



Alterações microestruturais dos aços AHSS no processo de dobramento em “V”

Microstructural changes of AHSS steels in the "V" bending process

DOI: 10.55905/oelv21n11-153

Recebimento dos originais: 20/10/2023

Aceitação para publicação: 20/11/2023

Matheus Henrique Riffel

Doutorando em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, Porto Alegre – RS

E-mail: matheus.riffel@ufrgs.br

Rafael Pandolfo da Rocha

Doutorando em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, Porto Alegre – RS

E-mail: rafael.pandolfo@ufrgs.br

Halston Mozetic

Doutor em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, Porto Alegre – RS

E-mail: halston.mozetic@ufrgs.br

Lirio Schaeffer

Doutorado em Conformação Mecânica

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, Porto Alegre – RS

E-mail: schaefer@ufrgs.br

RESUMO

Os aços bifásicos, ou Dual Phase, surgiram em virtude de uma crescente demanda da indústria automobilística em produzir veículos mais seguros, econômicos e, por conseguinte, menos poluentes, exigindo, em contrapartida, uma melhoria na conformabilidade. Para galgar tais finalidades, os aços Dual Phase consolidam características antagônicas, motivadas em função da resistência mecânica elevada, proveniente da fase martensítica, aliada à ductilidade, oriunda da matriz ferrítica. Quando submetidos a processos de conformação mecânica, mais especificamente, no processo de dobra, os aços bifásicos desenvolvem deformações nas regiões tratativas e compressivas do raio de dobra, o que, em virtude das suas intensidades, promovem alterações às fases martensíticas e ferríticas, constantes da microestrutura desses materiais. Nesse aspecto,

este trabalho tem como objetivo analisar a influência dos parâmetros de dobra, mais precisamente, o efeito do deslocamento do punção e da força de dobra na propagação das alterações microestruturais nas tiras de aço de alta resistência. Foram realizados, assim, quatro tipos de ensaios de dobramento em matriz “V”, os quais se diferenciavam entre si em função dos deslocamentos realizados pelo punção, empregando, assim, tiras metálicas provenientes dos aços DP600 e DP780. Dessa forma, foram analisados o desenvolvimento da força de dobra e as alterações às fases martensíticas e ferríticas desses aços quando da execução dos quatro processos de dobramento, com vistas a comparar aos resultados previstos na literatura e, se atendida certa previsão nos resultados, validá-los para os processos executados, bem como para os materiais empregados. Para esses dois aços, notou-se que, a partir de 10 e até 20 mm de deslocamento, a força aplicada pelo punção tinha uma tendência a se reduzir. No entanto, assim que assumida a posição de 23 mm, a força crescia-se abruptamente, motivada em função do contato com o fundo da abertura da matriz. No tocante às análises metalográficas realizadas, observou-se, assim como previa a literatura, a existência das duas fases constantes da microestrutura desses aços: a martensita e a ferrita. Desse modo, percebeu-se que, para aços de maior resistência, maior é a concentração da fase martensítica. Além disso, observou-se que, na região trativa do raio de dobra, os grãos de martensita e de ferrita foram alongados, ao passo que, na região comprimida, os grãos dessas fases assumiram o formato de glóbulos. Entretanto, essas alterações foram acentuadas na zona de tração, sobretudo com o maior deslocamento assumido pelo punção e, concomitantemente, ao maior carregamento aplicado.

Palavras-chave: aços bifásicos, dual phase, dobramento de chapas, análise metalográfica, microestrutura.

ABSTRACT

Two-phase steels, or Dual Phase, have emerged due to a growing demand from the automotive industry to produce safer, more economical and therefore less polluting vehicles, requiring instead an improvement in conformability. In order to reach these finities, the Dual Phase steels consolidate antagonistic characteristics, motivated by the high mechanical resistance, coming from the martensitic phase, allied to the ductility, originating from the ferritic matrix. When submitted to mechanical forming processes, more specifically, in the bending process, the two-phase steels develop deformations in the tractive and compressive regions of the bending radius, which, by virtue of their intensities, promote alterations to the martensitic and ferritic phases, constant in the microstructure of these materials. In this aspect, this work aims to analyze the influence of the parameters of do-bra, more precisely, the effect of the displacement of the puncture and the bending force in the propagation of the microstructural alterations in the strips of high strength steel. Thus, four types of "V" matrix folding assays were performed, which differed from each other depending on the displacements made by the punch, thus employing metal strips from DP600 and DP780 steels. In this way, the development of the bending force and the changes in the martensitic and ferritic phases of these steels were analyzed when the four bending processes were carried out, with a view to comparing them with the results forecast in the literature and, if a certain forecast in the

results was taken into account, validating them for the processes carried out, as well as for the materials used. For these two steels, it was noted that, from 10 mm and up to 20 mm in displacement, the force applied by the punch had a tendency to be reduced. However, as soon as the 23 mm position is taken, the force is increased abruptly, motivated by the contact with the bottom of the matrix opening. With regard to the metallographic analyzes carried out, it was observed, just as the literature predicted, the existence of the two constant phases of the microstructure of these steels: martensite and ferrite. Accordingly, it was perceived that, for steels of greater resistance, the greater is the concentration of the martensitic phase. In addition, it was observed that, in the tractive region of the warp radius, the grains of martensite and ferrite were elongated, whereas, in the compressed region, the grains of these phases took on the shape of globules. However, these changes were accentuated in the traction zone, especially with the greater displacement assumed by the puncture and, concomitantly, the larger car-irrigation applied.

Keywords: two-phase steels, dual phase, sheet folding, metallographic analysis, microstructure.

