

OTIMIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA A DESCAREPAÇÃO HIDRODINÂMICA DO AÇO¹

Alfonso H. Stein²
Jürgen Frick³

Resumo

Clientes da indústria automotiva, fabricantes de máquinas agrícolas e a indústria da construção que utilizam aços laminados à quente nas partes externas, demandam superfícies isentas de defeitos. A produção de tubos e pipe lines a partir de chapas grossas para gás e óleo requerem superfícies com standards API de alta qualidade. Laminadores existentes que entram neste mercado lucrativo de aços de alta qualidade, muitas vezes encontram dificuldades em atender os requisitos qualitativos devido às limitações de pressão e vazão instalados. Adicionalmente ao potencial de otimização do sistema existente, utilizamos de todos os recursos disponíveis para desenvolver o design dos bicos a fim de maximizar a força de impacto mantendo a vazão e pressão existentes. Para tal fizemos uso de novos métodos de desenho e aplicamos novas tecnologias de produção.

Palavras-chave: Descarepação; Turbulências; Pressão; Impacto.

OPTIMISATION OF TECHNOLOGIES FOR HYDRO-MECHANICAL DESCALING OF THE STEEL

Abstract

As well as the customers in the automotive industry, manufacturers of construction and agricultural machinery using hot rolled steel for outer body parts demand defect free surfaces. The production of oil and gas pipelines has also set very stringent surface quality standards to the plate mills rolling API steel grades. Existing rolling mills entering into these lucrative markets for high quality steel often struggle to fulfill those quality requirements because of the limitations of the descaling systems installed in terms of pressure and flow rate. In addition to the potential for optimizations of existing systems, the potential for optimization of the nozzle design itself has now been fully utilized in order to maximize the impact at a given water flow and pressure. New design methods and production technologies have been applied. This paper describes the nozzle characteristics, optimization of impact measurement technology, design features of conventional descaling nozzles, main design features of the new descaling nozzle Scalemaster Superior, CFD Computational Fluid Dynamics, Reduction of nozzle internal pressure and turbulences, explanation of impact increase of Scalemaster Superior and user benefits of the new descaling nozzle Scalemaster Superior.

Keywords: Descaling, Turbulences; Pressure; Impact.

¹ Contribuição técnica ao 47º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 26 a 29 de outubro de 2010, Belo Horizonte, MG.

² Gerente Lechler GmbH Metzingen Alemanha.

³ Diretor Lechler GmbH Metzingen Alemanha.

1 CARACTERÍSTICAS DOS BICOS *SPRAY*

A Figura 1 mostra um típico layout dos bicos e as terminologias utilizadas

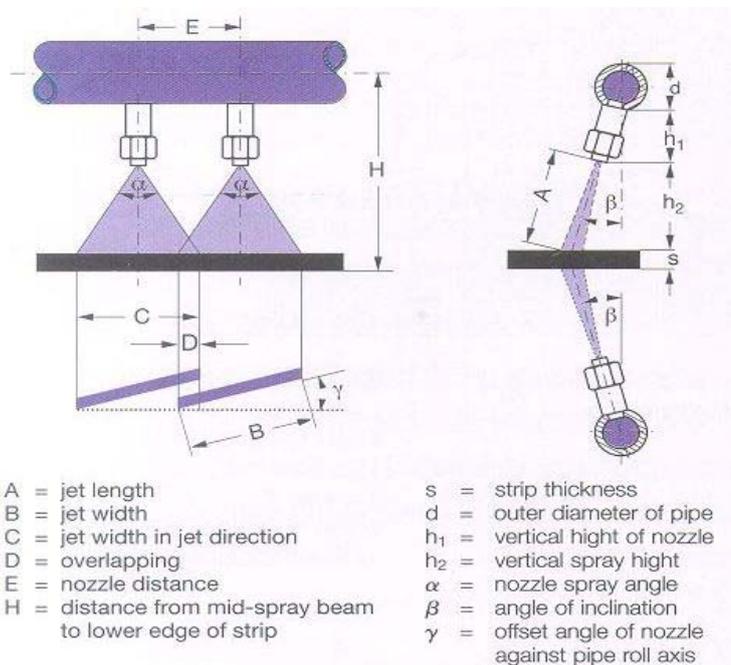


Figura 1: Terminologias e símbolos utilizados na descarepação.

1.1 Ângulo de Pulverização

Bicos descarepadores são normalmente bicos com jato em leque. Uma exata definição das características do spray como ângulo de pulverização, profundidade do jato, distribuição da força de impacto juntamente com as especificações e parâmetros operacionais são os primeiros passos ao projetar e desenhar um bico. A introdução de uma estandarização dos bicos descarepadores baseado em ângulos nominais introduzido há muitos anos, mostrou ser uma grande vantagem em termos de disponibilidade e flexibilidade na fabricação dos chuveiros. Quatro ângulos diferentes são comuns hoje em dia e descrevem a largura do spray. Estes ângulos são 22°, 26°, 30° e 40°, e estão à disposição em 13 diferentes vazões padronizadas, conforme a Tabela 1. Para obter a flexibilidade de design acima mencionada, a largura do spray é idêntica para todos os bicos às mesmas pressões e mesmas distâncias de spray.

