

ANÁLISES DOS CAVACOS GERADOS DO PROCESSO DE TORNEAMENTO DO AÇO SAE 182 F22

¹Mauro Fiel do Valle Júnior, ²Icaro Alves Chairadia, ²Samuel Dias dos Santos,
²Alexandre Honorato Muella Peixoto, Gabriel Augusto do Prado
Raymundo, ¹Emerson Augusto Raymundo

FATEC de Pindamonhangaba, Rodovia Vereador Abel
Fabrício Dias, 4010, Água Preta – Pindamonhangaba/SP
122445-010, Brasil, maurofieljr@hotmail.com, icaro_chairadia@hotmail.com,
samueldias1895@gmail.com, alexandre.peixoto01@fatec.sp.gov.br,
Gabriel.raymundo@fatec.sp.gov.br, emerson.raymundo2@fatec.sp.gov.br

Resumo

Este trabalho investigou a morfologia dos cavacos gerados no torneamento da liga SAE 182 F22, amplamente empregada na indústria de petróleo. As micrografias revelaram que a fase perlítica apresenta morfologia idiomórfica no material como recebido, favorecendo a plasticidade e a formação de cavacos contínuos do tipo helicoidal, adequados em termos de produtividade. Durante o processo, observaram-se alterações na zona de fluxo em contato com a ferramenta, com redução da fração perlítica e mudanças morfológicas associadas ao calor de corte e à deformação plástica. Já na região rugosa dos cavacos, identificou-se aglomeração perlítica e concentração de cementita, fenômeno que promove encruamento localizado e fragmentação dos cavacos, auxiliando na usinabilidade. Os resultados confirmam que os parâmetros de corte adotados estão próximos do ideal, garantindo boa qualidade superficial e eficiência do processo. Perspectivas futuras incluem o uso de processamento digital de imagens para maior precisão na análise microestrutural, visando à otimização produtiva e econômica da usinagem.

Palavras-chave: Torneamento. Processamento e Análise de Imagens. Usinagem.

Área do Conhecimento: (Engenharias de Materiais e Metalúrgica e Engenharia Mecânica)

Introdução

Segundo Ferrarese (1977), o estudo experimental da usinagem é de essencial importância, pois a teoria da plasticidade não permite explicar satisfatoriamente os fenômenos observados. No processo de formação do cavaco, as velocidades e as deformações que ocorre são muito grandes, comparadas com aquelas tratadas na teoria da plasticidade.

Durante o processo de usinagem é importante conhecer o comportamento de vários fenômenos ou parâmetros, tais como desgaste da ferramenta, aresta postiça de corte, calor gerado, velocidade de corte, avanço, profundidade de corte, etc., e para se obter cientificamente uma explicação para o comportamento desses fatores é necessário um estudo minucioso do processo de formação do cavaco (Diniz, 2000).

Os aços-carbonos, possuem uma composição com quantidades limitadas dos elementos carbono, manganês, silício, enxofre, cobre e fósforo. Outros elementos aparecem apenas em quantidade de resíduos. A quantidade de carbono mostra qual a sua classificação, o aço com baixo carbono possui no máximo 0,30% de carbono, o médio possui entre 0,30% e 0,60% de carbono e o alto carbono, possui de 0,60% a 1,00%. Os aços são ligas ferro-carbono que podem conter concentrações apreciáveis de outros elementos de ligas. Existem ligas que possuem diferentes composições e tratamento térmico. As propriedades mecânicas são sensíveis ao teor de carbono normalmente inferior a 1% (CALLISTER, 2002). Cada vez mais tem-se buscado os aços com pequenas concentrações de elementos de ligas, porém com vários elementos adicionados, são chamados de aços de alta resistência e baixa liga, ARBLs, esses aços estão sendo muito utilizados nas indústrias de petróleo com as devidas normas. Por exemplo, o aço A182 F22 é utilizado na indústria offshore em condição normalizada. O mais

interessante desta aplicação por conta da necessidade este aço é forjado e depois normalizado para que se tenha um acabamento uniforme e grãos refinados. Para evitar o crescimento dos grãos dificultando o refino na normalização o aço é conduzido a uma temperatura logo acima da linha crítica A3. Isso resulta em grãos finos de austenita nucleação, bem como a dissolução de carbonetos formados durante resfriamento do forjamento (GARCIA et.al, 2019).

