

2

Revisão Bibliográfica

Este capítulo visa apresentar o estado da arte da modelagem numérica do corte de metais e rochas utilizando o Método dos Elementos Finitos (MEF). Na literatura é encontrado um grande número de trabalhos que tratam do tema da modelagem numérica de corte em metais, porém, poucos trabalhos abordam a modelagem numérica de corte em rochas. Com relação ao corte de metais, apenas os trabalhos que utilizaram o MEF, como ferramenta numérica, são apresentados neste trabalho. No corte de rocha, devido ao pequeno número de trabalhos, os mais recentes serão descritos neste capítulo. A revisão abordará a metodologia empregada no desenvolvimento da pesquisa, conclusões e os principais resultados obtidos pelos autores.

2.1

Simulação de corte em metais através do método dos elementos finitos:

2.1.1

Simulação com elementos finitos do processo de formação de cavacos na usinagem de aço ISI 1045 considerando alta velocidade

Duan et al. (2009) apresentaram um trabalho que trata da simulação numérica da formação de chips segmentados utilizando o programa comercial de elementos finitos Abaqus. O trabalho teve como objetivo avaliar a influência que a formação dos chips exerce nas forças de corte, geração de temperatura e outros fatores.

O processo de usinagem com alta velocidade é altamente não-linear (material e geométrica) e apresenta um processo complexo de contato entre a peça e a ferramenta.

Neste trabalho foi utilizada a lei constitutiva visco-plástica de Johnson & Cook. O modelo é dependente da taxa de deformação, estado de tensão e da temperatura.

A Figura 2 mostra a malha de elementos finitos utilizada nas simulações numéricas. A malha é composta de elementos de quatro nós bilineares e foi utilizado um esquema de integração reduzida (CPE4R).

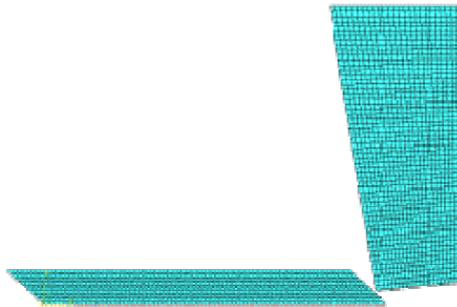


Figura 1.1: Malha de elementos finitos utilizada para discretizar o problema de corte (Duan et al. 2009).

Ensaio de usinagem em um torno mecânico foram realizados utilizando o aço AISI 1045 para obtenção das forças de usinagem e amostras dos chips foram preservadas para a comparação com os modelos numéricos.

Os resultados das comparações entre a morfologia do chip obtida da simulação numérica e dos ensaios experimentais, para três diferentes ângulos da ferramenta, foram apresentados. Resultados das comparações entre as simulações numéricas e os ensaios experimentais de forças de corte para três inclinações foram também apresentadas.

2.1.2 Estudos do efeito termo-mecânico na formação de chips durante o processo de usinagem

Mabrouki e Rigal (2005) realizaram estudos dos efeitos termo – mecânicos na morfologia dos chips utilizando o programa Abaqus. O estudo, que empregou o aço AISI 4340, mostrou que a formação dos chips segmentados é resultante do fenômeno de amolecimento (softening). Segundo os autores, o início da formação do chip segmentado é ocasionado pelo cisalhamento adiabático na ponta da

ferramenta. Na simulação numérica, o calor na peça é gerado somente pela deformação do material e pelo atrito.

Neste trabalho, os autores propuseram um estudo paramétrico que trata da influência da variação das propriedades térmicas, tais como a condutância no contato e a fração de trabalho por atrito convertido em calor na interface ferramenta/peça.

No trabalho foram utilizadas dois modelos para considerar o efeito da temperatura: adiabático e acoplamento temperatura–tensão. Um esquema de malha adaptativa foi adotado, pois um processo de usinagem resulta em grandes deformações do modelo.

A malha utilizada na simulação numérica é apresentada na Figura 6. Esta malha representa um modelo de corte ortogonal.

