

ESTUDO DOS PERFIS DE MICRODUREZA EM PEÇAS CONFORMADAS POR REPUXAMENTO

Paulo Eustáquio Faria
Alexandre Mendes Abrão
Haroldo Béria Campos

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil. E-mail: haroldo@vesper.demec.ufmg.br

Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar a variação da microestrutura, através do ensaio de microdureza de uma chapa de alumínio ABNT 1035 T0, conformada por repuxo em um torno mecânico utilizando para tanto um mandril de aço cilíndrico (matriz) preso à placa e um bastão de aço com esfera na ponta, como ferramenta. Os ensaios foram realizados variando os seguintes parâmetros: velocidade (v), avanço (f) e redução de espessura (e) da chapa. Em cada teste dois parâmetros foram mantidos fixos enquanto o terceiro foi variado. Pequenas amostras foram retiradas das peças, embutidas e polidas para o levantamento de perfis de microdureza. Os resultados indicaram que, de modo geral, a elevação da velocidade, avanço e redução de espessura resultaram em aumento da microdureza da peça. A direção de laminação da chapa também alterou os valores de microdureza.

Palavras-chave: Repuxamento, Repuxo, Microdureza, Conformação.

1. INTRODUÇÃO

Considera-se conformação mecânica como sendo qualquer operação durante a qual se aplicam esforços mecânicos em metais, que resultam em uma mudança em sua forma e/ou dimensão, que pode ser permanente ou intermediária. De modo geral, isto é obtido através do processo de deformação plástica, onde o volume e a massa do metal são conservadas (Bresciani Filho *et al.*, 1991).

A importância dos metais na tecnologia moderna deve-se, em grande parte, à facilidade com que podem ser conformados em formas úteis. A conformação plástica pode ser classificada de acordo com o tipo de esforço mecânico predominante e temperatura de trabalho, englobando um grande número de processos, dentre eles: laminação, forjamento, trefilação, extrusão, estampagem, repuxo, etc. Esses processos têm em comum o fato de que, para a produção da peça, algum esforço do tipo compressão, tração, dobramento, tem que ser aplicado sobre o material (Hosford & Caddell, 1993).

Repuxamento, ou repuxo, é o processo de conformação de chapas metálicas que utiliza uma combinação de rotação e esforço mecânico. O processo é geralmente feito em um torno mecânico para se conseguir esta combinação. Um mandril, ou matriz, com formato da peça que se quer fabricar é preso à placa do torno e um blanque é preso na outra extremidade do mandril com a contra-ponta. Este conjunto, solidário à placa do torno, é posto em rotação.

A ferramenta (bastão ou rolete), é presa ao castelo e força o blaque a tomar a forma do mandril com o movimento paralelo à matriz, dando à peça o seu formato.

Acredita-se que qualquer metal dúctil que possa ser conformado a frio também possa ser repuxado. O repuxo pode ser manual ou automático. Embora este processo seja largamente empregado na fabricação de peças de revolução que normalmente seriam embutidas em virtude do baixo custo da matriz, poucos trabalhos científicos têm sido realizados visando uma melhor compreensão do processo e fenômenos envolvidos.

O repuxo é usado para produzir formas tais como flanges, abas laminadas, copos, cones e superfícies de revolução com dupla curvatura. Alguns produtos típicos são refletores de luz, tanques, caixas, couraças e instrumentos musicais. Há três tipos de operações de repuxo: rolagem, repuxo por torneamento e repuxo de tubos.

A rolagem é a operação básica de repuxo. Como ilustrado na figura 1, um disco de chapa metálica é preso contra a extremidade de um mandril rotativo com a forma desejável para a peça final, enquanto a ferramenta deforma o metal contra o mandril (Altan *et al.*, 1999). Em alguns casos, a forma inicial do metal não é um disco plano e o processo requer uma série de etapas (passes) para completar a formação da peça. A posição da ferramenta pode ser controlada tanto pelo operador, usando um apoio fixo para atingir o requerido momento fletor, ou por método automático, tal como controle numérico. Essas alternativas são denominadas repuxo manual e repuxo automático. O repuxo automático possui a capacidade de aplicar altas forças para a operação, resultando em ciclos mais rápidos e capacidade para peças maiores. Ele também é capaz de garantir melhor controle do processo.

