

A RECUPERAÇÃO DE ÁRVORES DE MANIVELA PELO CROMO DURO ⁽¹⁾

ALBERTO PAULO RIBBE ⁽²⁾

RESUMO

O trabalho descreve as operações praticadas na recuperação de eixos de manivela pelo processo de cromagem, ou cromação dura. Aborda detalhes importantes no preparo dos eixos, na realização da deposição eletrolítica, e no acabamento final.

Por sua natureza, não pode ser completo, e não pode esgotar o assunto. Limita-se a tocar tôdas as operações de um modo geral, com o propósito de divulgar algo da prática; busca fundamentos teóricos somente onde parecem razoáveis para melhor esclarecer detalhes de relevância.

1. A CROMAGEM DURA DE ÁRVORES DE MANIVELA

Generalidades e características — A cromagem dura vem assumindo, desde e ainda durante o último conflito mundial, uma importância tecnológica sempre crescente. O cromo duro, material eletrodepositado, por suas características mecânicas e químicas, tem encontrado as mais variadas aplicações, na engenharia mecânica e química, em resultado do que a cromagem dura veio a se constituir em processo extremamente versátil, reunindo qualidades sobremodo úteis em grande número de aplicações industriais.

No terreno particular da recuperação dos eixos de manivela, a cromagem dura concorre com o processo de soldagem elétrica e o de metalização a jato, evidentemente só no que diz respeito ao enchimento de colos. Fraturas e em geral defeitos de certa profundidade não podem ser eliminados por cromagem dura. Todavia, embora tanto a soldagem como a metalização a jato sejam mais econômicas quanto à aplicação, a primeira constitui, sempre, uma intervenção bastante violenta que atinge a própria

(1) Contribuição Técnica n.º 481. Apresentada ao XVII Congresso Anual da ABM; Rio de Janeiro, julho de 1962.

(2) Membro da ABM e Engenheiro da Chromax Indústria e Comércio e da Comercial e Industrial Fornos Werco; Rio de Janeiro, GB.

estrutura do material, com todos os perigos inerentes, aos quais se somam os da possibilidade de fraturas no desempenamento; e a metalização a jato, conquanto se conte hoje com um aprimoramento na técnica de ancoragem do metalizado, ressentem-se ainda de certa insegurança num dos requisitos de maior importância, ou seja, a sua aderência. Sem dúvida, porém, nas grandes espessuras, não há como delas se prescindir, se determinadas medidas devem ser alcançadas.

A cromagem dura, por sua vez, com as qualidades de aderência asseguradas por um coeficiente de segurança tecnicamente elevado, de reprodutibilidade satisfatória, goza da vantagem de não submeter o eixo a solicitações violentas, como a soldagem, nem exigir um rebaixamento considerável de seu diâmetro, como a metalização. Mas o seu campo de aplicação se restringe às espessuras, até meio milímetro, ou seja, um milímetro no diâmetro. Nestas condições, torna-se, inclusive, um complemento para a soldagem, conferindo-lhe uma dureza excepcional que normalmente não possui.

Freqüentemente, porém, eixos com medidas muito baixas podem ser restaurados para o serviço com apenas diminuta película de cromo duro, que proporcionará então à superfície a dureza que exige, e que o próprio eixo já não mais possui, por ter perdido a camada endurecida original. Assim, eixos com desgastes de dois a três milímetros, têm-se comportado satisfatoriamente, após uma aplicação de apenas um a dois décimos de milímetro de cromo. A cromagem dos eixos metalizados apresenta certas dificuldades, originadas da própria estrutura porosa do material, e das condições peculiares de sua aderência, que geralmente é de ordem puramente mecânica.

A matéria prima para o cromo duro é o ácido crômico, ou mais precisamente, o anidrido crômico, já de produção nacional, o que não é sempre propriamente uma vantagem econômica sob o ponto de vista estrito do consumidor, mas não deixa de apresentar o aspecto confortador de permitir uma boa segurança quanto à sua disponibilidade. Sua deposição se faz eletroliticamente, a baixa voltagem e corrente contínua, num mecanismo eletroquímico coberto por teoria mais ou menos aceita; as condições de sua deposição estão sujeitas a determinadas contingências de ordem física e química, relativamente rigorosas, para que se obtenham as qualidades mecânicas desejadas para uma determinada finalidade. A grosso modo, são as seguintes as propriedades que o tornam interessante à tecnologia moderna:

- 1) grande dureza;
- 2) resistência química a grande número de produtos químicos;

- 3) grande resistência a temperaturas elevadas;
- 4) baixo coeficiente de atrito;
- 5) relativa facilidade de deposição;
- 6) possibilidade de ser depositado sobre quase todos os metais e ligas usuais;
- 7) poder de absorver vibrações.¹

Por estas e outras razões se presta admiravelmente para o endurecimento de superfícies metálicas sujeitas a solicitações mecânicas, ao recobrimento de superfícies das quais se exige resistência a determinado agente corrosivo, ou resistência química e concomitantemente resistência mecânica, ou condições peculiares de resistência à abrasão, ou um baixo coeficiente de atrito, ou ainda uma especial tolerância a condições oxidantes a temperaturas elevadas. As possibilidades de aplicação são inúmeras, bastando considerar-se a permutabilidade de ligas dispendiosas exigidas por vezes somente em função de sua resistência superficial, por material barato, mas cromado nas áreas expostas, e na recuperação de material usurado, restabelecendo medidas originais. Dificilmente há um ramo na tecnologia onde encontre uma aplicação que preencha com grande vantagem econômica ou funcional, quer como recurso de recuperação ou material com qualidades intrínsecas definidas.

Existem, no Brasil, já em certo número, as empresas que se dedicam à cromagem dura; existem outras que mantêm instalações para sua aplicação em uso próprio, como por exemplo, as tecelagens e as estamparias, na cromagem dos seus cilindros, as oficinas de revisão de motores de avião, para os fins de recuperação de peças essenciais, as fábricas de anéis de segmento, para a produção de anéis de comportamento superior quanto ao desgaste. Mas, sem dúvida, o campo que experimentou um desenvolvimento vertiginoso, é o da recuperação de eixos de manivela e outras peças de motores de explosão ou combustão, como por exemplo as camisas de cilindro.