Segundo Dantas et. al. (2006), o aço ASTM A182 F22 foi projetado para aplicações em altas temperaturas, especialmente para plataformas de produção petrolífera offshore (fora da terra), sendo normalmente utilizado em aplicações sob pressão como em válvulas, flanges, cabeças de poço e conectores. Para tal aplicação, é necessário que o material utilizado possua certos valores de propriedades mecânicas que possam resistir às elevadas pressões as quais são submetidas.

Os programas de processamentos envolvem simples operações com pixels, em que alteração em um determinado pixel depende dos pixels vizinhos. Um potencial de variedades de métodos de processamento de imagens utiliza operações de multipixels, em que cada pixel final é alterado por contribuições de um número de pixels adjuntos de entrada (Spring & Inoué, 1997).

Metodologia

O material analisado neste estudo é proveniente de uma empresa do setor de equipamentos destinados à exploração de petróleo, área que exige elevada confiabilidade estrutural e desempenho mecânico. O material em questão é o aço SAE 182 F22, classificado como um aço de Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL). Esse tipo de aço caracteriza-se por apresentar combinação equilibrada entre resistência mecânica, tenacidade e soldabilidade, fatores decisivos para sua ampla utilização em componentes submetidos a ambientes severos, como os da indústria petrolífera. A liga F22, em particular, contém elementos de liga como cromo e molibdênio, que conferem maior resistência à fluência, à corrosão em meios agressivos e ao amolecimento em altas temperaturas. Essas propriedades tornam o material adequado para a fabricação de peças críticas, incluindo válvulas, conexões, cabeçotes e componentes de tubulação utilizados em operações de extração e transporte de petróleo. Além disso, o seu comportamento metalúrgico garante boa resposta a tratamentos térmicos, permitindo ajustes direcionados de dureza e tenacidade conforme a aplicação.

A composição química detalhada do aço SAE 182 F22 encontra-se apresentada na Tabela 1, constituindo base fundamental para compreender os mecanismos microestruturais observados durante o processo de usinagem.

Tabela 1-Composição química do aço SAE 182 F22

Elemento	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Al	Cu
%peso	0,11	0,30	0,015	0,015	0,50	2,00a	0,87 ^a	0,055	0,35
	a	a	max	max	max	2,50	1,13	max	max
	0,15	0,60							
Elemento	Nb	B	N	Ca	H	Fe	Ni	Ti	V
%peso	0,010	0	0,012	0,005	2	base	0,50	0,010	0,010
	max		max	max	ppm		max	max	max

Fonte: Empresa

O processo de usinagem adotado neste estudo consistiu no torneamento, realizado com o emprego de uma pastilha de metal duro. A ferramenta utilizada, apresentada na Figura 1, corresponde ao código ISO CNMG 90612, Classe KCP25C. Trata-se de uma pastilha amplamente aplicada na usinagem de materiais de dureza intermediária, devido à sua geometria de corte balanceada e ao revestimento projetado para garantir elevada resistência ao desgaste. Essa classe de ferramenta apresenta boa estabilidade térmica e resistência ao entalhe, características que permitem maior vida útil da aresta de corte e desempenho consistente em operações contínuas de torneamento. Além disso, a utilização desse tipo de pastilha está associada à obtenção de acabamento superficial satisfatório e maior confiabilidade no processo, aspectos fundamentais quando se trata de materiais empregados em componentes críticos para a indústria de petróleo.

