

OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CORTE PARA REDUÇÃO DO ENCRUAMENTO SUPERFICIAL DE AÇO AUSTENÍTICO VV50 (SAE XEV-F) UTILIZADO EM VÁLVULAS DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Jefferson Duarte Silva, e.jefferson.silva@villaresmetals.com.br¹
Augusto César Ferreira Lara, augusto.lara@villaresmetals.com.br¹
Edmir Narchi Ranzani, edmir.ranzani@villaresmetals.com.br¹
Sezimaria de Fátima Pereira Saramago, saramago@ufu.br²
Álison Rocha Machado, alissom@mecanica.ufu.br²

¹Villares Metals SA, Alfredo Dumont Villares, 155, Jd. Santa Carolina, Sumaré - SP, 13178-902

²Universidade Federal de Uberlândia, Av João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, Uberlândia - MG, 38402-902

Resumo: Este trabalho tem como objetivo principal estudar o efeito das condições de corte no encruamento superficial do aço austenítico VV50 (SAE XEV-F), durante o processo de descascamento de barras, afim de definir estratégias para redução do encruamento superficial desse aço durante o processo de descascamento. A redução proposta foi alcançada pela otimização das condições de corte: Velocidade de Corte (V_C) e Avanço Linear da Barra (v_f), com a ajuda de técnicas de superfície de resposta. Para os testes foram utilizados dois tipos de fluidos de corte e três diferentes geometrias de ferramentas de corte. Os resultados encontrados na otimização dos parâmetros, apontaram para baixos valores de V_C e v_f , utilizando-se óleo de corte de base vegetal.

Palavras-chave: Aço Austenítico VV50; Descascamento; Otimização; Superfície de Resposta; Encruamento Superficial.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a Villares Metals SA produz o aço VV50 (SAE XEV-F), utilizado para fabricação de válvulas de motores de combustão interna. Como toda e qualquer empresa, a Villares Metals SA está em busca de resultados, diminuindo custos com ferramentas, através do aumento de vida útil das mesmas, e aumento de produtividade através de maiores taxas de remoção de material por unidade de tempo, sem causar efeitos indesejáveis nas propriedades dos materiais usinados, diminuindo os custos de fabricação do produto.

Porém, um grande problema enfrentado no processo de descascamento de barras é o fenômeno do encruamento superficial gerado durante a usinagem desses aços, podendo alterar as propriedades mecânicas dos mesmos. Isto ocorre principalmente devido ao aumento do atrito e consequentemente da temperatura na interface ferramenta-peça, que está relacionado com o aumento da velocidade de corte, Trent and Wright (2000). O atrito entre a ferramenta e o material gera elevadas forças de corte, que, também, contribuem para o aumento das tensões e, consequentemente, do encruamento. O aumento da temperatura favorece a plasticidade do material da peça, podendo reduzir o encruamento superficial (Gravalos et al, 2007).

O encruamento é o fenômeno pelo qual um metal dútil se torna mais duro e mais resistente quando é submetido a uma deformação plástica. Algumas vezes esse fenômeno também é chamado de endurecimento por trabalho (ou por deformação). Pelo fato de a temperatura de deformação ser considerada baixa se comparada à temperatura de fusão do metal, também é chamado de trabalho a frio. O fenômeno encruamento é explicado com base em interações entre campos de movimentação de discordâncias. A densidade de discordâncias de um metal aumenta com a deformação ou com o encruamento, devido à multiplicação de discordâncias ou à formação de novas discordâncias, consequentemente a distância média de separação entre as discordâncias diminui, Callister Jr. (2002).

A deformação plástica modifica a estrutura interna de um metal; logo, é natural esperar que a deformação também mude suas propriedades. As evidências de tais mudanças podem ser obtidas nas medições de resistividade. Uma mudança de grande significância nas propriedades de interesse da engenharia é a resistência. Os metais deformados plasticamente se tornam mais fortes. Embora as discordâncias contribuam para a deformação plástica, elas interferem no movimento de outras discordâncias. Os entrelaçamentos de discordâncias, ou “congestionamento de seu tráfego”,

umentam a tensão crítica de cisalhamento e a resistência do material. Portanto, o aumento de dureza resultante da deformação plástica é denominado encruamento, Van Vlack (1984).

Este fenômeno para um determinado metal é influenciado por diversos fatores, como: *i* - Estrutura Cristalina do metal; *ii* - Natureza química do metal; *iii* - Pureza do metal; *iv* - Orientação do cristal metálico; *v* - Temperatura no processo de deformação; *vi* - Forma e dimensão do cristal metálico; *vii* - Condições superficiais do cristal metálico, Bresciani Filho et al (1997).

Portanto o encruamento superficial significa um aumento considerável de dureza superficial, quando a estrutura do material é deformada durante o processo de usinagem, Rose (1999).

Para atender a especificação dos clientes, o Aço Válvula Austenítico da Villares Metals SA, VV50, possui um limite de dureza superficial de 400HB, em material expedido. Isto implica em controle do encruamento durante a operação final de descascamento das barras desses aços, para não ultrapassar este limite.

