

## Soluções sofisticadas para descarepadores

A formação de carepa durante a laminação a quente é afetada pela temperatura, pela classe de aço, pela atmosfera circundante e pelo tempo de exposição. Há duas espécies de carepa que são relevantes em plantas de fundição e de laminação: a carepa grudenta e a seca. A carepa grudenta pode ser mais eficazmente removida usando-se sistemas de alta pressão de até 450 bar.

A carepa seca pode ser removida da superfície mediante a aplicação de sistemas descarepadores com curtas distâncias entre o bocal de descarepamento e o material. Na prática devem ser levadas em conta a velocidade de laminação, as perdas de calor e a formação de curvatura na borda dianteira, como um esqui. O presente trabalho apresenta os fundamentos da tecnologia de descarepamento e sua aplicação em linhas de fundição de placas, plantas de chapas grossas e laminadoras de tiras a quente.

### A formação de carepa e os tipos de carepa

A carepa é gerada pela formação de núcleos de óxido sobre a superfície do material do aço. No início, os núcleos de óxido são grudentos à superfície do aço, e sem quaisquer poros. Eles crescem homogeneamente ao longo da superfície. Com o crescimento da camada de óxido, a orientação dos núcleos é perdida, e poros são gerados, em parte devido à transformação do material. As camadas superiores de óxido tornam-se menos grudentas [1].

A formação de carepa é influenciada pela composição química do material do aço, pelo tempo e pelo comportamento da temperatura durante o processo de reaquecimento e laminação, pela atmosfera circundante,

sobre a superfície do material. O defeito pode estar distribuído irregularmente ao longo do comprimento e da largura no lado superior e inferior do material laminado. A carepa incrustada é muito difícil de reconhecer em material de aço não descarepado. Após a decapagem de tiras a quente, o defeito pode parecer uma reentrância superficial com material de carepa não removido [2].

### Projeto de sistemas de descarepamento

No descarepamento, a superfície do material laminado é submetida a impactos por jatos de água a alta velocidade com um esquema definido de borrifamento. Durante o descarepa-



Figura 1. "Carepa grudenta" com defeito na superfície (carepa primária incrustada) [2]

bem como pela condição da superfície antes de ser iniciado o reaquecimento. A carepa é gerada pela decomposição do óxido de ferro em wustita ( $\text{FeO}$ ) e hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Durante a laminação a quente são possíveis três espécies de carepa: carepa primária, carepa secundária e carepa terciária. A carepa primária é formada durante o processo de reaquecimento das placas em fornos do tipo com empurradores ou com balanceiro. A carepa secundária é formada durante o processo de laminação na área do desbastador, e a carepa terciária dentro da laminadora de acabamento e da linha de esfriamento.

Na figura 1 é mostrada a carepa grudenta com defeitos na superfície. Essa espécie de defeito na superfície é causado pela carepa primária incrustada proveniente do forno de reaquecimento ou da área do desbastador, e pode aparecer como manchas ou em forma de áreas maiores, bem como de trilhas

mento têm lugar uma sequência de mecanismos físicos, alguns deles em paralelo. A figura 2 mostra o trincaimento e esmagamento da camada de carepa pela energia cinética das gotas de água.

O esfriamento da água causa contrações diferentes no material do aço e na carepa. O lascamento da carepa é causado pela explosão de gotas de água sob a camada de carepa. A carepa dissolvida é removida da superfície do aço pelos jatos de água em ângulo dos bocais de descarepamento.

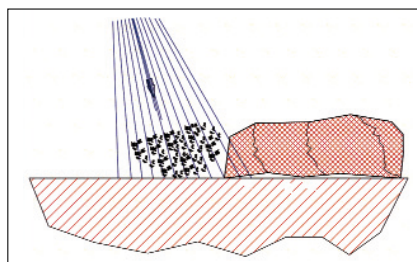


Figura 2. Descarepamento hidro-mecânico

Dipl.-Ing. Peter Pawlitzki, President; Dipl.-Ing. Ralf Rehbein, Executive Vice President, Schäfer & Urbach GmbH, Ratingen, Alemanha

Contato: [www.schaefer-urbach.de](http://www.schaefer-urbach.de)  
E-mail: [info@schaefer-urbach.de](mailto:info@schaefer-urbach.de)

**Parâmetros.** O parâmetro característico do descarepamento é o impacto (unidade N/mm<sup>2</sup>), que é expresso como o quociente entre a força do borrifamento e a área de cobertura. O impacto depende de:

- tipo de bocal de descarepamento,
- ângulo de borrifamento,
- vazão,
- pressão do borrifamento sobre a superfície do aço, e
- altura do borrifamento.

