

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO *DRAWBEAD* NA CONFORMABILIDADE DE AÇOS AVANÇADOS DE ALTA RESISTÊNCIA

Gabriela Bonatto*

Ravilson Antônio Chemin Filho*

gabriela.bonatto@ufpr.br, ravilson@ufpr.br

Karin Graf*

karin.graf@ufpr.br

Paulo Victor Prestes Marcondes*

marcondes@ufpr.br

Laísa da Silva Teixeira*

laisa.teixeira@ufpr.br

*Universidade Federal do Paraná – UFPR. Campus Centro Politécnico, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas, Curitiba – PR.

Resumo: Os aços avançados de alta resistência (AHSS) foram desenvolvidos para suprir a demanda da indústria automobilística por carrocerias mais leves e seguras. Entre eles, destaca-se o aço Dual Phase, cuja microestrutura é composta por duas fases metálicas, ferrítica e martensítica. Tendo em vista a aplicabilidade desse material em partes estruturais da carroceria veicular, torna-se fundamental o estudo do seu desempenho no processo de estampagem. Com base nisso, o presente trabalho tem por objetivo estudar o efeito que a força do prensa-chapas e a geometria do drawbead têm na transformação da microestrutura do aço DP780, durante o ensaio de estampagem Nakazima. Para isso, foram selecionados corpos de prova já ensaiados em estudo anterior, com forças de prensa-chapas 785 kN, em quatro diferentes geometrias de drawbead: plano, circular, triangular e quadrada. No presente estudo foram realizados ensaios de dureza e microscopia óptica das amostras, nas regiões onde ocorreu a trinca e na região deformada pelo drawbead. Com os resultados desses ensaios, buscou-se então avaliar o impacto do processo de estampagem no modo de encruamento do material e o seu efeito na conformabilidade da chapa metálica devido ao esforço restritivo ao escoamento do material. Pela análise dos resultados, pôde-se comparar a variação de dureza e a transformação da microestrutura das chapas que, de cordo com as imagens em microscópio óptico, observou-se a variação do tamanho e da geometria (alongamento) dos grãos. Desta forma, os resultados apontaram que o drawbead plano encruou mais a região da trinca, ou seja, fragilizou mais o material. Fato este também observado através dos resultados de dureza, que apresentaram valores mais elevados para o drawbead plano, quando comparados aos testes realizados com as demais geometrias de drawbead. Esse fato se confirma pelo drawbead plano ter apresentado a pior estampabilidade da chapa, de acordo com as curvas limite de conformação obtidas anteriormente. Os corpos de prova conformados com as demais geometrias de drawbeads, apresentaram grãos maiores e com maior equiaxialidade. Isso justifica a sua maior estampabilidade indicada pelas curvas limite de conformação. Assim, pode-se concluir que a análise microestrutural de fato aponta para uma forma concreta de se avaliar a conformabilidade de chapas metálicas, com forte potencial para o desenvolvimento de sub-rotinas para simulação computacional do processo de estampagem.

Palavras-chave: Drawbead; Estampagem; Aços AHSS; Curvas limite de conformação

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da indústria automotiva e a maior acessibilidade de seus produtos para o público em geral, a quantidade de veículos circulantes aumentou drasticamente. Desde a adequação de materiais para garantir redução de peso em componentes e, conseqüentemente, maior eficiência energética, até o estudo sobre diminuição de custos e facilidade de fabricação foram demandados pela indústria. No entanto, um dos fatores de maior importância sempre será a segurança dos ocupantes, devendo ser considerado em qualquer situação.

O desenvolvimento de peças automotivas localizadas na carroceria deve ser alvo de grande atenção, já que essas protegem de possíveis colisões quem estiver em seu interior. Por esse motivo, devem ser constituídas por materiais simultaneamente com grande resistência e ductilidade, para absorver a energia de impacto e usá-la para se deformar somente o suficiente para garantir a estabilidade dos ocupantes. Um dos grupos de materiais de maior eficiência nesse sentido são os aços avançados de alta resistência (AHSS), já que conseguem reter mais energia cinética advinda de batidas em relação a aços de baixa resistência (Bouaziz, Zurob e Huang, 2013).

No entanto, com o avanço da indústria metalúrgica, foi observado que o aumento dessa propriedade no aço é inversamente proporcional à sua estampabilidade. Ou seja, quanto mais resistente, menos alongável (Gorni, 2008), fato que dificulta a conformação das chapas usadas e o proveito da carroceria como um todo.

Para contornar esse problema, são feitas variações na microestrutura e na composição das ligas para melhorar e maximizar a ductilidade. Desse embate, surgiram os aços bifásicos (também chamados de aço Dual Phase ou DP), assim chamados por serem compostos de ilhas rígidas de martensita espalhadas por uma matriz macia de ferrita. Derivado de processos de resfriamento e aquecimentos controlados, esses materiais possuem baixas porcentagens de carbono e alongamento superior a 25% (Faria, 2015).

Para que possa haver manuseio do material e modelagem em diversas formas, a estampagem é uma das mais eficientes formas de combinar corte, dobramento, estiramento e embutimento de chapas em prensas (Pavanati, 2015). O processo ocorre com a deformação plástica do material a partir de peças como a matriz e a punção, que determinam a geometria final do material.

Contudo, problemas como rupturas, ondulações, rugas e saliências pelo retorno elástico do metal são recorrentes e podem afetar a qualidade do produto (Marcondes, 2013). Para isso, são usados os quebra-rugas (ou *drawbeads*).

Com a adição dessa força de restrição composta por ressalto e concavidades de diversas geometrias, é possível que haja um controle maior do escoamento do material. Isso ocorre porque o *drawbead* aumenta a força de restrição da chapa sem que seja necessário aumentar a pressão no metal, equilibrando as tensões entre chapa e máquina.

Usando um quebra-rugas adequado é possível que problemas como falta de controle do escoamento na flange, empenamento da flange e falta de material na parte central sejam evitados (Marcondes, 2013).

