

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DA DEFORMAÇÃO EM CHAPAS DO AÇO DP 600 COM A VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DE CONFORMAÇÃO

Márcio Madi, marcio.madi@ifpr.edu.br¹
Claudimir José Rebeyka, rebeyka@ufpr.br²
Nikolas, Woellner, nklsww@gmail.com²
Paulo Victor Prestes Marcondes, marcondes@ufpr.br²

¹IFPR - Instituto Federal do Paraná – Campus Curitiba, Rua João Negrão, 1285. Rebouças, Curitiba, Pr, Brasil

²UFPR- Universidade Federal do Paraná – Bloco IV do Setor de Tecnologia, Centro Politécnico da UFPR, Jardim das Américas, Curitiba, Pr, Brasil

Resumo: A estampagem tem por finalidade a fabricação de peças a partir de chapas planas. Este processo tem como um dos seus maiores usuários a indústria automobilística, em que a competitividade existente faz com que se procure a redução de tempos e custos. Nas últimas décadas o aumento da concorrência e a crescente demanda por carros mais seguros, econômicos e menos poluentes exigiram das montadoras, siderúrgicas e comunidade científica investimentos na pesquisa de novos aços. O resultado dessas pesquisas foi o aumento significativo na utilização de aços avançados de alta resistência nos automóveis. A utilização destes aços permite trabalhar com chapas mais finas, entretanto o aparecimento de falhas neste material pode ser frequente pela diminuição da espessura. Sendo assim, há a necessidade do estudo do mecanismo de formação e execução das fraturas dúcteis em materiais metálicos. A simulação numérica dos modelos matemáticos que descrevem os mecanismos de falha em materiais dúcteis é uma prática frequente para investigar qual critério de falha, existente na literatura, representa melhor os resultados obtidos em práticas experimentais. Sendo assim, o desenvolvimento de um modelo computacional para simulação e avaliação dos critérios de fratura na simulação dos Aços Avançados de Alta Resistência é a proposta deste trabalho. A metodologia para encontrar a melhor condição de operação utilizou uma técnica de otimização para obtenção da velocidade de conformação. Os principais resultados apresentaram uma sensível melhora na estampagem do aço DP 600 com a variação da velocidade de estampagem. Concluindo que, existe uma uniformidade na deformação do aço DP 600 à medida que a velocidade de conformação se aproxima da velocidade ideal para este processo.

Palavras-chave: Simulação, Conformação, Falha e Aços Avançados

1. INTRODUÇÃO

A estampagem tem por finalidade a fabricação de peças a partir de chapas planas. Este processo tem como um dos seus maiores usuários a indústria automobilística, em que a competitividade existente faz com que se procure a redução de tempos e custos.

Nas últimas décadas o aumento da concorrência e a crescente demanda por carros mais seguros, econômicos e menos poluentes exigiram das montadoras, siderúrgicas e comunidade científica investimentos na pesquisa de novos aços. O resultado dessas pesquisas foi o aumento significativo na utilização de aços avançados de alta resistência nos automóveis.

A indústria automobilística tem promovido enormes avanços na evolução metalúrgica dos aços ao longo dos anos. Basta lembrar que os primeiros automóveis possuíam formato quadrado basicamente em função da inadequada estampabilidade das chapas dos aços ferrítico-perlíticos da época, uma consequência não só da incipiente ciência metalúrgica da época, bem como das limitações dos processos industriais de refino e conformação. Contudo, a pressão da indústria automobilística pela redução de preço e melhoria do projeto dos automóveis forçou as usinas a evoluir tecnologicamente para produzir aço com alta estampabilidade.

A partir da década de 1990 os novos aços, que vieram para suprir esta necessidade de uma melhor conformação, foram englobados numa só família, designada como Aços Avançados de Alta Resistência (Advanced High Strength Steels – AHSS). O aumento do nível de resistência mecânica conseguidos com esses aços leva quase inevitavelmente à redução de seu alongamento total, ou seja, de sua estampabilidade. Contudo, o uso de microestruturas adequadas permite minimizar a perda de ductilidade (Chemin Filho, 2011).

Tendo em vista a necessidade econômica das indústrias que trabalham com a conformação de chapas metálicas, principalmente a indústria automobilística, em reduzir a quantidade volumétrica de aço em seus produtos, sem perder resistência, fica clara a necessidade de expansão dos estudos para buscar novos materiais e novas formas de conformação que acompanhem a evolução destes materiais.

1.1 Formulação do problema

Para descrever o mecanismo de deformação plástica nos aços e prever o aparecimento de danos e falhas nestes materiais, vêm sendo estudados vários modelos desde a década de 1960.

Entretanto, não existe um único modelo que possa ser considerado como o que atende todas as situações de conformação para qualquer material. Isso faz com que os modelos existentes sejam aplicados com restrições segundo uma característica ou propriedade avaliada, tais como: diminuição de resistência, aparecimento de porosidade, evolução de descontinuidade, etc.

Quando as falhas são visíveis em um produto acabado significa que a escolha dos parâmetros de conformação não ocorreu de maneira adequada. A profundidade, a direção de conformação, a velocidade de conformação, a lubrificação e demais parâmetros do ferramental e processo, não foram todos avaliados corretamente e em conjunto para que o produto final tivesse conformidade.