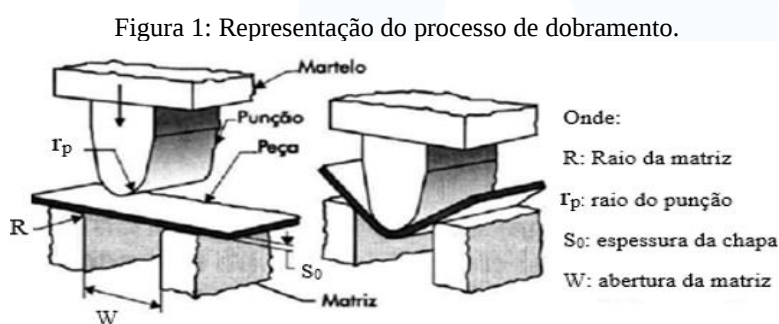
1 INTRODUÇÃO

Os aços bifásicos, ou Dual Phase, constituintes do grupo dos aços avançados de alta resistência (AHSS), estão sendo empregados amplamente no setor automobilístico, dada a peculiaridade desses em combinar elevada resistência mecânica a uma considerável ductilidade, o que contribui com a redução de peso quando da fabricação de automóveis e, inclusive, com a melhoria à conformabilidade. Embora sejam obtidos por tratamento térmico, não é incomum empregar quaisquer processos de reaquecimento nos aços Dual Phase, sobretudo quando da necessidade de lhes conferir alterações à sua microestrutura e, por conseguinte, ao seu comportamento mecânico (MARTINS, 2015).

O emprego dos aços avançados de alta resistência na indústria automobilística vem sofrendo uma considerável limitação, motivada por dificuldades em manter a sua precisão dimensional quando conformados. Assim, ressaltam que esse problema se concentra no retorno elástico, sobretudo pela inviabilidade de montar os componentes derivados dos AHSS e, inclusive, por questões estéticas, fatores esses que precisam ser correlacionados com os parâmetros de ferramenta e de processo, bem como levados em conta durante o projeto dos seus produtos (LAJARIN, 2013).

No que tange aos processos de estampagem, o dobramento é considerado como uma operação unitária, a partir da qual elementos retos de chapas são transformados em elementos curvos. Além disso, salienta-se que esse processo é caracterizado pela não-uniformidade e não-homogeneidade da deformação, motivadas pela relação direta estabelecida entre essas e a posição da seção transversal, referenciada a partir da linha neutra da peça (FERREIRA, 2010).

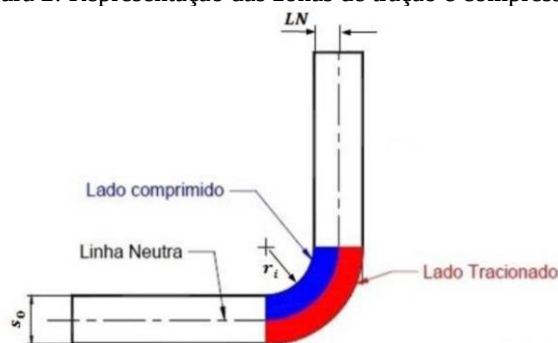
Nesse viés, o dobramento é descrito como o processo em que uma determinada chapa metálica sofre deformação por flexão, proveniente do movimento e da energia oriundos de prensas. Dessa maneira, o formato da peça é obtido pela interação entre punção e matriz específicos (SANTOS, 2013), conforme demonstrado na figura 1.



Fonte: Adaptado de SANTOS, 2013.

Quando da realização da operação de dobramento, a chapa é submetida a esforços aplicados em duas direções opostas, a fim de desenvolver a flexão e a deformação plástica. O resultado desse processo, por sua vez, é a mudança superficial da chapa metálica, a qual passa de uma superfície plana para duas superfícies concorrentes, em ângulo, munida de raio de concordância em sua junção (MORO, 2006), conforme pode ser averiguado através da figura 2.

Figura 2: Representação das zonas de tração e compressão.



Fonte: FREES, 2017.

Durante o processo de dobramento, mais precisamente, na seção transversal da região em que está concentrada a dobra, nota-se a existência de duas regiões, a saber: região de deformação elástica e região de deformação plástica. Dessa forma, destaca-se que, embora apresentem características de deformação (elástica e plástica), essas duas regiões são deformadas por esforços trativos e compressivos, cuja localização da zona de tração (+) e de compressão (-), em relação à linha neutra (LN), depende da orientação do esforço aplicado (FERREIRA, 2010).

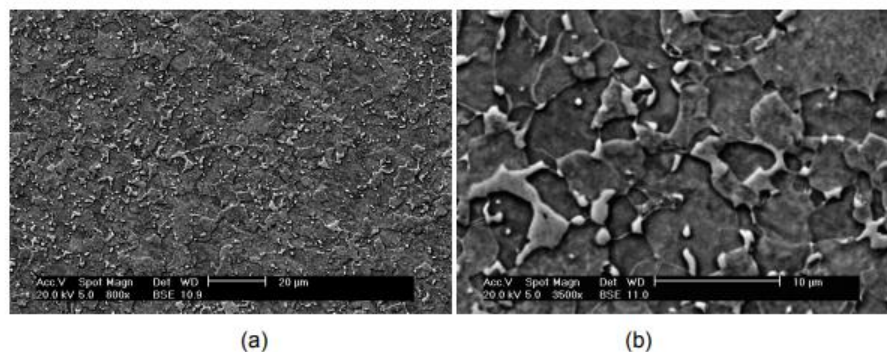
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 AMOSTRAS

Foram selecionadas 12 amostras de aço DP600 e 12 de aço DP780, com dimensões de 250 mm de comprimento e 20 mm de largura. No entanto, no tocante à espessura, é imprescindível destacar que o aço DP600 apresentava uma espessura de 1,5mm, enquanto a espessura do aço DP780 era de 1mm, materiais esses que, por sua vez, assumiram o formato de tiras.