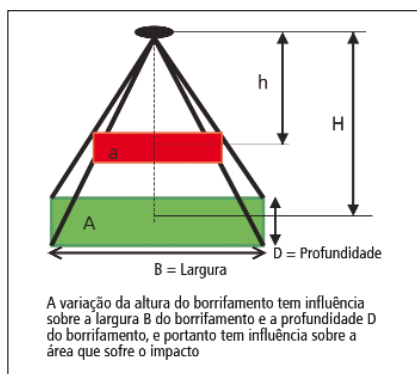
A pressão do borrifamento, o tamanho do bocal, o ângulo de borrifamento e a vazão são lineares em seu efeito sobre o impacto; a altura do borrifamento tem um componente exponencial, **figura 3**.

Quando a altura do borrifamento varia, independentemente do ângulo de borrifamento, duas dimensões são influenciadas simultaneamente devido à geometria, quais sejam, a largura do borrifamento e a profundidade do borrifamento. A altura do borrifamento é, portanto, o parâmetro mais eficaz. Dividindo-se à metade a distância entre o bocal e a superfície do material, isso aumenta o impacto por um fator de aproximadamente quatro.

Isso significa que, para otimizar a eficiência econômica, a distância do borrifamento deve ser tão curta quanto possível, embora na prática a perda de calor, a velocidade do material e as irregularidades da forma geométrica (formação de esqui) precisem ser consideradas.

**Projeto.** O projeto do sistema de descarepamento precisa se basear no tipo de carepa encontrado. A maior parte da carepa primária surge no forno de aquecimento. Para permitir que a carepa do forno seja removida facilmente, os fornos são operados com uma atmosfera de forno de oxidação. A prática da operação do forno e a classe de aço usada têm grande influência sobre a formação de carepa. Uma camada de carepa grossa e seca é mais fácil de remover do que uma camada de carepa delgada e firmemente aderida. Se a carepa estiver seca e for grossa, o esfriamento produz contrações diferentes na carepa e no aço. Forças tangenciais de cisalhamento ocorrem na camada limítrofe, o que faz a carepa trincar.

Com carepa fina e firmemente aderida, a situação é diferente. Essa carepa aderida também ocorre em atmosferas



**Figura 3. A altura do borrifamento é o parâmetro mais eficaz sobre o impacto**

de forno de oxidação com aços de alta liga e baixo teor de carbono. Devido à firme aderência da camada de carepa fina, não é fácil utilizar a contração na remoção de carepa. Nesse caso é necessário quebrar e aplicar um jorro de água, o que exige maior impacto e menor cobertura de água por unidade de área. Isso significa que a distância do borrifamento precisa ser curta e que precisam ser usados bocais pequenos [3].

A fabricante de bocais Lechler desenvolveu um software de layout de descarepador para calcular previsões confiáveis das propriedades de um sistema de descarepamento. Esse software proporciona na tela as configurações de diversas disposições de bocais e condições operacionais, juntamente com gráficos de esquemas de borrifamento e cálculos de todos os parâmetros. Estes são recalculados automaticamente após mudanças.

A convergência fisicamente induzida de borrifos de borda significa que podem ser selecionados diferentes ângulos

eficazes de borrifamento, dependendo da altura do borrifamento e da pressão de borrifamento. Essa função é registrada em um grande número de medições reproduzíveis, e é implementada no software de descarepamento [3].