Tabela 1: Vazões e ângulos padrões da série Scalemaster

Series	Type				Material code	A ø [mm]	p = 100 bar (1450 psi)		p = 200 bar (2900 psi)		p = 400 bar (5800 psi)	
	Code						[l/min]	[US Gall./min]	[l/min]	[US Gall./min]	[l/min]	[US Gall./min]
	Spray angle											
	22°	26°	30°	40°								
6S4	495	496	497	498	N3	1.50	12.00	3.17	16.97	4.50	24.00	6.34
6S4	535	536	537	538	N3	1.75	15.00	3.96	21.21	5.60	30.00	7.92
6S4	565	566	567	568	N3	2.00	18.00	4.76	25.46	6.73	36.00	9.52
6S4	605	606	607	608	N3	2.10	23.00	6.08	35.53	9.39	46.00	12.16
6S4	645	646	647	648	N3	2.50	28.00	7.40	39.60	10.46	56.00	14.80
6S4	685	686	687	688	N3	2.80	36.00	9.51	50.91	13.45	72.00	19.02
6S4	725	726	727	728	N3	3.00	45.00	11.89	63.64	16.81	90.00	23.78
6S4	765	766	767	768	N3	3.50	58.00	15.32	82.02	21.67	116.00	30.64
6S4	805	806	807	808	N3	3.80	72.00	19.02	101.82	26.90	144.00	38.04
6S4	845	846	847	848	N3	4.30	89.00	23.51	125.87	33.25	178.00	47.02
6S4	885	886	887	888	N3	4.70	112.00	29.59	158.39	41.85	224.00	59.18
6S4	-	906	907	908	N3	5.00	125.00	33.03	176.78	46.70	250.00	66.06
6S4	-	916	917	918	N3	5.20	134.00	35.40	189.50	50.07	268.00	70.80

A área de impacto é o resultado da largura e da profundidade do spray a uma certa distância. A profundidade do spray (também chamada grossura do spray), descreve a distância menor do spray. A profundidade do spray varia com a distância, assim como a largura também. Uma vez selecionado um tipo de bico, a largura do spray estará fixa pela padronização dos ângulos, porém a profundidade do spray dependerá predominantemente da geometria interna do bico.

2 OTIMIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO DA FORÇA DE IMPACTO

A distribuição da força de impacto ao longo da largura e profundidade do spray pode ser exatamente medida e documentada (Figura 2) como descrito detalhadamente por Stefan Schürman no seu trabalho "Measurement and mathematical approximation of the impact of descaling nozzles", apresentado durante o Hydraulic Descaling Conference em 2000. Esta ferramenta é essencial não somente para o desenho do bico, mas também para determinar a distribuição dos bicos no chuveiro. Com profundidades de spray entre 3 mm e 5 mm, as reduzidas distâncias e bicos cada vez de menor vazão, como é comum hoje em dia em plantas de laminação de chapas finas, uma nova geração de sensores (transdutores de força) foram utilizados para permitir a precisão requerida para a medição da força de impacto. Também foi desenvolvido um novo software para comandar o sensor e para documentar a distribuição da força de impacto. O novo sensor deve ser ajustado de forma precisa com ajuda de um microscópio antes de ser instalado no aparelho de testes e medição.

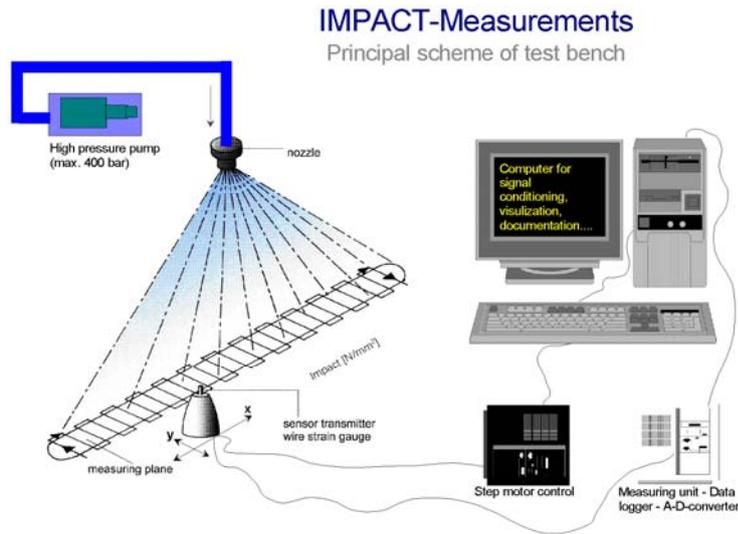


Figura 2: Instalação de medição da força de impacto.

