

ESTUDO DO ÂNGULO DE CISALHAMENTO PRIMARIO NO TORNEAMENTO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS AISI 316, AISI 410 E UNS S32760

Marina Nogueira da
Fonseca

1. Introdução

- ⇒ Forças de corte;
- ⇒ Coeficiente de atrito cavaco-ferramenta
- ⇒ Ângulo de cisalhamento primário;
- ⇒ Escolha do aço;



Figura 1: exemplo de utilização do Superduplex

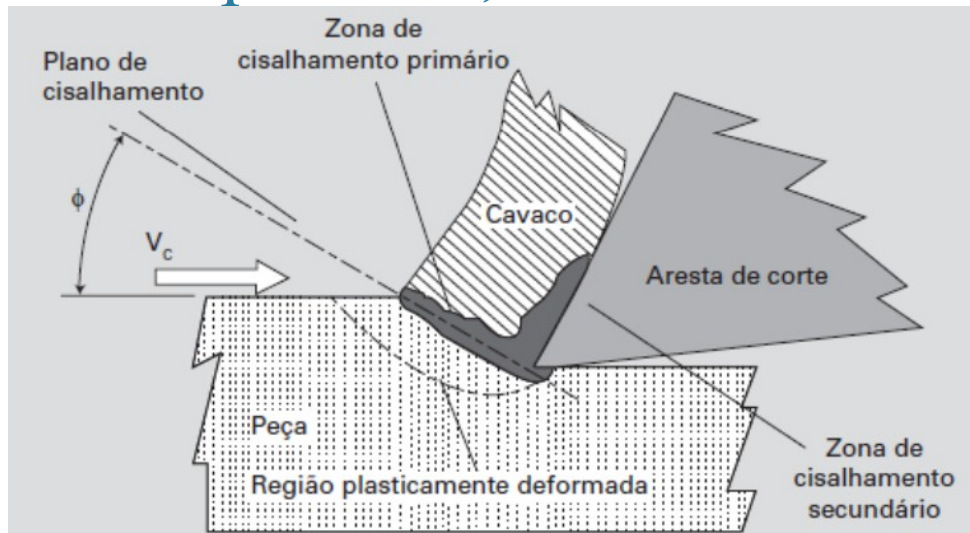


Figura 2: exemplificação do movimento de retirada de cavaco

2. Objetivo

Realizar o estudo do coeficiente de atrito e do ângulo de cisalhamento primário no torneamento dos aços AISI 316, AISI 410 e Superduplex 32760.

