

Metodologia da Pesquisa – PPGCA, 2020s1.

S3: Uma dissertação/tese sobre o seu tema.

Danilo Gonçalves de Oliveira¹

¹PPGCA – Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

- Objetivo:** Produzir uma resenha crítica sobre o texto.
- Meu tema:** Reduzir o desgaste dos cilindros de encosto do Laminador de Tiras a Frio da ArcelorMittal Vega através da otimização da curva de CVC.
- Título:** *Multi-scale method for modeling thin sheet buckling under residual stress – In the context of cold strip rolling*
- Autor:** Rebecca Nakhoul
- Abstract:** Modelling of online manifest flatness defects in thin strip cold rolling is addressed as a problem of buckling under residual stresses. The latter are stresses built beyond the roll bite by the rolling process itself. To this aim, a buckling / post buckling model has been developed, giving strip shape, amplitude and stresses, based on Damil and Potier-Ferry's method and hereafter named MSBM like Multi-Scale Based Method. Its input is a post-bite stress map computed by a rolling model. Simplifications of the buckling model make it amenable to a series of 1D FEM solutions, but restrict its application to simple flatness defects such as wavy edges or wavy centre. In a decoupled version, it has been successfully compared with literature results. It allows parametric studies of practical interest, such as the influence of friction or work roll bending force on post-buckled strip shape and stress.
- In a second stage, this model is implemented as the internal buckling model in the FEM software Lam3/Tec3. As the previous one, implemented by Abdelkhalek in 2010, MSBM computes a strain field strictly due to the out-of-plane displacement which characterizes buckling. This strain field is introduced into the elastic – plastic decomposition and updated at each iteration of the finite element computation. Comparisons have been performed with the two models previously coupled to Lam3/Tec3 by Abdelkhalek. They show the limits of the present unidirectional buckling model, which cannot deal with all instabilities together, which have different orientations and take place after roll bite exit, which furthermore prove to be strongly interacting. Ideas for future generalization of the coupled model are proposed accordingly.
- Referência:** R. Nakhoul, “*Multi-scale method for modeling thin sheet buckling under residual stress – In the context of cold strip rolling*”, tese de doutorado (Mécanique Numérique), Institut des Sciences Et Technologies ParisTech, Paris, França, 214 p., 2014.

Estrutura do documento

1. Introdução
2. An overview on the Rolling Process
3. Literature Survey: sheets and plates buckling theories
4. Flatness actuators on line: Using LAM3/TEC3-Abdelkhalek
5. From von Kármán Equations to Multi-scale Based buckling model
6. Uncoupled Rolling-Buckling Model
7. Coupled Rolling-Buckling Model LAM3/TEC3-MSBM
8. Conclusions and Recommendations

Resenha crítica

A minha dissertação de mestrado terá como objetivo reduzir o desgaste dos cilindros de encosto (BUR, da sigla em inglês) do Laminador de Tiras a Frio (LTF) da ArcelorMittal Vega através da otimização do perfil dos BURs.

Para a correta modelagem do mecanismo de desgaste responsável pela indesejada deformação no perfil dos BUR do LTF será preciso prever a distribuição de pressão ao longo da área de contato entre esses cilindros e os cilindros de trabalho (WR), tendo em vista que Archard (1953) estabelece que, no fenômeno de desgaste por escorregamento, o volume desgastado é proporcional à força aplicada (resultante do somatório da pressão de contato ao longo do comprimento da mesa dos cilindros) e à distância de escorregamento e inversamente proporcional à dureza dos cilindros. Apesar da força aplicada ser conhecida (medida por transdutores de pressão instalados no LTF) a distribuição de pressão é, provavelmente, heterogênea ao longo da mesa dos cilindros. A previsão dessa distribuição de pressão é, portanto, fundamental para a condução desse estudo.

O trabalho publicado por Nakhoul (2014) objetivou adicionar as seguintes funcionalidades ao modelo LAM3/TEC3: i) detectar defeitos de planicidade (ondulações) nas chapas de aço laminadas a frio, ii) determinar o modo e carga de deformação elástica, iii) quantificar a amplitude da ondulação, iv) relaxar a distribuição de estresses de acordo com os critérios de deformação elástica e v) considerar as interações entre arco de contato cilindro/chapa e a deformação elástica nos cálculos.