Atingir as especificações de dureza superficial dos clientes tem sido um grande desafio para a Villares Metals SA. Os processos de laminação e acabamento (descascamento e polimento) são os grandes responsáveis pelo ganho de dureza desse aço. As principais causas devem-se à temperatura final de laminação, ao alto nível de deformação plástica que o material sofre durante o processo de usinagem e conseqüentemente as altas deformações devido ao atrito gerado pelas ferramentas de corte. Após o início das atividades do novo laminador “*multi-line*”, a temperatura final de laminação passou a ser um parâmetro controlado por softwares. Com isso foram retiradas amostras após cada etapa do processo de fabricação das barras com controle da dureza superficial. Os resultados são mostrados na Fig. (1).

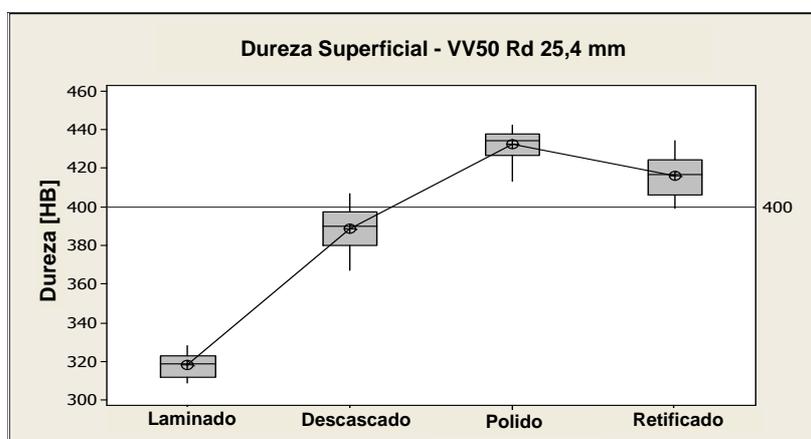


Figura 1. Dureza Superficial após cada etapa dos processos do produto laminado no novo laminador.

Dessa forma foi definido o objetivo do trabalho, o qual consiste em reduzir o encruamento superficial gerado no processo de acabamento (descascamento) das barras de aço válvula austeníticos VV50. Para isto, foram realizados testes com a operação de descascamento, com variações na velocidade de corte, no avanço linear, na geometria da ferramenta e no fluido de corte, avaliando as superfícies usinadas através de ensaios de dureza e medições de rugosidade.

Técnicas de superfície de resposta foram utilizadas para otimizar os parâmetros de corte, para minimizar o encruamento superficial gerado após o descascamento do aço válvula austenítico VV50. Para melhorar o planejamento do processo, foi necessário utilizar metodologias de otimização, que possibilitassem trabalhar tanto com variáveis qualitativas quanto com variáveis quantitativas.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

A metodologia utilizada neste trabalho consistiu na realização de ensaios de descascamento em barras de aço válvula austenítico (VV50), com bitola bruta de laminação igual a 26,20 mm, bitola descascada igual a 25,65 mm, diâmetro final das barras, após, polimento e retifica de 25,40 mm. O objetivo deste trabalho foi reduzir a dureza superficial encontrada após usinagem das barras em função dos seguintes parâmetros de corte: velocidade de corte (V_c), avanço linear da barra (v_f) e geometria da ferramenta. Com esta finalidade, para a obtenção de dados que permitissem a aproximação do fenômeno por uma superfície de resposta foi utilizado um Planejamento Fatorial Completo, resultando em 54 ensaios (27 ensaios (3^3) para fluido de corte da IORGA + 27 ensaios (3^3) para fluido de corte da BLASER). Também foram realizadas 10 réplicas para cada ensaio, resultando desta forma em 540 amostras para medição de dureza superficial.

Foram realizados pré-testes com as ferramentas de corte, a fim, de analisar quais são os limites inferiores e superiores de avanço e velocidade de corte que as mesmas podem trabalhar. A Tabela (1) relaciona os níveis com os valores dos parâmetros utilizados e a Tab. (2) apresenta a combinação entre os níveis, definindo cada um dos testes.

Como respostas dos experimentos, foram realizadas medições de dureza superficial e rugosidade superficial. Após a realização de todos os experimentos, foi encontrada, com a utilização de métodos numéricos, a melhor condição de corte, para o menor valor possível de dureza superficial.

Para realização dos ensaios, foram utilizados insertos de metal duro, montados em uma placa com quatro porta-ferramentas para descascar o material. Para cada condição de corte foi utilizada uma aresta nova de corte. Foram utilizados três modelos diferentes de insertos, escolhidos após a realização de pré-testes, onde foram testados várias geometrias e fabricantes, a fim de encontrar os de melhor desempenho, não levando em conta os resultados de dureza superficial. As especificações dos insertos escolhidos para os testes são mostradas na Tab. (3).

Tabela 1. Valores e Níveis dos Parâmetros.

Nível dos Parâmetros	Óleo de Corte	Inserto	V _c [m/min]	vf [m/min]
-1	-	Fabricante I	40,0	2,0
0	Fabricante A	Fabricante II	50,0	3,0
1	Fabricante B	Fabricante III	60,0	4,0

Tabela 2. Níveis dos testes desenvolvidos.