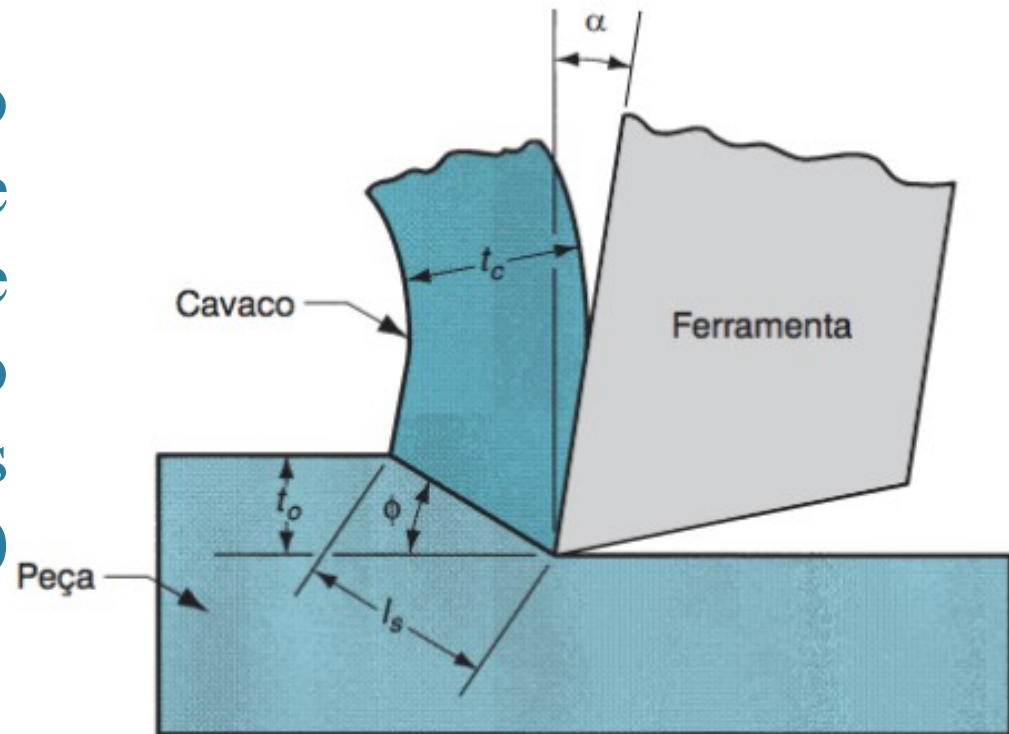


Figura 3: saída do cavaco com espessura de corte e do cavaco

3. Materiais

Tabela 1: Composição química dos aços inoxidáveis (% peso)

Aço	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N	W	Co
AISI 316	0,015	0,52	1,48	0,025	0,02	16,81	10,35	2,05	0,48	0,052	0	0,12
AISI 410	0,13	0,35	0,55	0,023	0,006	12,11	0,4	0,05	0,07	0,015	0	0,03
UNS S32760	0,014	0,4	0,6	0,02	0,001	24,97	6,9	3,65	0,59	0,25	0,52	0

Tabela 2: Propriedades mecânicas dos aços

Aço	Dureza (HB)	Tensão de escoamento (MPa)
AISI 316	178	605
AISI 410	143	563
UNS S32760	247	803