A autora direciona, portanto, boa parte da sua revisão bibliográfica em explicar a origem dos defeitos de planicidade que ela se propõe a modelar. Adicionalmente, Nakhoul (2014) apresenta um detalhamento acerca das origens dos modelos Lam3 e Tec3, como é o acoplamento entre eles resultando em um sistema único chamado de LAM3/TEC3, as funcionalidades que foram adicionadas ao longo dos anos por estudos anteriores, a acurácia apresentada nas simulações, as vantagens desse modelo e, principalmente, as limitações que justificaram a condução do trabalho.

Uma das funcionalidades do LAM3/TEC3 descrita por Nakhoul (2014) tem muita relevância para a minha dissertação de mestrado: a capacidade de calcular a distribuição de pressão na interface BUR/WR. Apesar dessa funcionalidade ter sido pouco explorada pela

autora em seu trabalho, uma vez que seu foco estava na planicidade da chapa de aço (ou seja, na interface WR/chapa), os documentos revisados por ela indicam que o modelo LAM3/TEC3 apresenta excelentes resultados na previsão do comportamento do processo de laminação e capacidade em prever com elevada exatidão a distribuição de forças ao longo da interface WR/chapa. Essas conclusões, segundo Nakhoul (2014), são baseadas em diversas medições realizadas na chapa de aço após o processo de laminação por diversos autores e concedem credibilidade à modelagem do LAM3/TEC3.

Nakhoul (2014) indica ainda a sensibilidade da planicidade da chapa de aço às variações de parâmetros de processo como atrito, força de laminação e temperatura. Ela realiza simulações que mostram que características do BUR como perfil e diâmetro também impactam na forma final da chapa de aço. Todos esses estudos de caso, na forma de simulações, apresentados por Nakhoul (2014) além dos diversos artigos revisados pela autora tornam essa tese de doutorado o documento mais completo que encontrei até o momento nessa área.

A contribuição do trabalho de Nakhoul (2014), porém, conforme ela mesmo concluiu, ficou limitada a uma redução no tempo de cálculo, que foi reduzido a ~40% do tempo do LAM3/TEC3 (1.5h frente a 4.1h). As aproximações e simplificações adotadas durante a implementação do modelo diminuíram a sua acurácia, fazendo com que a versão atual do LAM3/TEC3 apresentasse resultados mais precisos. Nakhoul (2014) recomenda, entretanto, que a principal simplificação (a realização dos cálculos somente na direção de laminação) seja evitada e que o modelo desenvolvido seja aplicado também nos cálculos na direção transversal ao sentido de laminação, o que aumentará a acurácia.

Como o tema da minha dissertação diz respeito somente ao perfil dos BURs, sem que haja a necessidade de verificar a planicidade da chapa de aço, as versões mais recentes do LAM3/TEC3, em que há um acoplamento com um modelo de planicidade (como esse proposto por Nakhoul (2014)), serão desconsideradas em favor de um software mais simples do ponto de vista do usuário (poucos parâmetros da chapa de aço, por exemplo) e que apresenta menor custo computacional.

Apesar da dificuldade prática em medir, mesmo que indiretamente, a distribuição de forças na interface BUR/WR, que é de interesse da minha dissertação de mestrado e de não haver evidências irrefutáveis de que o modelo LAM3/TEC3 seja tão preciso nessa região quanto é na interface WR/chapa, considero que i) as evidências apresentadas por Nakhoul (2014) da acurácia do modelo em várias experimentações tanto laboratoriais quanto industriais realizadas pelos autores elencados por Nakhoul (2014) e ii) a constatação que as deformações elásticas observadas na superfícies dos BUR e WR são muito menos complexas que as deformações plásticas sofridas pela chapa em contato com o WR permitem concluir que o LAM3/TEC3 apresenta modelagem robusta e bem ajustada e que os cálculos apresentados por esse sistema para a distribuição de pressão no contato entre os WR e BUR apresentam acurácia suficiente para servirem de base da modelagem do desgaste sofrido pelo BUR nesse processo.

Referencias

- R. Nakhoul, “*Multi-scale method for modeling thin sheet buckling under residual stress – In the context of cold strip rolling*”, tese de doutorado (Mécanique Numérique), Institut des Sciences Et Technologies ParisTech, Paris, França, 214 p., 2014.
- J. F. Archard (1953), “*Contact and Rubbing of Flat Surfaces*”, Journal of Applied Physics, vol. 24, n° 8, p. 981–988, doi: 10.1063/1.1721448.