Figura 1 - Imagem da caixa com as ferramentas utilizadas

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO



Fonte: Autores

A operação de torneamento foi realizada em um torno vertical CNC multitarefas, modelo Giddings & Lewis VTC 2500, equipamento que se destaca pela robustez estrutural e pela capacidade de usinar componentes de grandes dimensões com elevada precisão. Este tipo de máquina é amplamente empregado em setores industriais de alta exigência, como o de petróleo e energia, devido à sua versatilidade na execução de operações de desbaste e acabamento em peças de grande porte.

Os parâmetros de corte utilizados no ensaio foram estabelecidos de forma aproximada, considerando as condições geométricas da peça, as propriedades do material e a capacidade da ferramenta de corte. Esses valores, fundamentais para a análise do processo, estão organizados na Tabela 2, apresentada adiante, servindo como referência para correlacionar o desempenho do torneamento às transformações microestruturais observadas nos cavacos.

Tabela 2 - Parâmetros de usinagem utilizados.

Parâmetros de corte	Velocidade (m/min)	Avanço (mm)	Profundidade usinagem (mm)	Rotação (rpm)
Valores	100	0.5	5 mm	30

Fonte: Autores

O presente trabalho teve como objetivo analisar a usinagem do aço SAE 182 F22, correlacionando o processo de torneamento com a formação e a morfologia dos cavacos. Para isso, os cavacos gerados foram coletados diretamente durante a usinagem e posteriormente classificados segundo sua forma geométrica e tipo, conforme critérios usuais de usinabilidade. A fim de aprofundar a caracterização, empregou-se a metalografia como técnica auxiliar, permitindo a identificação das transformações microestruturais associadas ao processo. Os cavacos selecionados foram submetidos ao processo de embutimento a quente no laboratório de metalografia da FATEC de Pindamonhangaba-SP, seguindo o procedimento convencional de preparação metalográfica. Em seguida, as amostras foram lixadas, polidas e submetidas a ataque químico com solução de nital a 3%, visando revelar as fases constituintes e as modificações microestruturais induzidas pela usinagem. As análises foram realizadas em microscopia óptica, possibilitando a obtenção de micrografias representativas.

A partir das imagens obtidas, tornou-se possível estabelecer correlações entre os parâmetros de corte empregados, o mecanismo de formação dos cavacos e as transformações microestruturais observadas, fornecendo subsídios técnicos relevantes para a avaliação da usinabilidade do material e para a compreensão dos fenômenos envolvidos no processo de torneamento.