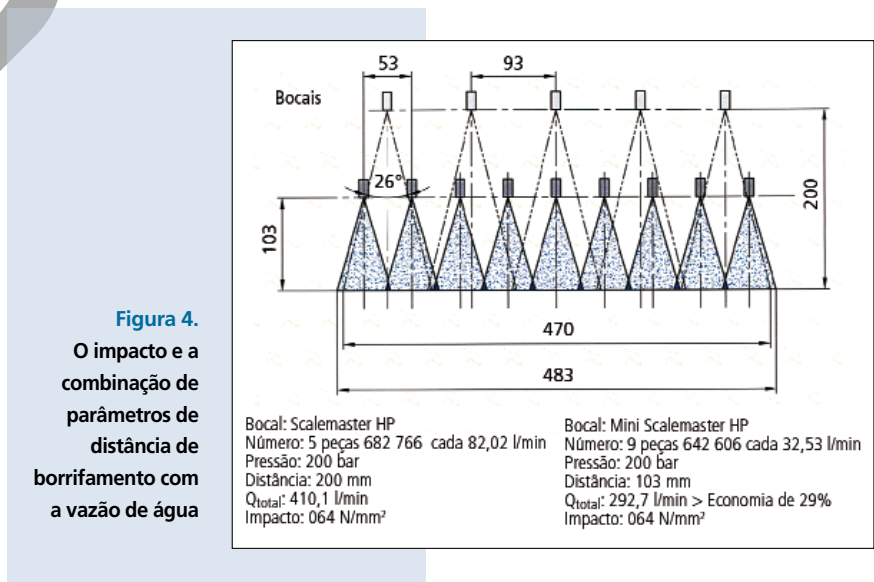
A **figura 4** apresenta um exemplo do projeto de um sistema de descarepamento que tem o objetivo de reduzir a vazão de água enquanto mantém constante o impacto. A redução da altura de borrifamento, o uso de mais bocais e a modificação do tipo de bocal, com menor vazão específica individual de água, resulta na redução do uso de água enquanto mantém constante o impacto.

Vedadores não rígidos são usados para garantir a impermeabilidade das válvulas e evitar trilhas de água após o descarepamento. O teor de sólidos na água de descarepamento pode ser minimizado mediante o uso de filtros automáticos ou a aplicação de filtros de precisão com tamanho de malha máximo de 50 microns.

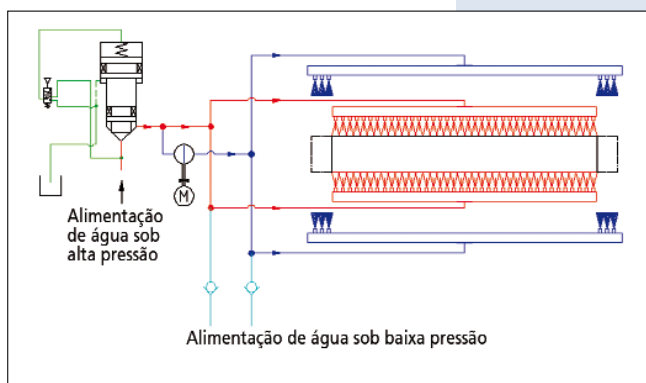
O desgaste dos bocais, com a consequente queda de pressão e de impacto, e o desgaste das válvulas bem como da filtragem da água, podem ser reduzidos mediante a aplicação de filtros de precisão ou filtros de areia.

O desgaste da caixa de descarepagem pode ser reduzido por meio do uso de elementos cerâmicos de proteção e reforçando-se a caixa com material de aço de alta resistência.

A descarga de água e carepa para dentro do canal de sínter é possibilitada por múltiplas cortinas de água móveis ou mediante a integração de captadores de água em ângulo para dentro da caixa de descarepamento.



**Figura 4. O impacto e a combinação de parâmetros de distância de borrifamento com a vazão de água**



**Figura 5.**  
Descarepamento dependendo da largura, por dois sistemas de circulação de água separados



**Figura 6.**  
Descarepador na entrada da linha de acabamento na laminadora de tiras a quente da Hyundai Steel

A redução do ruído do descarepamento é conseguida mediante a alimentação de água de baixa pressão do duto antes do descarepamento e mediante a aplicação de bombas acionadas diretamente.

### Bombas de êmbolo ou bombas centrífugas?

Os sistemas de descarepamento em laminadoras a quente operam tanto com bombas de êmbolo como com bombas centrífugas. As bombas de êmbolo têm, em comparação com bombas centrífugas, as vantagens que se seguem. A pressão operacional no caso de bombas de êmbolo é de até 450 bar, em comparação com 250 bar no caso de bombas centrífugas. Isso significa que o impacto de descarepamento pode ser aumentado por um fator de 1,8 quando operando com bombas de êmbolo.