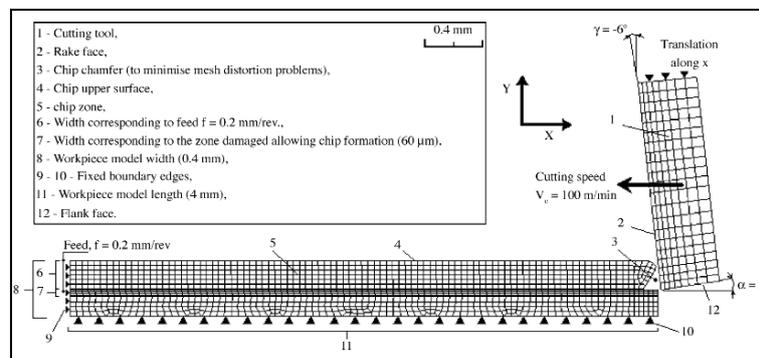


Figura 2.2: Malha utilizada para a simulação de corte (Mabrouki e Rigal, 2005).

A lei constitutiva visco-plástica de Johnson & Cook também foi utilizado para estudar o comportamento do material da peça (aço AISI 4340).

Resultados numéricos foram obtidos considerando o efeito da temperatura para o caso adiabático e acoplamento térmico–tensão. Nos resultados adiabáticos pode-se observar a localização do amolecimento térmico, que aumenta a ductilidade do material.

O efeito da morfologia do chip na variação na força de corte é mostrado na Figura 8. Após o tempo de 0.32 ms, a força de corte apresenta uma oscilação que corresponde a frequência de formação do chip segmentado.

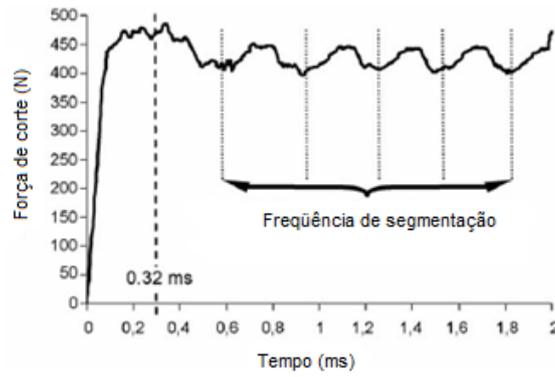


Figura 2.3: Variação da magnitude da força de corte (Mabrouki & Rigal, 2005).

Esta variação cíclica da magnitude da força pode envolver um comportamento da fadiga da ferramenta, e então causar danos nela (fratura, desgaste, etc.). Em particular, as variações de força podem induzir irregularidades na superfície usinada na direção da velocidade de corte.

2.1.3 Simulação da usinagem de peças endurecidas

Eu-Gen e Aspinwall (2002) apresentaram simulações numéricas de usinagem em alta velocidade de aços endurecidos utilizando o programa Abaqus. O trabalho utiliza o critério de dano por cisalhamento, assim, os elementos que atingirem o dano são removidos da malha. Um esquema de malha adaptativa foi empregado para considerar as grandes deformações resultantes do processo de corte.

Na Figura 14 são mostradas a geometria do modelo, a malha de elementos finitos utilizada para discretizar o modelo e as condições de contorno adotadas.

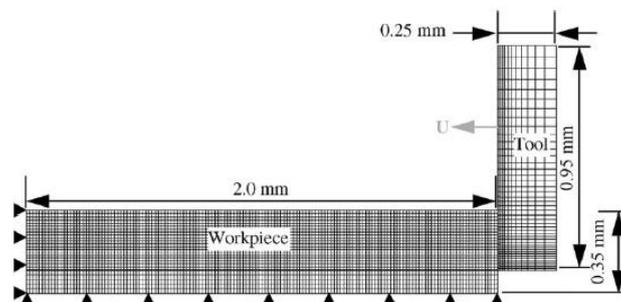


Figura 2.4: Malha e condições de contorno do modelo (Eu-Gen & Aspinwall, 2002).

A lei constitutiva visco-plástica de Johnson & Cook também foi utilizado para estudar o comportamento do material da peça (aço AISI 4340).