Testes	Planejamento Fatorial Completo			
	Óleo de Corte	Inserto	V _c	vf
1	0	-1	-1	-1
2	0	-1	-1	0
3	0	-1	-1	1
4	0	-1	0	-1
5	0	-1	0	0
6	0	-1	0	1
7	0	-1	1	-1
8	0	-1	1	0
9	0	-1	1	1
10	0	0	-1	-1
11	0	0	-1	0
12	0	0	-1	1
13	0	0	0	-1
14	0	0	0	0
15	0	0	0	1
16	0	0	1	-1
17	0	0	1	0
18	0	0	1	1
19	0	1	-1	-1
20	0	1	-1	0
21	0	1	-1	1
22	0	1	0	-1
23	0	1	0	0
24	0	1	0	1
25	0	1	1	-1
26	0	1	1	0
27	0	1	1	1
28	1	-1	-1	-1
29	1	-1	-1	0
30	1	-1	-1	1
31	1	-1	0	-1
32	1	-1	0	0
33	1	-1	0	1
34	1	-1	1	-1
35	1	-1	1	0
36	1	-1	1	1
37	1	0	-1	-1

38	1	0	-1	0
39	1	0	-1	1
40	1	0	0	-1
41	1	0	0	0
42	1	0	0	1
43	1	0	1	-1
44	1	0	1	0
45	1	0	1	1
46	1	1	-1	-1
47	1	1	-1	0
48	1	1	-1	1
49	1	1	0	-1
50	1	1	0	0
51	1	1	0	1
52	1	1	1	-1
53	1	1	1	0
54	1	1	1	1

Tabela 3. Características dos Insertos.

Inserto	Código	Classe	Cobertura
Ferramenta I	LPUC121517 – VTA420	P15	TiN + TiC + Al ₂ O ₃ + TiN
Ferramenta II	JNGF-2008-BF-VO218-06	P25	Al ₂ O ₃ + TiN
Ferramenta III	WNMF-96-30	P20	Al ₂ O ₃ + TiN

Para os testes foram escolhidos dois fluidos de corte, os quais foram indicados por dois fabricantes distintos. O primeiro fabricante (Fabricante A) indicou um fluido à base vegetal, com aditivos de extrema pressão. O Fabricante B indicou um fluido à base sintética, também com aditivos de extrema pressão.

Para retirada das amostras de barras descascadas, foi descartado 150 mm da ponta das barras, para que o material da ponta das barras não influenciasse nas medições de dureza, pois, sabe-se que durante entrada da barra na placa ocorre desvio da mesma, o que força o corte, gerando maior encruamento do aço.

Logo, foram descartados 150 mm da cabeça da barra e retiradas amostras de 100 mm de comprimento. A Figura (2) mostra o esquema de retirada das amostras descascadas.

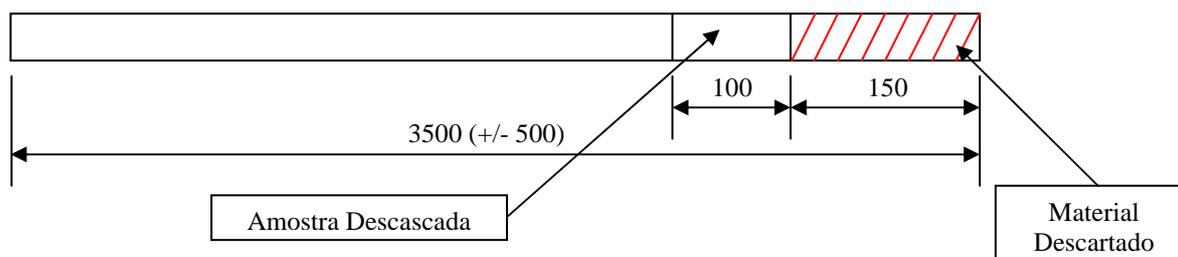


Figura 2. Esquema de retirada das amostras descascadas.

Nas amostras brutas, foram realizadas medições de $\frac{1}{2}$ raio e de núcleo em 10 amostras, para verificação da estabilidade da dureza final de laminação.

O processo de medição de dureza consistiu-se na realização de 3 medições ao longo das amostras de acordo com o esquema da Fig. (3).

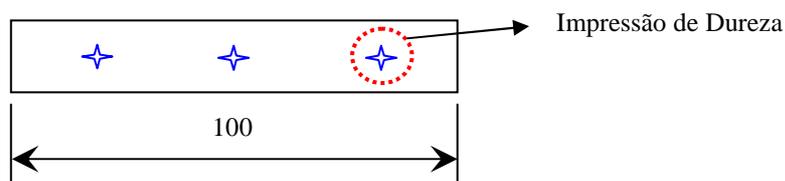


Figura 3. Esquema das amostras retiradas para medição de dureza superficial.

Para medição das durezas, foi utilizado um Durômetro WOLPERT, modelo DIA2R, série 3494, Fabricante da Alemanha. Foi utilizada uma carga de 187,5 kg e esfera de aço de 10 mm de diâmetro.