Duas são as características que o tornam particularmente adaptável à recuperação de árvores de manivela, ou eixos de manivela, ou, simplesmente, virabrequins. Em primeiro lugar, a possibilidade de depositá-lo em certa espessura, a já mencionada grande dureza, que oscila entre RC73 e RC78, na prática industrial, e o seu baixo coeficiente de atrito, que o tem feito admitir, inclusive, bronzinas de qualidade inferior, verdadeiro desastre para o eixo não cromado.

Metalúrgicamente falando, o cromo se deposita em cristais não definíveis microscòpicamente, e em camadas que, dentro de

pequeníssimos limites de espessura, se fendilham contínua mas não progressivamente, de modo que, em filmes extremamente finos e depois a seguir de uma certa espessura, se obtêm camadas não porosas, o que é de grande importância sob o ponto de vista de seu comportamento anti-corrosivo.

Essa particularidade metalúrgica, diga-se de passagem, abriu campo à chamada cromagem dura porosa, um dos tipos de revestimento muito empregados na recuperação e mesmo na fabricação de camisas de cilindro. É possível depositarem-se camadas de vários milímetros de espessura, conquanto essa prática seja geralmente pouco recomendável, quer sob o aspecto econômico, quer sob o funcional. Econômicamente, as restrições se originam na lentidão própria da deposição, pois, na prática industrial, essa pouco vai além de dois a três centésimos de milímetro por hora; funcionalmente, a restrição é condicionada pela grande fragilidade do cromo, que se manifesta desfavoravelmente em casos de impacto ou de super-aquecimento de superfícies atritantes, resultando em fraturas da camada por diferença de dilatação do material-base e do próprio cromo duro (fig. 1). Assim, as camadas encontram sua limitação razoável a um quarto de milímetro — no caso dos eixos de manivela, a meio milímetro no diâmetro.

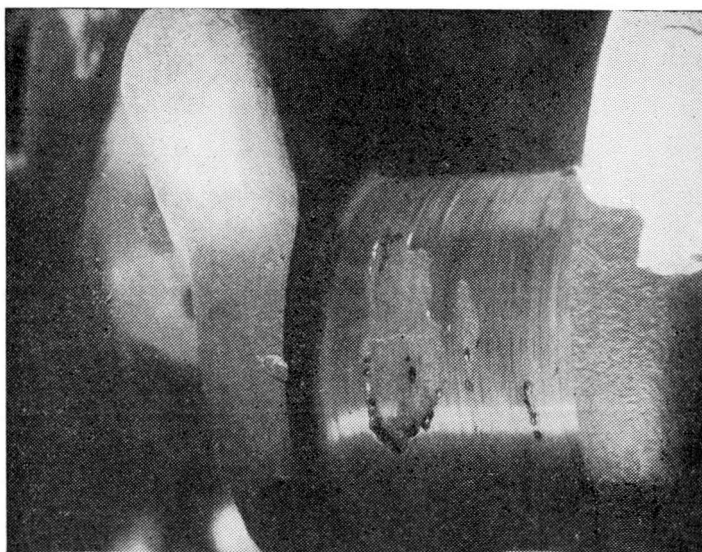


Fig. 1 — Ruptura de cromo com despregamento, em consequência da camada ser espessa e do casquilho ter folga insuficiente.

2. OPERAÇÕES PRELIMINARES

A cromagem dura dos eixos de manivela é uma operação que se cerca, necessariamente, de um grande número de cuidados, que vêm de ser reclamados pela indispensabilidade de uma perfeita aderência, de boa dureza, de boa resistência ao atrito. Todavia, êsses cuidados devem ir além. Um eixo de manivelas usado é um elemento de máquina que esteve sujeito a grande número de esforços. Esforços, que por razões óbvias, atingem a sua estrutura, resultando em tensões que, muitas vezes, dão origem a fendilhamentos microscópicos e, a seguir, fraturas na continuidade do uso. É preciso, então, que se recorra a tratamentos e ensaios convenientes para eliminar ou diminuir essas tensões de serviço, para detetar possíveis inícios de fraturas.

A primeira providência, pois, ao se iniciar os preparativos para a cromagem dura de um eixo de manivela, é um exame de sua sanidade, se assim se pode dizer. Grosseiramente, se executa com um exame de sua ressonância, ao golpeá-lo com uma barra de ferro, em posição vertical ou ligeiramente oblíqua, apoiando-o no perímetro do flange. Uma fratura maior proporcionará, então, e geralmente, um somido inconfundível. Mas êsse processo rudimentar exterioriza apenas fraturas transversais extensas, que o mais das vezes se tornam visíveis mesmo a olho nú, a um exame mais minucioso. Fraturas menos extensas e pouco profundas, e sobretudo fraturas longitudinais, dificilmente se acusam dessa maneira, mesmo a um ouvido experimentado, e só aparecem mesmo ao exame magnético do tipo "magnaflux", em que se evidenciam em linhas nítidas de fácil percepção.

Muito embora as fraturas típicas de serviço pareçam ter sua origem na superfície, notadamente em pontos de concentração de esforço, verificam-se, contudo, na prática, freqüentes casos de fraturas de origem interna e suficientemente profundas para escaparem ao campo de penetração do fluxo magnético. E muitas vezes, também, existem pontos predispostos a fraturas, pontos em que se tenham concentrado tensões ainda não resolvidas, que somente vão aparecer durante a cromagem, em consequência das tensões concêntricas que são próprias do depósito de cromo duro, e que são um dos fatores aos quais deve sua extraordinária aderência. Há aí um efeito em consequência do qual as tensões do material se somam às da película de cromo, rompendo-se a superfície em determinados trechos, dando origem a fendas que por via de regra se estendem em sentido longitudinal (fig. 2).