Através da simulação numérica, os autores produziram dois tipos de chips, chips contínuos e segmentados, que são apresentados na Figura 15. Os resultados de campo de temperatura e do estado tensão dos dois casos foram comparados.

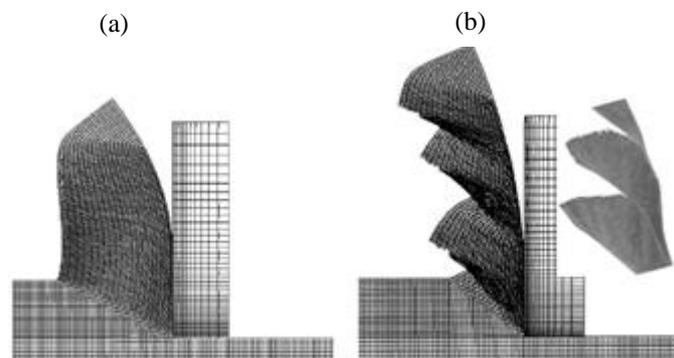


Figura 2.5: Malha de elementos finitos para (a) chip contínuo e (b) chip segmentado. Do lado direito da malha (b) está uma fotomicrografia de uma secção de um chip real. (Eugene & Aspinwall, 2002).

Dados experimentais da morfologia do chip e das forças de corte foram utilizados para avaliar e validar o modelo.

2.2

Simulação de corte em rochas através do método dos elementos finitos:

2.2.1

Simulação numérica do corte e da geração de calor durante corte linear em rocha:

Mishra e Khair (2005) realizaram a simulação numérica do processo de corte em rocha para: avaliar a geometria ideal da ferramenta de corte, tornar o processo mais eficiente e reduzir a geração de partículas.

O processo de corte em rocha é muito complexo, sendo difícil a previsão da intensidade e da distribuição das fontes de calor resultantes. O calor gerado no processo de corte tem influência crítica sobre a ferramenta de corte e também afeta as propriedades da rocha. No trabalho foram apresentadas as simulações

numéricas do processo de corte utilizando o programa Abaqus para otimização do projeto das ferramentas.

O processo de corte linear de rocha foi utilizado para determinar as forças de corte. Um projeto ideal da ferramenta de corte exige uma análise da interação ferramenta/rocha. Estudos recentes mostraram que a fragmentação de rochas frágeis exige pouca penetração da ferramenta, enquanto que para materiais dúcteis, que apresentam significativa deformação plástica antes do início da fratura, necessitam de uma maior penetração.

Os resultados obtidos através da simulação numérica foram analisados e comparados com resultados experimentais. O processo de corte linear em rocha foi simulado numericamente considerando o problema 2D e 3D. Estas simulações foram realizadas para determinar a temperatura exata em que ocorre o desgaste das ferramentas.

As Figuras 18 e 19 abaixo mostram os modelos 2D e 3D, respectivamente.

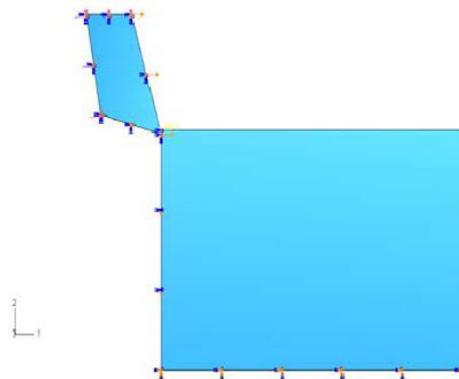


Figura 2.6: Modelo 2D de corte linear (Mishra & Khair, 2005).

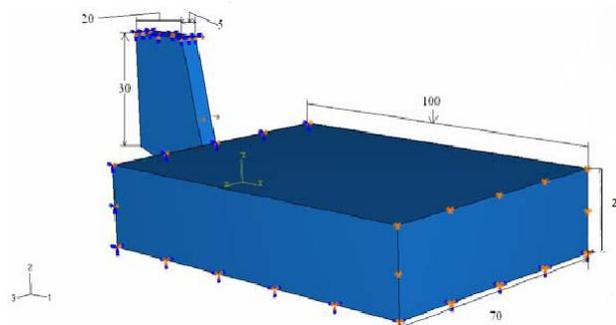


Figura 2.7: Modelo 3D de corte linear (Mishra & Khair, 2005).