Foram realizadas medições de rugosidade superficial (R_a - μm) nas barras descascadas e polidas. Como se utilizou um Rugosímetro portátil (Taylor Robson), o qual, não exigia que se cortassem amostras e levassem-nas ao laboratório para medição, foi feita a medição de rugosidade nas 540 barras descascadas. O esquema para medição de rugosidade superficial das barras é mostrado na Fig. (4).

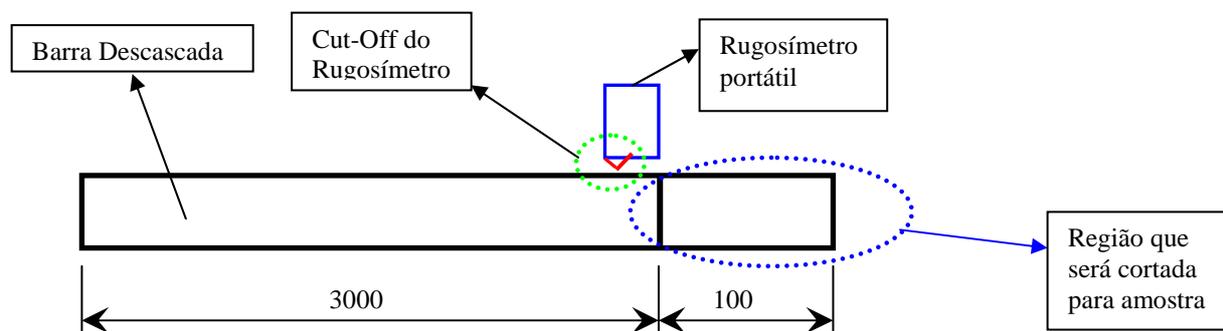


Figura 4. Esquema de medição da rugosidade superficial das barras descascadas e Polidas.

A máquina utilizada para os testes foi uma descascadeira de barras Hetran BPC1000, com capacidade para descascar barras de 14 a 25,4mm de diâmetro, barras de 4 a 8 m de comprimento, remoção máxima até de 3mm no diâmetro garantindo tolerância ISO h8/h9, capacidade de velocidade de avanço até de 50 m/min (variável de acordo com o material e sobremetal) e potência de 125 KW, a Fig. (5) mostra a máquina utilizada.



Figura 5. Descascadeira de Barras – Hetran BPC 1000.

Após a realização dos testes, os resultados foram analisados e otimizados, utilizando-se os Softwares Matlab® e Statística 6.0.

Com o auxílio desses Softwares, foi possível, analisar qual a melhor condição de corte através de gráficos de superfície de resposta e gráficos de "pareto", traçados a partir de tabelas de ANOVA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após todas as medições de dureza superficial, consegue-se definir qual foi a melhor condição para descascamento das barras de VV50.

A Tabela 4 mostra os valores de dureza superficial e rugosidade superficial para as condições de descascamento. Observa-se que o menor valor de dureza superficial é de 344,9 HB, o qual foi encontrado na condição nove com um baixo desvio padrão e com uma rugosidade superficial de 0,6 μm , considerada baixa para o processo de descascamento.

Tabela 4. Resultados de Dureza Superficial e Rugosidade Superficial para material descascado.

Óleo – Fabricante A					Óleo – Fabricante B				
Condição	Dureza [HB]	\bar{S}_{DUREZA}	Rugosidade Ra [μm]	$\bar{S}_{RUGOSIDADE}$	Condição	Dureza [HB]	\bar{S}_{DUREZA}	Rugosidade Ra [μm]	$\bar{S}_{RUGOSIDADE}$
1	358,2	7,80	0,70	0,171	28	353,7	12,30	0,81	0,284
2	353,1	3,73	0,70	0,198	29	356,5	6,17	0,67	0,067
3	357,7	13,38	0,70	0,196	30	360,2	6,76	0,79	0,159
4	362,2	11,77	0,70	0,125	31	361,7	9,58	0,73	0,156
5	364,6	5,21	0,90	0,319	32	361,8	10,77	0,81	0,110
6	352,1	8,31	1,10	0,397	33	361,0	12,30	0,72	0,091
7	362,9	17,51	0,60	0,105	34	387,5	15,03	1,15	0,400
8	367,1	12,32	0,70	0,117	35	378,0	10,55	0,71	0,099
9	344,9	7,65	0,60	0,126	36	366,2	4,85	0,72	0,122
10	353,5	9,77	0,70	0,141	37	364,1	13,28	0,85	0,126
11	356,0	7,94	0,70	0,259	38	365,9	10,76	0,96	0,245
12	356,2	6,11	0,60	0,107	39	369,2	7,41	0,78	0,220
13	360,4	14,90	0,50	0,069	40	371,9	9,39	0,72	0,198
14	368,5	6,65	0,70	0,096	41	388,8	9,04	0,69	0,099
15	380,2	12,89	0,80	0,227	42	388,9	7,59	1,07	0,216
16	373,4	16,14	0,60	0,144	43	373,6	10,38	0,68	0,078
17	383,9	11,50	0,70	0,084	44	361,3	10,10	1,34	0,452
18	387,4	11,28	0,70	0,126	45	355,4	8,71	1,22	0,633
19	353,4	15,25	1,64	0,422	46	361,3	8,25	1,29	0,324
20	357,3	9,82	1,32	0,225	47	357,4	8,54	2,43	0,861
21	367,0	16,85	1,60	0,748	48	362,5	9,40	1,44	0,445
22	370,2	17,73	1,16	0,320	49	377,1	21,23	1,51	0,305
23	378,1	17,91	1,62	0,225	50	374,5	7,14	1,56	0,494
24	366,9	14,70	0,60	0,182	51	374,9	6,31	1,11	0,185
25	367,9	5,76	1,29	0,223	52	384,4	11,56	1,30	0,182
26	367,5	6,64	1,19	0,172	53	379,5	12,57	1,86	0,497
27	373,7	15,80	1,41	0,538	54	386,7	18,55	1,18	0,396