Quanto à microestrutura do aço DP600, destaca-se que, conforme pode ser averiguado pela figura 3, foi constatado um percentual de martensita de 16,54%, percentual esse de martensita que estava dentro da faixa de 15 a 20% informada pelo fabricante. Ainda, ressalta-se a influência da fase martensítica, a qual é completamente dura e que, quanto maior o seu percentual na matriz dos aços DP, maior a resistência mecânica e menor a ductilidade desses materiais, tendo ligação direta, inclusive, com a eficiência nos processos de estampagem (CHEMIN FILHO, 2011).

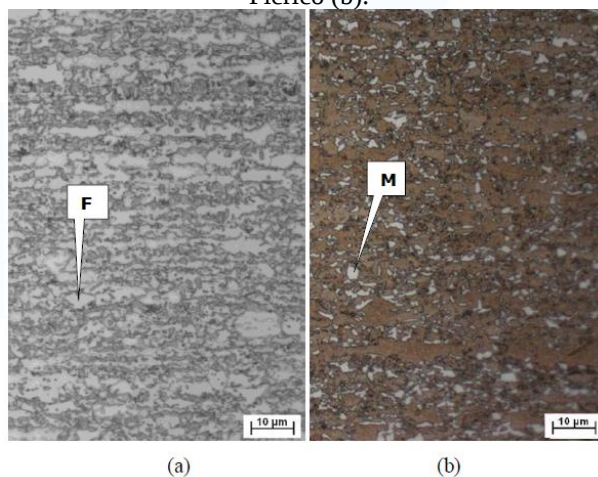
Figura 3: Microscopia eletrônica do aço DP600 com aumento de 800 X (a) e aumento de 3500 X (b).



Fonte: CHEMIN FILHO, 2011.

Por sua vez, através de microscopias óptica e eletrônica, constatou-se a presença da fase bainita na microestrutura desse aço, a qual contribui, junto à martensita, com aumento da ductilidade e da resistência do aço DP780, quando comparada a microestruturas constituídas, apenas, de ferrita e martensita (CAETANO, 2015). Na figura 4, segue demonstrada a microestrutura do aço DP780, por meio de microscopia óptica.

Figura 4: Microscopia óptica do aço DP780: ataque a Nital 4% (a) e metabissulfato de sódio + Ácido Pírico (b).



Fonte: CAETANO, 2015.

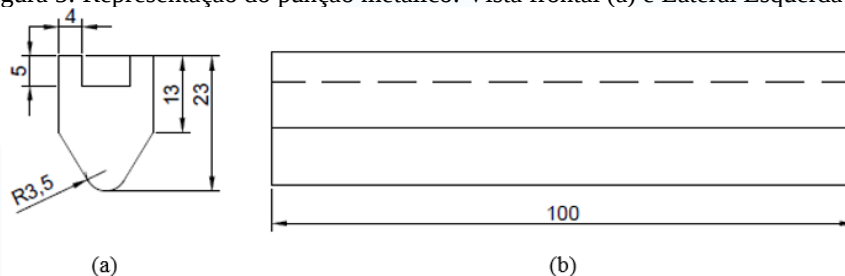
Baseado em ensaios de caracterização constantes da literatura, o aço DP780 apresenta percentual de martensita orçado em 35%, superior ao aço DP600, estimado em 24%, lhe permitindo concluir que o aço DP780 é mais resistente e menos dúctil, quando

comparado ao aço DP600. Ademais, constatou que, quando comparados os tamanhos de grão nesses materiais, a microestrutura do aço DP780 é mais refinada quando comparado ao aço DP600, o que, concomitante ao alto percentual de martensita, configurou ao DP780 maior dureza (FARIAS NETO, 2015).

2.2 ENSAIO DE DOBRAMENTO EM V

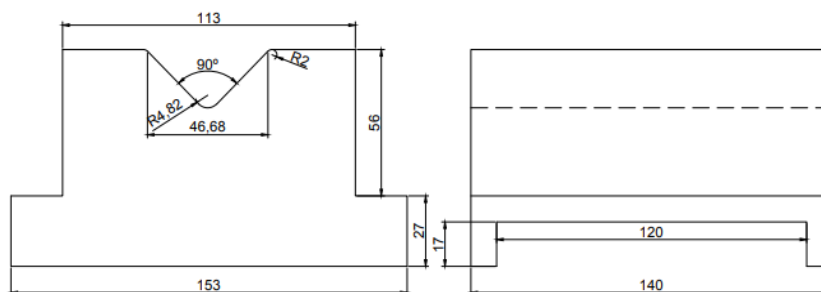
Desse modo, esses aços Dual Phase foram submetidos ao processo de dobramento em matriz “V”, processo esse que fora conduzido na máquina universal de ensaios, a EMIC DL 10000, com capacidade de carga de, no máximo, 100 kN. Os dados coletados de deslocamento e de força aplicada pelo punção são coletados pelo software da máquina, o Tesc 3.04. Por sua vez, o ferramental adotado fora um punção metálico (figura 5) e uma matriz de madeira (figura 6), para fins de execução dos processos de dobra.

Figura 5: Representação do punção metálico. Vista frontal (a) e Lateral Esquerda (b).



Fonte: AUTORES, 2019.

Figura 6: Representação da matriz de madeira. Vista frontal (a) e Lateral Esquerda (b).