Além dos parâmetros citados acima, a velocidade de estampagem pode ser determinada para cada processo com o objetivo de otimizar a operação.

A necessidade de um estudo aprofundado a respeito dos modelos que descrevem os mecanismos de evolução do dano e aparecimento de falhas, na microestrutura dos materiais metálicos que sofrem conformação, se mostra apropriada para o desenvolvimento deste estudo.

Isso se dá, pois grande parte dos trabalhos que buscam evolução nesta área, o fazem através da simulação numérica em conformação de chapas. Entretanto, esta simulação utiliza, quase sempre, um programa de computador que precisa ser alimentado com informações sobre o processo, material e ferramental, por exemplo.

Além das características do processo citadas acima, os dados experimentais para validação dos modelos sempre devem estar presentes.

Os métodos experimentais para determinar o comportamento de um único tipo de material, com relação à conformabilidade, produzem resultados satisfatórios. Entretanto, o tempo gasto é elevado. A simulação numérica pode ajudar a obter resultados mais rápidos com a mesma confiabilidade dos métodos experimentais.

2. CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Através do ensaio de tração, segundo Lorenz *et al.* (1998), é possível determinar as propriedades mecânicas de chapas metálicas, como a obtenção do limite de resistência, limite de escoamento, alongamento percentual uniforme, grau de encruamento e índice de anisotropia, que são parâmetros influentes no desempenho de materiais durante as operações de conformação.

Segundo o estudo feito por Chemin Filho (2011), os ensaios em laboratório visam simular o tipo de conformação que a chapa vai sofrer em escala industrial, podendo ser classificado de acordo com o modo de deformação que visam simular testes com predomínio de estiramento, testes com predomínio de embutimento, testes combinados (estiramento + embutimento), testes que simulam o flangeamento e testes de dobramento.

Estes ensaios utilizados para o levantamento das propriedades mecânicas do material estudado foram utilizados para caracterizar o material que faz parte deste estudo e estas propriedades posteriormente foram introduzidas na simulação do aço em questão.

Uma boa ferramenta que tem sido utilizada para relacionar o limite de conformação do material, determinado em escala laboratorial, com as deformações em escala industrial é a Curva Limite de Conformação (CLC). Essa relação permite concluir se o material e o processo estão adequados à manufatura da peça em questão. A utilização da CLC é uma importante ferramenta para o desenvolvimento da aplicação de um determinado produto (Sampaio et al, 1998).

O levantamento da Curva Limite de Conformação (CLC) é uma das etapas importante para conhecer sobre o comportamento do material na conformação de chapas. Na determinação da curva limite de conformação o mais comum é simular os estados desde a condição biaxial de deformação até a condição de tensão de tração uniaxial, através de corpos de prova adequadamente preparados. Nestes corpos de prova, imprimem-se redes de círculos ou quadrados, tangenciando-se mutuamente ou entrelaçando-se, com dimensões rigorosamente determinadas. O ensaio de estampagem Nakazima utiliza chapas retangulares que variam suas larguras. Nestes corpos de prova são desenhadas as malhas que após a conformação serão medidas para verificar a estampabilidade do material.

3. AÇOS AVANÇADOS DE ALTA RESISTÊNCIA

Segundo Asgari et al (2007) a principal diferença física entre os aços AHSS (Advanced High Strength Steel) e os convencionais está na microestrutura. Os aços AHSS são materiais multifásicos que podem conter na microestrutura ferrita, martensita, bainita, e/ou austenita retida, em função dos elementos de liga e do processamento utilizado, Andrade et al (2002).

Como exemplo destes aços pode-se citar os aços Dual Phase – DP, Aços de Plasticidade Induzida por Deformação - TRIP, Complex Phase - CP, e os aços Martensíticos – MART, (IISI, 2002).

É possível comparar as características de resistência mecânica e ductilidade dessa nova família de aços. O aumento do nível de resistência mecânica do produto leva quase inevitavelmente à redução de seu alongamento total, ou seja, de sua estampabilidade. Contudo, o uso de microestruturas adequadas permite minimizar a perda de ductilidade sob maiores níveis de resistência mecânica, Schröder (2004).

Especificamente sobre os aços DP, um dos recursos disponíveis para se maximizar simultaneamente a ductilidade e resistência mecânica dos aços consiste no uso de microestruturas mais complexas do que ferríticas ou ferrítica-perlíticas normalmente presentes nas ligas comuns de baixo carbono.

Essa abordagem está baseada nas interações mais complexas que ocorrem entre vários constituintes presentes na microestrutura, os quais também devem apresentar variações significativas de dureza entre si. No final da década de 1970 surgiu o primeiro desenvolvimento nesse sentido, o assim chamado aço bifásico (dual phase) que, como seu nome dá a entender, apresenta microestrutura constituída por uma matriz com 80 a 85% de ferrita poligonal macia mais 15 a 20% de martensita dura, Rashid (1977).