3. Materiais

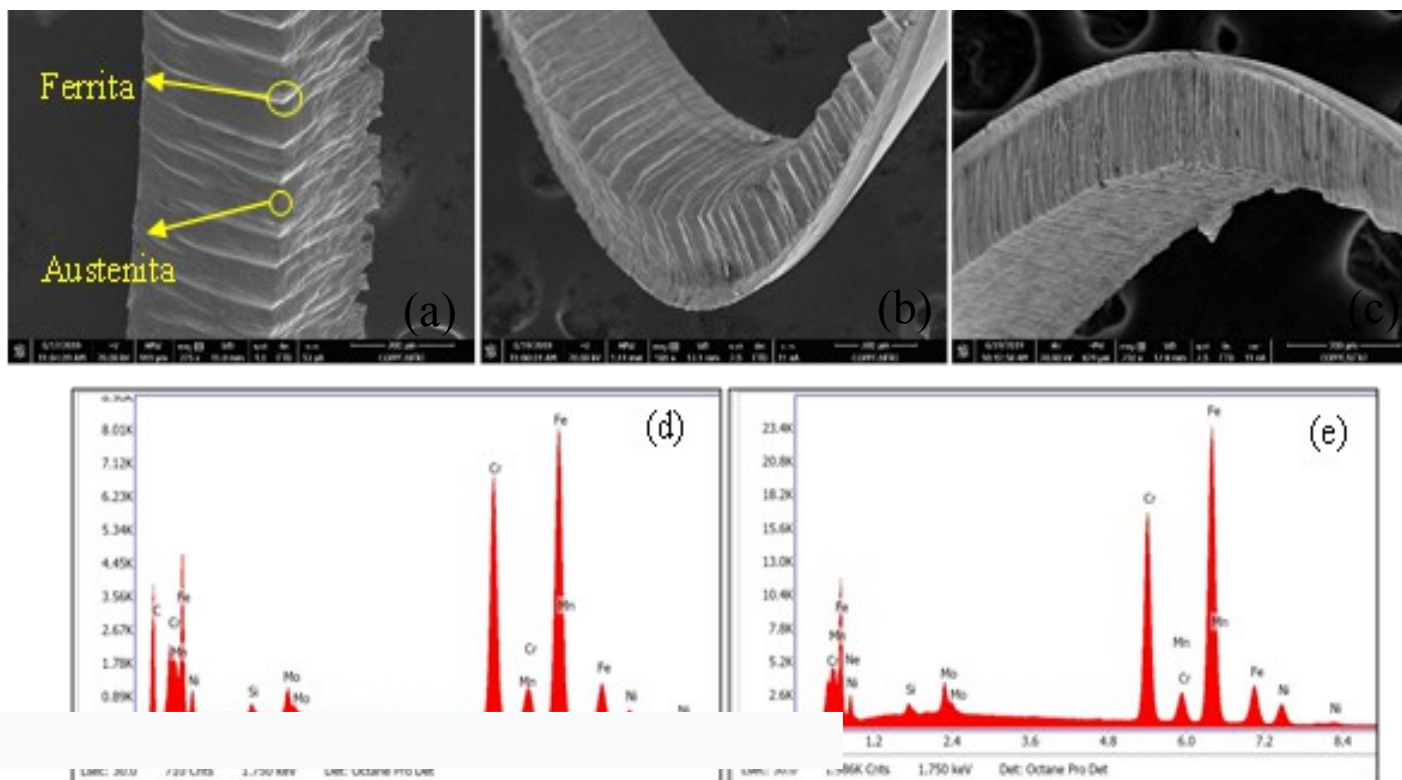


Figura 4: (a) aço superduplex UNS S 32760, (b) aço austenítico AISI 316, (c) aço ferrítico AISI 410, (d) e (e) EDS dos grãos de ferrita e austenita de aço superduplex.

4. Ferramenta e Equipamentos

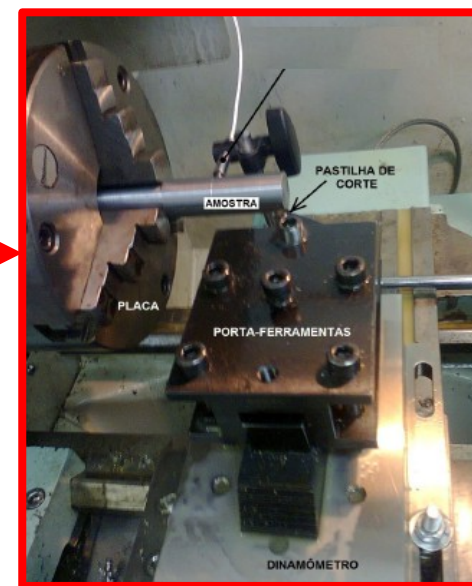
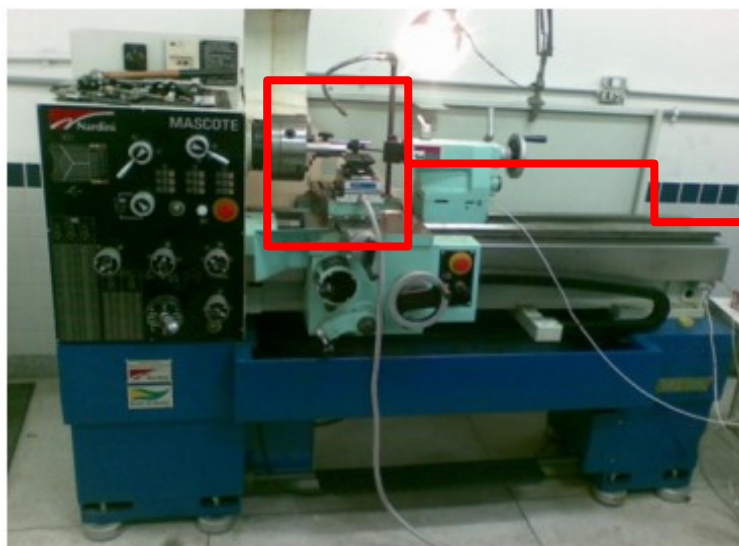
- A ferramenta de corte utilizada foi uma pastilha de metal duro com código TCMT110204 VP15TF da Mitsubishi Materials. O porta ferramenta foi o modelo S16R-STFCR-11.



Figura 5 : Ferramenta e suas especificações

4. Ferramenta e Equipamentos

Torno convencional Nardini, modelo Mascote MS 205 X 1000, Figura (2). Esta máquina ferramenta pertence ao Laboratório de Pesquisas em Usinagem (LABUS), do CEFET/RJ, Campus Maracanã.



