

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Stent trançado com fio comercial de NiTi com encurtamento desenvolvido no LdTM/UFRGS: (a) em sua forma original e (b) sendo expelido do sistema introdutor [Vearick, 2006 A].....	18
Figura 2.1 – Termograma superior e inferior de DSC com taxa de aquecimento e resfriamento de 10°C/min [Shaw, 1995].....	23
Figura 2.2 – Exemplo do efeito de memória de forma em um fio de Nitinol [Talkingelectronics, 2006].....	24
Figura 2.3 – Curva tensão vs. deformação apresentando propriedade da superelasticidade do Nitinol [Shaw, 1995].....	26
Figura 2.4 – Curvas tensão vs. deformação martensíticas de corpos de prova retirados longitudinalmente e transversalmente à direção de laminação [Duerig, 1990].....	26
Figura 2.5 – Curvas tensão vs. deformação martensíticas para uma liga de Ni-Ti-10% Cu realizada em compressão, tração e torção [Duerig, 1990].....	27
Figura 2.6 – Tendência de aumento da densidade de compactados de ferro em função da pressão de compactação [Chiaverini, 2001].....	28
Figura 2.7 – Diagrama de fases do Nitinol [McNeese, 2000].....	29
Figura 2.8 – (a) Micrografia de uma liga de NiTi equiatômica trabalhada à quente mostrando a distribuição fina das partículas de segunda fase e (b) micrografia de uma liga de 52% at. Ni mostrando partículas de tamanho mais grosseiro [Duerig, 1990].....	29
Figura 2.9 – Micrografia obtida ao MEV de NiTi equiatômico obtido por compressão isostática à quente apresentando estrutura martensítica maclada [McNeese, 2000].....	30
Figura 2.10 – Micrografia de NiTi obtido por compressão isostática à quente com 18,8% de porosidade [Greiner, 2005].....	31
Figura 2.11 – Desenho esquemático de (a) extrusão direta e (b) extrusão indireta [Johnson, 1971].....	31
Figura 2.12 – Desenho esquemático de extrusão hidrostática [Talbert, 1996].....	33
Figura 2.13 – Desenho esquemático de extrusão em câmara fechada [Talbert, 1996].....	33
Figura 2.14 – Desenho esquemático de uma trefilação de barras cilíndricas [Button, 2004].....	35
Figura 2.15 – Representação das regiões de uma matriz de trefilação [Button, 2004].....	36
Figura 2.16 – Representação das tensões e padrões de escoamento que podem ser obtidos através de trefilação [Talbert, 1996].....	37
Figura 2.17 – Representação dos produtos que podem ser obtidos através de trefilação [Talbert, 1996].....	38
Figura 2.18 – Micrografias ópticas de NiTi de (a) tubo tratado por cinco minutos à 485°C; (b) chapa tratada por cinco minutos à 485°C e (c) chapa tratada por trinta minutos à 850°C [Robertson, 2003].....	38
Figura 2.19 – Desenho esquemático da (a) trefilação de tubos sem plug e (b) com plug com haste [Yoshida, 001].....	39
Figura 2.20 – Curva de escoamento de tubo de NiTi com 8mm de diâmetro externo e 0,5mm de espessura [Yoshida, 001].....	39