4. MECANISMO DE FRATURA EM MATERIAIS METÁLICOS

De acordo com Moreira et al (2003), a quantidade de deformação plástica que a chapa metálica pode suportar antes da ocorrência da estricção localizada tem grande importância na conformação de chapas. Com base em medidas experimentais, o conceito de Diagrama Limite de Conformação (FLD) foi inicialmente introduzido por Keeler (1965) para os valores positivos da menor deformação principal no plano da chapa. Este conceito foi então estendido por Goodwin (1968) e Woodthorpe et al (1969) ao domínio de deformações compreendido entre os estados de tração uniaxial e estiramento biaxial. Desde então inúmeras pesquisas foram dedicadas à determinação experimental e ao modelamento teórico das deformações limite em chapas.

O FLD é definido nos eixos das menores e das maiores deformações principais obtidas no plano da chapa, segundo Moreira et al (2003). A curva estabelecida através de trajetórias lineares de deformação permanece constante durante o processo de deformação, sendo conhecida como curva limite de conformação.

Para Keeler (1968), a avaliação se uma chapa de metal pode ser conformada sem falha depende das propriedades do material, condições superficiais, tamanho e forma do “blank”, lubrificação, velocidade da prensa, pressão do prensa chapas, “design” do punção e da matriz, e muitos outros fatores conhecidos e desconhecidos.

O ASM Handbook (1993), assim como Wulpi (1999) classifica a fratura dos materiais metálicos em quatro tipos principais: alveolar, clivagem, intergranular ou por estrias.

Especificamente sobre a fratura dúctil, Wulpi (1999) define esta condição de fratura destacando a sua ocorrência em deformações por cisalhamento, que leva a formação de microcavidades nas regiões de maior tensão. Ainda segundo o autor, estas microcavidades coalescem e se interconectam, produzindo uma superfície de fratura composta por alvéolos ou vazios, correspondente ao modo de fratura alveolar.

Com relação aos aspectos macroscópicos da fratura dúctil, especificamente em corpos de prova cilíndricos, este tipo de fratura é denominada taça-cone pelo fato de apresentar duas regiões: uma central, correspondente à taça e um tronco de cone, com inclinação aproximada de 45° em torno da periferia do corpo de prova. Independentemente, porém, da geometria do corpo de prova, uma fratura dúctil se caracteriza por apresentar duas regiões: a região central, denominada região fibrosa e outra inclinada de aproximadamente 45°, chamada zona de cisalhamento.

O ASM Handbook (1993) e Wulpi (1999) descrevem este mecanismo de trinca de forma semelhante. Segundo os autores, a fratura inicia-se no centro da amostra e, após a formação do pescoço, o estado de tensões torna-se triaxial, de maneira tal que no centro da seção de menor diâmetro, chega-se ao estado máximo tanto em relação à tensão longitudinal quanto ao estado triaxial de tensões. Desta forma, com tensões crescentes, a trinca se propaga estavelmente, descrevendo um trajeto em zig-zag. Devido a este aspecto se compreende que se chame a fratura dúctil de “fratura por cisalhamento”, embora esta afirmação não esteja rigorosamente correta.

Algo importante a ser observado, é que trabalhos publicados recentemente têm como foco principal o desenvolvimento de modelos numéricos que simulem de forma mais precisa o momento de início e evolução da fratura, até a ruptura final de aços de alta resistência. A validação dos diversos modelos numéricos utilizados na simulação de processos de estampagem por elementos finitos é feita pela equivalência com resultados obtidos experimentalmente.

5. FALHA E DANO

Para prever a fratura na conformação de metais estudados apresentam um estudo que reúne conceitos de fratura dúctil associados a elementos finitos. Os conceitos de fratura dúctil, já existentes, são revisados em trabalhos nesta área. Experimentos com corpos de prova em diferentes formatos são investigados para validar a aplicabilidade dos métodos, sob condições reais de tensão e deformação, próximas às aplicáveis na conformação de materiais metálicos.

São apresentada a implementação dos critérios de fratura dúctil na simulação com elementos finitos, bem como a comparação de modelamentos de tensão e deformação entre os dados experimentais e os valores obtidos pela programação computacional. Entretanto, nem todos os critérios de fratura têm valores comprovadamente próximos aos dados experimentais.

Uma comparação entre os critérios de falha existentes na teoria da conformação de materiais metálicos é apresentada por Venugopal et al. (2003). Foram modelados dez critérios de falha para cinco diferentes materiais. A simulação baseada no conjunto de equações, respectivas à cada critério, é comparada com resultados experimentais. A simulação feita por elementos finitos apresenta detalhes de programação, tais como: o refino da malha utilizada durante a simulação, composição química dos materiais, propriedades mecânicas e valores das variáveis utilizadas na equação dos critérios de falha. Após a simulação e comparação com dados experimentais, Venugopal et al. (2003) apresentam conclusões a respeito dos critérios estudados. De um modo geral, tanto os desvios médios quanto o fator de dispersão precisam ser baixos para validar a simulação e considerar um determinado critério de falha como útil para prever a ocorrência e localização do dano.

Nenhum dos critérios estudados apresentou melhor resultado em todas as simulações. Entretanto, dependendo da geometria do corpo de prova ou do material, alguns critérios aparecem entre os melhores sempre, na comparação com os dados experimentais, apresentando diferenças menores que 2%.