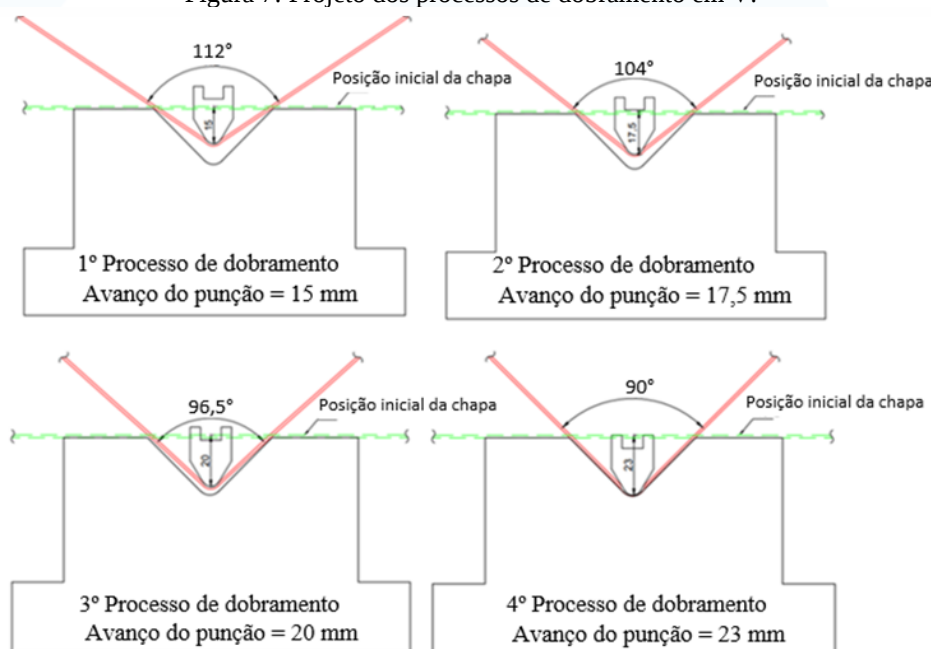


Fonte: AUTORES, 2019.

Sendo assim, o desenvolvimento dos processos de dobramento em “V” foram em divididos em quatro etapas distintas, diferenciadas entre si através dos quatro

deslocamentos verticais assumidos pelo punção (15 mm, 17,5 mm, 20 mm e 23 mm), de forma que, para cada valor de deslocamento, eram realizados três ensaios de dobramento para cada aço Dual Phase. Nesse aspecto, procedeu-se os processos de dobra, primeiramente, às amostras de aço DP600, ao passo que, quando concluídas as quatro etapas de dobra, iniciou-se o processo de dobramento para o aço DP780, processos que respeitaram à ordem crescente dos avanços do punção, cuja representação do projeto dos dobramentos a serem realizados e de seus respectivos ângulos de abertura podem ser vistos através da figura 7.

Figura 7: Projeto dos processos de dobramento em V.



Fonte: AUTORES, 2019.

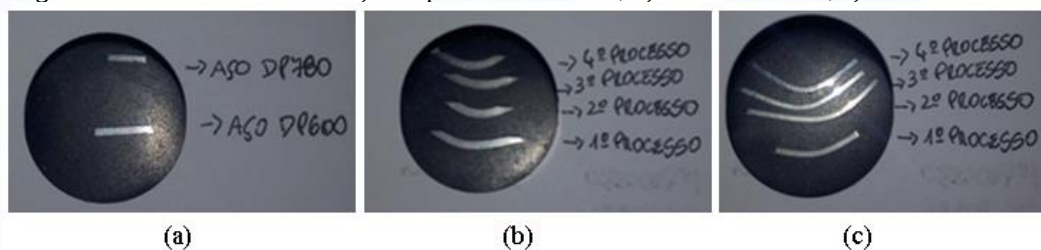
Todavia, é de suma importância destacar que, nos processos de dobramento em “V” executados, a limitação do deslocamento vertical do punção foi determinada e programada por intermédio do software da EMIC, o Tesc 3.04, de forma que, quando atingido o valor programado, a máquina cessava o deslocamento. Destaca-se que os dobramentos foram realizados com uma velocidade do punção de 20 mm/min, a fim de que não sejam promovidos quaisquer empecilhos à deformação plástica do material.

2.3 ENSAIOS METALOGRAFICOS

Foram realizados os ensaios metalográficos nas amostras de aço DP600 e DP780, visando determinar a existência de quaisquer alterações à microestrutura desses aços, sobretudo quando comparadas as quatro formas de dobramento em “V” realizadas. No entanto, para que tais alterações pudessem ser visualizadas, foram selecionadas amostras desses materiais antes e após aos processos de dobra.

Dessa forma, removeu-se a região do raio de dobra de uma das três tiras metálicas deformadas por cada tipo de dobramento, dobramentos esses que se diferenciavam em função dos deslocamentos verticais do punção (15 mm, 17,5 mm, 20 mm e 23 mm). As parcelas dos materiais retirados foram embutidos de acordo com a ordem de realização dos ensaios, conforme demonstra a figura 8.

Figura 8: Amostras embutidas: a) sem processo de dobra; b) raios do DP600; c) raios do DP780.



Fonte: AUTORES, 2019.

Desse modo, findado o embutimento, os materiais foram submetidos ao processo de lixamento, em cujo processo as amostras embutidas eram lixadas através de uma sequência de lixas d' água, ao passo que, a cada mudança de lixa, era reduzida a sua rugosidade (aumento do grau de aspereza), bem como alterada a orientação do processo de lixamento a 90° em relação à lixa anterior. Adotou-se, assim, lixas d' água com graus de aspereza de #320, #400, #600 e #1200.

Destaca-se que, embora fossem submetidas a lixas com rugosidades cada vez menores, o que contribuiu para o desenvolvimento de uma superfície com baixa rugosidade, as amostras foram encaminhadas ao polimento, etapa em que foi utilizado um disco giratório de feltro, acoplado a uma politriz automática. Ademais, foi empregado o abrasivo Alumina (Al₂O₃), da marca Risitec, com concentração de 99,98% e com

rugosidade de 1 μm , com vistas a promover um bom acabamento superficial das amostras e, conseqüentemente, melhorar as imagens extraídas das microestruturas através do microscópio óptico.

As superfícies das amostras foram atacadas com o reagente Nital, com concentração de 3%, durante, aproximadamente, 10 segundos, ao passo que, ao final do tempo de aplicação do reagente, esses materiais foram neutralizados com álcool etílico. Destaca-se que, antes de encaminhá-las ao microscópio óptico, as amostras foram secadas com um secador de cabelo convencional.