2 CARACTERÍSTICAS DE DESENHO DE BICOS CONVENCIONAIS DE DESCAREPAÇÃO

Começando por onde entra a água no bico, pela unidade filtro/estabilizador (Figuras 3 e 4), a água passa por ranhuras longitudinais que são produzidas com serras circulares, deixando um canto vivo, inevitável pelo processo de fabricação que é comum e é encontrado em todos os bicos descarepadores. O efeito desse canto vivo será discutido mais adiante neste trabalho.

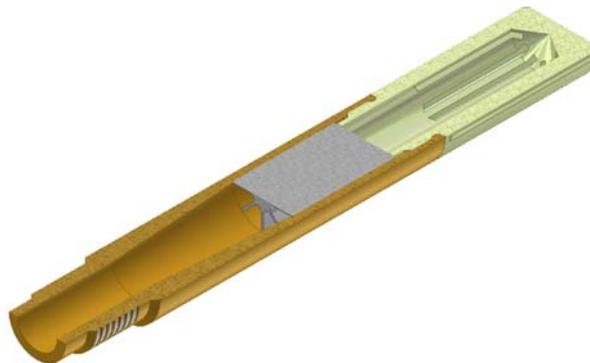


Figura 3: Vista interna da unidade convencional do filtro/estabilizador.

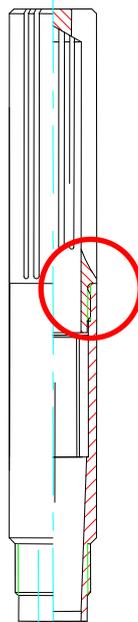


Figura 4: Canto vivo: ponto crítico da unidade filtro/estabilizador.

A parte mais importante do bico descarepador, além do bico propriamente dito, é o estabilizador de fluxo, que é feito mecanicamente em forma de estrela a partir de uma peça de aço inoxidável. Em todo caso, o estabilizador tem um centro que fixa as aletas de forma radial, algumas vezes ôco ou com pontas no centro. O objetivo do estabilizador é o de reduzir as turbulências e formar um fluxo laminar em direção ao bico.



Figura 5: Bico descarepador Scalemaster convencional com estabilizador e múltiplos componentes.

O bico propriamente dito (Figura 5) consiste no corpo externo que contém o inserto em carbeto de tungstênio (TC) e, na maioria dos casos um tubo cônico interno prensado que segura o inserto de carbeto de tungstênio na sua posição. Uma junta de vedação entre essas duas peças é necessária, e conseqüentemente somente a ponta do bico consiste de quatro componentes.

O inserto em carbeto de tungstênio que forma o spray, é manufacturado tradicionalmente prensando-se o material primário (in natura), antes da sinterização. Após a sinterização, a forma final do orifício é obtida com um esmeril de diamante. Esse processo adicional de esmerilhamento deixa cantos muito afiados e frágeis, e podem também alterar a homogeneidade superficial e estrutural do carbeto de

tungstênio. Na maioria dos casos é utilizado o cobalto como aglomerante entre os grãos de carbeto de tungstênio.

3 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO NOVO BICO DESCAREPADOR SCALEMASTER SUPERIOR

Iniciamos pelo filtro e estabilizador (Figura 6) que não são mais feitos mecanicamente(usinados) de forma tradicional, mas totalmente injetados em aço inoxidável com tecnologia MIM (*Metal Injection Mould*). Esta nova tecnologia permite de maneira econômica a produção de formas e perfis, impossíveis de serem produzidas de forma tradicional(usinagem).

Como resultado, temos uma única peça constituindo o filtro e o estabilizador em aço inoxidável, oferecendo maior resistência aos golpes de ariete. Evitamos a corrosão por contato que ocorre com baixo pH da água por não termos mais a interface entre a ponteira e filtro/estabilizador devido à retirada total do material latão do bico.



Figura 6: Unidade filtro/estabilizador sem miolo central da nova Scalemaster Superior.

As ranhuras do filtro não são mais cortadas/serradas mecanicamente e sim formadas pela injeção no material. Isso permite uma conformação e um raio suave na direção do fluxo da água, eliminando a maioria das turbulências que eram causadas pelo canto afiado que tinha o modelo anterior. Com um número maior de ranhuras no filtro obtemos um fluxo mais homogêneo para o interior do bico.

O estabilizador de fluxo não é mais uma peça separada e seu miolo não existe mais. Isso permite uma passagem livre da água, praticamente sem perturbações, proporcionando uma função estabilizadora, suavizando ainda mais as baixas turbulências depois da passagem da água pelas ranhuras do filtro.

A ponta do bico ou tip (Figura 7) foi totalmente redesenhada. O material do corpo do bico agora é feito de aço inox pré-temperado, resistente à alta temperatura proporcionando uma maior resistência aos golpes de ariete. Nesse contexto o talho na parte frontal do bico foi substituído por uma abertura oval para formar o jato em leque.