Subsequentemente, serão analisadas microscópicamente as fraturas apresentadas por ensaios Nakazima e estudado o modo como chapas de aço de alta resistência se beneficiam pelo uso de *drawbeads* circulares, triangulares e quadradas. Por fim, concluir-se-á qual a geometria que mais previne os problemas apresentados anteriormente. Esses ensaios serão analisados microscópicamente para verificar a deformação em cada um dos casos acima. Assim, será possível com o presente trabalho verificar quais geometrias de quebra-rugas mais restringem o escoamento de material e usar isso para prevenir falhas de material em peças estampadas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Ensaios de estampagem

Em seu estudo, de Oliveira et al. (2022) utilizaram o aço Dual Phase 780, com espessura de 1,5 mm, seguindo parâmetros da norma ISO 12004-2 (2008) para os ensaios de estampagem feitos no ferramental mostrado na Fig. 1. Todos os corpos de prova possuíam 200 mm de comprimento, porém, com a largura variando de 200 a 70 mm, como mostra a Fig. 2. De Oliveira et al. (2022) realizaram os ensaios de estampagem com quatro geometrias de *drawbeads* com três diferentes forças de prensa-chapas: 569, 785 e 1157 kN. Para cada configuração de ensaio, determinada por uma geometria de *drawbead* e uma força de prensa-chapas, foram testados três conjuntos de corpos de prova.

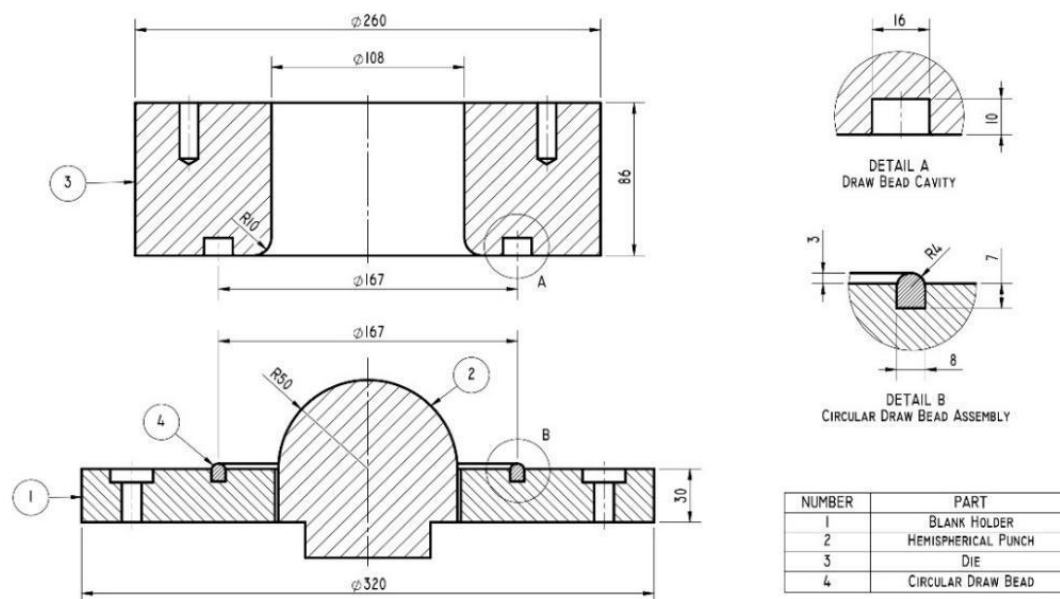


Figura 1. Ferramental utilizado nos ensaios de estampagem
(De Oliveira, 2022)

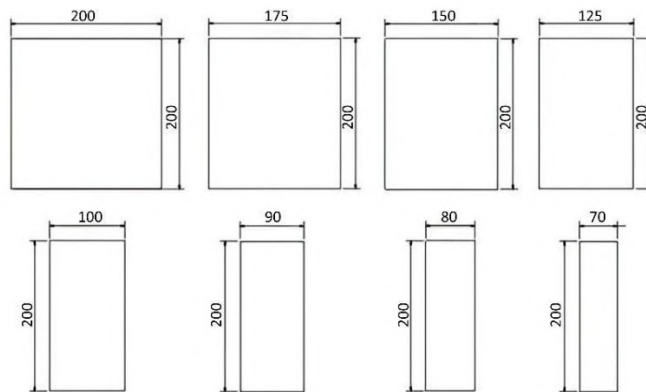


Figura 2. Conjunto de corpos de prova utilizados nos ensaios de estampagem
(De Oliveira, 2022)

Como a matriz na qual os testes foram realizados possui 167 mm de diâmetro entre o início e término da região de *drawbead*, com a diminuição da largura da chapa haverá também diminuição da área de atuação do *drawbead* e da restrição imposta por ele.

Utilizando-se das chapas resultantes do trabalho realizado por de Oliveira et al. (2022), o presente artigo seleciona e analisa suas variações microscópicas e de dureza.

2.2. Ensaios de dureza e microscopia ótica

Devido a limitação da quantidade dos ensaios de dureza e microscopia ótica, para o presente trabalho, foram analisados apenas os corpos de prova de 200 x 125 mm estampados por de Oliveira et al. (2022), com a força de 785 kN, com os *drawbeads* plano, circular, triangular e quadrado, utilizados pelo autor dos testes. Ainda devido ao limite do número de ensaios, foram analisadas apenas as regiões do *drawbead* e da ruptura de cada uma das amostras, uma vez que estas regiões foram consideradas críticas quanto a análise dos níveis de encruamento impostos pelo ferramental durante o processo de estampagem. A escolha pelos corpos de prova com 125 mm de largura, determinam pontos no estado plano de deformações, ou seja, uma região transitória entre os modos de deformação por estiramento e embutimento, fato este que motivou a escolha por essa dimensão de amostra para o início das análises de dureza e microscopia.

A Fig. 3 mostra, em verde, os corpos de prova testados com sucesso por de Oliveira et al. (2022), em que a ruptura se localizou na posição do raio do punção.