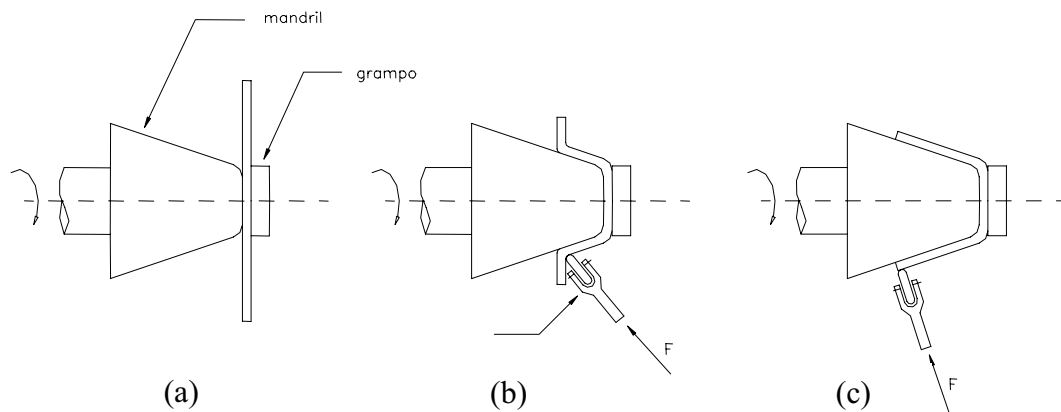


Figura 1. Rolagem: (a) configuração no início do processo, (b) fase intermediária e (c) fim do processo.

Na rolagem, a espessura da parede do metal conformado permanece inalterada em relação à espessura inicial do disco. O diâmetro do disco deve ser, portanto, maior que o diâmetro da peça resultante. O diâmetro inicial requerido pode ser determinado assumindo-se que o volume permanecerá constante após a rolagem.

As aplicações de rolagem incluem a produção de formas cônicas e curvas em baixas quantidades. Peças com diâmetro muito grande (acima de 400 mm) podem ser feitas através do repuxo. Processos alternativos de conformação de chapas exigiriam alto investimento com a fabricação de matrizes. O mandril pode ser feito de madeira ou outros materiais maciços, porém utilizando sempre materiais de fácil usinabilidade. A operação apresenta, portanto, baixo custo de ferramental se comparado com o punção e a matriz requeridos para

estampagem profunda, que poderia ser um processo alternativo para fabricação da mesma peça (Metals Handbook, 1988).

No repuxo por torneamento, a peça é formada sobre um mandril através de um processo de deformação plástica no qual a espessura da parede é reduzida, como mostrado na figura 2. Essa deformação plástica e o conseqüente afinamento da parede da chapa distingue esse processo da simples ação de dobramento na rolagem. Há limites na redução de espessura que o metal resistirá em uma operação de repuxo cisalhante antes da ocorrência de fraturas. Esse processo tem sido usado na indústria aeroespacial para conformar grandes peças, tais como cones para pontas de foguetes.

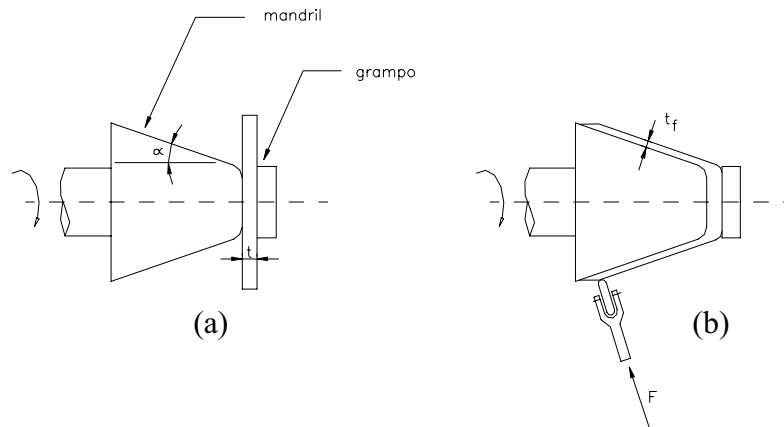


Figura 2. Repuxo por torneamento: (a) configuração inicial e (b) fim do processo.