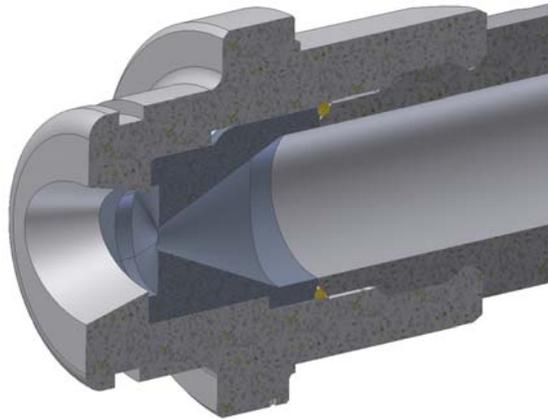


Figura 7: Nova ponteira Scalemaster Superior constituído por duas peças.

O inserto em carbeto de tungstênio também é produzido com a tecnologia MIM (*Metal Injection Mould*). Após a sinterização não é mais necessário esmerilhar a ponteira devido à alta precisão de produção atingida. Uma geometria interna do orifício totalmente inovadora foi desenvolvida para maximizar a força de impacto. A utilização de níquel como agente aglomerante para o carbeto de tungstenio proporciona uma maior resistência química contra baixo pH da água. A nova geometria também reduz o desgaste e aumenta a vida útil do bico.

5 CFD – COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Durante gerações, bicos foram desenhados e projetados aplicando empiricamente conhecimentos pessoais, experiências e informações que eram aplicadas na produção de protótipos. Conseguir características idênticas de spray dentro de uma mesma família era muito difícil e tomava muito tempo fazendo-se e testando-se protótipos. Era um método de “tentativa e erro” com limitações para desenvolver sistematicamente parâmetros e estudos, pois a mecânica dos fluidos é matematicamente muito complexa. Um novo ramo de estudo chamado Computational Fluid Dynamics (CFD) se dedica a esse segmento, resolvendo problemas da mecânica dos fluidos, e está sendo aplicada com sucesso pela Lechler para desenvolver bicos e sistemas. Computational fluid dynamics (CFD) é um dos ramos da mecânica dos fluidos que utiliza modelos matemáticos e algoritmos para analisar e resolver problemas que envolvem o comportamento de fluidos. São necessários computadores de alta capacidade para calcular milhões de equações requeridas, para simular a interação dos fluidos e gases com as complexas superfícies projetadas. O trabalho fundamental do CFD consiste em desmembrar a continuidade do fluido no computador. Um dos métodos é fazer um desmembramento espacial em pequenas células formando uma rede ou tela (grid) (Figura 8), para então aplicar algoritmos para resolver os problemas do movimento. Além do mais, essa tela ou rede pode ser regular ou irregular, sendo constituída por triângulos em 2D ou pirâmides em 3D; a diferenciação dessas características de cada célula, deverá ser arquivada separadamente na memória.

Em todo caso, com CFD temos um método preciso e eficiente para prever novas geometrias que permitem prever e analisar o fluxo do fluido e o desenho dos bicos como mostrado a seguir.

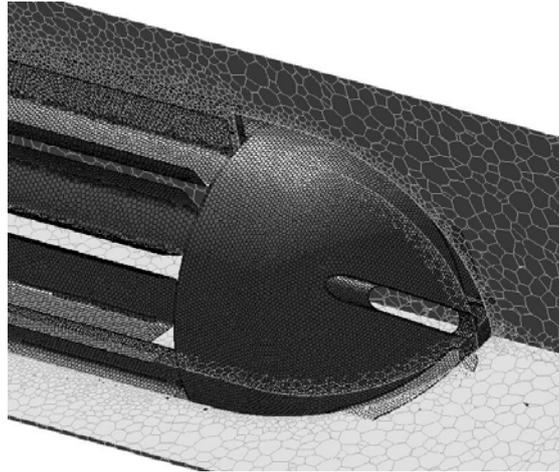


Figura 8: Típica rede ou tela de uma simulação CFD.

6 REDUÇÃO DA PRESSÃO INTERNA DO BICO

A Figura 9 mostra como e onde se perde até 7 bar de pressão dentro de um bico de descarepação convencional. As áreas coloridas representam a água a diferentes pressões. Na área vermelha temos a água na sua pressão máxima de sistema, que se estende por todo o caminho, pelas ranhuras do filtro, até imediatamente antes do estabilizador. A maior perda de pressão (cor azul), ocorre entre as aletas do estabilizador devido à altíssima velocidade da água. No centro, após o estabilizador, onde a velocidade é mais elevada, temos uma área com pressão reduzida que se estende até a ponta do bico. Conseqüentemente, a perda de pressão de 7 bar tem que ser compensada com um orifício maior no bico, para que a vazão nominal do bico possa ser atingida.