		IDEAL REGION									TRANSITION REGION						CRITICAL REGION								
FLAT DRAWBEAD (SMOOTH SURFACE)	Sample dimensions	200x200 mm			200x175 mm			200x150 mm			200x125 mm			200x100 mm			200x90 mm			200x80 mm			200x70 mm		
	BH Force/Samples	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	569 KN	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24
	785 KN	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37	P38	P39	P40	P41	P42	P43	P44	P45	P46	P47	P48
	1157 KN	P49	P50	P51	P52	P53	P54	P55	P56	P57	P58	P59	P60	P61	P62	P63	P64	P65	P66	P67	P68	P69	P70	P71	P72
CIRCULAR DRAWBEAD	Sample dimensions	200x200 mm			200x175 mm			200x150 mm			200x125 mm			200x100 mm			200x90 mm			200x80 mm			200x70 mm		
	BH Force/Samples	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	569 KN	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24
	785 KN	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36	C37	C38	C39	C40	C41	C42	C43	C44	C45	C46	C47	C48
	1157 KN	C49	C50	C51	C52	C53	C54	C55	C56	C57	C58	C59	C60	C61	C62	C63	C64	C65	C66	C67	C68	C69	C70	C71	C72
TRIANGULAR DRAWBEAD	Sample dimensions	200x200 mm			200x175 mm			200x150 mm			200x125 mm			200x100 mm			200x90 mm			200x80 mm			200x70 mm		
	BH Force/Samples	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	569 KN	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24
	785 KN	T25	T26	T27	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38	T39	T40	T41	T42	T43	T44	T45	T46	T47	T48
	1157 KN	T49	T50	T51	T52	T53	T54	T55	T56	T57	T58	T59	T60	T61	T62	T63	T64	T65	T66	T67	T68	T69	T70	T71	T72
SQUARE DRAWBEAD	Sample dimensions	200x200 mm			200x175 mm			200x150 mm			200x125 mm			200x100 mm			200x90 mm			200x80 mm			200x70 mm		
	BH Force/Samples	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	569 KN	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24
	785 KN	Q25	Q26	Q27	Q28	Q29	Q30	Q31	Q32	Q33	Q34	Q35	Q36	Q37	Q38	Q39	Q40	Q41	Q42	Q43	Q44	Q45	Q46	Q47	Q48
	1157 KN	Q49	Q50	Q51	Q52	Q53	Q54	Q55	Q56	Q57	Q58	Q59	Q60	Q61	Q62	Q63	Q64	Q65	Q66	Q67	Q68	Q69	Q70	Q71	Q72
SUBTITLE		Crack in the punch radius			Material sliding into the die (without crack)			Crack in the die shoulder			Crack in the drawbead			Crack between the drawbead and the die shoulder											

Figura 3. Classificação dos corpos de prova, de acordo com a posição da ruptura nos ensaios de estampagem
(de Oliveira, 2022)

Tomadas as amostras estampadas por de Oliveira et al. (2022), foi então iniciada a preparação das amostras para os ensaios de dureza e microscopia. Os corpos de prova foram seccionados e retiradas amostras da região do *drawbead* e da trinca da chapa, num total de 8 amostras. 4 amostras referentes a região do *drawbead* (1 para cada geometria: plano, circular, triangular e quadrado) e outras 4 referentes às regiões de trinca de cada uma das chapas (região apontada na Figura 4).

Foram realizadas ao todo duas análises: ensaio de dureza Rockwell D (com durômetro de bancada e penetrador de cone de diamante 120°) e ensaio no microscópio óptico do laboratório de materiais do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR. O ensaio de dureza Rockwell foi escolhido por sua simplicidade, possibilitando, assim, que esse seja realizado em fábricas, devido à natureza do aço AHSS ser própria para a indústria de diversos setores, como automobilístico e metalúrgico. Já no microscópio óptico foi possível a análise metalográfica das amostras, indicando a distribuição das fases martensíticas e ferríticas, além da sua morfologia.

Foram analisados quatro pontos críticos para o presente problema: duas regiões de trinca, uma região no ponto médio e outra no início da geometria do *drawbead*. Dessa maneira, é possível verificar o tamanho e homogeneidade dos grãos de cada local para inferir mais sobre o escoamento de material para dentro da matriz.

Foram adquiridas imagens dos locais usando um microscópio óptico em aumento de 100 vezes em cada um dos fragmentos metálicos de trinca ou *drawbead*. A escala de dureza Rockwell D foi escolhida pela adequação com a gama de dureza das peças em aço a serem analisadas.

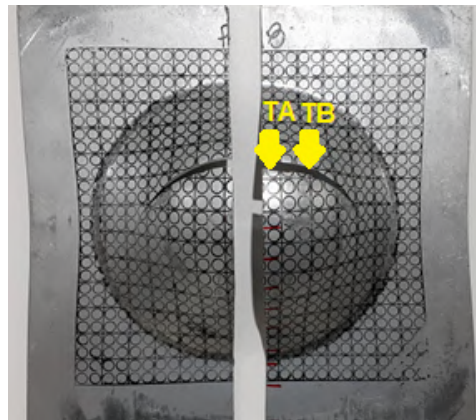


Figura 4. Locais de análise das amostras na região de trinca
(Autor, 2022)

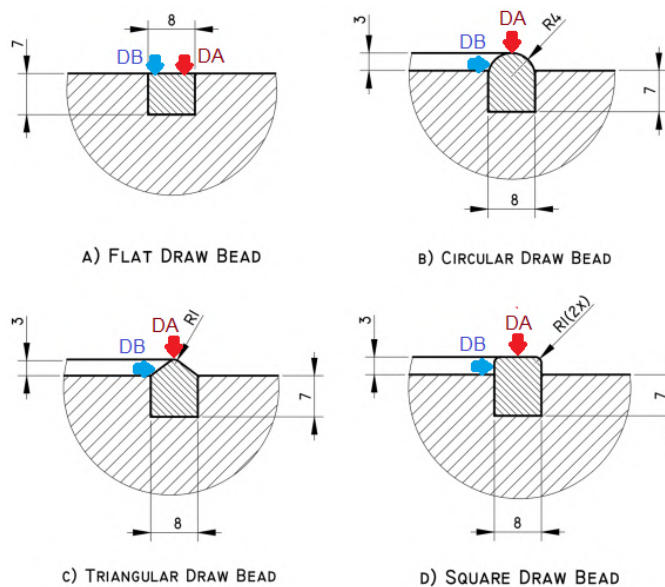


Figura 5. Locais de análise das amostras nas regiões de *drawbead*
(adaptado de Oliveira, 2022)

2.3. Preparação dos corpos de prova

De cada chapa analisada foram selecionadas e agrupadas as regiões de trinca e de drawbead, como exemplificado na Fig. 6. Essas amostras foram submetidas a uma preparação metalográfica padrão. Nessa, foi feito o embutimento, lixamento (utilizando lixas de granulometria mesh 100, 320, 600 e 1200), polimento (utilizando alumina com tamanho de partícula 0,8 micrometros) e ataque químico (utilizando Nital 2% por 5 segundos).