Figuras 6: Vista geral do torno e detalhe da montagem do dinâmômetro (Nery, 2013)

5. Planejamento Experimental

Tabela 3: Planejamento experimental

Testes	Experimentos	Réplica	Avanço (mm)	Rotação (rpm)
1	D	2	0,199	800
2	A	3	0,094	500
3	A	1	0,094	500
4	D	1	0,199	800
5	B	1	0,199	500
6	C	3	0,094	800
7	C	1	0,094	800
8	B	3	0,199	500
9	B	2	0,199	500
10	A	2	0,094	500
11	D	3	0,199	800
12	C	2	0,094	800

Experimento	ft (mm)	n (rpm)
A	0,094	500
B	0,199	500
C	0,094	800
D	0,199	800

6. Resultados e discussões

Cálculo do coeficiente de atrito (μ) e ângulo de atrito (β) usando o modelo analítico de Merchant

$$F = F_c \sin \gamma + F_f \cos \gamma$$

$$N = F_c \cos \gamma - F_f \sin \gamma$$

$$\mu = \frac{F}{N} = \tan \beta$$

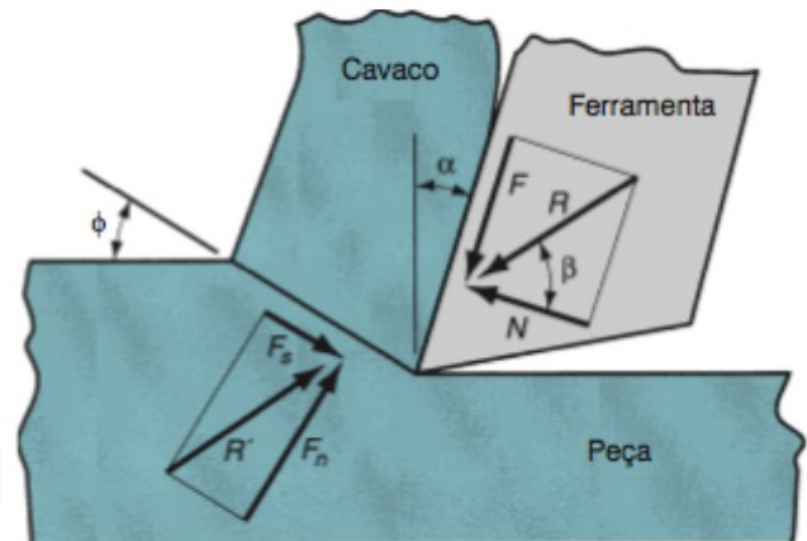


Figura 7: retirada do cavaco, forças e suas reações.

6. Resultados e discussões

Tabela 5. Resultados experimentais

	Inclinação (°)	Massa (g)	Forças (N)			Forças (N)			Forças (N)		
			F _c	F _p	F _f	F _c	F _p	F _f	F _c	F _p	F _f
	0,094	500	67.84	48.08	28.99	63.97	44.69	23.93	57.10	32.50	22.59
	0,199	500	107.26	72.04	31.75	109.93	76.76	29.11	94.23	69.17	28.70
	0,094	800	68.14	50.56	30.71	68.04	48.71	26.94	55.25	31.39	23.62
	0,199	800	101.63	72.90	30.39	92.55	65.29	22.09	77.77	50.00	23.12

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{F_c \sin \gamma + F_f \cos \gamma}{F_c \cos \gamma - F_f \sin \gamma} = \operatorname{tg} \beta$$

Tabela 6. Coeficiente de atrito (μ) e ângulo de atrito (β) usando

	0,094	500	0,5806	0,5208	0,5449	30,14	27,51	28,58
	0,199	500	0,4346	0,4006	0,4440	23,48	21,83	23,93
	0,094	800	0,6071	0,5452	0,5808	31,26	28,60	30,15
	0,199	800	0,4379	0,3704	0,4360	23,65	20,42	23,56

