, são comprováveis entre si. Mas nem sempre podem ser correlacionados com os índices de corrosão real, a de ambientes agressivos exteriores.

(8) Engenheiro da Willys Overland do Brasil; São Paulo, SP.