O repuxo de tubos é usado para reduzir a espessura da parede e aumentar o comprimento de um tubo. Neste processo, o tubo inicial é introduzido em um mandril cilíndrico e um rolete aplica uma carga de compressão em sua superfície, conforme mostrado na figura 3. O repuxo de tubos é similar ao repuxo por torneamento, exceto pelo fato de o metal inicial ser um tubo, ao invés de um disco plano. A operação pode ser realizada aplicando-se um rolete contra o metal externamente (usando um mandril cilíndrico no interior do tubo) ou internamente (usando uma matriz para envolver o tubo). É também possível formar perfis nas paredes do cilindro, como na figura 3(c), controlando-se o curso do rolete enquanto ele se move tangencialmente ao longo do tubo.

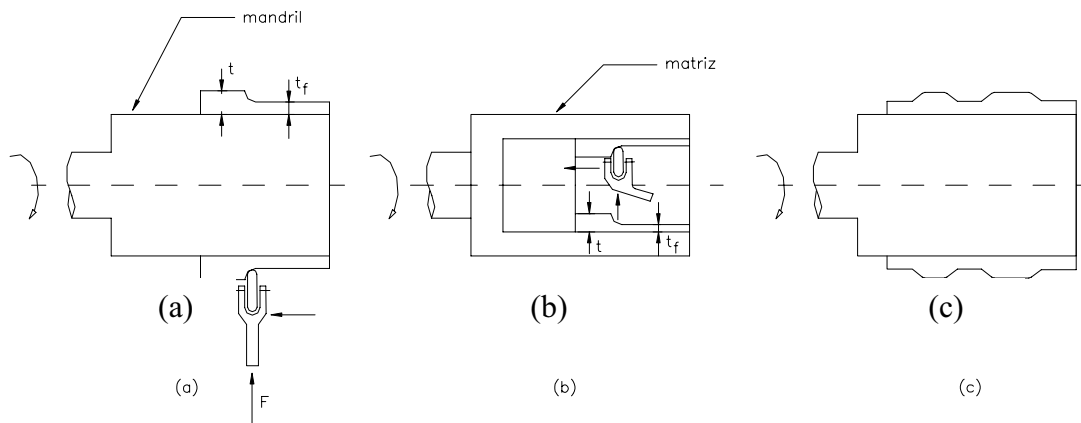


Figura 3. Repuxo de tubos: (a) externo, (b) interno e (c) perfilamento.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é o levantamento de perfis de microdureza em copos de liga de alumínio ABNT 1035 T0, processado utilizando repuxo por torneamento. Para tanto, estudou-se os efeitos da direção de laminação da chapa, da velocidade de repuxo, do avanço do rolete e da redução de espessura da chapa.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O material da peça (alumínio ABNT 1035 T0), foi adquirido na forma de chapas com espessura de 2 mm, a partir das quais foram retiradas tiras com 1000x135mm, utilizando uma guilhotina elétrica. Estas tiras foram cortadas em discos com diâmetro de 129 mm utilizando uma prensa excêntrica Ricetti (40 toneladas) com auxílio de um estampo. Os testes de repuxo foram realizados em um torno Romi, modelo MVN, com potência de 8,5 kW e rotação máxima de 1.000 rpm. Durante os testes foi aplicado óleo lubrificante (óleo mineral com aditivos e viscosidade de 68 cSt a 40°C) entre o disco e a ferramenta.

Após o repuxo, os corpos de prova foram seccionados e amostras foram embutidas em resina fria, com o objetivo de evitar o aquecimento que pudesse modificar a microestrutura das amostras. As medições de microdureza foram realizadas em um microdurômetro Mitutoyo modelo MVK – H1, aplicando-se uma carga de 300 gramas durante 40 segundos, através de um penetrador Vickers.

Durante o procedimento experimental foi verificado o efeito dos seguintes parâmetros: ângulo de laminação da chapa, velocidade (v), avanço (f) e redução de espessura (e). Inicialmente, utilizou-se os seguintes valores de velocidade: 69,13 - 109,37 e 170,13 m/min, para $f = 0,24$ mm/rev e $e = 25\%$ (de 2,0 para 1,5 mm). Em seguida, utilizou-se os seguintes valores de avanço: 0,494 – 0,988 e 1,369 mm/rev, para $v = 109,37$ m/min e $e = 25\%$ (de 2,0 para 1,5 mm). Finalmente, foram testados 3 valores de redução de espessura: 50% (de 2,0 para 1,0 mm), 25% (de 2,0 para 1,5mm) e 0% para $v=109,37$ m/min e $f=0,24$ mm/rev.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras 4 a 7 mostram os perfis de microdureza levantados ao longo da espessura do copo. As medições foram feitas no sentido transversal da parede, da parte externa para interna, espaçadas 0,25 mm entre si e a partir das bordas.