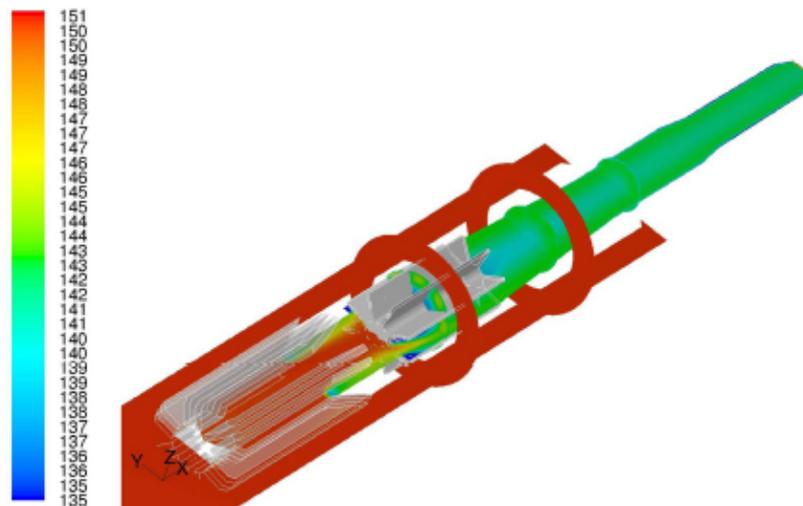


Figura 9: Simulação CFD de um bico descarepador convencional mostrando a perda de pressão de aproximadamente 7 bar do vermelho ao verde, onde está a ponteira do bico.

No caso do Scalemaster Superior, a perda de pressão pode ser minimizada a um mínimo absoluto de 2 bar como mostra a Figura 10, onde a zona de alta pressão se estende pelo centro até a ponta do bico. Como conseqüência o orifício do bico é menor do que nos bicos convencionais, resultando numa maior velocidade da água. Essa maior velocidade de saída da água promove um considerável aumento da força impactante sobre a superfície. Tudo isso foi possível graças à otimização da

geometria interna desde o filtro até o inserto em carbeto de tungstênio, a eliminação do miolo do estabilizador de fluxo, e uma nova geometria do orifício do bico.

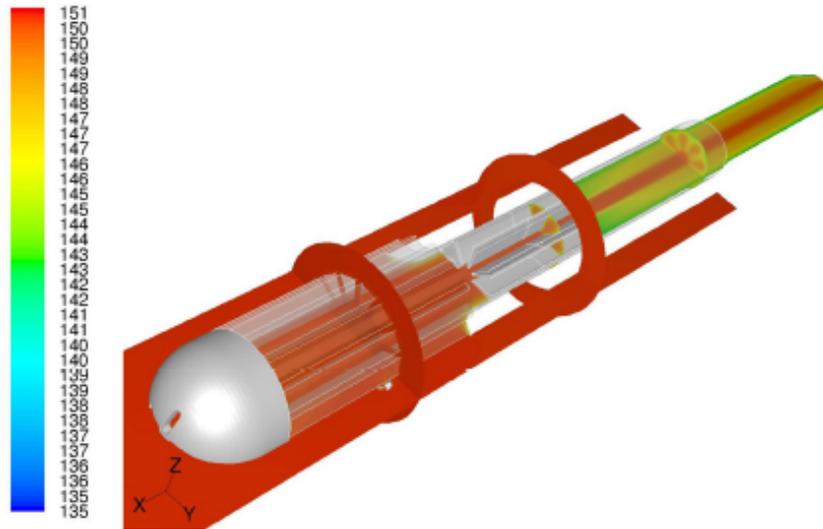


Figura 10: Simulação CFD da nova Scalemaster Superior onde a redução de pressão é de somente 2 bar entre o filtro e a ponta do bico.

7 REDUÇÃO DAS TURBULÊNCIAS INTERNAS NO BICO

A Figura 11 mostra onde ocorrem turbulências internas num bico descarepador convencional. As áreas coloridas representam a água em diferentes escalas de turbulência. Nas regiões azul escuro, a água está calma como antes do filtro e dentro do nipple soldado, ao redor do filtro. Assim que a água entra pelas ranhuras do filtro, principalmente pelos cantos afiados, (resultado das serras circulares durante a fabricação), aparecem turbulências extremamente violentas, visíveis nas cores amarelo e vermelho. Estas turbulências se maximizam mais adiante devido ao miolo do estabilizador e se estende pela passagem da água pelo estabilizador de fluxo. Logo após o estabilizador, seu miolo cria uma zona morta que provoca altos níveis de turbulências, os quais permanecem em valores críticos até a água alcançar o orifício da ponta do bico.

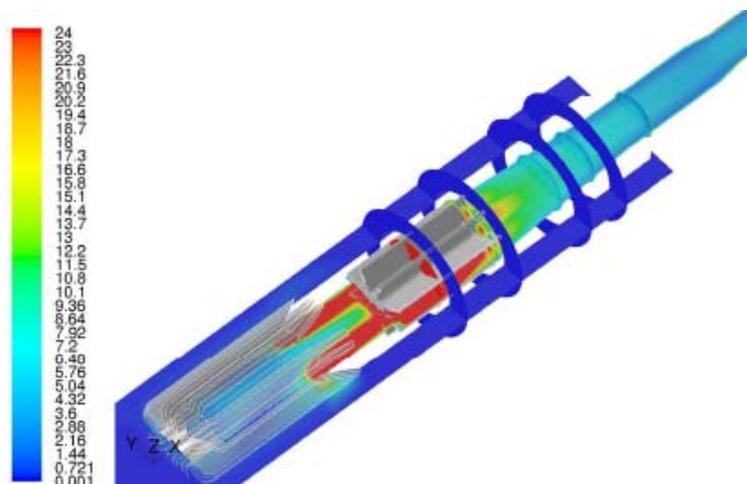


Figura 11: Simulação CFD de um bico descarepador convencional, mostrando em vermelho as turbulências antes, ao redor e depois da passagem da água pelo estabilizador.