Por fim, Venugopal et al. (2003) apresentam a conclusão que relata a teoria do critério de falha baseada na tensão principal máxima, como sendo melhor para encontrar dados reais de dano ao material, em comparação às teorias que dependem da energia de distorção.

6. METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia apresentada neste trabalho tem o objetivo de investigar o comportamento da deformação do aço DP 600, na conformação de chapas metálicas, com relação à variação da velocidade de processamento.

Para tanto, foram utilizados dados experimentais obtidos no estudo de Chemin Filho et al. (2013), que posteriormente foram simulados através de um código computacional em Madi et al. (2015). No estudo de simulação proposto por Madi et al. (2015) foi desenvolvido um método de otimização para obtenção da velocidade de conformação de chapas do aço DP 600. Após a avaliação dos resultados da simulação, para este estudo de caso, foi obtido como valor ótimo a velocidade de 1,135 mm/s. Os detalhes dos dados experimentais e da simulação numérica podem ser encontrados nos trabalhos citados acima.

Sendo assim, no presente trabalho, procura-se observar como ocorre a evolução do dano na malha da chapa de aço DP 600 simulada no software ABAQUS e posteriormente representado em forma de gráfico.

As velocidades avaliadas neste estudo são 4 mm/s, 3 mm/s, 2 mm/s, 1,083 mm/s e 1 mm/s. Estas velocidades foram escolhidas por contemplarem os valores máximos e mínimos no estudo de simulação de Madi et al. (2015), 4mm/s e 1 mm/s respectivamente, e valores intermediários, 3 mm/s e 2 mm/s. O valor de 1,083 mm/s é o valor de simulação muito próximo da velocidade ótima de conformação para este estudo de caso.

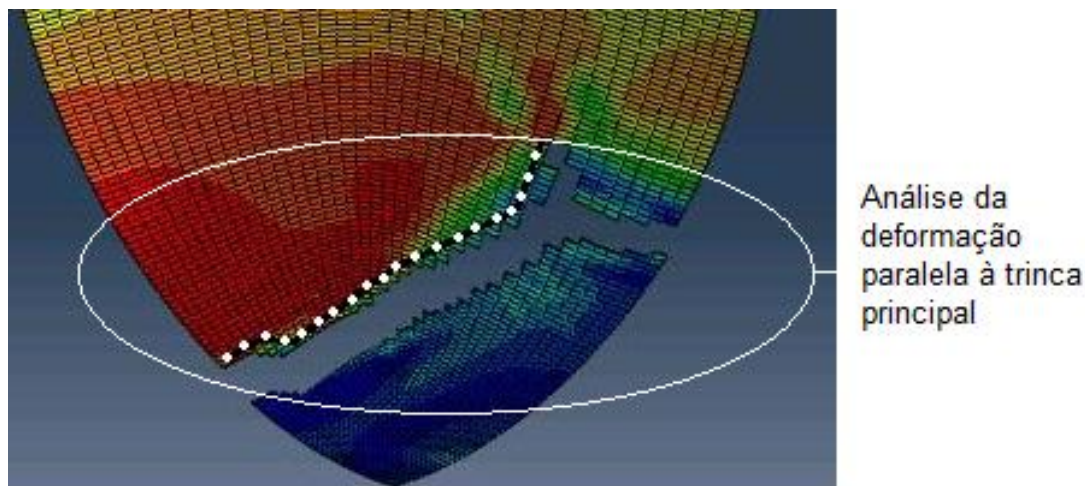


Figura 1. Direção da análise das deformações.

A Figura 1 mostra que a análise da deformação dos elementos da malha simulada, se deu na direção paralela à trinca principal, em uma fileira de elementos imediatamente ao lado dos elementos que sofreram a ruptura. No caso das velocidades de conformação que não levaram à ruptura do material, para uma profundidade de conformação igual em todas as velocidades, a direção de análise foi a mesma. Esta direção, no caso de não rompimento, foi determinada pela posição média das rupturas nas velocidades que romperam o material simulado.

Os primeiros resultados apresentados na Figura 2 mostram que a deformação logarítmica (deformação LE) em valores absolutos é menor e uniforme para as velocidades próximas à velocidade ótima de conformação (1 mm/s e 1,083 mm/s). As velocidades de 4 mm/s, 3 mm/s e 2 mm/s apresentam uma deformação maior e com grande oscilação em todos os vinte elementos analisados ao longo desta direção. Neste caso a análise foi paralela à trinca principal e a deformação na mesma direção da laminação da chapa.

A Figura 3 mostra a variação na deformação dos vinte elementos analisados na mesma posição. Ou seja, vinte elementos consecutivos em uma fileira paralela à trinca principal. Entretanto, agora a análise ocorre para a deformação a 90° em relação à direção de laminação da chapa. Mais uma vez pode-se notar que as deformações são maiores e menos uniformes para velocidades maiores ou igual a 2 mm/s.