Figura 2.21 – Resultados de uma simulação dos esforços e deformações em trefilação de tubo de NiTi (a) sem plug com redução de 22% e (b) com plug com haste com redução de 20% [Yoshida, 001]	39
Figura 3.1 – Procedimento experimental adotado para o estudo de obtenção de fios de NiTi	42
Figura 3.2 – Máquina de ensaios universais EMIC DL 500 equipada com acessórios para ensaio de tração de fios de iTi	44
Figura 3.3 – Distribuição das indentações no fio de NiTi ao longo da seção transversal	44
Figura 3.4 – Pós de níquel e titânio utilizados para a compactação dos <i>billets</i> de Nitinol	46
Figura 3.5 – Moimho atritor utilizado para realizar a mistura dos pós de níquel e titânio no LdTM/UFRGS	46
Figura 3.6 – Matriz de compactação e punções fabricados no LdTM/UFRGS para obtenção dos <i>billets</i> de 8,3mm de diâmetro e 12,45mm de altura.....	48
Figura 3.7 – Equipamento existente no LdTM/UFRGS utilizado para as compactações dos <i>billets</i> de Nitinol	48
Figura 3.8 – Forno de sinterização fabricado no LdTM/UFRGS	49
Figura 3.9 – Ciclo térmico utilizado na sinterização (980°C) de NiTi [Vearick, 2006 B]	49
Figura 3.10 – Montagem experimental para o ensaio de compressão à 25°C dos <i>billets</i> de Nitinol no LdTM/UFRGS.....	50
Figura 4.1 – Curva de escoamento obtida por ensaio de tração de fio de NiTi de 0,155mm de diâmetro.....	54
Figura 4.2 – Micrografias ópticas do fio de NiTi da empresa NDC em seu estado original de fornecimento (a) em sentido longitudinal e sem ataque químico; (b) em sentido transversal e sem ataque químico; (c) em sentido longitudinal e com ataque químico e (d) em sentido transversal e com ataque químico	55
Figura 4.3 – Micrografia ao MEV do fio de Nitinol comercial com ataque químico na seção (a) longitudinal e (b) transversal.....	56
Figura 4.4 – Espectro de EDS do fio comercial de NiTi.....	57
Figura 4.5 – Micrografias ópticas mostrando a zona de ruptura de um fio de NiTi da empresa NDC ensaiado em tração (a) sem ataque químico e (b) com ataque químico	57
Figura 4.6 – Termograma de DSC do fio de NiTi em seu estado de fornecimento	58
Figura 4.7 – Difratoograma de raios-X da mistura de 4h de pós de Ni e Ti	59
Figura 4.8 – Micrografia ao MEV da mistura de pós de 4h com (a) aumento de 50x e (b) aumento de 200x....	60
Figura 4.9 – Curva de compressibilidade do billet de 8,3mm de diâmetro.....	60
Figura 4.10 – Fotografia do billet à verde com dimensões de 8,3mm de diâmetro e 12,45mm de comprimento (a) em pé e (b) deitado.....	61
Figura 4.11 – Fotografia do billet sinterizado com dimensões de 8,5mm de diâmetro e 12,55mm de comprimento (a) em pé e (b) deitado.....	61
Figura 4.12 – Micrografia óptica da seção longitudinal do billet sinterizado (a) sem ataque e (b) com ataque químico.....	62
Figura 4.13 – Difratoograma de raios-X do billet sinterizado.....	63
Figura 4.14 – Micrografia ao MEV do billet sinterizado (a) na seção longitudinal e (b) na seção transversal.....	63
Figura 4.15 – Espectrograma de EDS da seção longitudinal do billet sinterizado	64

Figura 4.16 – Curva de escoamento do billet de NiTi obtida através de ensaio de compressão à temperatura ambiente de 25°C	65
Figura 4.17 - Micrografia óptica (a) sem ataque e (b) com ataque na região central longitudinal do billet de 8,3mm de diâmetro ensaiado em compressão para uma deformação de aproximadamente 45%	65
Figura 4.18 - Termograma de DSC do billet de NiTi obtido.....	67
Figura 4.19 – Modelo 3D da matriz de extrusão projetada	68
Figura 4.20 – Modelo 3D mostrando o detalhe do encaixe do inserto na matriz bipartida com seus canais para inserção de termopar e da resistência.....	69
Figura 4.21 – Fotografia da matriz de extrusão montada com o aquecedor	69
Figura 4.22 – Aproximação polinomial da região plástica da curva de escoamento verdadeira do fio de NiTi de 0,155mm de diâmetro da empresa NDC	70
Figura 4.23 – Desenho da montagem do inserto na carcaça de trefilação	70
Figura 6.1 – Diagrama proposto para a obtenção do fio de NiTi.....	76
Figura 6.2 – Tubo de cobre comercial com a mistura de pós de Ni e Ti pré-compactado em seu interior	77