Os modelos 2D e 3D foram simulados utilizando elementos que possuem propriedade de transferência de calor, assim o processo de transferência de calor na ferramenta foram avaliados.

2.2.2

Simulação numérica de corte em rocha utilizando o programa LS-DYNA.

Jaime et al. (2010) apresentaram um estudo de corte através de um cortador de diamante policristalino, que representa um desafio em termos de simulação numérica utilizando o MEF.

Os autores utilizaram neste trabalho um programa de elementos finitos chamado LS-DYNA. Inicialmente, o estudo avaliou as vantagens e desvantagens de várias abordagens do problema de grandes deformações, que vão desde a formulação Euleriana até a formulação ALE (Arbitraria Lagrangiana Euleriana), passando pela formulação de Lagrange. Estas diferentes abordagens numéricas são avaliadas em termos de sua capacidade de dar uma medição razoável das forças de corte e avaliação do processo de fragmentação da rocha. O modelo foi desenvolvido após vários ensaios em um single cutter. Assim, os autores conseguiram modelar com sucesso as diversas fases de fratura e fragmentação no corte da rocha.

No trabalho foi utilizada um esquema chamado de erosão dos elementos da malha de elementos finitos para simular a fratura da rocha, sem a utilização de elementos especiais, uma vez que os planos de fratura não são conhecidos a priori.

Os autores avaliaram as possibilidades e as limitações das abordagens Euleriana e ALE para a simulação de grandes deformações do problema de corte em rocha. Os estudos indicaram a utilização da abordagem Lagrangiana para a simulação do corte em rocha e problemas associados ao início da propagação de fraturas.

O trabalho apresenta uma tentativa de fazer a simulação numérica do corte em rocha utilizando uma lei constitutiva de concreto. Os resultados da simulação foram capazes de representar o comportamento frágil da rocha, como era esperado.

2.2.3 Simulação numérica de perfuração e corte em rocha.

Tulu et al. (2008) apresentaram um estudo paramétrico utilizando o programa de diferenças finitas FLAC3D de um cortador simples PDC interagindo com uma amostra de rocha. As simulações numéricas investigaram o efeito de vários parâmetros geológicos e de perfuração no processo de corte e perfuração, com objetivo de otimizar a taxa de penetração (ROP = rate of penetration) em ambientes de alta pressão e alta temperatura (HPHT = High pressure high temperature).

A Figura 28 mostra o grid de diferenças finitas utilizada para discretizar a rocha e o cortador. A Figura 28 a) mostra a vista frontal do modelo, a Figura 28 b) a vista superior e a Figura 28 c) a vista frontal do cortador.

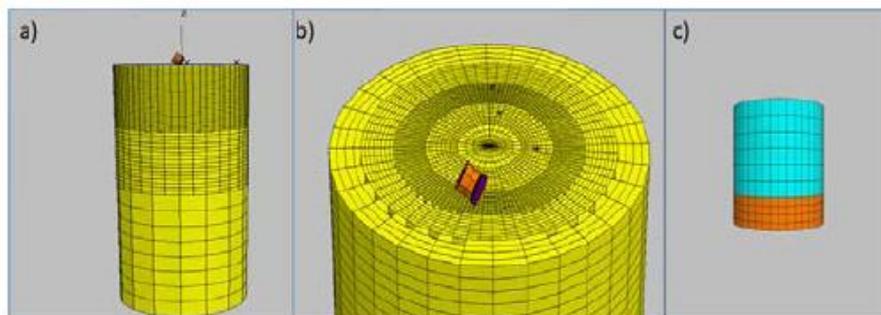


Figura 2: Geometria do Modelo. (Tulu et al. 2008)

No trabalho foram analisados um arenito e um folhelho com três diferentes profundidades de corte (taxas de penetração), porém as propriedades geométricas foram consideradas idênticas (comprimento, diâmetro da mostra, espessura e diâmetro do cortador e ângulo de corte).