O fator de eficiência é 92% para bombas de êmbolo e 75% para bombas centrífugas. A razão de impacto resultante, devido aos diferentes fatores de eficiência, é 1,23. Considerando as pressões operacionais mais elevadas e o fator de eficiência mais elevado, é pos-

sível um aumento no impacto de descarepamento pelo fator 2,2 quando se opera com bombas de êmbolo em lugar de bombas centrífugas, enquanto se mantém constantes todos os outros parâmetros. O número de rotações mais de uma magnitude mais baixo das bombas de êmbolo aumenta a vida útil do sistema.

As bombas centrífugas são usadas em sistemas de descarepamento sempre que grandes volumes de água são necessários quando se aplicam baixas pressões ao sistema. As bombas de êmbolo são usadas sempre que baixos volumes de água devam ser empregados quando se aplicam elevadas pressões ao sistema.

Outras características de bombas de êmbolo e centrífugas são descritas a seguir. No caso de bombas de êmbolo de alta pressão, nenhum projeto especial é exigido. Bombas centrífugas de alta pressão precisam ser construídas com estágios múltiplos, com contrapesos axiais, dependendo da vazão aplicada.

Quando se opera com bombas de êmbolo, a vazão é proporcional ao número de rotações; as bombas centrífugas dependem ainda da contra-pressão.

A redução de bombas de êmbolo é através de um diferencial convencional de engrenagens retas, de baixo custo. Para a redução de bombas centrífugas são necessárias engrenagens turbo especiais de custo elevado.

O teor máximo de sólidos no sistema de descarepamento por água é 50 mg/l, para ambos os tipos de bombas de descarepamento.

As bombas de êmbolo operam independentemente da pressão do sistema, se o número de rotações for mantido constante, isto é, a vazão total pode ser usada para o processo de descarepamento. Quando se aplicam bombas centrífugas, a vazão varia com a pressão do sistema.

A manutenção das bombas de êmbolo na laminadora é mais fácil do que a das bombas centrífugas.

### Descarepamento de produtos planos dependente da largura

O descarepamento dependente da largura em laminadoras de tiras a quente pode ser implementado em duas etapas, separando-se o sistema de circulação de água para larguras de tira de até 1.500 mm e maiores, **figura 5**. O duto de borrifamento precisa ser dividido em duas seções para as larguras maiores e uma seção para as larguras menores. Os dutos de borrifamento são alimentados por um tubo condutor de água sob alta pressão, que abastece as partes intermediária e externa do duto de borrifamento. Quando se laminam tiras pequenas, a parte externa do duto de borrifamento pode ser eliminada do descarepamento mediante o uso de válvulas de contato de água. Esse procedimento proporciona uma redução no consumo de água. A alimentação de água sob baixa pressão é essencial para a remoção de ar do sistema de circulação de água antes de se iniciar o descarepamento sob alta pressão.

A **figura 6** apresenta uma vista do descarepador na entrada da linha de acabamento da laminadora de tiras a quente da Hyundai na Coreia do Sul. Pode-se reconhecer os tubos condutores de água do descarepador na parte da frente. O tempo para substituição de um duto de borrifamento é de aproximadamente 30 minutos. Isso pode ser conseguido mediante o uso de um

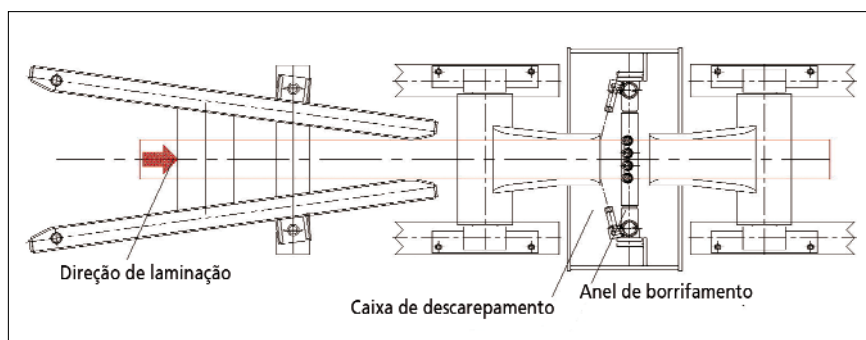


Figura 7. Aplicação de guias laterais na entrada e na saída

acoplador de engate rápido e cúpulas atuando hidráulicamente na caixa de descarepamento.