Apesar dêsses exames preliminares, portanto, é indispensável que, antes de se iniciar a cromagem dura, se dê ao eixo um tratamento térmico adequado, para aliviá-lo das tensões acumula-

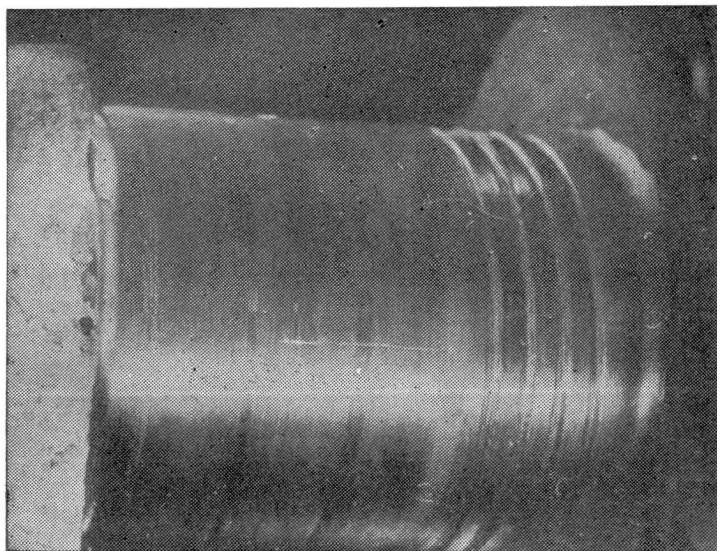
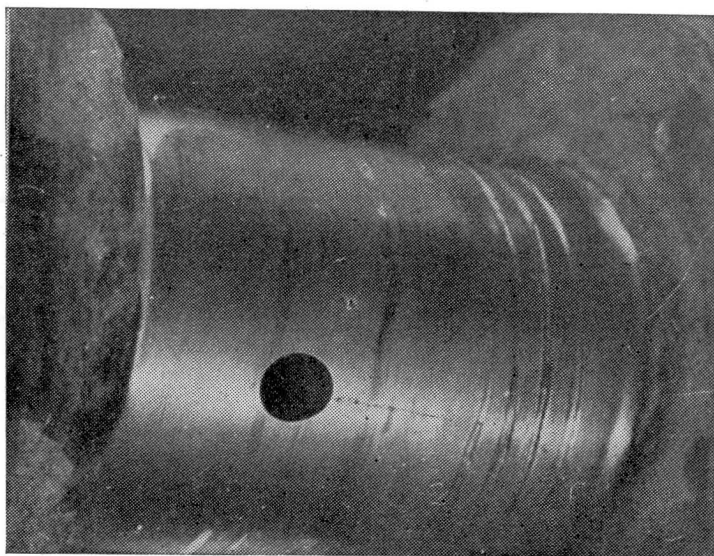


Fig. 2 — Trincas em consequência de tensões internas, após aplicação de uma camada de cromo de 0,25 mm. Estas trincas não foram reveladas ao exame magnético prévio; provavelmente eram inexistentes antes da cromação.

das em serviço, tratamento êsse que se mantém em faixas de temperatura sub-críticas e por tempo relativamente curto. 250°C a 300°C, por duas a quatro horas, costumam ser suficientes.

Testados magnéticamente ou não, os eixos de manivela devem ser desimantados obrigatoriamente, pois não é infreqüente adquirirem imantação em serviço, a qual, se permanece após o recondicionamento, pode causar usura acelerada pela atração de partículas ferrosas durante o período de amaciamento. É a causa pouco conhecida dos desgastes prematuros de máquinas recondicionadas.

Todo eixo trabalhado deve ser retificado antes da cromagem dura. Essa operação é dispendiosa, e consome tempo, mas é um mal necessário, e por isso mesmo há lamentavelmente ignorância ou falta de escrúpulo por oficinas que se dedicam a êsse tipo de trabalho. A camada que esteve em contacto com os casquilhos, que sofreu desgaste, é caracterizada por uma película encruada, de cristalização distorcida, muitas vêzes embebida de óleo nos interstícios microscópicos da superfície, e como tal não pode oferecer as condições indispensáveis para uma boa aderência do depósito eletrolítico, que é por sua natureza um fenômeno intercrystalino. A aderência dos depósitos de cromo duro é normalmente superior à própria coesão do substractum, e a extensão do encruamento é matéria estranha que se interpõe, e em si mesma uma película não mais suficientemente coesa para poder absorver as enormes tensões concêntricas do depósito de cromo, os esforços de atrito que lhe são transmitidas através da camada eletrodepositada, ou as dilatações que a temperatura normal de funcionamento lhe imprimem. É bastante comum que depósitos de cromo obtidos sôbre superfícies em tais condições, já se destaquem na retificação que segue à cromagem dura, mas é muito mais comum que essa separação se verifique em serviço, com resultados desastrosos como fãcilmente se imagina.

*

Com certos tipos de aço, o cromo duro estabelece comprovadamente uma diminuição da resistência à fadiga. Êste problema mereceu acurados estudos nos últimos anos; existe inclusive uma teoria bem fundamentada que explica o fenômeno.² Por ela, o fendilhamento já referido das camadas de cromo se propagaria ao próprio metal-base de forma que, nas zonas de grande sollicitação (como nos furos de lubrificação e nos raios dos mancais de fixos e biélas) se teriam pontos iniciais de fraturas, que o esforço vibratório cíclico do eixo em trabalho se encarregaria de aumentar. Um dos suportes encontrados na prática já consagrada de conferir raios bem definidos aos coletes, de quebrar os cantos vivos dos furos de lubrificação, procurando

um acabamento esmerado nesses pontos, e outro, no "peening" dessas áreas, processamento que, infelizmente, só mesmo na fabricação se pode realizar com regularidade, com o fim de colocá-las sob tensões de sentido concêntrico. É uma prevenção contra a perda de resistência por fadiga do material, a qual, atingindo apenas poucos centésimos de profundidade, por via de regra desaparece durante o primeiro desgaste, e certamente após a primeira retificação, para nunca mais ser restabelecida. Oficinas bem aparelhadas lançam mão de um recurso pelo qual os raios são fortemente comprimidos por um processo mecânico, da mesma forma que os furos de lubrificação, mas esse processo é necessariamente moroso e dispendioso e certamente pouco difundido e sobretudo pouco compreendido nas suas repercussões benéficas sobre a vida útil do eixo.

