

APLICAÇÃO DO PROCESSO DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA LAMINAÇÃO A FRIO EM PARAFUSOS DE FIXAÇÃO DE PRÓTESES DENTÁRIAS¹

Ricardo Luiz Ciuccio²
Rafael Afonso Costa Lira³
Rubens Vieira Quadrelli³
Michel Mello de Oliveira⁴
Danilo Alves de Arruda⁵
Daniel Alves de Andrade⁵

Resumo

O titânio é um dos principais materiais empregados na fabricação de implantes e componentes odontológicos devido à combinação de propriedades como alta resistência mecânica, boa resistência à corrosão e elevada biocompatibilidade, as ligas de titânio tipo β são as mais promissoras como biomaterial. Este trabalho apresenta características e resultados de ensaios realizados em parafusos de fixação para próteses odontológicas com propósito de avaliar a resistência mecânica à torção. O objetivo principal deste estudo é comparar a resistência mecânica do parafuso de titânio usinado com o laminado a frio. As amostras foram caracterizadas por microscopia eletrônica e por medidas de dureza Rockwell em diferentes regiões. Os resultados obtidos indicam que a rosca laminada em titânio é possível mesmo em peças com pequenas dimensões, obtendo um aumento de resistência mecânica.

Palavras-chave: Resistência mecânica; Titânio; Microestrutura; Encruamento.

APPLICATION OF THE PROCESS OF FORMING A COLD ROLLING MECHANICS IN SCREWS FIXING PROSTHESES DENTÁRIAS

Abstract

Titanium is one of the main materials used in making dental implants and components due to the combination of properties including high mechanical strength, good corrosion resistance and high biocompatibility, the β type titanium alloys are more promising as a biomaterial. This paper presents features and results of tests on screws for dental implants in order to evaluate the mechanical resistance to twisting. The main objective of this study is to compare the mechanical strength of titanium screw machined with the cold-rolled. The samples were characterized by electron microscopy and by Rockwell hardness measurements in different regions. The results indicate that the thread rolled titanium is possible even with small parts, obtaining an increase of mechanical strength.

Key words: Mechanical strength; Titanium; Microstructure; Hardening.

¹ Contribuição técnica ao 48º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 24 a 27 de outubro de 2011, Santos, SP

² Mestrando em Engenharia Mecânica, Engenheiro de Processos, Coordenador de Engenharia, SIN – Sistema de Implante, São Paulo, SP, Brasil.

³ Graduando em Engenharia Produção Mecânica, Técnico de Métodos e Processos, SIN – Sistema de Implante, São Paulo, SP, Brasil.

⁴ Graduando em Engenharia Produção, Técnico de Métodos e Processos, SIN – Sistema de Implante, São Paulo, SP, Brasil.

⁵ Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, Técnico de Métodos e Processos, SIN – Sistema de Implante, São Paulo, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Existem importantes pesquisas desenvolvidas na área de Implantes dentários e outras se desenvolvendo, que buscam o aprimoramento de técnicas, de profissionais e de diferentes produtos no mercado. O sucesso das próteses dentárias, suportadas por implantes osseointegrados, depende de um equilíbrio dinâmico, entre os aspectos mecânicos e biológicos e, tem despertado necessidades de novos sistemas de inserção.

Ao longo das últimas décadas, o uso de implantes dentários em pacientes parcialmente desdentados, inclusive em substituições unitárias de dentes, está ocorrendo uma revolução na reabilitação estética e funcional, além de, devolver a auto-estima a muitos pacientes.⁽¹⁾

O titânio é um dos principais materiais empregados na fabricação de implantes e componentes odontológicos devido à combinação de propriedades como alta resistência mecânica, boa resistência à corrosão e elevada biocompatibilidade, as ligas de titânio tipo β são as mais promissoras como biomaterial.⁽²⁾