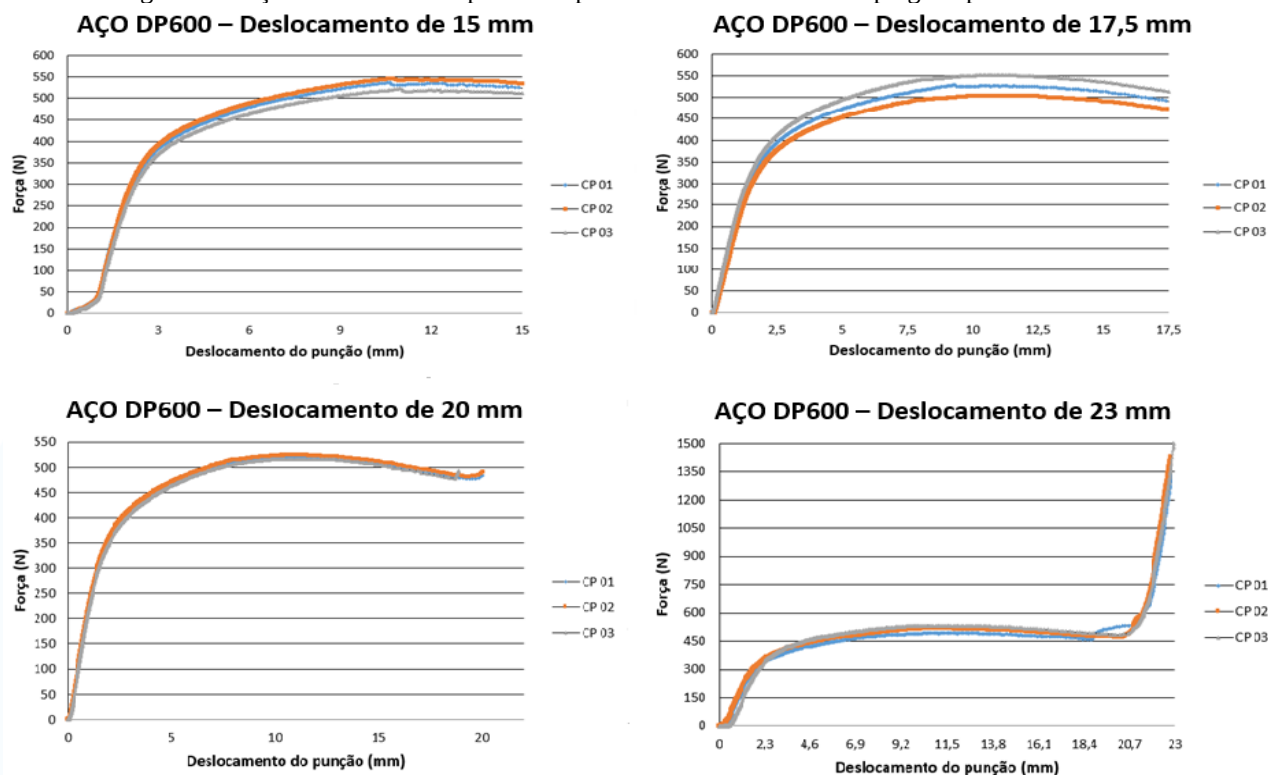
Sendo assim, findadas as etapas de preparação das superfícies das amostras de raios de dobra, foram observadas as suas respectivas microestruturas através de microscópio óptico, com ampliação máxima de 80 vezes do tamanho real. Por intermédio da câmera acoplada ao microscópio, foram fotografadas as microestruturas de cada raio de dobra, correlacionando-as com cada tipo de dobramento empregado.

3 RESULTADOS

3.1 FORÇA DE DOBRA

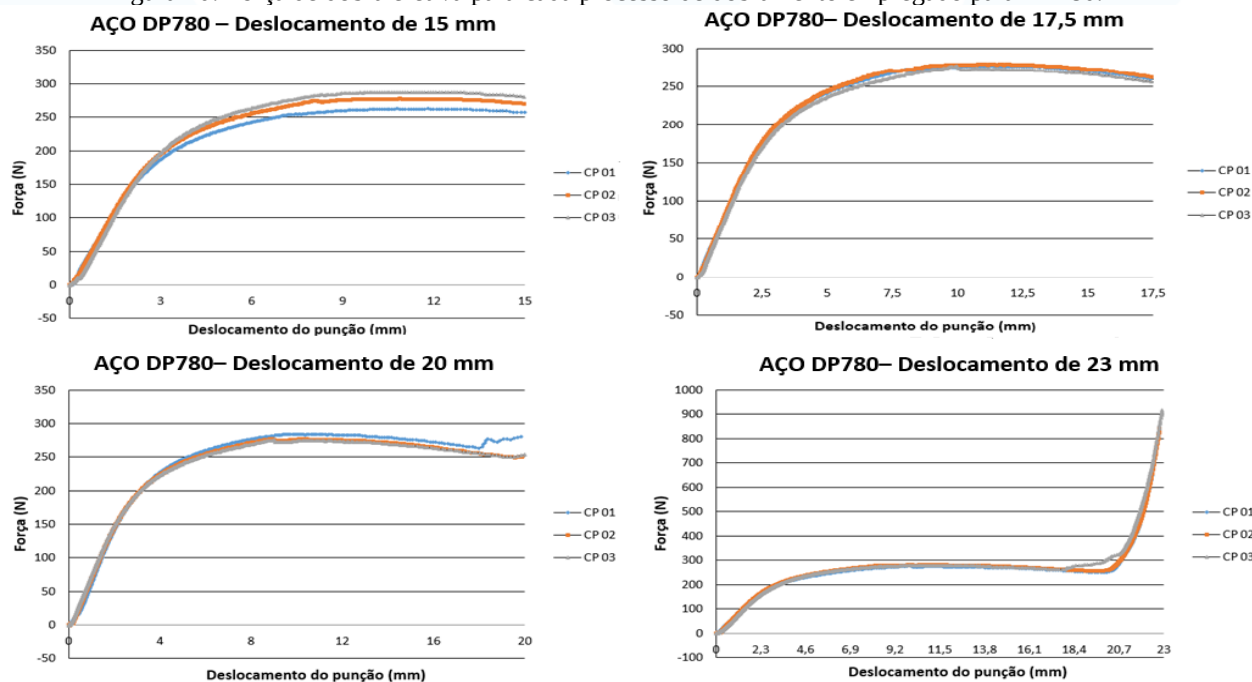
Conforme pode ser averiguado pelas figuras 9 e 10, são representadas as forças de dobra para cada processo executado, em função do deslocamento do punção. Destaca-se que esses dados foram coletados pelo software da Emic (Tesc 3.04) e, posteriormente, inseridos no MS Excel para representação gráfica.