6. Resultados e discussões

$$\ln \mu = a_0 + a_1 \ln f_t + a_2 \ln V_c + a_3 \ln(f_t V_c)$$

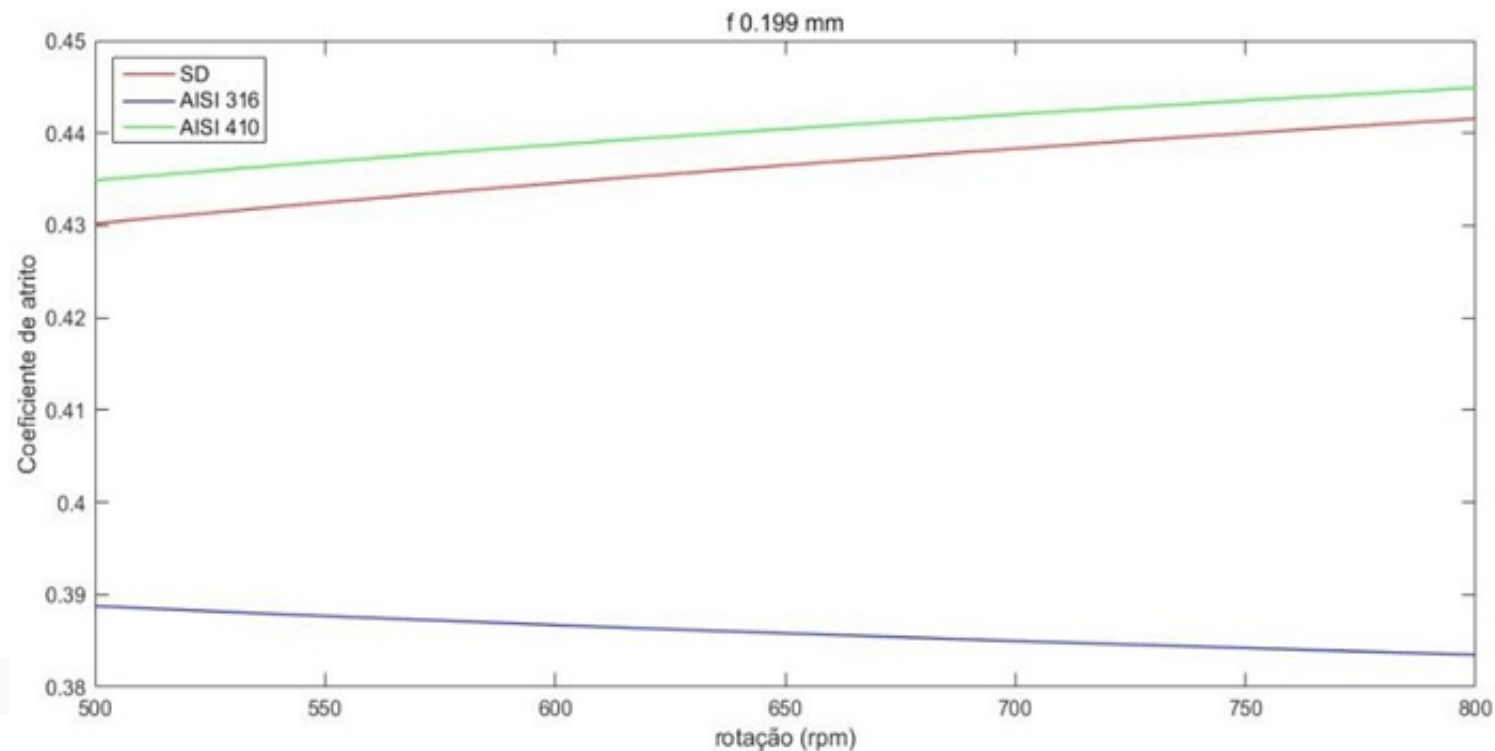
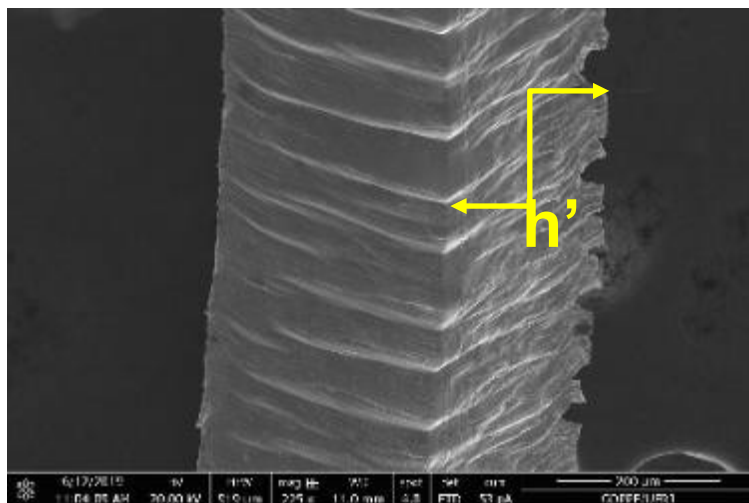


Figura 11: Evolução do coeficiente de atrito em função da rotação para o avanço 0,199 mm.