Dessas ligas, certamente a mais utilizada atualmente refere-se à liga $\alpha+\beta$ Ti- 6Al-4V. Tal material foi desenvolvido para ser aplicado no campo militar e aeronáutico e suas características levaram-na a ser utilizada como biomaterial. Como o vanádio é tido como um elemento pouco tolerado pelo corpo humano, estudos levaram ao desenvolvimento de outras ligas do tipo $\alpha+\beta$, em particular aquelas à base de Nb e Fe.⁽³⁾

Entretanto, em se tratando de ligas do tipo $\alpha+\beta$, o módulo de elasticidade das mesmas é muito elevado em comparação com o de ossos corticais, pois diversos estudos sugerem que a transferência inadequada de esforços entre a prótese e os ossos da região implantada pode levar à rejeição e perda do implante.

Como alternativa nesse caso, uma nova classe de ligas de titânio denominada tipo β e constituídas, por elementos altamente biocompatíveis passou a ser desenvolvida. Exemplos dessas ligas incluem a liga Ti-13Nb-13Zr, a Ti-5Mo-5Zr-3Al e a Ti-29Nb-3Ta-4,5 Zr, que além de exibirem baixo módulo elástico combinado com alta resistência mecânica, exibem ainda elevada biocompatibilidade. Nessas ligas, o nióbio que é um elemento β estabilizador, permite reduzir sensivelmente o módulo de elasticidade da liga. Além disso, a presença controlada da fase β na microestrutura abre a possibilidade de utilizar tratamentos térmicos que resultem no endurecimento por envelhecimento.⁽⁴⁾

Processamentos termomecânicos são freqüentemente utilizados em ligas de Ti para obter uma combinação de propriedades favoráveis, bem como conformar o material na forma do produto final.

As operações de conformação são aquelas onde a forma de uma peça metálica é alterada através de um processo de deformação plástica. Por exemplo, o forjamento, a laminação, a extrusão e o estiramento são técnicas de conformação usuais.

Obviamente, a deformação precisa ser induzida por uma força ou tensão externa, cuja magnitude precisa exceder o limite de escoamento do material. A maioria dos materiais metálicos é especialmente suscetível a esses procedimentos, sendo pelo menos moderadamente dúcteis e capazes de sofrer alguma deformação permanente sem a ocorrência de uma trinca ou de uma fratura.

Quando uma deformação é obtida a uma temperatura acima daquela na qual ocorre a recristalização, o processo é conhecido como trabalho a quente; de maneira contrária, o processo é conhecido como trabalho a frio.

O trabalho a frio produz um aumento na resistência com uma conseqüente diminuição na ductilidade, uma vez que o metal encrua, isto é, endurece pela deformação; as vantagens em relação ao trabalho a quente são melhor qualidade do acabamento da superfície, melhores propriedades mecânicas e maior variedade dessas propriedades, assim como um controle dimensional mais preciso da peça acabada.

O fenômeno encruamento é explicado com base em interações entre as discordâncias e os campos de deformação das discordâncias. A densidade das discordâncias em um metal aumenta com a deformação ou com o encruamento, devido à multiplicação das discordâncias ou a formação de novas discordâncias.

Conseqüentemente, a distância média de separação entre as discordâncias diminui – as discordâncias são posicionadas mais próximas uma das outras. Na média, as interações de deformação discordância – discordância são repulsivas.

O objetivo principal deste estudo é comparar a resistência mecânica do parafuso de titânio usinado com o laminado a frio.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de resistência mecânica foram realizados de acordo com a norma NBR ISO 5832-2.⁽⁵⁾ Os critérios de aceitação considerados foram os especificados na norma ASTM F67-06.⁽⁶⁾ O objetivo destes métodos de ensaio é fornecer metodologias e meios de avaliação consistentes tanto para produtores quanto para usuários. Foram analisados 10 parafusos de titânio, com diâmetros de 3 mm e comprimento de 8 mm e rosca de M2 x 0,4 mm (Figura 1).