O efeito dessas turbulências pode ser efetivamente demonstrado com uma luz estroboscópica, onde movimentos turbulentos do spray na sua profundidade podem ser observados. Esse incremento da largura do spray causado por um “jato instável”, com variações da profundidade do spray, aumenta a área de impacto que conseqüentemente reduz a força de impacto (Figura 12).

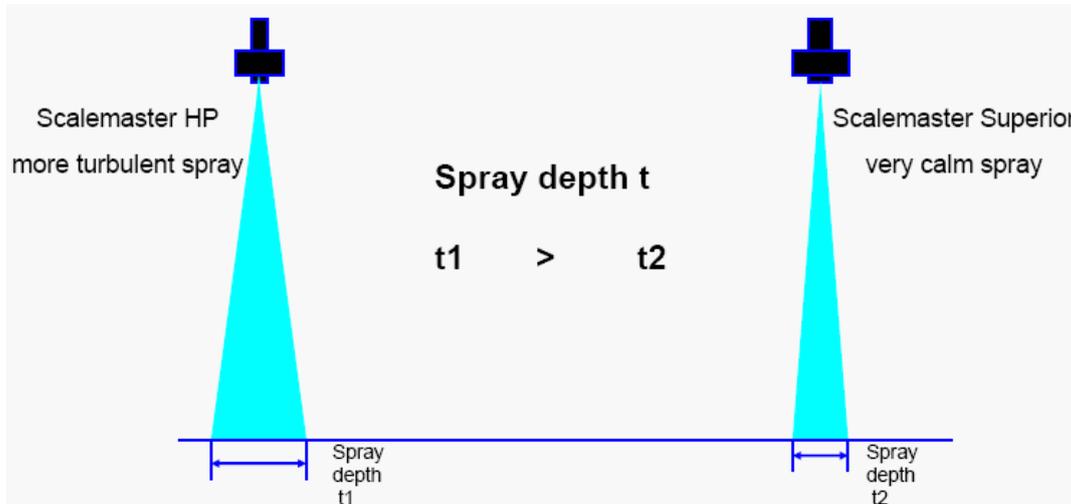


Figura 12: Profundidade do spray em comparação.

No caso da Scalemaster Superior, as turbulências internas foram quase que totalmente suprimidas (Figura 13). Isso foi possível graças à eliminação das principais origens das turbulências como os cantos vivos do filtro e o miolo do estabilizador de fluxo. Suprimindo as turbulências, o “jato instável” desapareceu o que ajudou a reduzir a profundidade do spray e, portanto, a área de impacto.

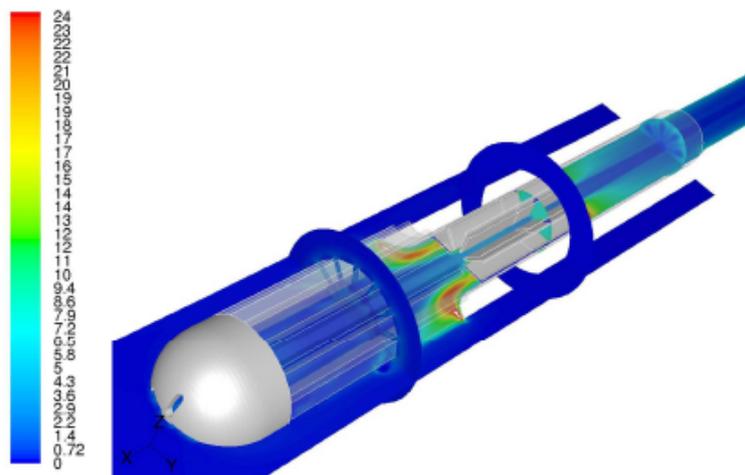


Figura 13: Simulação CFD da nova Scalemaster Superior mostrando praticamente a ausência de turbulências no interior do bico.