Figura 9: Força de dobra efetiva para cada processo de dobramento empregado para DP600.



Fonte: AUTORES, 2019.

Figura 10: Força de dobra efetiva para cada processo de dobramento empregado para DP780.

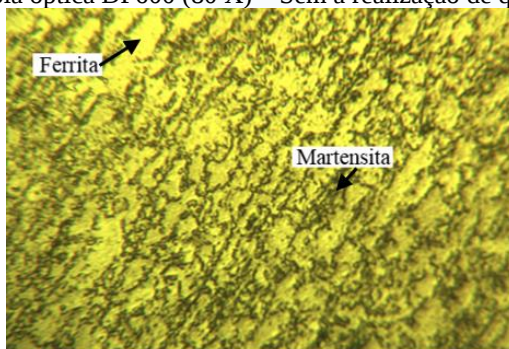


Fonte: AUTORES, 2019.

3.2 ANÁLISE MICROESTRUTURAL

Embora a ampliação do microscópio óptico estivesse limitada a 80 vezes, viabilizou-se a identificação da matriz ferrítica e das ilhas de martensita, constantes da microestrutura do aço DP600, assim como previa a literatura dos aços Dual Phase. De acordo com a figura 11, a matriz ferrítica (região clara) encontrava-se na forma poligonal, disposta ao redor das ilhas de martensita (região escura). Além disso, nota-se que, conforme característica do aço DP600, a matriz ferrítica encontra-se em proporção superior às ilhas martensíticas, ao passo que, dada a limitação do microscópio óptico, não foi viável identificar o contorno de grão das fases do material e, conseqüentemente, o seu respectivo tamanho.

Figura 11: Microscopia óptica DP600 (80 X) – Sem a realização de quaisquer dobramentos.

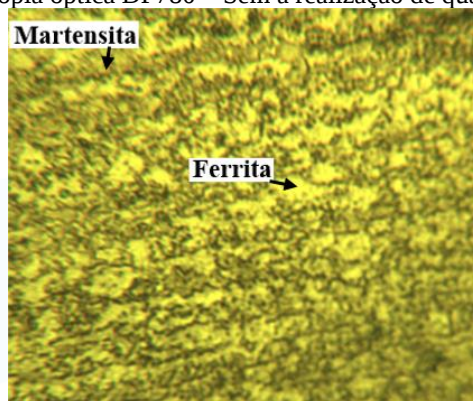


Fonte: AUTORES, 2019.

No entanto, percebe-se que os grãos de ferrita, ou matriz ferrítica, e de martensita dispõem-se de acordo com a orientação de laminação, não apresentando, porém, uma homogeneidade quanto ao tamanho de grão dessas regiões. Nota-se que a região ferrítica se encontra sob a forma de polígonos não regulares, enquanto a fase martensítica encontra-se desfragmentada, distribuída em finas regiões sob a matriz ferrítica.

Foram realizados os ensaios metalográficos para as tiras de aço DP780, nas quais, por sua vez, não foram empregados quaisquer processos de conformação. De acordo com a figura 12, percebe-se que, quando comparada ao DP600, a microestrutura do aço DP780 apresenta maior proporção da fase martensítica (região escura), dispersa, de forma equânime, na matriz ferrítica (região clara), conferindo-lhe, assim, maior resistência mecânica.

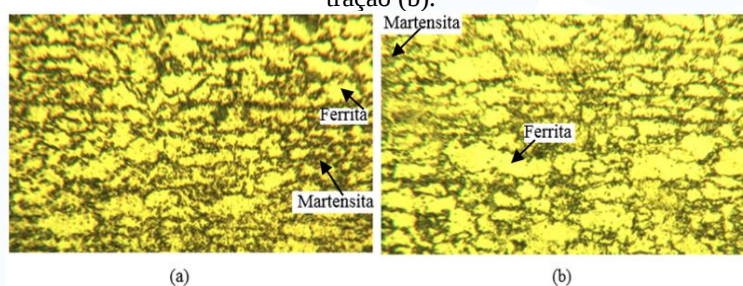
Figura 12: Microscopia óptica DP780 – Sem a realização de quaisquer dobramentos.



Fonte: AUTORES, 2019.

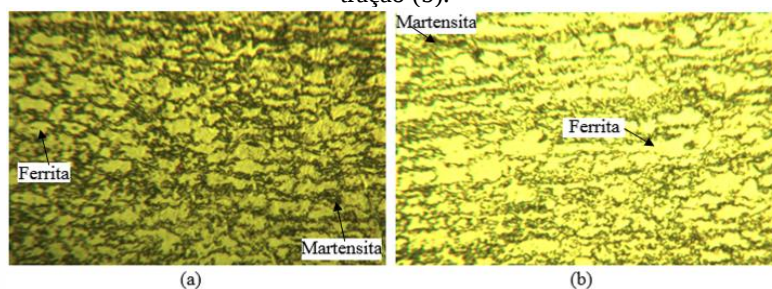
Selecionou-se um corpo de prova de cada processo para analisar a microestrutura do aço DP600. Não obstante, quando da análise metalográfica, o raio de dobra foi observado de duas formas: na região próxima ao raio interno (zona de compressão) e na região próxima do raio externo (zona de tração), cujos resultados são demonstrados pelas figuras 13, 14, 15 e 16.