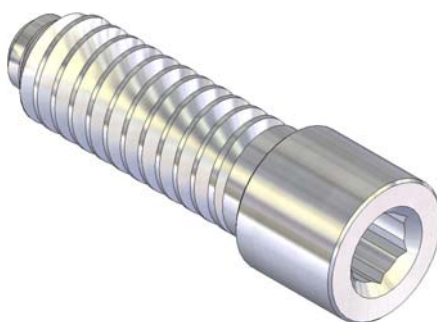


Figura 1. Parafuso de titânio.

2.1 Material

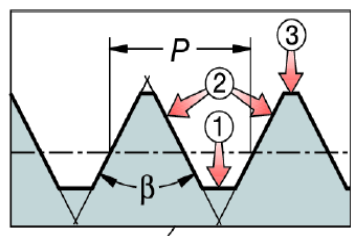
Nas amostras de parafusos ensaiados foi utilizado como matéria-prima o titânio grau V de acordo com a norma ASTM F136⁽⁷⁾ (Tabela 1). O titânio é atualmente considerado o material de melhor escolha para confecção de componentes para implantes devido a sua ótima biocompatibilidade.

Tabela 1. Composição química do titânio grau V

Limites máximos de Composição %							
N	C	H	Fe	O	Al	V	Ti
0.05	0.08	0.012	0.25	0.13	6	4	Balanço

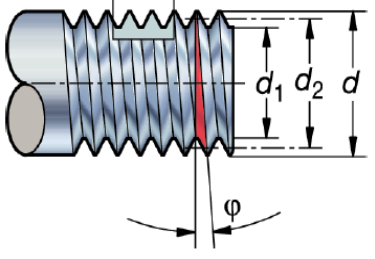
2.2 Rosca Usinada

As roscas são cortes com giros helicoidais em uma peça, externa ou internamente. O perfil da rosca define a geometria de uma rosca e inclui os diâmetros desta (diâmetro externo, efetivo ou de flanco, e interno); ângulo do perfil da rosca; ângulo de hélice e passo da rosca (Figura 2).



Termos sobre rosca

1. Raiz/inferior - A superfície inferior que une os dois flancos adjacentes da rosca.
2. Flanco/lateral - A lateral da superfície da rosca que conecta a crista e a raiz.
3. Crista/superior - A superfície superior que une os dois lados, ou flancos.



P = Passo, mm ou fios por polegada (t.p.i.)

β = O ângulo do perfil

ϕ = O ângulo de hélice da rosca

d = O diâmetro maior externo

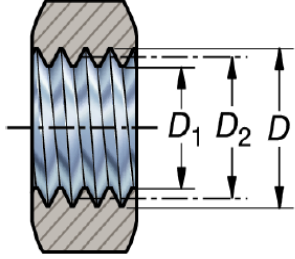
d_1 = O diâmetro menor externo

d_2 = O diâmetro do flanco externo

D = O diâmetro maior interno

D_1 = O diâmetro menor interno

D_2 = O diâmetro de flanco interno ou efetivo



Diâmetro de flanco, d_2 / D_2

O diâmetro efetivo da rosca do parafuso. Aproximadamente, metade do caminho entre o diâmetro principal e secundário.

Figura 2. Rosca métrica grossa e fina.

O formato geométrico da rosca é baseado no diâmetro de flanco, ou efetivo (d_2, D_2) da rosca e do passo (P): a distância axial da peça, de um ponto do perfil ao próximo ponto correspondente ao longo da rosca. Isto também pode ser visto como um triângulo sendo desenrolado da peça (Figura 3).