Os melhores resultados de dureza superficial ocorreram para os testes com o óleo à base Vegetal (Fabricante A), o qual apresentou um rendimento melhor durante os testes. Verificou-se durante as trocas de ferramentas que o óleo à base vegetal deixava um filme aderido à ferramenta de corte, podendo chegar à conclusão de que é um bom lubrificante de corte. Quando se utilizou o óleo à base sintética (Fabricante B), observou-se a formação de uma grande névoa, devido à falta de lubricidade e refrigeração do fluido de corte, evaporando óleo junto com a água.

Com essas características observadas, espera-se que o óleo a base vegetal produza menos encruamento que o óleo à base sintética, pois, o mesmo tem maior poder refrigerante, possivelmente aumentando os esforços durante o corte.

A Figura (6) apresenta os gráficos de “pareto” dos testes realizados com óleo à base vegetal (a) e sintético (b), colocando em ordem de significância os parâmetros de corte, para valores de “p-values” menores que 0,05 com uma confiança de 95%.

Pode-se observar que os únicos parâmetros significativos para os testes com óleo à base vegetal foram: ferramenta e o RPM. Já para os testes realizados com óleo sintético o único parâmetro significativo foi o RPM.

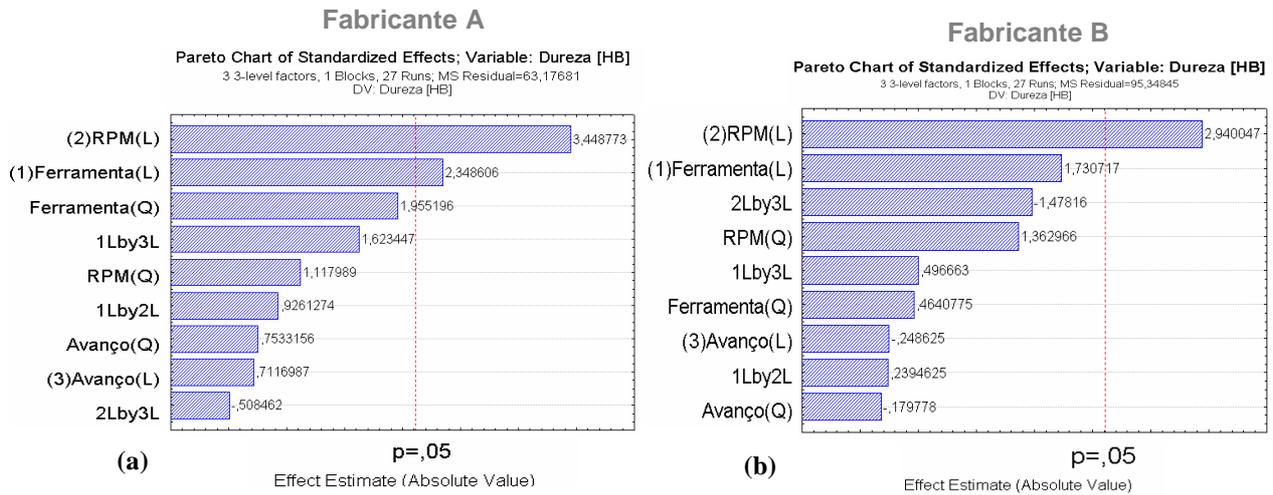


Figura 6. Gráficos de “pareto” – (a) Testes Óleo à Base Vegetal; (b) Testes Óleo à Base Sintética.

Superfícies de resposta foram obtidas utilizando Regressão Polinomial Múltipla (Montgomery, 1984), aplicando um código desenvolvido pelos autores em Matlab® (Grace, 1992).

Para a solução do problema de otimização, que visa minimização da dureza, foi utilizado um método aleatório denominado Algoritmo Genético (Haupt e Haupt, 2004), através da subrotina GAOT do Matlab®.

A Tabela (5) apresenta os níveis dos parâmetros utilizados na análise da escolha do melhor inserto, combinado à melhor condição de corte, para esta análise foi utilizado o modelo quadrático de regressão.

Tabela 5. Análise da escolha do inserto – Modelo quadrático.

Nível dos Parâmetros	$V_c - x_1$ [m/min]	$vf - x_2$ [m/min]	Inserto – x_3
-1	40,0	2,0	Fabricante I
0	50,0	3,0	Fabricante II
1	60,0	4,0	Fabricante III

Na Figura (7) pode-se observar o gráfico de superfície de resposta, mostrando qual a melhor ferramenta de corte, combinada à melhor condição de corte.