A figura 4 mostra o gráfico dos perfis de microdureza de 3 amostras retiradas de um copo conformado por repuxo com $v=109,37$ m/min, $f=0,24$ mm/rev e $e=25\%$, ou seja, redução na espessura da chapa de alumínio de 2mm para 1,5mm, medidas no sentido transversal, considerando-se os ângulos 0°,45° e 90° de laminação da chapa. Pode-se observar no início do gráfico que o sentido de laminação afeta a microdureza do material e que todas as três amostras tiveram a mesma tendência de endurecimento por encruamento após a conformação por repuxo, sendo que para um ângulo de laminação de 45° obteve-se maiores valores de microdureza. Acredita-se que este fato deve-se a uma maior redução de espessura nessa região causada pela formação de um vale durante a operação de repuxo.

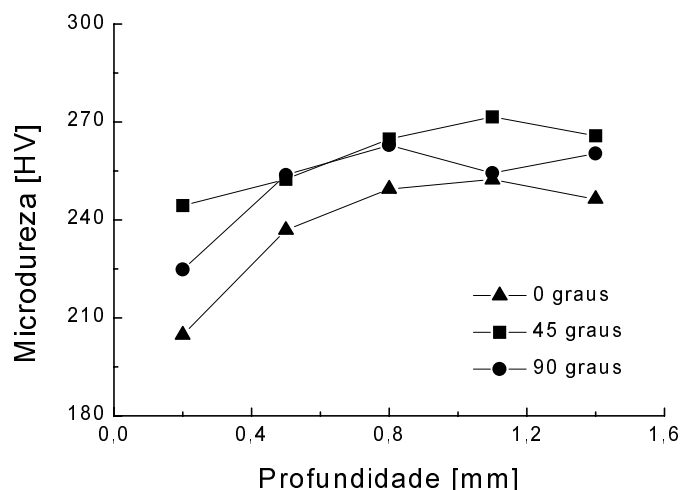


Figura 4. Variação da microdureza contra a profundidade em função do ângulo de laminação da chapa.

A figura 5 mostra o gráfico da variação da microdureza contra a profundidade de três amostras retiradas de um copo conformado por repuxo com $f=0,25$ mm/rev e $e=25\%$, medidas no sentido transversal, considerando-se a variação da velocidade (v). Pode-se observar no gráfico que todas as amostras sofreram um aumento de microdureza. Nota-se também que quanto maior a velocidade, maior a microdureza da peça.

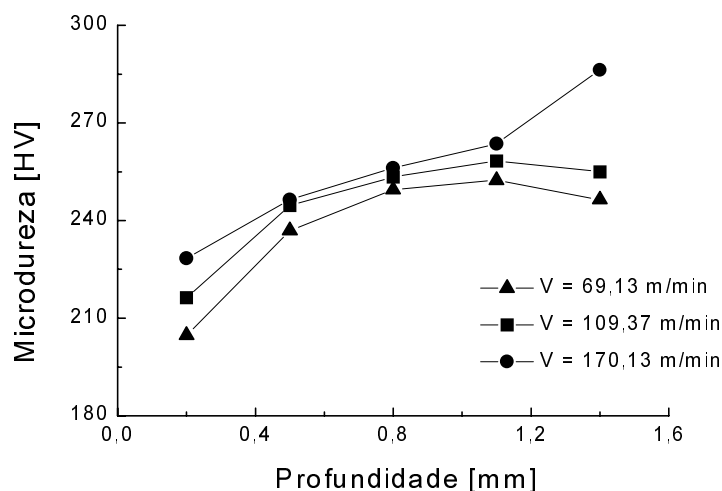


Figura 5. Variação da microdureza contra profundidade em função da velocidade (v).

A figura 6 mostra a variação da microdureza com a profundidade das amostras retiradas de um corpo conformado por repuxo com $v=109,37$ m/min e $e=25\%$ (diminuição da espessura da chapa de alumínio de 2 mm para 1,5 mm), considerando-se a variação do avanço (f). Pode-se observar no gráfico que todas as amostras sofreram um aumento de microdureza (provavelmente devido ao encruamento), convergindo para um mesmo valor, e que o maior avanço foi responsável pelos maiores valores de microdureza. Observa-se que com o aumento da taxa de deformação (aumento da velocidade e do avanço) ocorre uma elevação da microdureza, e conseqüentemente, do encruamento.