Figura 13: Microscopia óptica DP600 (80 X) - Deslocamento= 15 mm, zonas de compressão (a) e de tração (b).



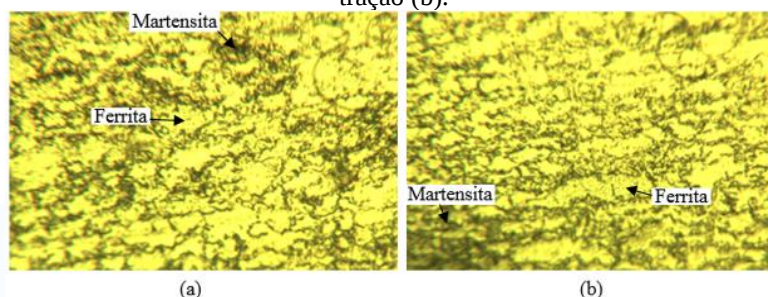
Fonte: AUTORES, 2019.

Figura 14: Microscopia óptica DP600 (80 X) - Deslocamento= 17,5 mm, zonas de compressão (a) e de tração (b).



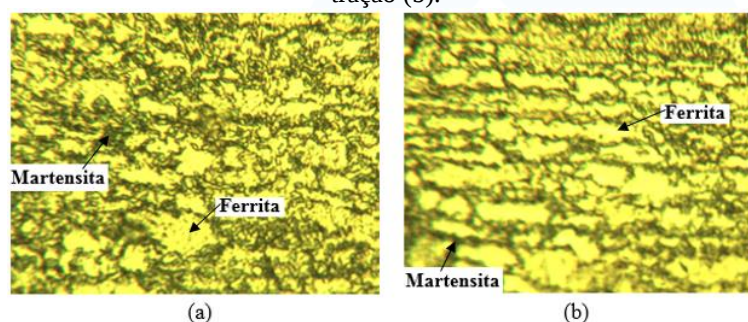
Fonte: AUTORES, 2019.

Figura 15: Microscopia óptica DP600 (80 X) - Deslocamento= 20 mm, zonas de compressão (a) e de tração (b).



Fonte: AUTORES, 2019.

Figura 16: Microscopia óptica DP600 (80 X) - Deslocamento= 23 mm, zonas de compressão (a) e de tração (b).

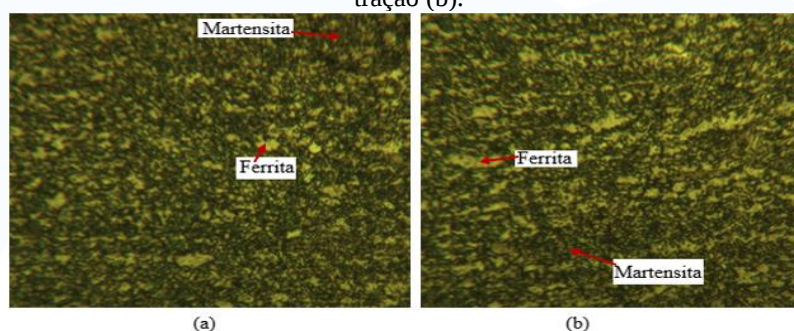


Fonte: AUTORES, 2019.

Nota-se que, para as amostras de DP600, a região do material compreendida pela zona de tração modificou-se de maneira superior à zona de compressão, uma vez que, em função do carregamento trativo, os grãos de ferrita e martensita foram alongados demasiadamente. Na região comprimida, nota-se que a martensita foi compactada, apresentando-se sob a forma de ilhas mais robustas. No entanto, tal fenômeno ocorreu, inclusive, com a ferrita, a qual, por sua vez, se transformou em glóbulos, cuja disposição na microestrutura do material encontrava-se em consonância com a orientação do carregamento compressivo aplicado à face da seção transversal do raio. Todavia, percebe-se que as transformações dessas fases foram intensificadas à medida em que aumentava o deslocamento vertical do punção, aumentando, assim, a sua percepção através do microscópio óptico.

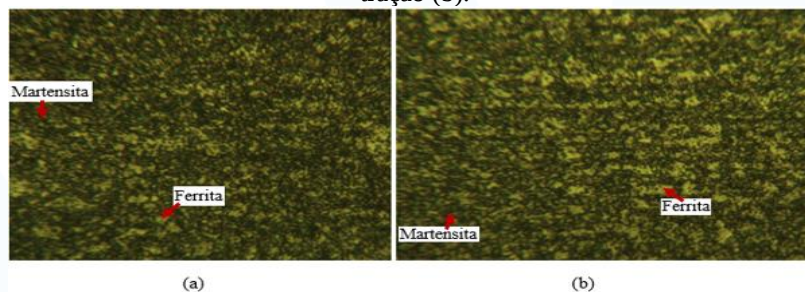
Selecionou-se um corpo de prova de cada processo para analisar a microestrutura das amostras de DP780, cujos resultados metalográficos podem vistos pelas figuras 17, 18, 19 e 20.

Figura 17: Microscopia óptica DP780 (80 X) - Deslocamento= 15 mm, zonas de compressão (a) e de tração (b).



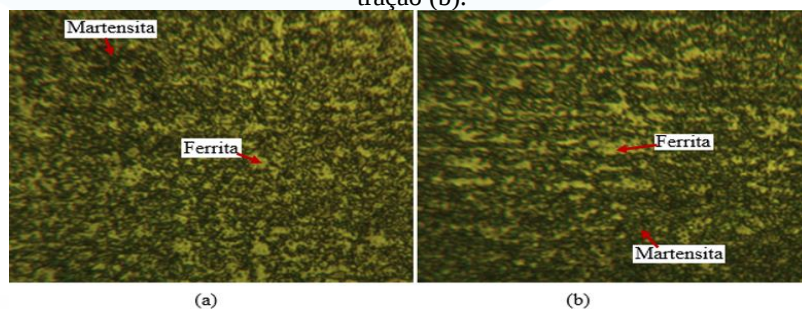
Fonte: AUTORES, 2019.