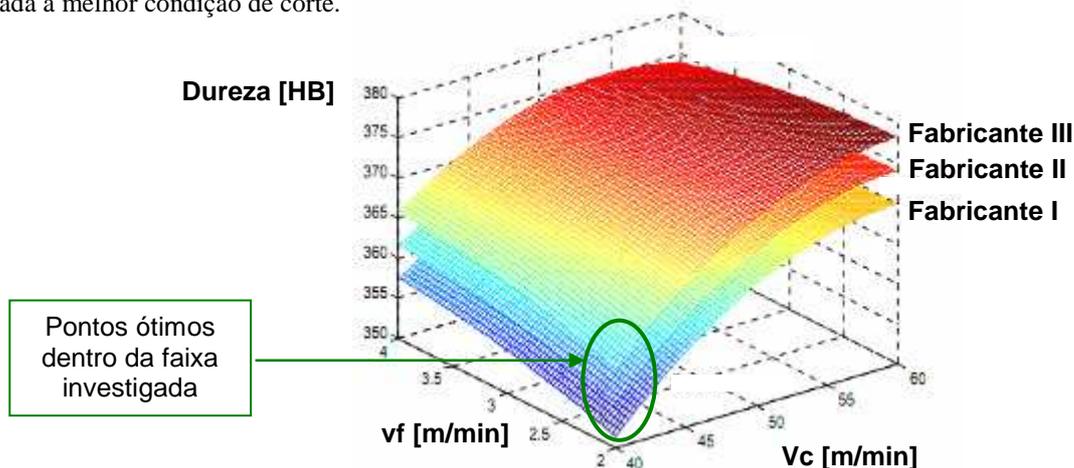


Figura 7. Superfície de Resposta – Dureza x V_c x vf – Modelo Quadrático.

Equação de otimização da Superfície de Resposta encontrada:

$$F(x) = 370.787 + 6.6139 x_1 + 0.3806 x_2 + 4.1917 x_3 - 4.5306 x_1^2 - 0.8639 x_2^2 - 2.6667 x_1 x_2$$

Solução ótima:

$$x_1 = 40; \quad x_2 = 2; \quad x_3 = -1 \text{ (inserto – Fabricante I)}$$

F=351,5396 (dureza mínima)
 $R^2=0.3420$; CV=0.0242

É possível observar na Fig. (7) que para todas as ferramentas, os menores níveis de dureza apontam para os menores níveis de velocidade de corte e avanço. O gráfico confirma também a condição ótima encontrada na otimização, a qual diz através da superfície da ferramenta do fabricante I que a utilização da mesma combinada aos menores níveis de velocidade de corte e avanço, geram menores valores de durezas superficiais.

A Tabela (6) apresenta os níveis dos parâmetros utilizados para otimizar todos os parâmetros testados ao mesmo tempo, lembrando que esta técnica de otimização, combina variáveis qualitativas e quantitativas.

Tabela 6. Análise da presença do óleo de corte e escolha do inserto – Modelo quadrático.

Nível dos Parâmetros	$V_c - x_1$ [m/min]	$vf - x_2$ [m/min]	Óleo de Corte - x_3	Inserto - x_4
-1	40,0	2,0	-	Fabricante I
0	50,0	3,0	Fabricante A	Fabricante II
1	60,0	4,0	Fabricante B	Fabricante III

Apesar dos resultados apontarem para a utilização do óleo de corte à base vegetal (Fabricante A), o modelo de otimização encontrou como solução ótima a utilização do óleo à base sintética (Fabricante B), como pode ser visto na Fig. (8).

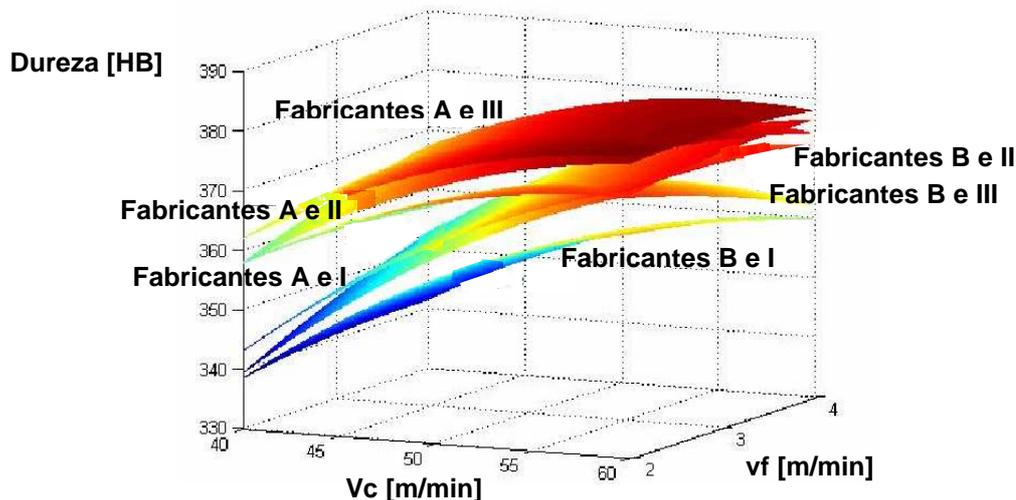


Figura 8. Superfície de Resposta – Dureza x V_c x vf – analisando o par óleo-ferramenta – Modelo Quadrático.