### Descarepamento em laminadoras de produtos longos

Especialmente no caso de geometrias variadas, o descarepamento primário de tarugos em laminadoras de produtos longos exige uma adaptação do esquema de borrifamento, mediante a aplicação de anéis de borrifamento que possam ser trocados na caixa de descarepamento. Isso é conseguido por módulos de bocais de borrifamento, que são fixados por acoplamentos de engate rápido na caixa de descarepamento. A combinação desses anéis de borrifamento com a aplicação de guias laterais na entrada e na saída garante um resultado de descarepamento homogêneo e reproduzível, especialmente durante a laminação reversível (figura 7).

### Projetos de descarepamento recentes

A seguir são apresentados três projetos de descarepamento executados pela fornecedora de sistemas Schäfer & Urbach:

- descarepador de placas para a fundição da HKM, em Duisburg, Alemanha.
- descarepamento primário para placas reaquecidas na laminadora de placas grossas da Severstal, em São Petersburgo, Rússia
- descarepamento primário e secundário na laminadora de tiras a quente da Hyundai Steel, na Coreia do Sul.

**Hüttenwerke Krupp Mannesmann (HKM).** O sistema de descarepamento de placas na Hüttenwerke Krupp Mannesmann (HKM), em Duisburg, Alemanha, foi entregue para operação em 2005. O sistema de descarepamento (figura 8) é constituído de três partes:

- todos os componentes que ficam localizados próximo às colunas de fundição,
- todos os componentes localizados próximo às bombas de alta pressão, e
- estação de filtragem no lado de baixa pressão do sistema.

O sistema de descarepamento para as duas máquinas de fundição de 2 colunas é constituído de quatro bombas de êmbolo, sendo cada par delas para uma máquina de fundição de tiras. Uma bomba do par fica de prontidão, com a possibilidade de trabalho de manutenção ser realizado enquanto se opera com a outra bomba. Para permitir a ajustagem da pressão de descarepamento, os motores das bombas de êmbolo são acionados com a frequência controlada. Isso possibilita que se adapte a força do jato à classe do aço fundido.

A altura de borrifamento do descarepador é 120 mm, e a pressão de descarepamento é de 210 bar. O descarepamento de placas oferece as seguintes vantagens aos clientes:

- As placas descarepadas estão isentas dos assim chamados “Furos de Kelvin” com diferenças de temperatura medidas na ordem de magnitude de 100°K.
- A superfície isenta de carepa possibilita o transporte de placas por guindaste de imã.
- Em virtude de estar a superfície isenta de carepa, é possível uma melhor inspeção das placas no pátio de placas.
- O descarepamento das placas remove a camada isolante de carepa, que impede a admissão de energia durante o reaquecimento das placas nos fornos da laminadora.
- Em princípio as placas podem ainda ser processadas na planta em uma carga (carregamento direto).

**Severstal St. Petersburg.** O sistema de descarepamento primário na laminadora de chapas grossas da Severstal, em São Petersburgo, precisa lidar com o desafio que se segue. As classes de aço especiais com carepa grudenta exigem elevado impacto de descarepamento. O impacto no valor de 2,67 N/mm<sup>2</sup> é conseguido mediante a aplicação de uma bomba de êmbolo com pressão operacional de 320 bar. A espessura da placa é entre 150 mm e 900 mm. Para garantir uma altura constante de borrifamento, o duto



Figura 8. Sistema de descarepamento para as duas máquinas de fundição de placas com 2 colunas da HKM



**Figura 9.** Duto de bocais do sistema de descarepamento primário

superior é ajustável hidráulicamente. A **figura 9** mostra o duto de bocais aplicado.

**Hyundai Steel.** Em novembro de 2006, o sistema completo de descarepamento primário e secundário foi colocado em operação na laminadora de tiras a quente da Hyundai Steel, na Coreia do Sul. A laminadora, que opera semi-continuamente, está equipada com uma caixa de serpentinas e seis cadeiras de laminação de acabamento. As serpentinas são ainda processadas na máquina a frio. O cliente final é a indústria automotiva, com rigorosas exigências de qualidade com relação à superfície das tiras.