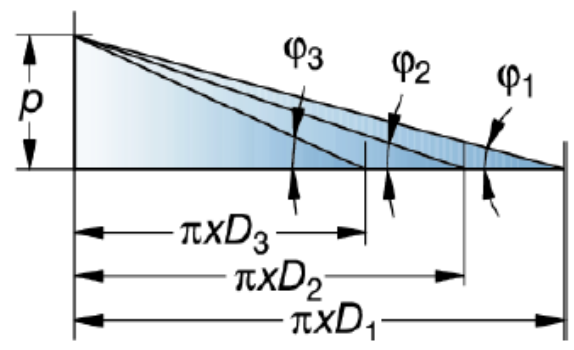
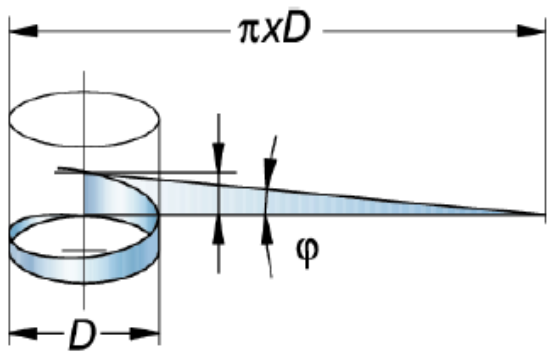


Figura 3. Rosca métrica grossa e fina.

2.3 Laminação

A laminação, o processo de deformação mais amplamente utilizado, consiste em se passar uma peça metálica entre dois rolos; uma redução na espessura resulta das tensões de compressão exercidas pelos rolos. O avanço é axial (sentido da seta) (Figura 4).

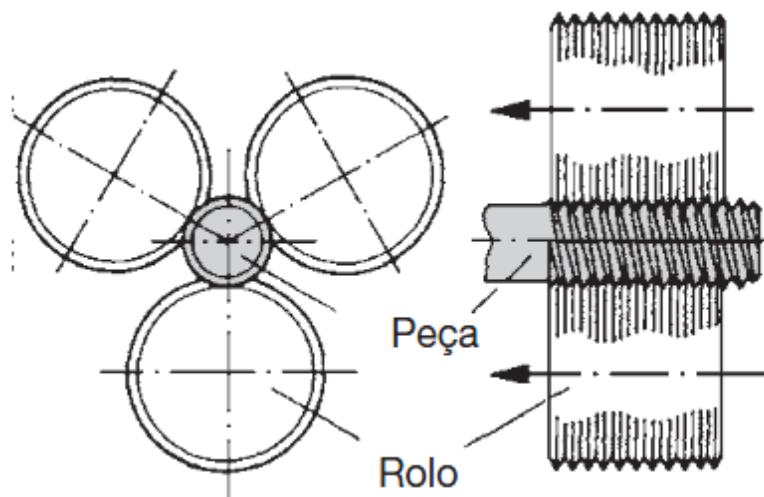


Figura 4. Dispositivo de laminação.

Isso significa que a laminação a frio é um processo de transformação que não produz cavacos, formando roscas mais resistentes e com um acabamento superficial de melhor qualidade, além de tornar a limpeza quase desnecessária e não gerar os custos de remoção de cavacos longos próprios da operação convencional, com machos de corte, os quais muitas vezes se alojam na haste da ferramenta e impõem riscos ao trabalho. Como se não bastasse, o risco de arestas postizas que podem causar a quebra dos machos em roscas mais profundas é eliminado.

A Figura 5 mostra um comparativo entre os processos de corte (remoção de cavacos) e de laminação (conformação).

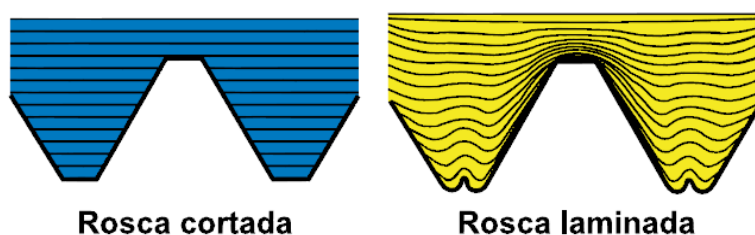


Figura 5. Comparativo entre os processos.