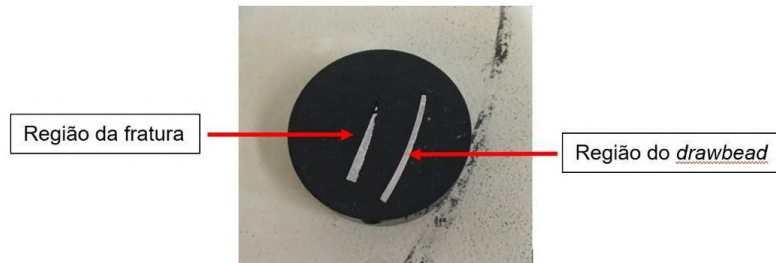


Figura 6. Amostra embutida para os ensaios de dureza e microscopia
(Autor, 2022)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Feito o ensaio de dureza na escala Rockwell D, obtiveram-se os seguintes resultados:

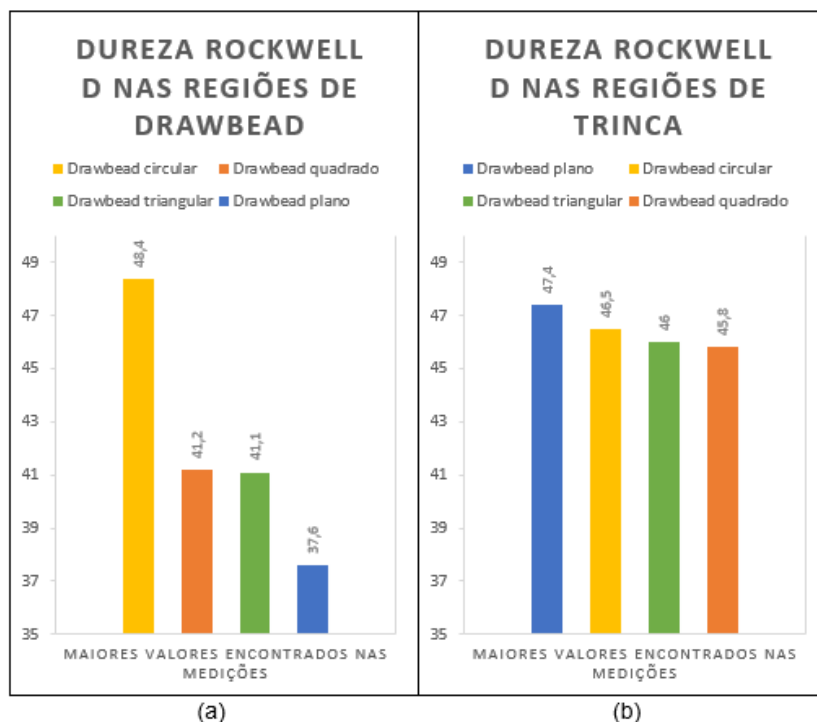


Figura 7. Dureza rockwell d nas regiões da trinca e do drawbead
(Autor, 2022)

É possível verificar que, na região da trinca (Fig. 7 (b)), a dureza aumenta significativamente quando no ferramental são utilizados *drawbeads* planos. Em contraponto, quando utilizadas geometrias mais complexas, as trincas endureciam menos, característica advinda do aumento de restrição do fluxo interno da chapa pelo *drawbead*.

Dessa maneira, pode-se confirmar encruamento excessivo dos grãos na região próxima a trinca quando não usados *drawbeads* de maior restrição, fato evidenciado pelo rompimento precoce e fragilidade excessiva das regiões..

Pode-se sustentar teoricamente o resultado anterior, pois quanto mais livre o fluxo da chapa para dentro da matriz, mais alongados e, conseqüentemente, encruados serão os grãos da região de trinca. Isso acarreta fragilização local (nesse caso do local embutido pelo punção) e trincamento da chapa com maior facilidade (Marcondes, 2013). Assim, a estampabilidade geral da peça diminui, fazendo com que ela chegue em estado de trincamento precocemente.

De acordo com as curvas limite de conformação obtidas pelo estudo de Oliveira et al. (2022), estudo do qual obtiveram-se as amostras utilizadas no momento, a estampagem limite que uma chapa pode sofrer quando utilizados *drawbeads* planos é efetivamente menor.