Os sistemas de descarepamento na laminadora de tiras a quente estão equipados com dutos superiores de borrifamento ajustáveis hidráulicamente, devido à variação de espessura das placas e da barra de transferência. A altura do borrifamento para o descarepador primário é 110 mm, e 98 mm para o descarepador na entrada da laminadora de acabamento. É possível o descarepamento dependente da largura da tira. A pressão de descarepamento é 450 bar.

### Panorama

A seguir são apresentados novos campos de aplicação para bombas de alta pressão.

**Limpeza da superfície de laminação com bombas de alta pressão.** Essa tecnologia foi implementada com êxito

em laminadoras de alumínio a quente, e pode ser transferida para laminadoras de aço. Nas laminadoras de alumínio a quente, a superfície de laminação é limpa mediante a aplicação de água sob alta pressão, a cerca de 700 bar, através de um duto de bocais oscilantes. O sistema de escovamento acionado, com elevada taxa de falhas, não é mais necessário no processo de limpeza da laminação. Em algumas laminadoras de chapas grossas, bombas de alta pressão já foram testadas para limpeza da superfície de laminação.

### Limpeza de tiras com alta pressão.

O material das tiras de aço é protegido contra corrosão mediante a aplicação de revestimentos metálicos ou não metálicos sobre sua superfície, nas linhas de processamento de laminadoras a frio. O processo de revestimento exige que a superfície da tira esteja isenta de sujeira e de partículas. A superfície é limpa aplicando-se escovas e fluidos ácidos na seção de limpeza das linhas de processamento. Os primeiros testes com dispositivos de limpeza com água sob alta pressão operando a 450 até 900 bar comprovaram proporcionar vantagens econômicas e maior segurança do processo em linhas de processamento de tiras.

Estão planejados outros desenvolvimentos no campo da tecnologia de descarepamento, por exemplo:

- controle dos bocais de descarepamento mediante a comparação da vazão medida com a calculada no duto de borrifamento,
- sistemas para manutenção preventiva mediante o monitoramento das condições dos descarepadores,
- pontos de serviço para pronta entrega de peças sobressalentes

### Conclusão

A combinação apropriada do tipo de bocal para a carepa com a distância ao

descarepamento garante que não haja perda na eficiência do descarepamento e que haja economia em água de descarepamento. É possível economizar mais água mediante o descarepamento dependente da largura. Atuadores hidráulicos proporcionam o descarepamento dependente da altura, especialmente para espessuras variáveis da placa, chapa grossa ou tira que entra. O descarepamento em laminadoras de produtos longos exige a adaptação do esquema de borrifamento para variadas geometrias de tarugo, mediante a aplicação de anéis de borrifamento que possam ser trocados rapidamente. A combinação dos anéis de borrifamento trocáveis com guias laterais na entrada e na saída da caixa de descarepamento proporciona um resultado de descarepamento homogêneo e reproduzível dos tarugos antes da laminação. O descarepamento de placas em fundições de placas apresenta as vantagens de transporte seguro das placas usando guindastes de ímã, melhor inspeção das placas no pátio de placas, devido à melhor qualidade da superfície, e economias de energia devido à continuação do processamento diretamente na laminadora, sem reaquecimento. A cadeia do processo pode ser encurtada, e pode ser conseguida uma produção eficiente em recursos. ■

### Referências bibliográficas

- [1] Filatov, D.: Zunder beim Warmwalzen von Stahl: Bildung, Verhalten im Walzspalt und Beizbarkeit. Umformtechnische Schriften, Band 131. Shaker Verlag, Aachen 2006.
- [2] Surface defects in hot rolled flat steel products. Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf, 2nd edition 1996.
- [3] Becker, E.-U.; Birkemeier, G.; Büchele, W.; Degner, M.; Devrient, L.; Nowak, M.; Thiemann, G.: Einsatz optimierter Entzunderungsdüsen an der Warmbreitbandstraße Thyssen Krupp Stahl AG. stahl und eisen 120 (2000), S. 71-76.