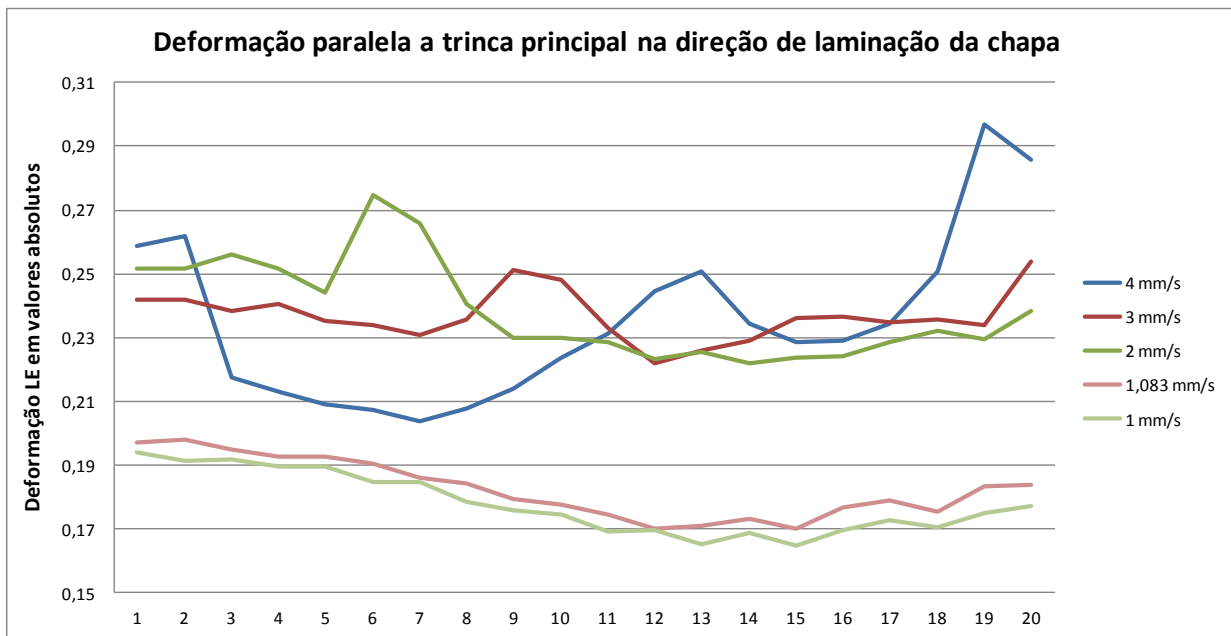


Figura 2. Avaliação da deformação na direção de laminação da chapa.

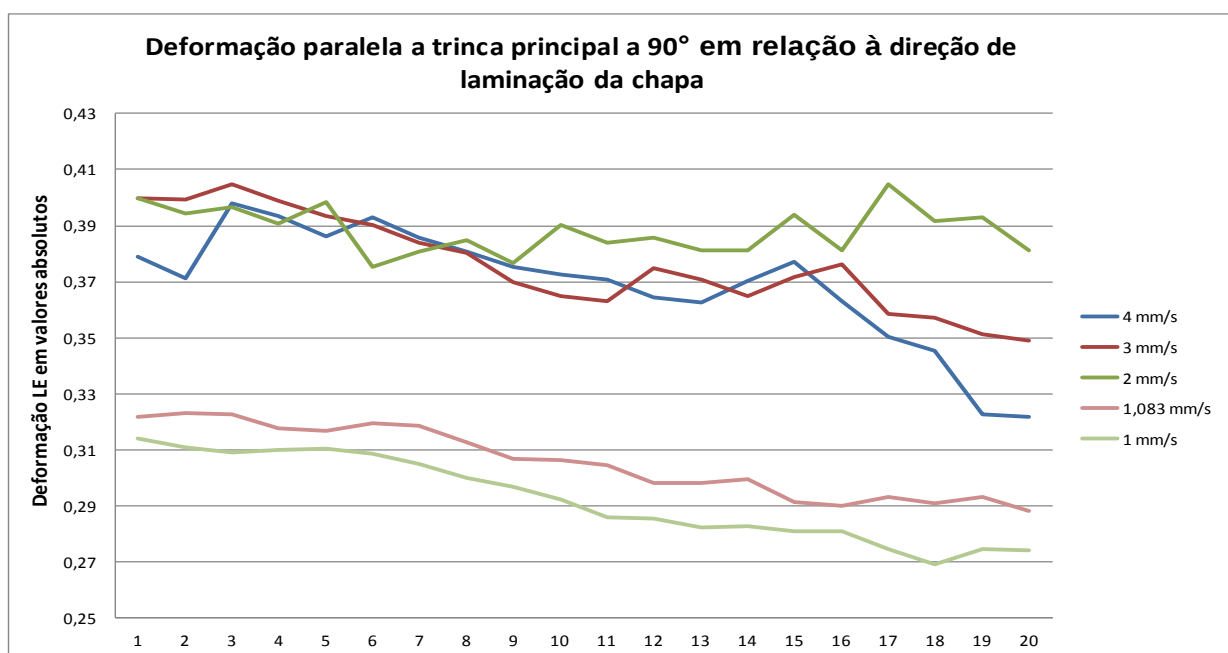


Figura 3. Avaliação da deformação a 90° em relação à direção de laminação da chapa.

A Figura 4 apresenta o resultado da avaliação paralela a trinca principal da deformação a 45° em relação à direção de laminação da chapa. Pode-se notar que as velocidades de 3 mm/s e 2 mm/s apresentam valores absolutos de deformação superiores as velocidades de 1 mm/s e 1,083 mm/s. Especificamente sobre a velocidade de 4 mm/s pode-se observar a completa falta de uniformidade na deformação nesta direção, chegando, inclusive, a obter valores negativos.