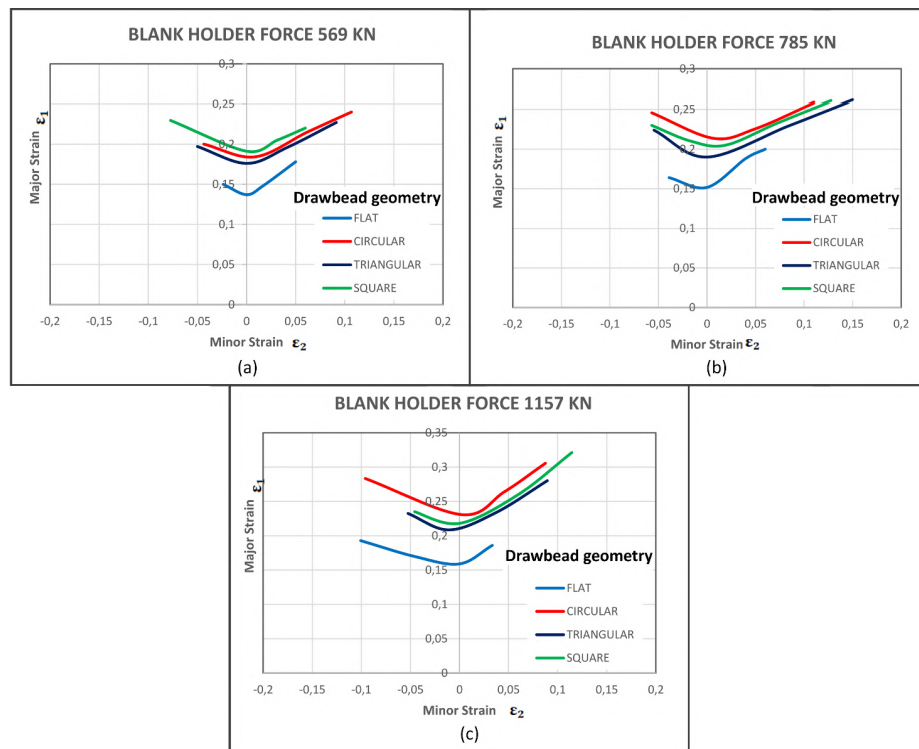


Figura 8. Curvas limite de conformação em função do drawbead usado
(De Oliveira, 2022)

Relacionando os resultados obtidos dos testes de dureza com o gráfico mostrado na Fig. 8, ao se permitir que o fluxo de material que adentrará o punção seja maior do que o devido, haverá fragilização da região do punção. Assim, o material formará trincas em estágio prévio, limitando-se a tensões abaixo do esperado.

Por esse motivo, o valor máximo que a peça pode ser tencionada é relativamente maior em relação a quando não utilizados *drawbeads*. Pois, quando esses são utilizados e restringem o fluxo de maneira satisfatória, o encruamento da região de trinca é controlado, deixando o material mais moldável.

Nos resultados nos quais são evidenciadas as durezas na região de *drawbead*, pode-se perceber que o de menor valor é o plano, pois facilita a passagem de fluxo de material, não restringindo a chapa o suficiente para encruar os grãos.

Já quando se analisam os valores obtidos em peças fabricadas com *drawbeads* de geometrias complexas, a restrição imposta pela própria ferramenta restringe o fluxo de material e detém localmente a chapa. Promovendo o endurecimento da região.

Posteriormente aos ensaios de dureza, foram realizadas análises em microscópio óptico das amostras. As imagens adquiridas das quatro regiões escolhidas com aumento de 100x, de acordo com as denominações (a) DA: região interna da chapa que esteve em contato direto com o topo do *drawbead*, (b) DB: região interna da chapa que esteve em contato direto com a base do *drawbead*, (c) TA: região da trinca e (d) TB: na periferia da trinca, como mostrado na Fig.4 e 5.

Para melhor analisar o alongamento dos grãos apresentados nas imagens microscópicas, foi calculada a razão entre maior e menor eixos, em pixels, dos grãos de ferrita com o auxílio de software computacional. Assim, pode-se concluir com mais facilidade qual a diferença de alongamento entre direções, já que quanto maior a razão entre eixos, maior o encruamento encontrado no local.

A escala de cores a seguir (Fig. 9) foi usada para melhor apresentação dos valores obtidos, sendo 1 o valor de um grão completamente homogêneo e 5 um grão na proporção de 5 para 1 do eixo maior sobre o eixo menor.

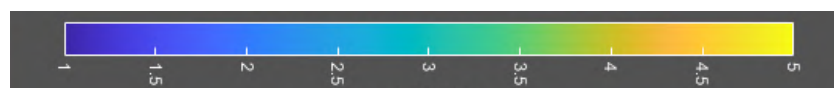


Figura 9. Escala de cores para razão de anisotropia
(Autor, 2022)

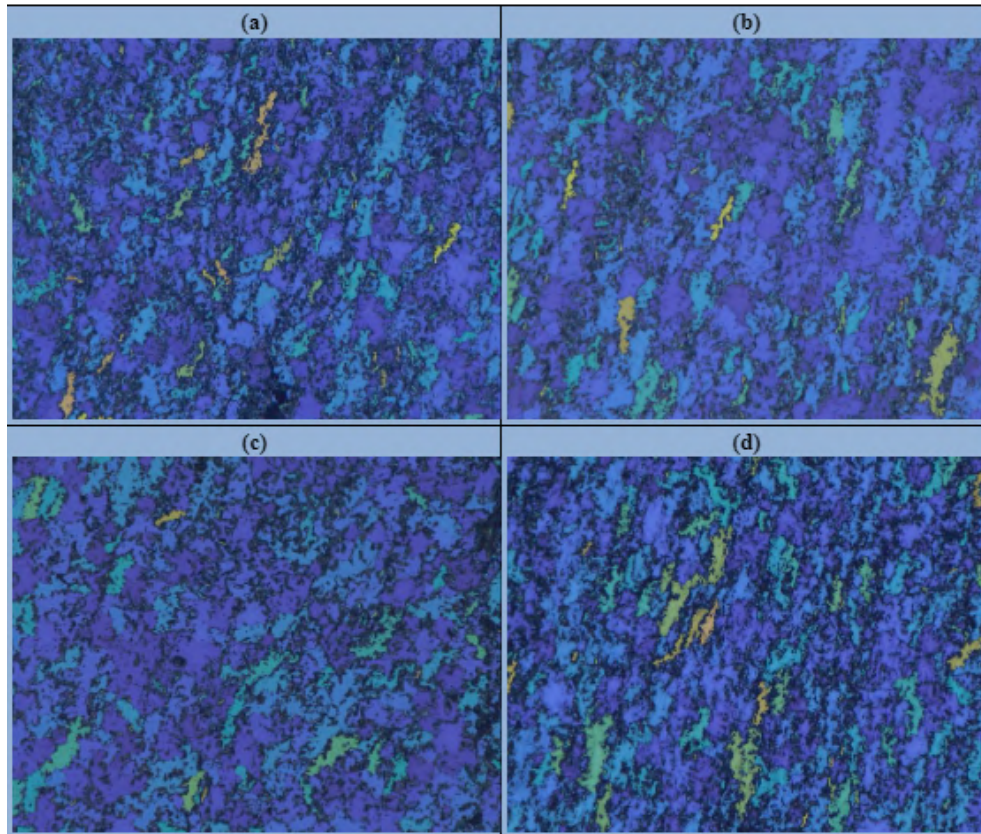


Figura 10. Microestrutura do aço dp780 com aumento de 100x, estampado com força do prensa-chapas de 785 kN e drawbead plano: (a) no topo do drawbead, (b) na base do drawbead, (c) na trinca, (d) na periferia da trinca (Autor, 2022)