Nessa conexão, mencione-se que a própria retificação introduz elementos diminutivos da resistência à fadiga, tendo-se verificado, há tempos, serem esses maiores no sistema de retificação transversal, que é o comumente adotado hoje em dia, do que no sistema de retificação longitudinal, hoje cada vez mais abandonado pela sua improdutividade. Eis porque o revenimento se deve situar preferivelmente após a retificação preliminar dos eixos de manivela. Essa consideração adquire importância, notadamente, tendo-se em vista que nem sempre o desbaste é efetuado com os cuidados que se dedicam a uma retificação para medidas finais prefixadas. Descuidos no arrefecimento são próprios para introduzir distúrbios periféricos no eixo, justamente na camada que interessa imediatamente à cromagem, e é notório que zonas que tenham sofrido grande superaquecimento se revelem extremamente detriminentais quanto à boa aderência do cromado.

3. O BANHO, COMPONENTES E CONTAMINANTES

A cromagem dura propriamente dita é uma operação galvanoplástica. Como tal, se realiza a baixa tensão, num banho que fornece o metal, tendo como polo negativo a peça a ser cromada, e como polo positivo o anódio, que é de chumbo, insolúvel, mas se revestindo durante a eletrólise de uma camada de dióxido, que exerce importante função no equilíbrio constitucional do eletrólito.

O banho é composto essencialmente de ácido crômico; a cromagem se efetua a temperaturas que oscilam entre 50°C e 55°C, comumente, devendo ser mantidas com grande uniformidade no decorrer da operação, uma vez fixada. O depósito de cromo é extremamente sensível à temperatura da deposição, quanto à sua dureza e as tensões internas que lhe são características. A velocidade de deposição, a própria resistência abrasiva

dentro de uma certa gama de durezas, estão estreitamente ligadas às condições de temperatura do banho, à densidade de corrente sob a qual se efetua a deposição, à concentração do banho e à sua constituição. Geralmente se opera a densidade de corrente que varia entre 30 e 50 ampéres por decímetro quadrado.

Usualmente, os banhos variam entre os seguintes limites:

Ácido crômico	200	a	250	gramas por litro
Ácido sulfúrico	1,8	a	2,7	gramas por litro
Cromo trivalente	2	a	5	gramas por litro
Ferro	0	a	12	gramas por litro

Obtem-se excelentes deposições a teores de anídrico crômico a partir de 130 gramas por litro, respeitada uma proporcionalidade com o ácido sulfúrico que é fundamental. Um banho dessa concentração, conquanto apresente eficiência catódica satisfatória, isto é, assegure um rendimento quantitativo satisfatório, se resente todavia de diminuto poder de cobertura. Por poder de cobertura se entende a facilidade de depositar-se em recessos; é uma característica galvanotécnica que varia de elemento a elemento, de banho para banho, e se imprime substancialmente ao arranjo dos anódios em relação à peça a ser beneficiada. O baixo poder de cobertura do banho de cromo, então, faz grande exigência quanto ao desenho dos anódios, particularmente na cromagem.

A função do ácido sulfúrico se descreve como catalizadora; sua relação ponderal com o ácido crômico é um dos fatores mais delicados para o bom funcionamento do banho, sobretudo o seu rendimento em ampéres-horas. Grandes excessos podem conduzir a notável redução da velocidade de deposição, nas temperaturas usuais, e exigirão densidades de corrente muito maiores a temperaturas mais elevadas, conquanto às vezes com rendimento também maior. Deficiências reduzem a velocidade de deposição, podendo sustá-la inteiramente. Provocam defeitos como porosidades, se estas não são originadas por poros pré-existentes no substrato.

Por estas razões, a proporção entre ácido sulfúrico e ácido crômico é objeto de controle continuado, procurando-se mantê-la a mais aproximada possível da relação de 100:1. Outros catalizadores são por vezes empregados, notadamente do grupo do ácido fluorídrico, na forma do próprio halogenado, ou dos fluoretos e sílico-fluoretos, às vezes em combinação com o ácido sulfúrico. Mas êsses, não obstante assegurarem maior rendimento da corrente, com eficiências de 25% e mais, impõem sérias exigências à perfeição do isolamento que se aplica às par-

tes não sujeitas à cromagem. Sua reatividade com o ferro é muito mais acentuada, e por êste motivo podem dar origem a graves corrosões sob o isolamento, no decurso da deposição.

O anidrido crômico é um composto hexavalente, de valência seis. No banho se forma, porém, continuamente, um outro óxido de cromo que aparece com valência ternária, sendo usualmente designado por cromo tri-valente. Origina-se num dos estágios da redução metálica do cromo e, até 5 gramas por litro, é tido como necessário ao bom funcionamento do banho. Aumentando, porém, influi desfavoravelmente sobre a sua condutividade, acabando por afetar o aspecto e a resistência do depósito. Eis porque, durante a operação do banho, o enriquecimento dêsse constituinte obriga a certa atenção, de vez que as condições em que se efetua a cromagem dos eixos de manivela favorecem o seu incremento contínuo. A sua formação normal é compensada por uma re-oxidação nos anódios, que para isso exigem superfície maior do que a catódica, onde é formado. As limitações dimensionais porém, a que estão sujeitos os anódios empregados na cromagem dos eixos de manivela, tornam difícil acomodar-se esta exigência, e, em consequência, o equilíbrio entre oxidação e redução, em detrimento daquela, com o resultado de se verificar uma tendência de aumento progressivo do teor de cromo tri-valente, ao que parece sob a forma de sulfato e dicromato crômicos.³ Por êste motivo, os banhos de cromo para eixos de manivela devem passar por tratamentos de re-oxidação, periódicamente. Em oficinas de grande variedade de serviço, o problema se resolve com relativa facilidade, pois a deficiência anódica imposta pelos eixos de manivela pode ser compensada com o uso de grandes áreas anódicas na cromagem de peças cilíndricas, como pinos de pistão, eixos de comando, de balancins e similares. Há um recurso, já mais elaborado, que é o da re-oxidação em circuito elétrico independente, onde o catódio se encontra em recipiente poroso, cercado de área anódica muito maior, e no qual a re-oxidação pode ser apreciada quantitativamente, com um equivalente de 955 gramas de cromo tri-valente por ampère-hora.