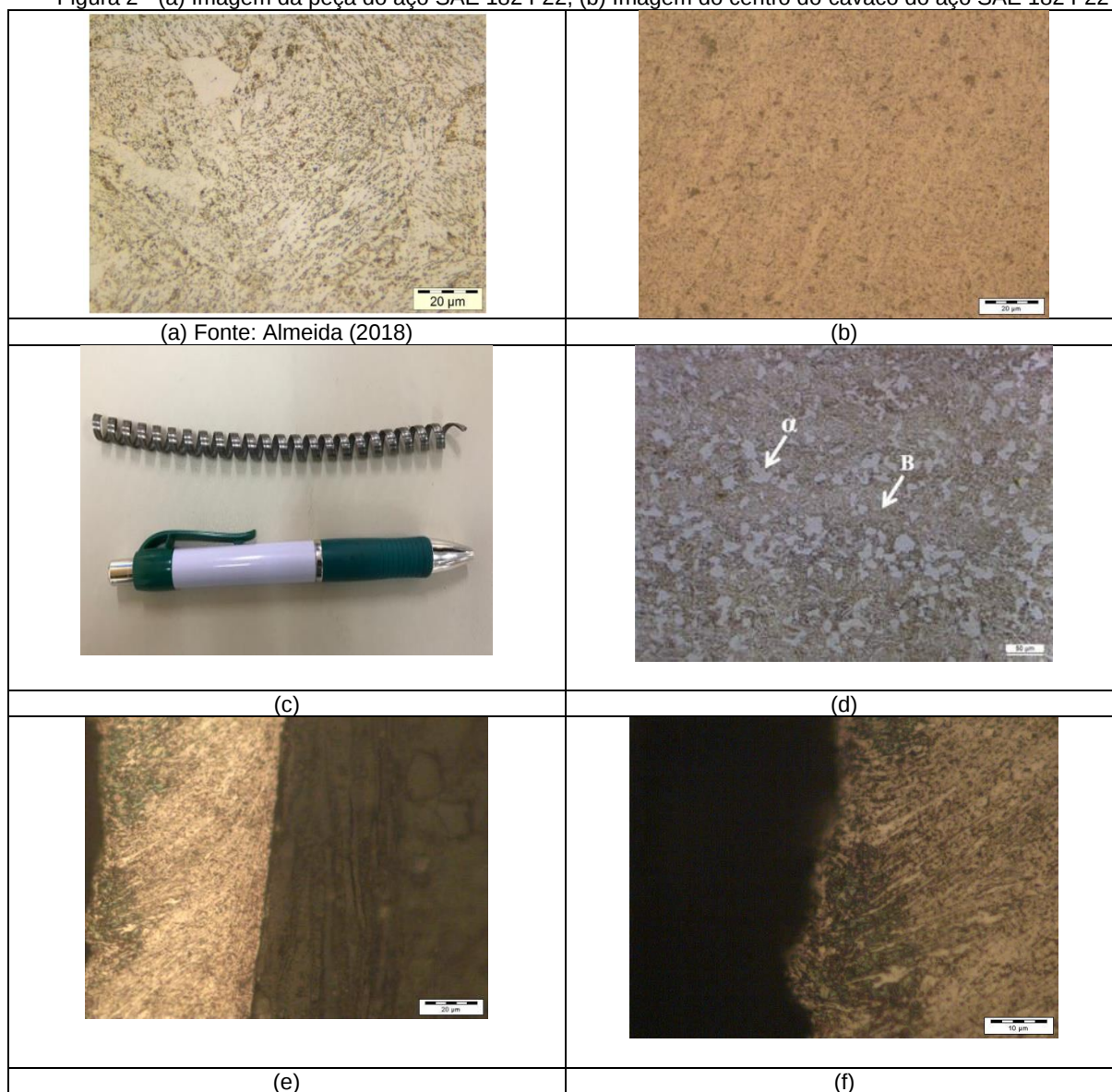
Resultados

Conforme descrito na metodologia, as imagens apresentadas a seguir ilustram inicialmente uma micrografia de referência do aço em estudo. Em seguida, nas Figuras (b) e (d), são mostradas as microestruturas do material no estado como recebido, reveladas por meio de ataque químico. As demais imagens correspondem aos cavacos obtidos durante o torneamento, contemplando tanto a análise de sua forma e tipo geométrico quanto as micrografias obtidas em duas regiões distintas: a face

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

rugosa, resultante do mecanismo de cisalhamento e desprendimento, e a zona de fluxo, localizada na interface de contato com a ferramenta de corte.

Figura 2 - (a) Imagem da peça do aço SAE 182 F22, (b) Imagem do centro do cavaco do aço SAE 182 F22



Fonte: Autores

Discussão

A análise metalográfica e morfológica dos cavacos provenientes do torneamento da liga SAE 182 F22 permitiu compreender de forma detalhada os mecanismos microestruturais associados ao processo de usinagem desse aço de elevada resistência. Inicialmente, as imagens (b) e (d), referentes ao material no estado como recebido, evidenciam a presença das fases ferrita (α) e perlita (β), sendo esta última predominantemente constituída por lamelas de cementita dispostas de forma idiomórfica. Essa configuração morfológica contribui para o aumento da ductilidade global do material, pois a disposição regular da cementita na matriz ferrítica facilita o movimento dos planos de discordâncias, reduzindo a energia necessária para a propagação da deformação plástica. Esse efeito, frequentemente descrito em estudos de estereologia de aços de baixo carbono, justifica o comportamento dúctil observado durante a formação dos cavacos.