Os resultados da evolução do dano nos vinte elementos da malha paralelos à trinca principal na espessura da chapa são apresentados na Figura 5. Nesta deformação, em termos de espessura, é possível perceber que as velocidades superiores ou igual a 2 mm/s são aproximadamente 30% maior que a deformação na espessura das velocidades de 1 mm/s e 1,083 mm/s.

Após a análise dos resultados da simulação, a próxima etapa deste estudo, foi a verificação dos resultados através de ensaios experimentais. Estes procedimentos foram realizados em uma prensa hidráulica no Laboratório de Conformação Mecânica da Universidade Federal do Paraná.

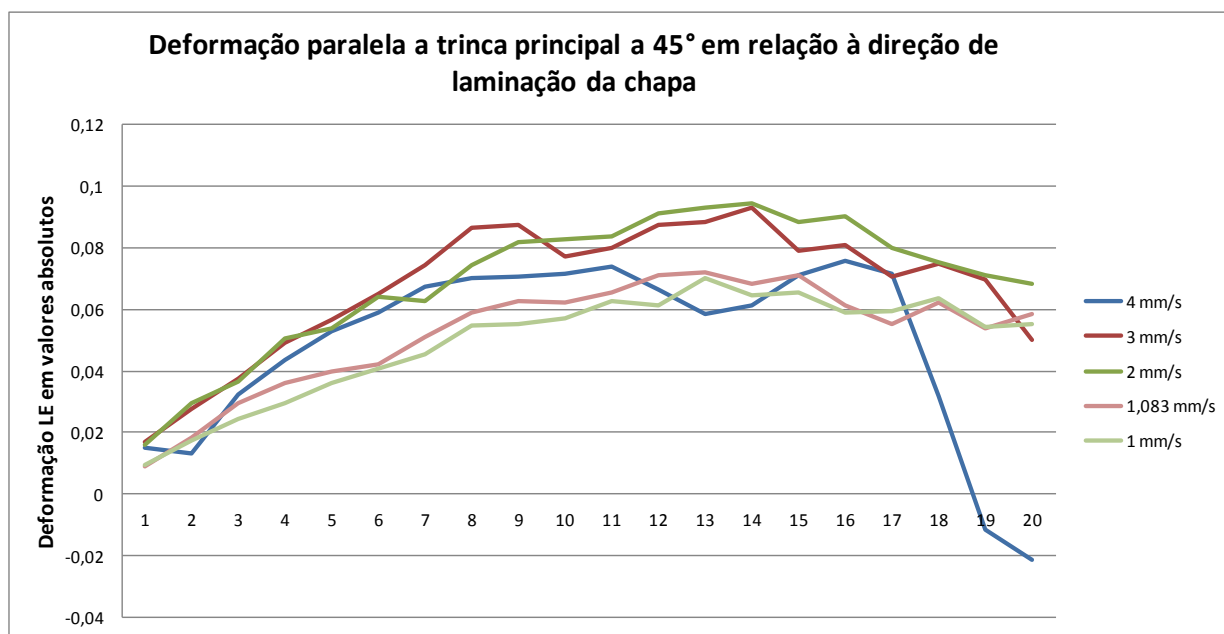


Figura 4. Avaliação da deformação a 45° em relação à direção de laminação da chapa.