Um dos contaminantes usuais dos banhos de cromo é o ferro, geralmente em consequência do fato de se fazer a decapagem eletrolítica que antecede a cromagem, no próprio banho. Seu teor cresce lentamente, e, muito embora se indiquem 30 gramas por litro, como extremo tolerável,⁴ verificámos que por volta de 12 gramas seu efeito sobre a fragilidade do cromo já é tão pronunciado, que o banho se torna imprestável. Não há ainda um recurso econômico para o reaproveitamento, pois não existe uma solução de ordem química, e a eliminação por resinas catiônicas é aparatosa e ainda pouco exequível em nosso meio. Assim, só resta a substituição de parte do banho por um

nôvo, para a diminuição do teor de ferro. Há limites, também para outros contaminantes metálicos, os quais porém raramente se fazem sentir na cromagem dos eixos de manivela.

4. OS ANÓDIOS. O SUPORTE DO EIXO. A DEPOSIÇÃO

Na fixação da espessura final desejada é preciso prevêr um excesso de material, acima do realmente necessário para a medida a atingir após a retificação. Se bem que, no sistema de cromagem rotativo, se obtenham depósitos com concentricidade quase perfeita, as pequenas imperfeições superficiais, a desuniformidade de espessura da camada como vem depositada, a dificuldade de se assegurar exatamente o mesmo deslocamento para os colos de biela ao retificá-los, reclamam uma reserva para desbaste. Essa reserva será tanto maior, quanto maior a espessura final desejada. Esse requisito deriva principalmente de uma das características do banho, que é o já referido escasso poder de cobertura, isto é, a faculdade de depositar uniformemente sôbre uma superfície.

No eixo de manivelas a dificuldade se apresenta nos raios, onde é difícil manter a mesma densidade de corrente que se imprime às áreas diretamente opostas à superfície anódica, e, muito embora se procure compensar essa irregularidade com um desenho conveniente dos anódios, a diminuição de espessura nessas áreas se faz sentir sobretudo quando se exigem camadas espessas de cromo. Pode ocorrer então que, após a retificação, se verifiquem falhas nessas zonas que, a rigor, não constituem motivo de rejeição do serviço, mas levantam reparos sob o ponto de vista estético. Uma diminuição até 10% da área atritante é em geral permissível, e é inclusive admitida pela Pratt & Whitney, na cromagem dos fixos dos eixos do motor R-1830. Em experiência própria, não verificamos inconveniente algum.

O desenho de anódio, pois, é de grande importância. A característica já mencionada do pequeno poder de cobertura se reflete sôbre a sua conformação e a confecção do anódio por isso mesmo exige grande experiência. Tem habitualmente a forma de uma ferradura, com abas laterais apontando para os raios do colo do eixo, que são os pontos em recesso menos beneficiados na distribuição da corrente, e por essa razão de cromagem mais difícil.

O anódio é fabricado de chumbo puro, raramente antimônioso, que lhe daria uma vida útil muito maior, mas diminui a ductilidade necessária à sua conformidade, e é provido de furos para impedir a acumulação de fases que diminuiriam sua superfície atuante. Deve apresentar, o anódio, uma superfície a

maior possível, para boa distribuição do campo elétrico em torno do colo a cromar, e também para atender à função de re-oxidação do cromo trivalente, à qual já nos referimos.

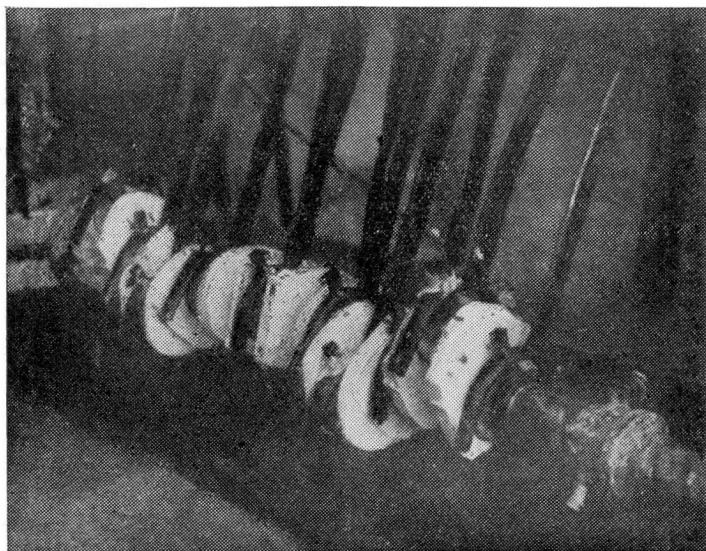


Fig. 3 — Suporte giratório com eixo de manivela montado, vendo-se os anódios e o isolamento.

Infelizmente, o peso do anódio, a limitação de espaço condicionada pelo dimensionamento dos colos, não permitem a observância de uma relação de superfícies apropriadas, e em resultado o aumento de cromo trivalente é inevitável. O anódio é mantido a certa distância do colo a cromar por espaçadores de material plástico, que ficam em contacto deslizando com a superfície do colo durante a cromagem, no sistema rotativo, fazendo com que, durante a operação, os anódios se movimentem muito à semelhança das bielas no motor.

O contacto elétrico se faz a partir de uma barra de cobre, afixada ao próprio gabarito motorizado em que se coloca o eixo. Este, por sua vez, recebe corrente elétrica através de parafusos de fixação no flange e de um ponto de centro que se coloca na sua extremidade superior. O mecanismo é acionado por um motor com redução que faz parte integrante do gabarito, e o movimento giratório é transmitido através de polia e corrente que mergulha parcialmente no banho (fig. 3). O movimento pode ser contínuo ou então periódico, e é sempre muito lento.

Antes de ser colocado no gabarito, o eixo é isolado em tôdas as superfícies que não devem ser cromadas, por um verniz à base de resina polivinílica, que se aplica a pincel e que é depois facilmente destacável. As superfícies a cromar são em seguida desengraxadas. É comum o emprêgo de pedra pomes em pó, com uma solução de trifosfato de sódio ou de soda cáustica, que é fortemente escovada sôbre o colo. Mais seguro é um desengraxamento electrolítico, com um dos modernos produtos que incorporam agentes chelantes, e que se salientam pela capacidade de dissolver ferrugem e oxidação leve. A aplicação se faz com uma esponja, ligada catódicamente. É sem dúvida o processo mais perfeito. Ao desengraxamento segue-se enxágüamento abundante, e a colocação dos anódios, após o que o eixo, já disposto no seu gabarito, é colocado no banho de cromo.