É possível perceber que, onde o fluxo de material da chapa não é restringido (plano), os grãos em local de trinca (c e d) são mais alongados e encruados, por não possuírem nada que trave seu movimento. Em relação ao local diretamente acima da trinca, é possível verificar muito mais anisotropia e encruamento do que em seus arredores. Já os locais a e b, referentes ao *drawbead* plano, sofreram anisotropia parecida.

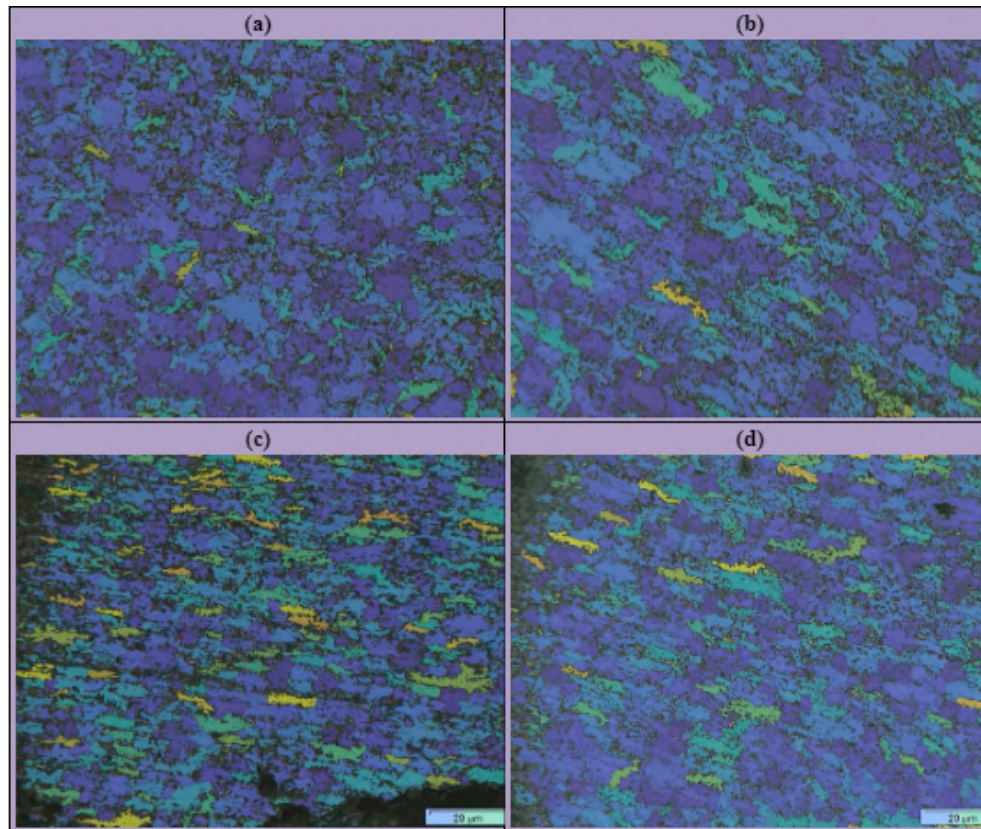


Figura 11. Microestrutura do aço dp780 com aumento de 100x, estampado com força do prensa-chapas de 785 kN e drawbead circular: (a) no topo do drawbead, (b) na base do drawbead, (c) na trinca, (d) na periferia da trinca.
(Autor, 2022)