Figura 18: Microscopia óptica DP780 (80 X) - Deslocamento= 17,5 mm, zonas de compressão (a) e de tração (b).



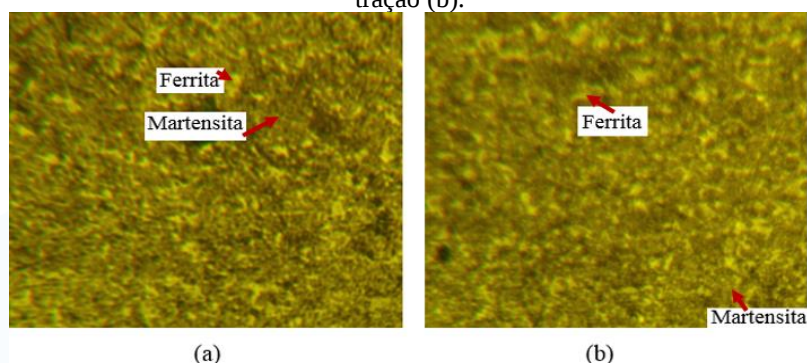
Fonte: AUTORES, 2019.

Figura 19: Microscopia óptica DP780 (80 X) - Deslocamento= 20 mm, zonas de compressão (a) e de tração (b).



Fonte: AUTORES, 2019.

Figura 20: Microscopia óptica DP780 (80 X) - Deslocamento= 23 mm, zonas de compressão (a) e de tração (b).



Fonte: AUTORES, 2019.

As fases martensita (região escura) e ferrita (região clara) foram alongadas significativamente na região trativa do raio de dobra, e, em contrapartida, compactadas na zona de compressão, assumindo o formato de glóbulos. É perceptível que as alterações dessas fases foram exacerbadas na zona trativa, zona em que se desenvolve maiores tensões e, concomitantemente, maiores deformações.

À medida em que o deslocamento vertical do punção aumentava, era notória a maximização das alterações acometidas à microestrutura do aço DP780, sobretudo na região tracionada. Entretanto, quando analisada a microestrutura do aço no quarto processo de dobramento, ou seja, quando o punção se desloca, verticalmente, 23 mm para baixo, a região ferrítica se confunde com a fase martensítica, tornando-se quase imperceptíveis, em virtude da redução do tamanho de grão dessas fases. Nesse processo, o raio de dobra assume o menor valor de raio dentre os processos, atrelado a uma pequena espessura da chapa, fazendo com que a redução do tamanho de grão dessas fases está atrelada à redução abrupta do raio e, consequentemente, do excesso de deformação concentrada, culminado, assim, no encruamento do material.

4 CONCLUSÃO

Quanto à força de dobra promovida durante os ensaios, percebe-se que, durante os deslocamentos do punção de 15, 17,5 e 20 mm, para os aços DP600 e DP780, a força de dobra manteve-se, consideravelmente, constante, ao passo que, quando se direcionando à posição de 23 mm, a força cresceu-se demasiadamente.



Por sua vez, no tocante às análises metalográficas, foram identificadas as duas fases constantes da microestrutura dos aços DP600 e DP780: martensita e ferrita, motivo pelo qual são chamados, inclusive, de aços bifásicos, ou Dual Phase, assim como corrobora a literatura. Averiguou-se que, à medida em que se aumentava o avanço do punção, mais intensificadas eram as transformações dessas fases, sobretudo na região tratada. Nesse aspecto, a região tratada concentra maiores tensões e, conseqüentemente, maiores deformações, o que permite justificar a intensidade das alterações microestruturais nessa região, sobretudo quando analisadas as amostras metálicas relativas ao quarto processo de dobramento.

REFERÊNCIAS

MARTINS, S. C. S.. Análise da microestrutura e do comportamento mecânico de aços bifásicos das classes de resistência de 600 MPa e de 1000 MPa revenidos e deformados plasticamente. 2015. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

LAJARIN, S. F.; MARCONDES, P. V. P.. Influência dos parâmetros de processo e de ferramenta na ocorrência do retorno elástico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 7., 2013, Curitiba. Anais eletrônicos. Itatiaia: Abcm, 2013.

FERREIRA, R. A. S.. Conformação plástica: fundamentos metalúrgicos e mecânicos I / prefácio de Ricardo Artur Sanguinetti Ferreira. - 2. ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2010.

SANTOS, R. A. dos. Influência da força pós dobra e da geometria da ferramenta no retorno elástico em processos de dobramento de aços de alta resistência. 2013. 114 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MORO, N. ; AURAS, A. P.. Processos de Fabricação: Conformação mecânica II – Extrusão, Trefilação e Conformação de Chapas. Apostila Curso Técnico de Mecânica Industrial. 2006. Centro Federal de educação.

FREES, M. V. da S.. Avaliações sobre o processo de dobramento de aço NBR 6656 LNE 380. 2017. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

CHEMIN FILHO, R. A.. Estudo da fratura de aços de nova geração DP600 através da variação de pressão no prensa-chapas. 2011. 148 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

CAETANO, R. A.. Avaliação da Conformabilidade do Aço Transformation Induced Plasticity (TRIP780) Eletro galvanizado e Dual Phase (DP780) Galvanizado Por Imersão a Quente. 2015. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

FARIA NETO, A. dos R. de. Aços avançados de alta resistência: avaliação da microestrutura e propriedades dos aços DP 600 e DP 780. 2015. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Guaratinguetá, 2015.