6. Resultados e discussões



$$R_c = h/h'$$

h : espessura de corte [avanço (f)]

h' : espessura do cavaco medido a partir de imagens no MEV e do software ImageJ (média de 10 medidas)

Tabela 7. Espessura do cavaco (h') e grau de recalque (R_c).

	0,094	500	0,1364	0,1382	0,1672	1,4511	1,4703	1,7790
	0,199	500	0,2009	0,2443	0,1835	1,0095	1,2278	*0,9220
	0,094	800	0,1825	0,1720	0,1960	1,9415	1,8302	2,0853
	0,199	800	0,2066	0,2038	0,1574	1,0382	1,0241	*0,7911

6. Resultados e discussões

Equações analíticas para cálculo do ângulo primário:

- $\phi_1 = \frac{R_1 - \cos \gamma}{1 - R_1 \sin \gamma}$ [Merchant]
- $\phi_2 = 45^\circ - \frac{\beta}{2} + \frac{\gamma}{2}$ [Ernst e Merchant, 1941]
- $\phi_3 = 45^\circ - \frac{\beta}{2} + \frac{\gamma}{2}$ [Lee e Shaffer, 1951]
- $\phi_4 = 45^\circ - \frac{\beta}{2} + \frac{\gamma}{2}$ [Hucks, 1951]
- $\phi_5 = 50^\circ - 0,8(\beta - \gamma)$ [Oxley, 1959]
- $\phi_6 = 45^\circ - \beta + \frac{\gamma}{2}$ [Stabler, 1951]

6. Resultados e discussões

Adicionar a Curva do
ângulo de
cisalhamento

7. Conclusões

- A baixa velocidade de corte diminui o coeficiente de atrito devido à tendência da aresta de corte a se formar e, como resultado, a menor área efetiva de contato entre o cavaco e a superfície de corte da ferramenta de corte
- Os aços inoxidáveis superduplex e ferríticos têm um coeficiente de atrito maior que o aço inoxidável austenítico AISI 316, independentemente das condições de usinagem;
- Os modelos de Ernst & Merchant e Oxley apresentaram valores do ângulo de cisalhamento primário dentro dos limites encontrados pela equação analítica que relaciona esse ângulo ao grau de reclaque;

8. Referências

- Ernst H, Merchant ME (1941) Chip formation, friction and high quality machined surfaces. *Surface Treatment of Metals*, ASM 29: 299–378
- Ferraresi, D. Fundamentos da usinagem dos metais. 1ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1970.
- JOSHI S., A. TEWARI, S. J. “Influence of Preheating on Chip Segmentation and Microstructure in Orthogonal Machining of Ti6Al4V”, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, v. 135, n. 6, pp. 1–11, 2013.
- Hao M. et al. Numerical and experimental investigation of the shear angle in high-speed cutting of Al6061-T6, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2019) 100:3037–3044
- Lee, E.H., Shaffer, B.W., 1951. The theory of plasticity applied to a problem of machining. *Trans. ASME* 73, 405–413.
- Machado et al.; *Teoria da Usinagem dos Materiais*. São Paulo: Editora Blucher, 2009
- Merchant ME (1945) Mechanics of the metal cutting process. I. Orthogonal cutting and a type 2 chip. *J Appl Phys* 16(5):267–275.
- Nery, W. S. Investigação experimental da variação da rugosidade com o aumento das forças de usinagem no torneamento. Ph.D. dissertation, CEFET/RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.
- Palmer, W. B., & Oxley, P. L. B. (1959). Mechanics of Orthogonal Machining. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 173(1), 623–654.

Agradecimentos

LU's

Laboratório de Usinagem



**Obrigada pela Atenção!
Perguntas?**

Marina Nogueira da Fonseca
marinanogueira97@gmail.com