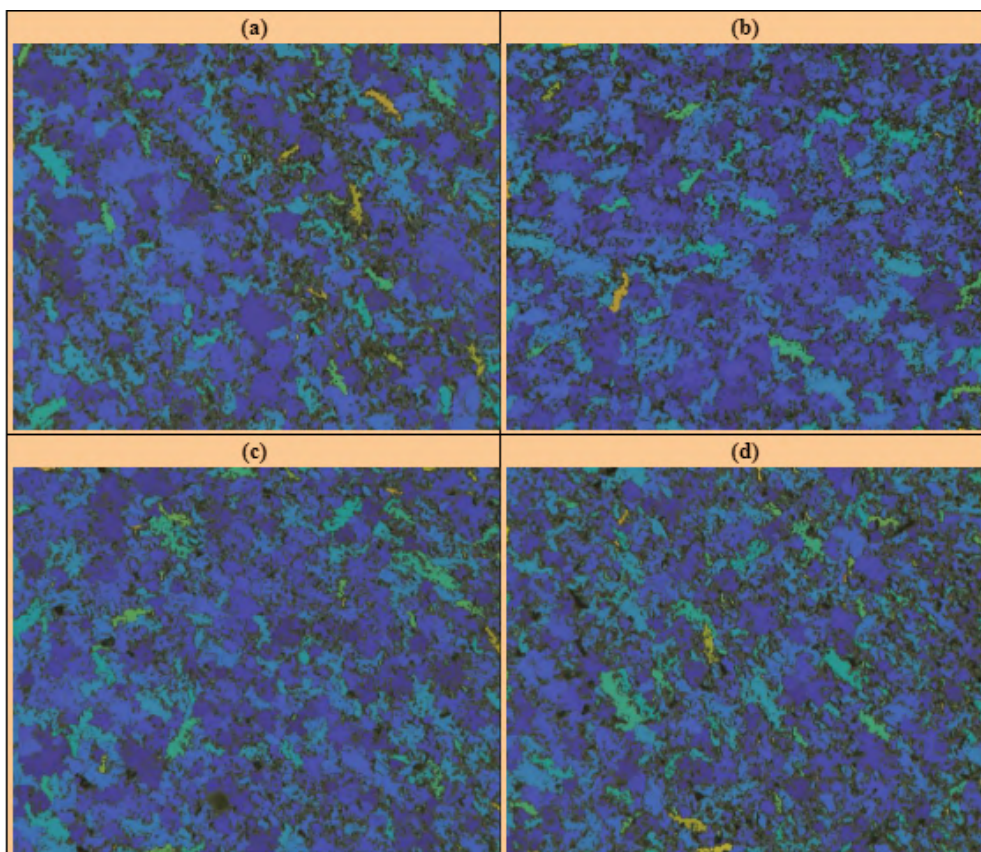


Figura 12. Microestrutura do aço dp780 com aumento de 100x, estampado com força do prensa-chapas de 785 kN e drawbead quadrado: (a) no topo do drawbead, (b) na base do drawbead, (c) na trinca, (d) na periferia da trinca (Autor, 2022)

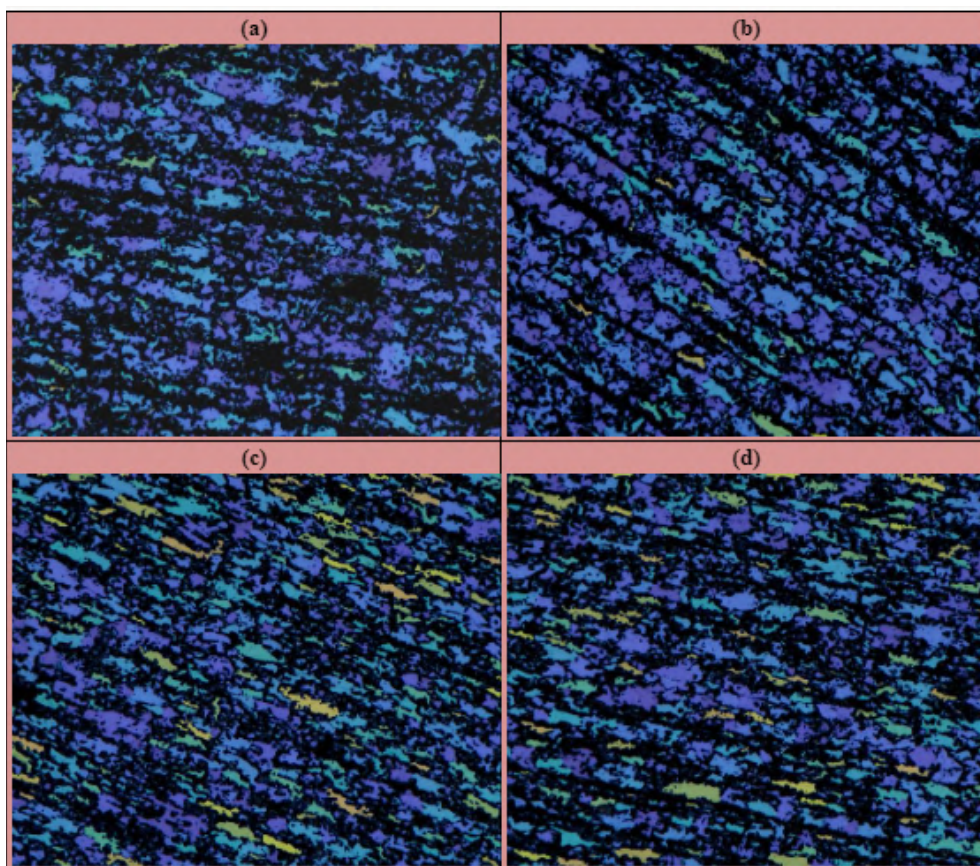


Figura 13. Microestrutura do aço dp780 com aumento de 100x, estampado com força do prensa-chapas de 785 kN e drawbead triangular: (a) no topo do drawbead, (b) na base do drawbead, (c) na trinca, (d) na periferia da trinca (Autor, 2022)

Fazendo uma análise somente das regiões de *drawbead* circular (Fig. 11), quadrado (Fig. 12) ou triangular (Fig. 13), podemos ver que nas trincas (c e d) há uma inversão de local mais anisotrópico. Percebe-se mais anisotropia nos arredores da trinca (d) do que diretamente em cima dela (c). Isso pode ser relacionado com o aumento da distribuição de tensões e maior capacidade de conformação das chapas nessas condições, pois a região da trinca não sofre tanto acúmulo de esforços.

Já nas amostras dos locais de *drawbead* (a e b) das peças circulares (Fig. 11), quadradas (Fig. 12) e triangulares (Fig. 13), foi possível ver que as quadradas e triangulares restringem muito o escoamento do material. O que é possível notar pela homogeneidade da geometria dos grãos nessas condições, ou seja, são mais redondos e a anisotropia é menor, fato evidenciado pela quantidade de tons azulados na escala de cores. Já no *drawbead* circular, é notável a diferença entre as duas regiões. A região no topo do *drawbead* (a) se mostra menos anisotrópico enquanto a região na base do *drawbead* (b) se mostra mais alongada, com cores mais quentes.

Tendo em vista que as chapas conformadas com *drawbead* plano (Fig. 10) apresentaram pouco encruamento no flange (b) (menor dureza), seguido de muito encruamento da região da trinca (c) (maior dureza) e grande variação de alongamento nas regiões nos arredores da trinca (d), em relação a diretamente acima dessa (c), podemos confirmar um estado de tensões concentrado na saída do raio do punção (trinca). Assim, criando uma condição de deformação não homogênea mais acentuada.

Já na chapa em que foi utilizado *drawbead* circular (Fig. 11), temos maior alongamento na base do *drawbead* (b), diferente do restante das geometrias. Pode-se afirmar que isso se dá pela maior distribuição de tensões ao longo de todo o perfil da chapa o que, consequentemente, demonstra maior estampabilidade. Esse dado pode ser relacionado com a maior altura da curva CLC (curva limite de conformação) de chapas nessas condições (Fig. 8).