A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO**

A micrografia apresentada na Figura 2(c) confirma a predominância de cavacos contínuos, típicos de materiais dúcteis e de menor dureza, como os aços da série SAE 10xx. A geometria helicoidal dos cavacos observados é considerada ideal do ponto de vista industrial, pois, além de garantir maior estabilidade dimensional da peça, favorece a eficiência produtiva e reduz os custos associados ao manuseio e à evacuação de cavacos. Esse comportamento está alinhado com a literatura clássica de usinagem, que associa a formação de cavacos helicoidais contínuos à combinação de ductilidade do material e parâmetros de corte adequados, especialmente profundidade e velocidade de corte.

Ao analisar especificamente as regiões do cavaco, a imagem (e), correspondente à zona lisa em contato direto com a ferramenta (zona de fluxo), revelou modificações significativas na fração de fases. A proporção ferrita-perlita, inicialmente próxima de 50%, mostrou-se alterada pela redução da quantidade de perlita, possivelmente em decorrência do intenso gradiente térmico imposto pelo atrito cavaco-ferramenta. A concentração de calor nessa região pode ter promovido transformações locais de dissolução parcial da cementita e modificação da morfologia idiomórfica original para uma característica allotriomórfica, menos estável. Este fenômeno é compatível com a literatura sobre usinagem de aços ARBL (Alta Resistência e Baixa Liga), na qual a geração localizada de calor favorece transformações microestruturais transitórias que, embora restritas ao cavaco, evidenciam a severidade do processo.

A análise da imagem (f), referente à face rugosa do cavaco (zona de recalque), indicou maior concentração de cementita e presença de aglomerados perlíticos pouco definidos, associados a frações residuais de ferrita. Esse arranjo heterogêneo é atribuído à intensa deformação plástica instantânea durante o cisalhamento e desprendimento do cavaco. Em materiais dúcteis, tal mecanismo favorece a formação de uma estrutura compacta de múltiplas fases, que tende ao encruamento localizado. Esse encruamento, ao acumular discordâncias, atua como mecanismo auxiliar para a fragmentação espontânea dos cavacos, aumentando a eficiência da usinagem. Do ponto de vista prático, a fragmentação é desejável, uma vez que reduz o risco de enroscamento de cavacos longos e melhora as condições de operação, fator crítico em peças de grande porte utilizadas na usinagem de componente da indústria de exploração de petróleo.

Outro aspecto relevante é a correlação entre os parâmetros de corte aplicados e os resultados microestruturais observados. Em função do grande diâmetro da peça, foram utilizadas rotações e velocidades de corte relativamente baixas, embora associadas a uma profundidade de corte elevada. Essa combinação promoveu a formação de cavacos contínuos, mas em condição controlada, sem comprometimento da integridade da ferramenta. A geometria da ferramenta, caracterizada por ângulo de ponta reduzido e incorporação de quebra-cavacos, também contribuiu significativamente para a estabilidade do processo, equilibrando a necessidade de desbaste com a preservação da qualidade superficial. Ressalta-se que, em materiais de elevada ductilidade como o SAE 182 F22, a ausência de quebra-cavacos poderia resultar na formação de cavacos longos e contínuos de difícil manejo, aumentando o risco de desgaste irregular da ferramenta.

Finalmente, é importante destacar que o comportamento observado é compatível com as propriedades intrínsecas do material classificado como ARBL. O desempenho durante o torneamento foi adequado e dentro do esperado, demonstrando que, mesmo em condições severas de usinagem, a combinação entre parâmetros de corte, propriedades microestruturais e geometria da ferramenta permite alcançar produtividade satisfatória sem comprometer a integridade da peça ou da ferramenta. Contudo, ressalta-se que desvios nesses parâmetros poderiam induzir desgaste acelerado ou falhas prematuras, o que reforça a necessidade de controle rigoroso do processo para garantir desempenho confiável em escala industrial.