2.4 Ensaio de Torção

A torção é uma variação do cisalhamento puro, onde um membro estrutural é torcido da maneira mostrada na Figura 6; as forças de torção produzem um movimento de rotação em torno do eixo longitudinal de uma das extremidades do membro em relação à outra extremidade.

Os ensaios mecânicos de torção visam quantificar o torque escoamento suportados pelo parafuso de fixação para próteses odontológicas.

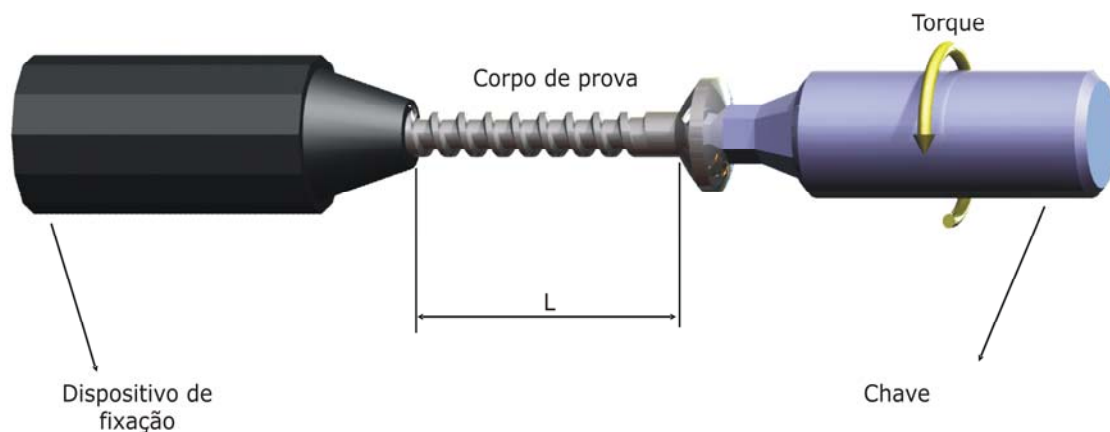


Figura 6. Esquemática de montagem para ensaio de torque.

Os parâmetros importantes usados nos ensaios de torção estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros utilizados nos ensaios

Número de amostras	5 peças
Temperatura	26,2°C
Velocidade do ensaio	2 RPM
Comprimento exposto – “L”	2,29 mm
Fios de rosca expostos	2 fios
Equipamento de ensaio	Termomec Ortho

3 RESULTADOS

A Figura 7 mostra através da microestrutura do o fenômeno de encruamento antes da deformação e após deformação aplicada para a fabricação da rosca M2 x 0,4 mm.

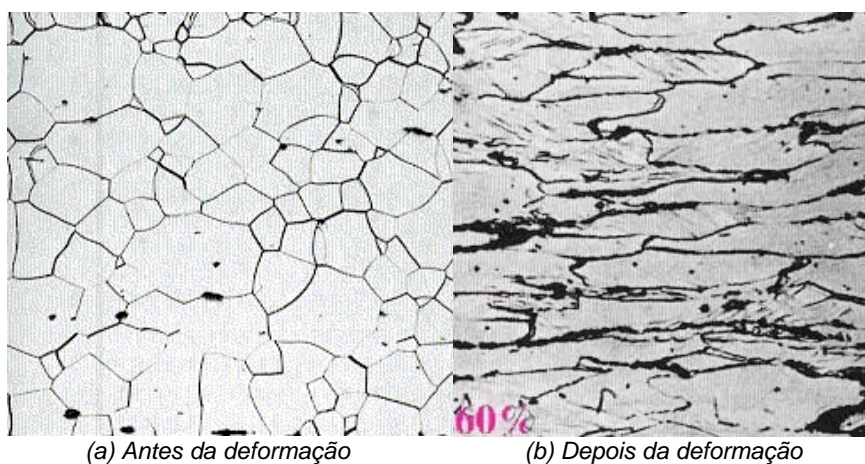


Figura 7. Micrografia da liga de titânio grau V.