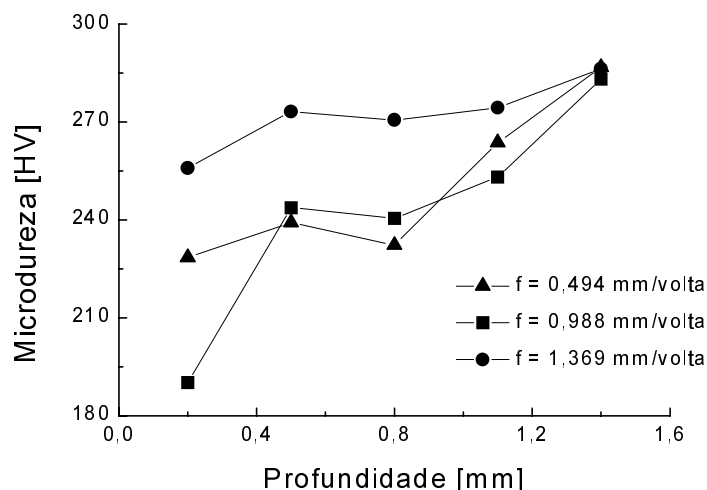


Figura 6. Variação da microdureza contra profundidade em função do avanço (f).

A figura 7 apresenta o gráfico da variação da microdureza contra a profundidade de três amostras retiradas de um copo conformado por repuxo com $v=109,37$ m/min, $f=0,24$ mm/rev e redução de espessura da chapa de 0% para o primeiro corpo, 25% para o segundo e 50% para o terceiro. Os copos que sofreram redução de 25 e 50% apresentaram a mesma tendência, ao passo que o copo com 0% de redução apresentou uma variação inferior de microdureza.

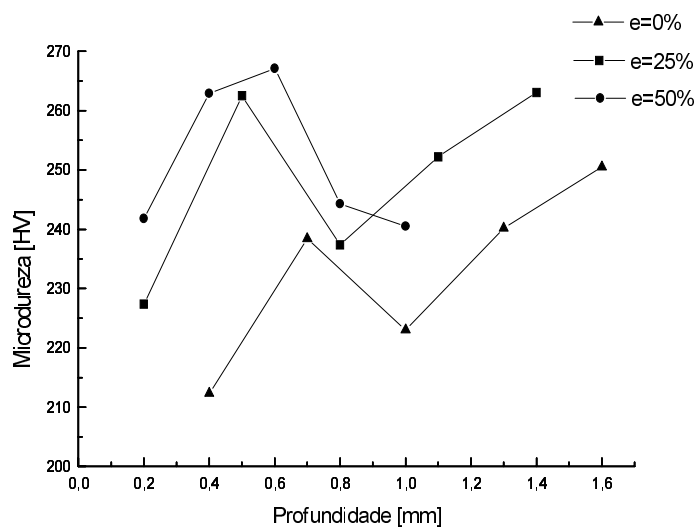


Figura 7. Variação da microdureza contra profundidade em função da espessura da chapa (e).

A figura 8 mostra os perfis de microdureza, medidos no sentido longitudinal (altura do copo repuxado), de uma amostra retirada de um copo conformado por repuxo com redução de 25%, empregando uma velocidade $v=69,13$ m/min e avanço $f=0,494$ mm/rev. Pode-se observar um aumento uniforme de microdureza devido ao processamento por repuxo do material.

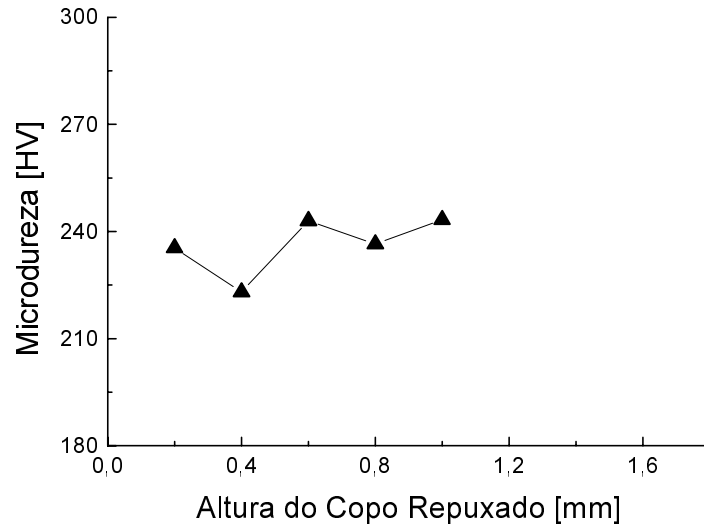


Figura 8. Perfil longitudinal de microdureza do copo repuxado.