As chapas de *drawbead* quadrado (Fig. 12) ou triangular (Fig. 13) não alcançaram o mesmo desempenho da circular devido a sua restrição demasiada à movimentação do fluxo de material. Assim, relacionando os dados apresentados na pesquisa com a curva limite de conformação, podemos confirmar a viabilidade de usar métodos microscópicos e de variação de dureza para validar os resultados adquiridos na CLC.

4. CONCLUSÕES

Foi evidenciado que, dentre os drawbeads analisados, o circular (Fig. 11) foi o que ocasionou os melhores resultados, possibilitando maior estampabilidade do material. Isso ocorre devido a formação de deformações mais homogêneas ao longo do corpo de prova, e, conseqüentemente, melhor distribuição das tensões pela chapa conformada. Já locais onde foram utilizadas geometrias quadradas (Fig. 12) e triangulares (Fig. 13) apresentaram rompimento precoce do material quando comparados a geometria mais simples (circular), reduzindo sua estampabilidade.

Realizado o processo de embutimento sem a utilização de drawbead (configuração planar (Fig. 10), neste trabalho), haverá ocorrência de maior encruamento na peça conformada, causando rompimento precoce. Isso ocorre devido ao maior escoamento de material para a matriz, o que aumenta o nível de encruamento da peça. Esses motivos, junto com o grau de anisotropia, também são determinantes para se entender a razão pela qual a dureza das regiões de trincas é maior em geometrias planas comparadas com o restante das geometrias.

O presente trabalho, dessa maneira, conseguiu correlacionar os ensaios da área de materiais que complementam e justificam os valores atingidos em curvas de CLC e os comportamentos apresentados durante os ensaios da área de fabricação, na conformação das amostras.

5. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pela Siderúrgica ArcelorMittal S/A (fornecimento DP 780) e CNPq (Brasil).

6. REFERÊNCIAS

- Bouaziz, O., Zurob, H., & Huang, M. (2013). Driving force and logic of development of advanced high strength steels for automotive applications. *Steel research international*, 84(10), 937-947.
- de Oliveira, A. R., Lajarin, S. F., Rebeyca, C. J., Nikhare, C. P., & Marcondes, P. V. P. (2022). Influence of drawbead geometry and blank holder force on the dual phase steel formability. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 121(9), 5823-5833.
- Faria Neto, A. D. R. D. (2015). Aços avançados de alta resistência: avaliação da microestrutura e propriedades dos aços DP 600 E DP 780.
- Gorni, A. A. (2008). Aços avançados de alta resistência: microestrutura e propriedades mecânicas. *Corte e Conformação de Metais*, 4(44), 26-57.
- ISO, D. (2008). Metallic materials-Sheet and strip-Determination of forming-limit curves-Part 2: Determination of forming-limit curves in the laboratory. ISO.
- Marcondes, Paulo. (2013). Embutimento, Estiramento e Operações combinadas. Curitiba: Labconf – Ufpr. Color. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EMEC7005/aulas/7%20-%20Embutimento%20e%20Estiramento%20de%20chapas%20metalicas.pdf>. Acesso em: 06 out. 2021.
- Pavanati, Henrique Cezar. (2015). Processos de Fabricação: conformação mecânica. Florianópolis: Ifsc. Color. Disponível em: <http://pavanati.com.br/doc/03%20-%20Processos%20de%20Fabricacao%20-%20Conformacao%20Mecanica.pdf>. Acesso em: 06 out. 2021.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

ANALYSIS OF THE DRAWBEAD INFLUENCE ON ADVANCED HIGH-STRENGTH STEEL FORMABILITY

Gabriela Bonatto*

Ravilson Antônio Chemin Filho*

gabriela.bonatto@ufpr.br, ravilson@ufpr.br

Karin Graf*

karin.graf@ufpr.br

Paulo Victor Prestes Marcondes*

marcondes@ufpr.br

Laísa da Silva Teixeira*

laisa.teixeira@ufpr.br

*Universidade Federal do Paraná – UFPR. Campus Centro Politécnico, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas, Curitiba – PR.

Abstract. Advanced high-strength steels were developed to meet the automotive industry's demand for lighter and more reliable bodyworks. Among them, the Dual Phase steel (composed of martensitic and ferritic phases) stands out the most. Considering its applicability in the structural parts of a vehicle's body, it is essential to study its performance after the stamping process is finished. Based on this, the present work aims to study the effect that the blanking force and drawbead geometry have on the DP780 steel's microstructure after the Nakazima stamping test. For this, already tested specimens were taken, they vary from blanking forces of 569, 785 and 1157 kN, in four different drawbead geometries: plane, circular, triangular and squared. In the study in question, only the samples tested with a blanking force of 785 kN were used, with the four aforementioned drawbead geometries. Hardness tests and optical microscopy tests were then performed on the samples in the regions where the crack occurred and in the region deformed by the drawbead. With the results of these tests, it was then sought to evaluate the impact of the stamping process on the hardening mode of the material and its effect on the formability of the metal sheet due to the restriction on the material flow. By analyzing the results, it was possible to compare the hardness variation and the transformation of the microstructure on steel. Through the optical microscope images, the variation in the size and geometry (elongation) of the grains was observed. In this way, the results showed that the flat drawbead hardened the crack region more, that is, it weakened the material more. This fact was also observed through the hardness results, which showed higher values for the flat drawbead, when compared to the tests performed with the other drawbead geometries. This fact is confirmed by the fact that the flat drawbead presented the worst stampability on sheet, according to the forming limit diagrams obtained previously. The specimens formed with the other drawbead geometries, presented larger grains and greater equiaxiality. This justifies its greater formability indicated by the forming limit diagrams. Thus, it can be concluded that the microstructural analysis in fact points to a concrete way of evaluating the formability of metal sheets, with strong potential for the development of subroutines for computer simulation of the stamping process.

Keywords: Drawbead; Stamping; AHSS; Forming limit diagrams

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.