A limpeza preliminar constitui um dos pontos altos dos cuidados que se devem exercer na cromagem. Dela depende a boa aderência, observadas as considerações que já tecemos quando nos referimos à importância da retificação inicial. A aderência que, no caso do cromo duro sôbre aço, atinge a valores de 4 toneladas por centímetro quadrado,⁵ exige uma superfície isenta de qualquer substância estranha, a fim de que se adquira uma ligação de natureza intercrystalina com a superfície que recebe o depósito. Uma vez no banho, o eixo permanece parado o tempo suficiente para que atinja a temperatura dêsse, e então se procede a um ataque electrolítico da superfície a cromar, com uma operação chamada de reversão de corrente. Nela, o eixo é ligado anódicamente por dois ou três minutos, sob uma diferença de potencial de 6 a 7 volts, durante o qual se retira material com o fim de expôr uma superfície inteiramente nova. Essa operação é comumente efetuada no próprio banho de cromo e é a principal responsável pelo seu incremento do teor de ferro, mas a ela se recorre pela inconveniência de manter um banho sómente para a decapagem, considerando o tempo ínfimo de sua ocupação, comparado com a duração normal de uma cromagem dura. Concluído êsse tratamento anódico, inverte-se a polaridade, e o eixo passa a ser o catódio, condição na qual se inicia a cromagem.

É hábito começar-se com um tratamento de 5 minutos abaixo do potencial de decomposição do ácido crômico, isto é, o potencial a que se inicia a deposição de cromo metálico, ou seja, 2,8 volts. Nessa operação há despreendimento apenas de hidrogênio, que funciona como redutor de óxidos de ferro, e é efetivamente uma limpeza complementar, tanto química como mecânica. Em seguida passa-se a levantar a intensidade da cor-

rente até à do regime, na qual então o eixo permanece até à obtenção da espessura final desejada. Inicialmente, a deposição se faz numa razão de mais ou menos $2\frac{1}{2}$ centésimos de milímetro por hora, decrescendo com o aumento da espessura.

*

O cromo, como depósito, contém hidrogênio sob as formas de hidreto e hidróxido de cromo,⁶ que são tidos como responsáveis pela sua grande dureza. O hidrogênio se comportaria à semelhança do carbono no ferro, apenas com a diferença de que no cromo duro o comportamento não é reversível, desaparecendo o hidrogênio no aquecimento, a ponto de se observar um grande decréscimo da dureza após um tratamento a 500°C.

Muito se tem discutido sobre a repercussão do hidrogênio sobre as propriedades mecânicas do material cromado. O grande desprendimento de hidrogênio que acompanha a deposição de cromo, cuja eficiência é, em geral, de apenas 18% a 21%, era tido como a causa da diminuição da resistência à fadiga, recordando o fenômeno da fragilidade por absorção de hidrogênio que caracteriza a deposição de cádmio e zinco sobre ferro. Como se sabe, na cadmiagem e na zincagem verifica-se um enriquecimento do aço, que se torna quebradiço, o que se observa sobretudo com molas. Também a redução da resistência à fadiga que se notava na cromagem dura de eixos de manivela corria por conta dessa absorção. Os trabalhos de Eilender, Arend e Schmidtman chegaram, porém, às seguintes conclusões diversas:

1. A cromagem dura não afeta o material-base em consequência de absorção de hidrogênio.
2. Com o aumento da espessura do depósito, verifica-se uma diminuição da resistência à fadiga.
3. Em consequência de solitação vibratória cíclica aparece nos depósitos de cromo um reticulado de fendas, muito fino.
4. O tratamento térmico enseja a formação de um reticulado maior.
5. O tratamento térmico diminui a resistência à fadiga.

*

Já nos referimos, quando descrevemos os passos preliminares à cromagem dura, ao processo do "peening". Os trabalhos de Williams & Hammond⁷ revelaram que o tratamento é uma

prevenção perfeita contra a diminuição da resistência à fadiga, chegando a obter-se, inclusive, valores superiores aos dos que apresentam aços não cromados. O tratamento térmico sub-crítico posterior nenhuma influência exercia, segundo as experiências realizadas, sobre o comportamento mecânico da peça cromada.

Aparecem, na prática, eixos de ferro fundido, geralmente do tipo Ford. O ferro é, por via de regra, perlítico; apresenta, em razão principalmente da grafita livre, particularidades superficiais que demandam precauções tanto no preparo como na técnica de cromagem. Uma das principais dificuldades é a de se obter boa aderência, quando elas já não começam a manifestar-se com certa relutância em receber deposição. Um dos principais cuidados é o de não se alterar a superfície além de um mínimo necessário para a limpeza. Qualquer abuso nesse sentido põe a descoberto uma proporção tal de grafita, que a área remanescente para o contacto intercrystalino metálico se torna tão exígua, que a camada de cromo não resiste muitas vezes à retificação mais cuidadosa, ou, o que é muito pior, começa a desprender-se após uma retificação normal.

Por essas razões, camadas espessas são um risco muito grande, já para a oficina de cromagem, pois uma falha significa muitas horas de tanque e de retifica perdidas. Um eixo desse tipo deve ser submetido a atrito vigoroso, após a retificação, para testar as condições de ancoragem da camada, e para que se possa ter uma certa segurança quanto ao seu comportamento em serviço. Outra dificuldade com que se depara, por vezes, quando se continua a cromagem após qualquer interrupção, é a de não se conseguir depositar mais, ou então somente a uma velocidade muito reduzida.

Já se fez referência ao fenômeno da absorção de hidrogênio pelo material, e verificou-se que tal fenômeno não existe nos aços. Todavia, no ferro fundido deve haver um armazenamento de hidrogênio que não permite atingir-se a voltagem de deposição do cromo, com um efeito que se propaga pela própria camada já depositada, com a conseqüente incapacidade de se continuar a cromagem com um rendimento normal. O fato é que revenimentos a 250°C, por várias horas, eliminam o efeito, podendo-se iniciar ou continuar a operação normalmente.