8 EXPLICAÇÃO DO INCREMENTO DA FORÇA DE IMPACTO DO SCALEMASTER SUPERIOR

Os dois efeitos predominantes que contribuem para o incremento da força de impacto são, a maior velocidade de impacto da água e a redução da profundidade do spray. A maior velocidade resulta numa maior força como ilustrado na Equação (1). A redução da profundidade do spray significa redução da área total de impacto

(área de ataque do spray, Fig 14). Aplicando-se uma maior força numa área menor, têm-se um incremento da força de impacto como mostra a (Figura 14) e prova a Equação (2).

$$F = m \cdot a = \dot{m} \cdot v = \dot{m} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p}{\rho}} \quad (1)$$

$$F = \text{Force} \left[N = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$m = \text{mass} \left[\text{kg} \right]$$

$$a = \text{acceleration} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$\dot{m} = \text{mass flow} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$$v = \text{velocity} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$p = \text{pressure} \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\rho = \text{density} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Because spray angles (and therefore spray width) are standardized it's only possible to reduce spray depth in order to concentrate the kinetic energy of the spray on a smaller area.

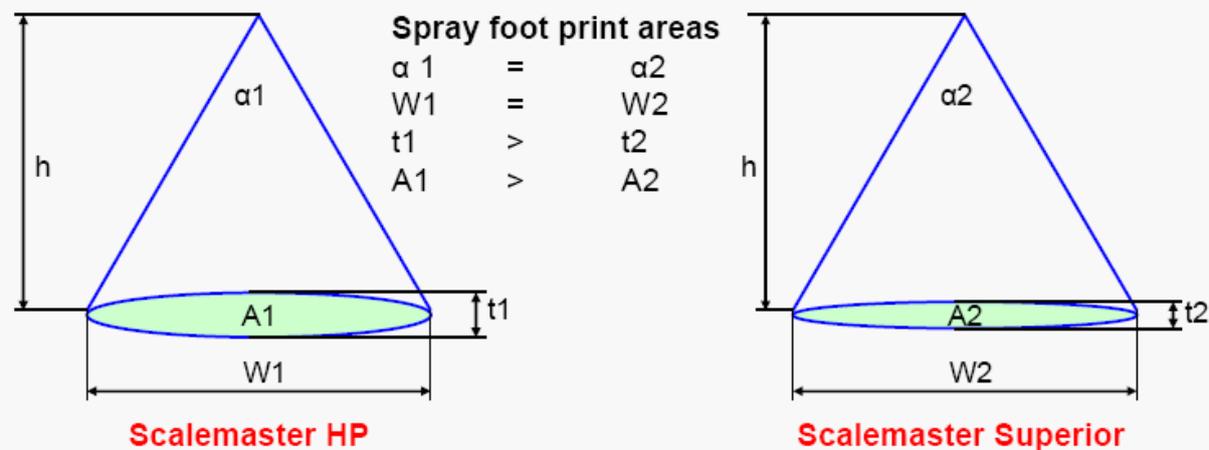


Figura 14: Comparação das áreas de ataque (foot print area) do spray.

$$I = \frac{F}{A} \quad (2)$$

$$I = \text{Impact} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$F = \text{Force} \left[\text{N} \right]$$

$$A_{\text{footprint}} = \text{Area} \left[\text{mm}^2 \right]$$

$$F_2 > F_1$$

$$A_{2, \text{footprint}} < A_{1, \text{footprint}}$$

$$I_2 >> I_1$$

Para poder compreender e explicar os mecanismos dos fluidos dentro dos bicos, tivemos que fazer algumas investigações científicas, que é o que foi feito até este ponto. Para medir as forças de impacto, verificar o desenvolvimento, fazer um controle de qualidade e comparação entre os bicos, utilizamos uma bancada de teste especialmente desenvolvida para essa finalidade. Como protocolo dos resultados das medições (Figura 15) registramos todos os detalhes importantes em números, gráficos 2D e 3D. Somente resultados obtidos numa mesma bancada de testes podem realmente ser comparados entre si, pois os sensores, os pontos de medição, os cálculos e as interpretações de cada equipamento são diferentes. Não existe uma norma para medição da força de impacto.

Spray- Impact- Diagram

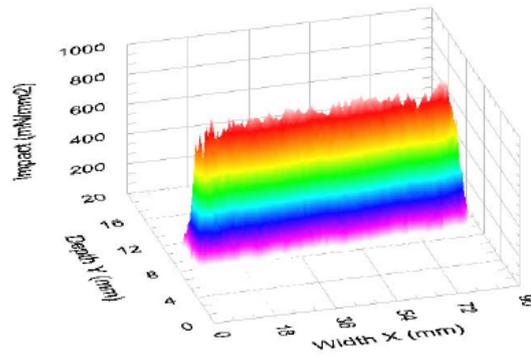
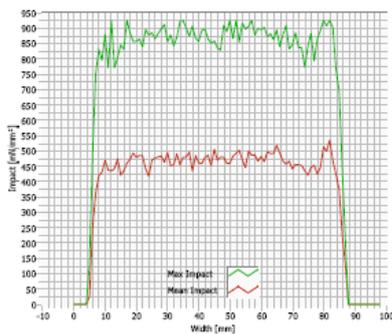
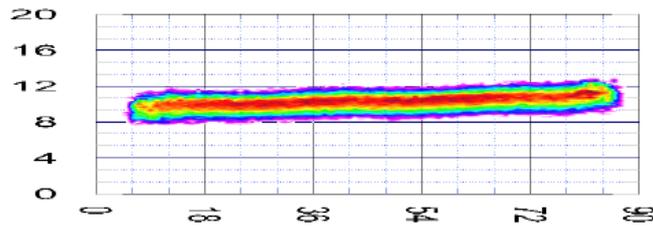
Strahl- Kraft- Diagramm