Já a figura 9 mostra o gráfico da variação da microdureza com o comprimento de uma amostra retirada sem sofrer o esforço de conformação por repuxo, medida no sentido longitudinal, no centro da amostra. O gráfico apresenta uma variação de microdureza mínima, a qual pode ser interpretada como resultado do processo de laminação da chapa.

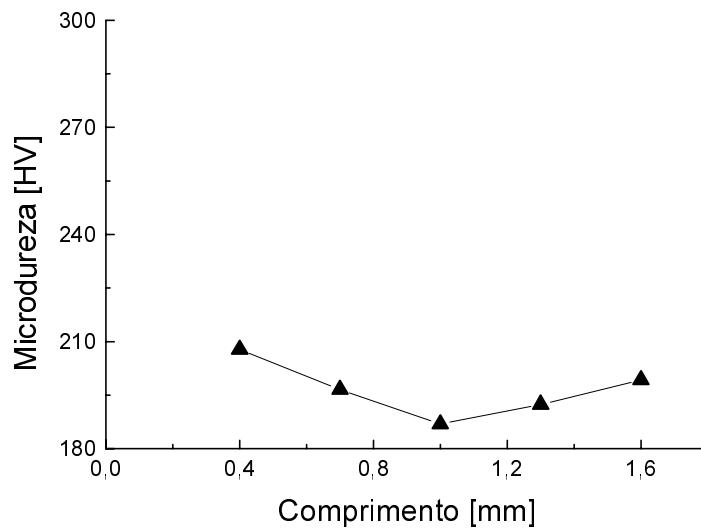


Figura 9. Perfil longitudinal de microdureza da chapa sem repuxo.

A figura 10 mostra o gráfico da variação da microdureza com a profundidade de uma amostra retirada sem sofrer o esforço de repuxo, medida no sentido transversal da amostra. Conforme esperado, o gráfico apresenta uma variação de microdureza desprezível.

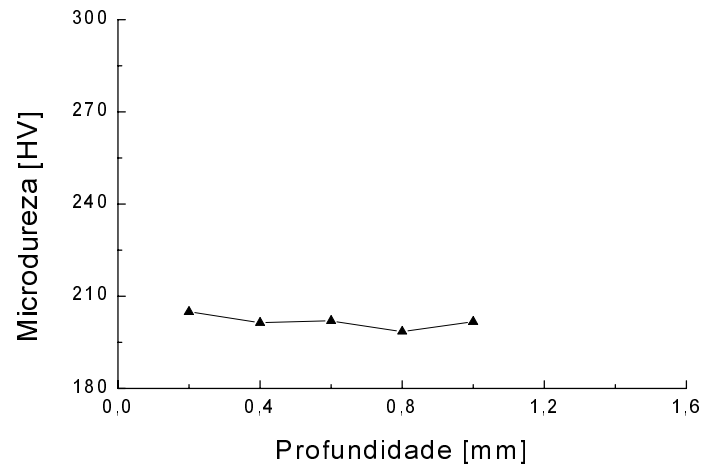


Figura 10. Perfil transversal de microdureza da chapa sem repuxo.

4. CONCLUSÕES

Todas as peças que foram conformadas por repuxo apresentaram uma variação na microdureza, identificada através do ensaio Vickers. A elevação dos parâmetros velocidade, avanço e redução de espessura da chapa resultaram em aumento da microdureza da peça. Embora não tenha sido feita uma avaliação microestrutural das amostras, supõe-se que esta variação de microdureza seja causada pelo encruamento do material devido ao aumento da deformação e da taxa de deformação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altan, T., Oh, S. e Gegel, H.L., 1999, “Conformação de Metais: fundamentos e aplicações”, EESC/USP, 350p.
- American Society for Metais, 1992, “Metals Handbook”, vol. 14, 4 ed.
- Bresciani Filho, E., Zavaglia, C.A.C., Button, S.T., Gomes, E. e Nery, F.A.C., 1991, “Conformação Plástica dos Metais”, Editora da UNICAMP, 385p.
- Hosford, W.F. and Caddell, R.M., 1993, “Metal Forming: mechanics and metallurgy”, PTR Prentice Hall, 364p.