Esse fenômeno se verifica tanto com eixos de ferro fundido descromados e reprocessados, como os que já tenham uma camada de cromo, e parece residir na hipótese aventada, pois se verifica em superfícies manifestamente isentas dos distúrbios descritos como causadores de má aderência ou falha em aceitar

deposição. Aliás, a própria exigência do ferro fundido em iniciar-se a deposição sob elevada densidade de corrente aparentemente oferece base à suposição, pois é experiência comum não se conseguir deposição sempre, quando se emprega a técnica usual de sujeição preliminar da superfície a uma eletrólise abaixo do potencial de deposição, isto é, 2,8 volts, onde há somente desprendimento gasoso, sem deposição metálica.

*

Por vêzes, ou por falta de espessura, ou por interrupções de corrente, torna-se preciso continuar a cromagem, o que significa depositar cromo sobre cromo. A técnica de depositar cromo sobre cromo é relativamente segura, porém sua necessidade é sempre encarada com certa apreensão. Somente com interrupções de corrente muito breves é possível prosseguir diretamente, pelo menos no tipo de banho usual descrito. Interrupções maiores ensejam a formação de um filme apassivado, que se interpõe à nova deposição, e a camada se destaca durante a retificação, ou já se fissa a quebra durante o prosseguimento da cromagem. Muitas vêzes o acidente repercute sobre a própria camada, inutilizando completamente o depósito.

A deposição de cromo sobre cromo demanda em primeiro lugar uma dissolução do filme apassivado, o que se consegue com inversão de polaridade, e, em seguida, um reativamento por sujeição, durante certo tempo, à ação redutora do hidrogênio como se forma numa eletrólise a baixa voltagem, até o momento em que se pode reiniciar a cromagem, passando por lentas etapas à intensidade de corrente de regime. Frequentes interrupções podem fazer com que a superfície cromada mude de características físicas, por um enriquecimento anormal de hidrogênio, não mais se conseguindo depositar cromo. É mais uma circunstância em que uma desgaseificação térmica se faz obrigatória.

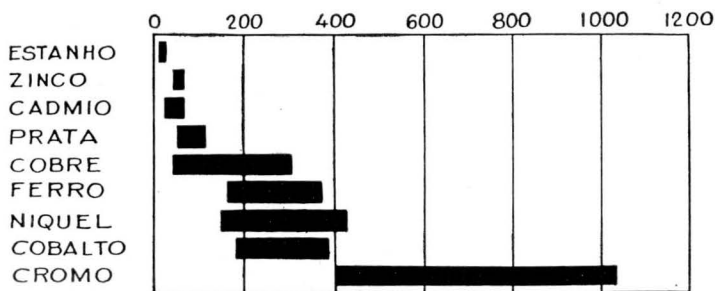


Fig. 4 — Dureza Brinell de vários metais eletro-depositados.

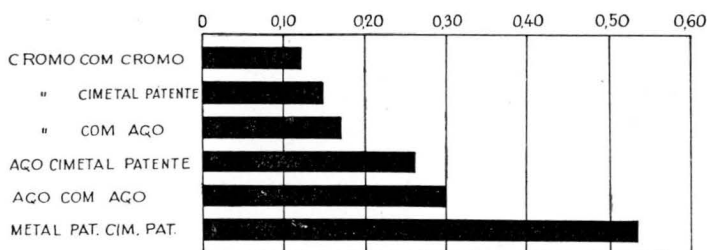


Fig. 5 — Coeficientes de atrito comparativos entre metais e ligas usuais.

5. A RETIFICAÇÃO FINAL

À cromagem segue-se a retificação. Essa se realiza com rebôlos de dureza média, geralmente "J", com granulação entre 60 e 90, dos quais a primeira já dá um acabamento excelente. A retificação do cromo, tal como a anterior à cromagem, é uma operação bastante delicada, pois exige um arrefecimento perfeito e avanços muito finos, de no máximo 0,002". Uma retificação violenta, ou o super-aquecimento, podem causar fraturas na camada, geralmente invisíveis, mas capazes de condenar o cromado para o serviço.

William & Hammond⁷, sugerem, além de cortes e avanços leves, e óleo de corte adequado, uma área mínima de contacto do rebôlo e este constituído de partículas duras, friáveis, com liga fraca, mesmo que isso exija aparelhamento mais frequentemente. Esses cuidados devem ser exercidos na retificação, tanto antes como depois da cromagem.

6. OS CASQUILHOS

Já se fez referência aos casquilhos. O cromo duro se comporta satisfatoriamente com os casquilhos de material usualmente empregado. Metal branco, os "babbitts", prata, chumbo e suas ligas com estanho ou índio, os bronzes ao chumbo, o conhecido metal-rosa, funcionam excelentemente, inclusive com uma tolerância nitidamente superior no tocante à qualidade desse último, em relação aos eixos não cromados.

A gripagem se verifica em condições muito piores do que as que são fatais para um eixo não cromado. E houve inclusive um caso em nossa prática, em que sete ônibus de uma empresa tiveram os eixos gripados por entrada de água no carter durante uma enchente. Desses sete ônibus, os quatro que operavam com eixos cromados, não exigiram mais do que a troca dos casqui-

lhos; os três de eixos não cromados tiveram que passar por reforma completa, apresentando inclusive fraturas.

Não são sempre tão satisfatórios os resultados com os bronzes fosforosos e as ligas de alumínio, onde se observa frequentemente uma usura simultânea de cromo e casquilhos. No alumínio, o fenômeno assume por vêzes o aspecto de uma corrosão, sendo de se notar que uma gripagem pròpriamente dita é infreqüente. Dada a malhabilidade deficiente do cromo duro não-poroso, isto é, a dificuldade de o óleo expandir-se rapidamente sôbre a superfície, é regra aumentarem-se as folgas normais de montagem de 20% a 25%, quando se trata de metal branco, e de 20% a 40%, quando se trata de metal-rosa,⁸ a fim de assegurar o volume de óleo necessário à lubrificação. Essa inferioridade em relação ao aço não corresponde a uma capacidade de aderência do filme de óleo também inferior, como tem demonstrado os testes realizados por Gillett⁹.

O coeficiente de atrito às temperaturas normais de trabalho dos motores é notavelmente inferior com o cromo duro e os diversos materiais de casquilhos, quando comparados com o aço, como mostra a figura 5, e é precisamente esta uma das razões pelas quais o cromo duro estende a vida útil tanto do eixo de manivela com a dos casquilhos. Conhecemos caso de uma empresa de ônibus de itinerário pesado, que teve de passar seus motores Chevrolet por reformas de oito em oito meses, em média, e que depois, durante três anos, não mais foi obrigada a recondicionar seus eixos cromados e os respectivos casquilhos.