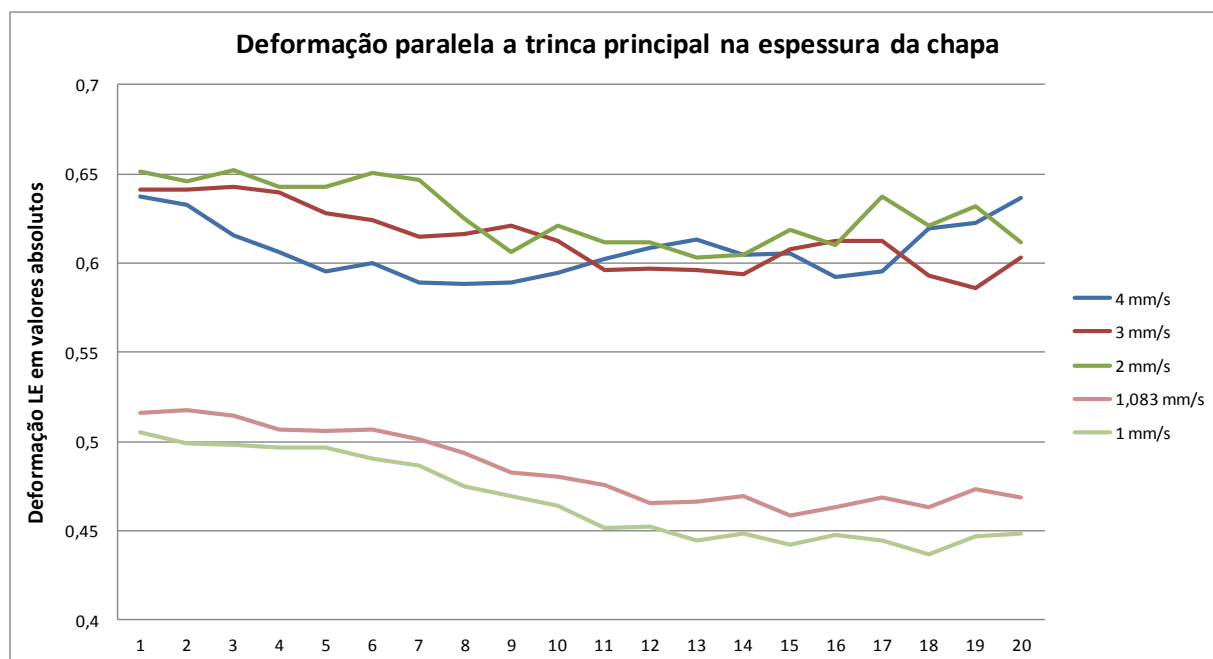


Figura 5. Avaliação da deformação na espessura da chapa.

Os valores dos parâmetros ajustados para o ensaio laboratorial com relação ao material, amostra e características do equipamento são apresentados na Tabela 1.

Os resultados da profundidade, que significa quanto o punção penetrou na amostra até a interrupção do ensaio, com relação à velocidade de conformação da amostra, são representados na Tabela 2. O objetivo deste experimento era a verificação da variação desta amplitude com diferentes velocidades de execução do ensaio. Ou seja, se as velocidades próximas à velocidade ótima de conformação, para este estudo de caso, proporcionam uma profundidade maior do punção no corpo de prova. Pode-se notar na Tabela 2 que as Amostras 3 e 4 apresentam um sensível aumento da profundidade de conformação em relação às Amostras 1 e 2, que foram conformadas com velocidade do punção maior.

Tabela 1. Parâmetros dos ensaios experimentais.

Material	Aço DP 600
Amostra	200 x 200 mm
Espessura	1,5 mm
Malha	5 mm
Diametro do Punção	65 mm
Diametro maior do Prensa Chapas	165 mm
Carga do Prensa Chapas	50 bar
Lubrificação	não

Tabela 2. Resultados de profundidade com relação a velocidade.

	Velocidade (mm/s)	Profundidade (mm)
Amostra 1	4,8	24,8
Amostra 2	3,7	25,1
Amostra 3	1,44	26,0
Amostra 4	1,08	25,6

7. CONCLUSÕES

O resultado das pesquisas com materiais metálicos que proporcionam uma redução de espessura foi o aumento significativo na utilização de aços avançados de alta resistência nos automóveis.

A utilização destes aços permite trabalhar com chapas mais finas, entretanto o aparecimento de falhas neste material pode ser frequente pela diminuição da espessura.

Um estudo mais aprofundado do mecanismo de deformação plástica dos AHSS se fez necessário e crescente, principalmente nas últimas três décadas, para tornar possível a conformação de peças em aços que acompanhem a modernidade dos projetos atuais da área industrial metalúrgica.

Nos principais critérios de falha estudados a taxa de deformação aparece como um dos fatores de grande relevância. Desta forma, se justifica o estudo em questão que procura um melhor resultado para o processo de estampagem em chapas de AHSS, particularmente o DP 600, através da busca da velocidade ideal de processamento.

A investigação deste parâmetro com auxílio da simulação e utilização de dados experimentais obtidos no estudo anterior apresentado por Chemin Filho et al. (2013) e posteriormente simulados por Madi et al. (2015) é a proposta do trabalho em questão.

Os dados experimentais apresentam um sensível aumento da profundidade de conformação em relação às amostras que foram conformadas com as velocidades mais próximas da velocidade ideal para este estudo de caso.

O presente trabalho então mostra que a velocidade de 1,44 mm/s apresenta 4,8% e 3,6% de ganho em termos de maior profundidade em relação às velocidades de 4,8 mm/s e 3,7 mm/s, respectivamente. Estes resultados foram obtidos por experimento prático após a simulação.

A simulação proposta neste estudo é capaz de poupar tempo com a preparação do processo e ajuda a atingir melhores níveis de produtividade, sempre com o atendimento dos requisitos de qualidade através da conformidade do produto final.

8. REFERÊNCIAS

CHEMIN FILHO, R. A. **Estudo da Fratura de Aços de Nova Geração DP600 Através da Variação de Pressão no Prensa-Chapas**. 2011. 148p. **Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Curso de Doutorado em Engenharia Mecânica**, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.