Conclusão

O presente estudo permitiu avaliar, de maneira detalhada, a influência da microestrutura na formação de cavacos durante o processo de torneamento da liga SAE 182 F22, amplamente utilizada em componentes críticos da indústria de petróleo. As análises micrográficas mostraram que a condição inicial do material, caracterizada pela presença de ferrita e perlita em proporções próximas, apresenta morfologia idiomórfica da cementita, favorecendo tanto a plasticidade quanto a dissipação controlada de deformações. Este comportamento foi diretamente refletido na formação de cavacos contínuos do tipo helicoidal, adequados do ponto de vista de usinabilidade e produtividade.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

A análise das zonas específicas dos cavacos revelou transformações importantes na região de fluxo em contato com a ferramenta, verificou-se alteração da morfologia perlítica e redução da fração desta fase, fenômeno atribuído ao aquecimento local e ao gradiente térmico imposto pela usinagem. Já na região rugosa, observou-se concentração de cémentita e aglomeração perlítica com ferrita, resultado da intensa deformação plástica e encruamento localizado. Esses mecanismos, embora restritos ao cavaco, fornecem informações valiosas sobre a severidade do processo de corte e a interação entre parâmetros de usinagem e propriedades do material. Do ponto de vista tecnológico, os resultados confirmam que os parâmetros de corte atualmente empregados pela empresa se encontram adequados, assegurando tanto a integridade superficial da peça quanto a estabilidade operacional. A combinação entre profundidade de corte elevada, velocidade moderada e geometria apropriada da ferramenta demonstrou ser eficiente para este tipo de aço ARBL, conciliando a necessidade de produtividade com o controle do desgaste da ferramenta. Destaca-se ainda que a fragmentação parcial dos cavacos, induzida pela morfologia observada, representa vantagem prática significativa ao facilitar a evacuação do material e reduzir riscos de falha durante a operação.

Contudo, o estudo também evidencia a necessidade de análises complementares. Aspectos como vida da ferramenta, rugosidade superficial final, forças de corte e custos associados à troca de ferramentas não foram contemplados nesta etapa, mas constituem variáveis críticas para uma avaliação completa da usinabilidade do aço SAE 182 F22. Recomenda-se, portanto, a continuidade desta pesquisa por meio de metodologias integradas, como o uso de processamento digital de imagens para quantificação estereológica, análise de desgaste de ferramenta em tempo real e modelagem matemática do processo de formação de cavacos. Em síntese, este trabalho demonstra que a análise microestrutural dos cavacos não apenas confirma a adequação dos parâmetros de corte utilizados, mas também se apresenta como ferramenta estratégica para otimização do processo, fornecendo subsídios tanto para ganhos de produtividade quanto para o aumento da confiabilidade operacional em setores industriais de alta exigência, como o de exploração de petróleo.

Referências

- FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1970. 751 p.
- CALLISTER JUNIOR, William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 589 p
- Diniz, A.E. Marcondes, F. C, Coppini, N.L., **Tecnologia da Usinagem dos Metais**, Editora Art. Liber, São Paulo, 2000.
- GARCIA, A. et al. **Solidificação: fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Unicamp, 2019.
- DANTAS, A. B. et al. **Materiais para aplicações em ambientes agressivos: o aço ASTM A182 F22**. Revista Matéria, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 157-166, 2006.
- Spring, K., Inoué, S., **Video microscopy the fundamentals**. 2nd. ed. New York: Plenum Press, 1997.

Agradecimentos

Agradeço aos funcionários da FATEC de Pindamonhangaba em especial aos técnicos Senhores Laerte Luiz, Maisa Ramos Pinto, e Renner Washington Mariano dos Santos.