É evidente, porém, que a cromagem dura não é uma garantia contra uma montagem deficiente. O alinhamento perfeito dos fixos, as folgas de origem, o balanceamento do eixo, se exigem da mesma maneira para um eixo cromado como para um eixo comum.

BIBLIOGRAFIA

1. LOGOZZO — Metal Finishing Handbook, 1961.
2. EILENDER, ARENDT & SCHMIDTMANN — Citado em ARENDT & DETTNER — "*Hartverchromung*".
3. MACHU — "*Moderne Galvanotechnik*".
4. MACHU — "*Moderne Galvanotechnik*".
5. E. SMIHORSKI — Citado na obra acima.
6. ARENDT & DETTNER — "*Hartverchromung*".
7. 49th. Technical Proceedings, American Electroplaters' Society.
8. MORISSET — "*Chromium Plating*".
9. Citado na obra acima.

DISCUSSÃO

J. G. Haenel ⁽¹⁾ — Agradeço ao Eng. Alberto Paulo Ribbe pelo interessante trabalho, que aborda processo para recuperar peças de alto preço e, portanto, contribui para a economia do País. Quanto à parte técnica, descrita pelo Autor, pediria à assistência que solicitasse os esclarecimentos que julgasse oportunos.

A. G. Foides ⁽²⁾ — Sabemos que, nas recuperações como cromo, há duas dificuldades fundamentais. Temos primeiro que o banho de cromo não possui ânodos que o alimentem continuamente de ions metálicos. Perguntaria ao Autor se existem em andamento trabalhos que nos permitam esperar a dissolução no estado hexavalente. Segunda dificuldade diz respeito ao alto desprendimento de hidrogênio nos banhos de cromo, ao qual parecem estar ligados os fenômenos de ruptura prematura de peças por fadiga.

A. P. Ribbe ⁽³⁾ — Quanto à primeira parte, relativa aos ânodos, devo dizer que, realmente, os banhos de cromo se ressentem da falta de ânodos que supram o banho continuamente de ions metálicos, à semelhança do que acontece com a maioria dos banhos eletrolíticos empregados em galvanotécnica. Basicamente a razão reside na impossibilidade de se obter a dissolução no estado hexavalente, que é o em que se encontra nas formulações atuais. Os ânodos, se fossem de cromo metálico, entrariam em solução no estado trivalente, que é, como vimos, indesejável. Acredito na possibilidade de se poder contornar o inconveniente em certa extensão, talvez recorrendo a reformulações ou com um sistema separado de re-oxidação; mas, por ora, parece-me mais simples o controle mais ou menos freqüente do banho, quanto à densidade, que é mantida por adições de anidrido crômico.

Quanto à segunda parte, no trabalho fizemos uma referência à origem do fenômeno da fadiga. O elevado desprendimento de hidrogênio que ocorre durante a eletrodeposição seria responsável pela diminuição da resistência à fadiga. Há, naturalmente, uma literatura imensa sobre o assunto; mas os trabalhos mais recentes comprovaram que, pelo menos nos tipos de aços usuais, tal absorção não existe. E creio que os ensaios foram efetuados de maneira a não deixar dúvidas. Os corpos de prova que foram submetidos a ensaios tiveram a camada de cromo removida mecanicamente; fez-se então uma determinação de hidrogênio e se verificou que o teor deste não tinha aumentado. O fato dessa remoção ter sido mecânica, creio que exclui qualquer fenômeno físico-químico que pudesse influir sobre a observação.

É notório o baixo poder de cobertura dos banhos de cromo usuais, como referimos. Mas houve progressos, recentemente, com o aparecimento dos banhos SRHS («self regulating high speeds»), com os quais se consegue um poder de cobertura maior e, também, uma eficiência maior quanto à deposição, quantitativamente falando. Mas não bastam para eliminar o requisito de se proverem peças de conformação complicada com ânodos auxiliares.

Voltando à questão da absorção do hidrogênio, parece-nos, a julgar por nossa experiência, que essa se verifica em ferro fundido. O ferro

(1) Membro da ABM e Presidente da Comissão Técnica; Engenheiro Metalurgista e Gerente da Mecânica Pesada; São Paulo, SP.

(2) Membro da ABM e Engenheiro Químico; Diretor da Sunbeam do Brasil S/A.; São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM e autor do trabalho; Engenheiro da Chromax Indústria e Comércio Ltda.; Rio de Janeiro, GB.

fundido exige um preparo todo especial, no sentido de se eliminar na maior extensão possível a grafita na superfície que deverá receber o depósito, pois a mesma, ou não permite a deposição, ou então reduz a aderência a valores ínfimos. Preparado convenientemente, começa-se a cromação com um potencial muito acima do de deposição, isto é, 2,8 volts, a fim de conseguir imediatamente deposição metálica. Se o ferro fundido é submetido à prática habitual adaptada para o aço, de se processar com uma «limpeza» a menos de 2,8 volts, com o fim de aproveitar a ação mecânica do hidrogênio que se desprende, acontece freqüentemente não se obter mais deposição quando, ao cabo de uns cinco minutos, se passa a operar com uma tensão acima dêsse valor. É exatamente o que acontece com o próprio cromo que, nas mesmas condições, se recusa obstinadamente a aumentar de espessura, só voltando a fazê-lo depois de um tratamento de desgaseificação. E verificamos, no ferro fundido, que êsse defeito se estende muitas vêzes além do depósito de cromo, isto é, quando removido êste, a superfície de ferro se comporta similarmente.

H. Loebinger (4) — Tenho uma dúvida sôbre a preparação da peça a que o senhor se referiu. Desejo saber como o senhor verificou a profundidade de encruamento da peça. E a remoção dessa camada não aumentaria muito a espessura de camada cromada a sobrepor?

A. P. Ribbe — Sabemos que o encruamento raramente é muito profundo; não deve estender-se normalmente a mais de dois ou três milésimos de polegada.

(4) Engenheiro da Cia. United Shoe; Rio de Janeiro, GB.