Manufacturer (Hersteller)	Lechler		
Product no. (Produktnummer)	654,726.N3		
Accessories (Zubehör)	06S,456.1Y.01.00		
Customer (Kunde)			
Date (Datum)	17.04.2008		
Nozzle state (Düsenzustand)	New	Sensor size (mm) (Sensordurchmesser)	1
Spray height (mm) (Sprayhöhe)	150	Measurement step (mm) (Messschritt)	1
Water pressure (bar) (Wasserdruck)	150		
Water flow rate (l/min) (Wasserflussrate)	55		
Remarks (Bemerkungen)	Abnahmemuster		

Av. Max Impact (mN/mm ²)	841,02	Spray Width (mm)	81,8
Av. Spray Depth (mm)	3,6	Max Spray Depth (mm)	4,1



Lechler GmbH
Pflanzersiedlung, Triptshausbecher
Ulmer Straße 120
D-72055 Murrigen / Germany
Telefon: +49(0)7123 9024
Fax: +49(0)7123 902444
E-Mail: info@lechler.de
Internet: http://www.lechler.de



Messung Software LFV Nr. 2.0.9 Statistik

Figura 15: Medição do bico Scalemaster Superior mostrando uma distribuição muito uniforme.

Algum tempo atrás, por falta de modernas técnicas de medição com recursos em 3D, foi introduzido um método simples que consiste na erosão de uma placa de alumínio pelo jato de água. Este método não representa as verdadeiras condições de operação de um laminador, pois o teste precisa de uns 3 a 10 minutos, enquanto que num laminador, o tempo de atuação do jato é de apenas uma fração de segundo. Mesmo assim, esse método de erosão permite visualizar a diferença na performance dos jatos como demonstrado na Figura 16. A foto mostra a área de ataque de um bico Scalemaster Superior ao alto, e de um bico Scalemaster HP na parte inferior na placa de alumínio. A pressão de trabalho foi de 200 bar e a distância vertical de 150mm. Como descrito anteriormente, o bico Scalemaster Superior concentra muito mais a água num jato mais definido e estreito, provocando uma erosão mais profunda e uniforme.



Figura 16: Comparação da erosão dos jatos, Scalemaster Superior em cima, Scalemaster HP em baixo.

9 VANTAGENS E BENEFÍCIOS PARA O USUÁRIO DOS NOVOS BICOS DE DESCAREPAÇÃO SCALEMASTER SUPERIOR

As vantagens mais importantes para os usuários dos bicos Scalemaster Superior são:

- máximo incremento na força de impacto e qualidade superficial a uma determinada vazão e pressão. um incremento de até 20% na força de impacto é possível, se comparada com o Scalemaster HP, se substituído pelo Scalemaster Superior de mesma vazão;
- permite redução do consumo de água mantendo a mesma força de impacto e qualidade superficial;
- maior tempo de vida útil, maior segurança de operação e redução de custos de manutenção;
- distribuição do líquido e da força de impacto de forma totalmente homogênea, em toda sua largura, reduzindo eventuais faixas na superfície a ser descarepada; e
- compatível e intercambiável com sistemas de descarepação LECHLER, sem ter a necessidade de troca dos chuveiros.

10 CONCLUSÃO

A introdução de sistemas de inspeção superficial em laminadores, confrontou os laminadores, os fabricantes de laminadores e os fabricantes de bicos com muito mais objetivos e expectativas aos sistemas de descarepação do que no passado, com a intenção de incrementar a qualidade superficial e a produtividade. A pressão na indústria siderúrgica em reduzir os custos operacionais e a redução de emissões por razões ambientais, vão ditar e intensificar as pesquisas para uma economia de energia. Nos laminadores a quente, os sistemas de descarepação sempre estiveram no foco de economizar energia. Por essa razão, os melhoramentos nos sistemas de descarepação sempre priorizaram e se concentraram na melhoria da qualidade superficial e na economia de energia, ao mesmo tempo.

O incremento da força de impacto em condições idênticas de operação como especificação do bico, distância vertical e pressão de água, abrem novos caminhos no incremento da performance da descarepação, melhorando a qualidade superficial. Também temos a possibilidade de redução do consumo de água e, portanto, economia de energia (energia elétrica para motorização das bombas). Desenvolver e produzir bicos de descarepação de menor vazão ficou mais fácil, principalmente para laminadores de chapas finas onde as chapas de 50 a 80 mm de

espessura, requerem um menor resfriamento por ser um objetivo fundamental de projeto.

BIBLIOGRAFIA

- 1 SCHÜRMAN S, Measurement and Mathematical Approximation of the Impact of Descaling Nozzles, Hydraulic Descaling Conference, London 9/2000