Equação de otimização da superfície de resposta encontrada:

$$F(x) = 376.1056 + 6.6139 x_1 - 0.5722 x_2 - 5.1741 x_3 + 3.9833 x_4 - 4.5306 x_1^2 - 0.8639 x_2^2 - 5.1741 x_3^2 - 4.0972 x_4^2 - 2.6667 x_1 x_2 + 6.6139 x_1 x_3 + 1.4000 x_1 x_4 + 1.4000 x_2 x_3 + 2.5625 x_2 x_4 + 0.4167 x_3 x_4$$

Solução ótima:

$x_1= 40$; $x_2= 2$; $x_3= 1$ (óleo Fabricante B); $x_4= -1$ (inserto Fabricante I)
 $F= 338.6003$ (dureza mínima)
 $R^2= 1.1441$; CV=0.0283

O gráfico de superfície de resposta da Fig. (8) mostrou que a utilização da melhor condição de corte com a melhor ferramenta encontrada na superfície de resposta da Fig. (7), com os dois óleos de corte, também apontam para os menores índices de dureza. A otimização apresentou como solução ótima: os menores valores de velocidade de corte e avanço, combinados à ferramenta do Fabricante I e ao óleo do Fabricante B.

Pode-se observar analisando a superfície da Fig. (8) que os valores de dureza encontrados com a otimização, para o óleo do Fabricante A, são bem próximos aos valores da condição ótima e também pode ser considerados uma boa escolha.

Analisando de forma conjunta, os resultados obtidos para o estudo do óleo de corte (Tab. (4) e Fig. (6)), com os resultados encontrados usando superfície de resposta (Figs. (7) e (8)), pode-se afirmar que uma boa escolha é utilizar o

óleo do Fabricante A e a ferramenta do Fabricante I. Esta solução une a escolha orientada pelos métodos numéricos aos resultados práticos controlados no processo de acabamento (descascamento) das barras de aço válvula austeníticos VV50.

É importante ressaltar que o objetivo de redução da dureza superficial foi alcançado, lembrando que as durezas esperadas para os materiais após a retífica devem ficar aproximadamente em 400 HB.

A Figura (9) mostra o melhor resultado de dureza encontrada após o processo de retífica, estes resultados são de amostras retiradas após a otimização, que definiu os parâmetros ótimos de processo para o descascamento.

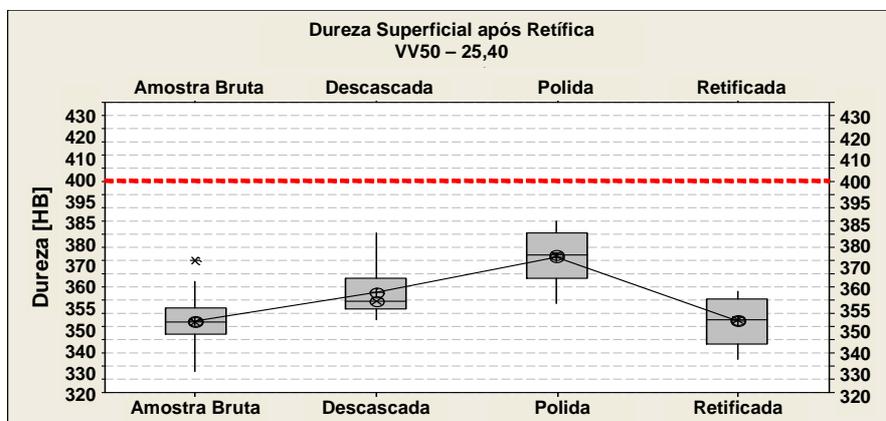


Figura 9. Gráfico de Perfil de Dureza após Projeto de Redução de Dureza.

Micrografias do material utilizado nos ensaios foram feitas em amostra bruta, com a finalidade de mostrar a diferença de segregação do material em sua superfície em relação ao núcleo. Esta diferença de segregação e o alto nível de deformação do material na superfície, causando discordâncias entre os planos, são responsáveis pela alta dureza superficial (encruamento superficial). As Figuras (10) e (11), mostram a micrografia da superfície e meio raio do aço VV50, respectivamente. As amostras foram cortadas longitudinalmente, a fim de mostrar a linha de deformação gerada após a laminação.



Figura 10. Micrografia da Superfície – Ataque Nital 4% - Aumento 100x.

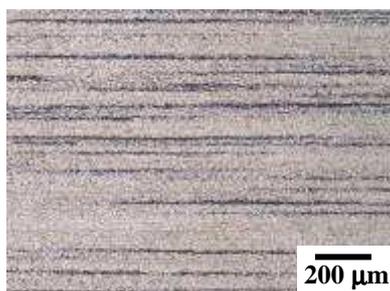


Figura 11. Micrografia de 1/2 Raio – Ataque Nital 4% - Aumento 100x.