- LORENZ, R.; GILAPA, G. M. **Avaliação da Conformabilidade de Chapas de Aço Plano**. In: Conferência Nacional de Conformação de Chapas, 1., 1998, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: UFRGS – Centro de Tecnologia, p. 141-150, 1998.
- ASGARI, S. A.; PEREIRA, M.; ROLFE, B. F.; DINGLE, M.; HODGSON, P. D., **Statistical analysis of finite element modeling in sheet metal forming and springback analysis**. *Journal of Materials Processing Technology*, xxx (2007) xxx-xxx.
- ANDRADE, S. L.; TAISS, J. M.; ROSA, L. K. **O aço no automóvel do futuro**. In: 57º Congresso da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2002, São Paulo, *Anais...* São Paulo, Julho 2002. IISI - International Iron and Steel Institute, **UltraLight Steel Auto Body - Advanced Vehicle Concepts (ULSAB-AVC) Overview Report (2002)**, disponível em: www.worldautosteel.org.
- SCHRÖDER, T. **Ausgekoelter Stahl für das Auto von morgen**. *Max Planck Forschung*, 3., p. 36-41, 2004.
- RASHID, M. S. GM 980X – **Potential Applications and Review**. *International Automotive Engineering Congress and Exposition*. S.A.E. Technical Publication n° 770211. Detroit, 12 p., February-March 1977.
- SAMPAIO, A. P.; MARTINS, C. A.; SOUZA, P. C. **Caracterização da Conformabilidade de Aço Livre de Intersticiais – IF – Produzido Via Recozimento em Caixa na Companhia Siderúrgica Nacional**. In: CONFERÊNCIA NACIONAL DE CONFORMAÇÃO DE CHAPAS, 1., 1998, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: UFRGS – Centro de Tecnologia, p. 89-100, 1998.
- MOREIRA, L. P.; SAMPAIO, A. P.; FERRON, G.; LACERDA, A. C. **Análise numérica e experimentação da influência da espessura inicial das deformações limites em chapas**. In: CONFERÊNCIA NACIONAL DE CONFORMAÇÃO DE CHAPAS, 6., 2003, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: UFRGS – Centro de Tecnologia, p. 39-49, 2003.
- KEELER, S. P. **Determination of forming limits in automotive stampings**. *Sheet Met Ind*, 42., p. 683-691, 1965.
- GOODWIN, G. M. **Application os strain analyses to sheet metal forming problems in the press shop**. *Metall Italiana*, 60., p. 764-774, 1968.
- WOODTHORPE, J.; PEARCE, R. **The Effect of r and n Upon the Fprming Limit Diagrams of Sheet Metal**. *Sheet Metal Industries*. p. 1061-1067, 1969.
- KEELER, S. P. **Understanding Sheet Metal Formability**. *Machinery*, 1968.
- ASM INTERNATIONAL, **Metals Handbook**, vol. 12 e 14., 9. ed., 1993.
- WULPI, D. J. **Understanding How Components Fail**. 2.ed. USA: ASM International, 1999.
- VENUGOPAL RAO. A; RAMAKRISHNAN, N; KRISHNA KUMAR, R. **A Comparative Evaluetion of The Theoretical Failure Criteria for Workability in Cold Forging**. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 142, p. 29-42, 2003.
- CHEMIN FILHO, R. A; TIGRINHO, L. M. V; BARRETO NETO, R.C; MARCONDES, P. V. P. **An Experimental Approach for Blankholder Force Determination for DP600 with Different Material Flow Strain Rates in the Flange During Stamping**. *Journal of Engineering Manufacture*, v. 227(3), p. 417-422, 2013.
- MADI, M; RIBAS, L. M; CHEMIN FILHO, R. A; MARCONDES, P. V. P. **Damage Evolution Evaluation in DP 600 Steel According Speed Variation in Sheet Metal Forming**. In: 23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering, 2015, Rio de Janeiro, *Anais...* Rio de Janeiro, RJ, Brazil, December 2015.

9. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

EVALUATION OF UNIFORMITY OF DEFORMATION OF THE STEEL DP 600 WITH THE VARIATION OF CONFORMATION SPEED IN SHEET METAL

Márcio Madi, marcio.madi@ifpr.edu.br¹
Claudimir José Rebeyka, rebeyka@ufpr.br²
Nikolas, Woellner, nklsww@gmail.com²
Paulo Victor Prestes Marcondes, marcondes@ufpr.br²

¹IFPR - Instituto Federal do Paraná – Campus Curitiba, Rua João Negrão, 1285. Rebouças, Curitiba, Pr, Brasil

² UFPR- Universidade Federal do Paraná – Bloco IV do Setor de Tecnologia, Centro Politécnico da UFPR, Jardim das Américas, Curitiba, Pr, Brasil

Abstract. *The forming is intended to manufacture parts from flat plates. This process has as one of the biggest users in the automotive industry, where the existing competitiveness makes them look to reduction of time and costs. In recent decades the increased competition and the growing demand for safer cars, economical and less polluting demanded of automakers, steelmakers and scientific community investments in the research of new steels. The result of this research was the significant increase in the use of advanced high-strength steels in automobiles. The use of these steels allows working with thinner sheets, however the failures in these materials can be often reduced by the thickness. Thus, there is necessity to study the mechanism of formation and execution of ductile fracture in metallic materials. The numerical simulation of mathematical models that describe the failure mechanisms in ductile materials is common practice to investigate which failure criteria, in the literature, best represents the results obtained in experimental practice. Thus, the development of a computational model for simulation and evaluation of criteria for fracture simulation of Advanced High Strength Steels (AHSS) is proposed in this work. The methodology for finding the best operating condition used an optimization technique for obtaining the forming speed. The main results showed a significant improvement in stamping DP600 steel with variation in the stamping speed. Concluding that there is a uniform deformation of the DP 600 steel as the forming speed approaches the optimum speed for this process.*

Keywords: *simulation, forming, damage, advanced steels.*