4. CONCLUSÕES

Podemos concluir no trabalho de redução do Encruamento superficial dos Aços Válvulas que:

- O melhor óleo de corte utilizado para o trabalho de redução de encruamento superficial, foi o óleo solúvel de Base Vegetal, apresentando boas propriedades de Refrigeração e Lubrificação;
- Apesar de não ter sido feita análise de vida das ferramentas, é possível observar macrograficamente, que para o óleo de corte de base vegetal, as ferramentas de corte tiveram uma vida maior, apresentando desgaste de flanco menor que os apresentados com o óleo de base sintética;

- Através das análises estatísticas e da otimização realizadas, pode-se concluir que as ferramentas fornecidas pelo fabricante I, apresentaram melhor desempenho, gerando uma taxa de encruamento superficial menor que a gerada pelas outras ferramentas;
- Através de análises estatísticas, foi possível concluir que a ferramenta, o RPM e o óleo, são os únicos parâmetros significativos dos testes;
- As melhores condições de corte encontradas através da otimização foram: o menor nível de RPM e menor nível de Avanço. O que já era esperado, pois, sabe-se que o encruamento superficial é gerado por altos níveis de deformação plástica e altas temperaturas;
- Os parâmetros de corte que geraram menor encruamento superficial, foram, 500 RPM, 2,0 m/min de avanço linear, utilizando óleo solúvel à base vegetal e ferramenta de corte do Fabricante I;
- Por fim, o trabalho obteve sucesso, observando que a dureza do material descascado nos trabalhos anteriores era de 390 HB (próximo do limite especificado pelo cliente), e a dureza do material descascado para as melhores condições de corte ficou em torno de 350 HB para os testes realizados.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Villares Metals SA pelo suporte financeiro e pelos testes realizados sob suas dependências, agradecem também à Blaser Swisslube e à Iorga pelo fornecimento dos óleos de corte, por fim à Boehlerit pelo fornecimento de ferramentas para os testes.

6. REFERÊNCIAS

- Breciani Filho, E, Zavaglia, C. A. C., Button, S. T., Gomes, E. e Nery, F. A. C., 1997, “Conformação Plástica dos Metais”, 5ª Edição, ed. Unicamp.
- Callister Jr, Willian D., 2002, “Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução”, 5ª Edição, ed. LTC.
- Grace, A., “Optimization Toolbox- For use with Matlab”, The Math Works Inc., Natick, 1992.
- Gravalos, M. T., Martins, M., Diniz, A. E., Mei, P. R., 2007, “Efeito da Usinagem na Estrutura e Propriedades Mecânicas do Aço Superaustenítico Astm A351 Cn3mn”, R. Esc. Minas, Ouro Preto, 60(1): 83-88, jan. mar.
- Haupt, R. L., Haupt, S. E., “Practical Genetic Algorithms”, Wiley-Interscience Publication, New York, 2004.
- Montgomery, D.C., 1984, Design and analysis of experiments, John Wiley & Sons, New York, second edition, 537p.
- Rose, S., 1999, “Work Hardening-a Material King of Problem”, Tooling and Production Magazine, Ohio.
- Trent, E.M. and Wright, P.K., 2000, “Metal Cutting”, 2ª Edição, ed. Woburn, USA: Butterworth-Heinemann.
- Van Vlack, L. H., 1984, “Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais”, 4ª Edição, ed. Campus.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no trabalho, toda e qualquer reprodução não autorizada do trabalho será tratada como apropriação indevida.

OPTIMIZATION OF THE CUTTING CONDITIONS TO REDUCE THE SURFACE WORK HARDENING IN AUSTENITIC STEEL VV50 (SAE XEV-F) USED IN INTERNAL COMBUSTION ENGINE VALVES

Jefferson Duarte Silva, e.jefferson.silva@villaresmetals.com.br¹

Augusto César Ferreira Lara, augusto.lara@villaresmetals.com.br¹

Edmir Narchi Ranzani, edmir.ranzani@villaresmetals.com.br¹

Sezimaria de Fátima Pereira Saramago, saramago@ufu.br²

Álison Rocha Machado, alissonm@mecanica.ufu.br²

¹Villares Metals AS, Alfredo Dumont Villares, 155, Jd. Santa Carolina, Sumaré – SP - Brazil, 13178-902.

²Federal University of Uberlândia, Av João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, Uberlândia – MG - Brazil, 38402-902.

Abstract. *The purpose of this work is the reduction of the surface work hardening in austenitic steel VV50 (SAE XEV-F), during the peeling process of bars. The effects of the cutting parameters were studied in order to define strategies to reduce the surface work hardening of this steel during the peeling process of bars. The proposed reduction was obtained by optimization of the cutting conditions: Cutting Speed (V_C) and Linear Infeed bar (vf), with the aid of response surface techniques. For the tests two types of coolant oil and three different cutting tools were used. The found results on the optimization of the cutting conditions pointed to low values of V_C and vf , using a vegetable base coolant.*

Keywords: VV50 Austenitic Steel; Peeling; Optimization; Response Surface; Work Hardening.