O resultado líquido é tal que o movimento de uma discordância é dificultado pela presença de outras discordâncias. À medida que a densidade das discordâncias se torna mais pronunciada. Dessa forma, a tensão importa necessária para deformar um metal, aumenta com o aumento do trabalho a frio. Por isso, o encruamento é

utilizado freqüentemente para aprimorar as propriedades mecânicas dos metais durante os seus procedimentos de fabricação.
A Figura 8 mostra o aspecto macro geométrica da rosca usinada e laminada do parafuso de retenção.

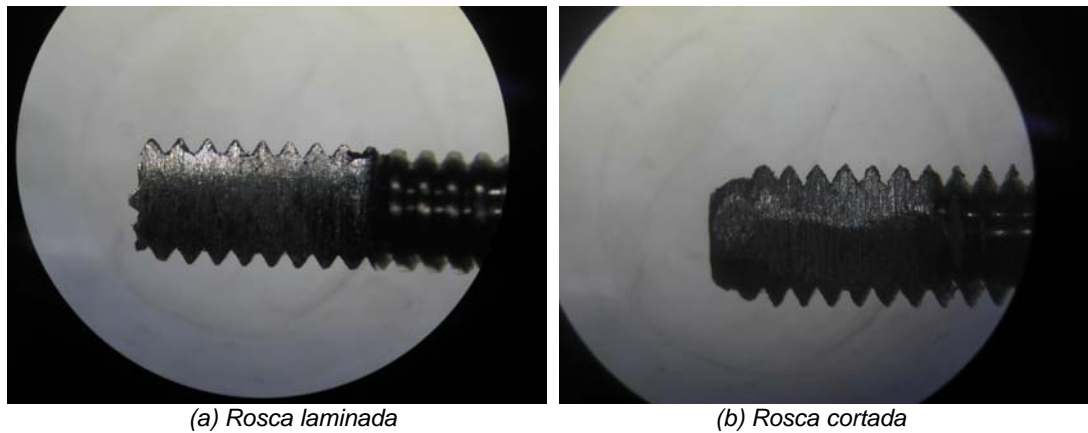


Figura 8. Aspecto macro geométrico do parafuso de retenção, com aumento de 25x.

Na Figura 9 mostramos a fabricação da rosca com o processo de laminação a frio, com um aumento de 100x.

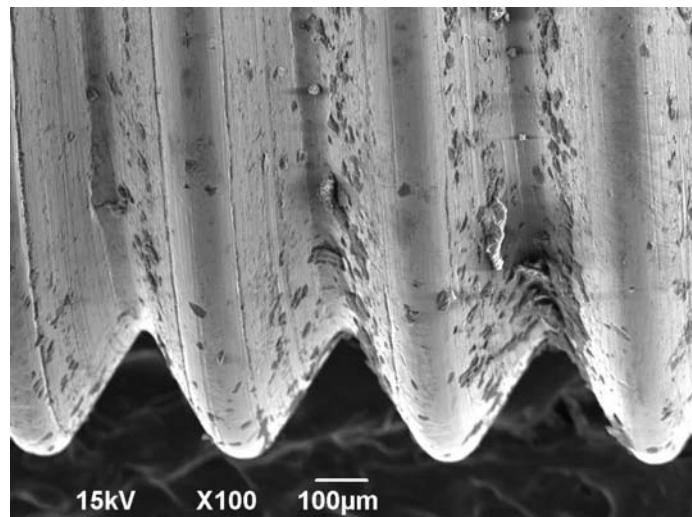


Figura 9. Rosca laminada com aumento de 100x.

No processo de laminação, o flanco da rosca é suavizado e as fibras do material são delimitadas, não cortadas. A fibra continua do material e os trabalhos de conformação conferem à rosca um endurecimento superficial e uma resistência significativa maiores em comparação com as que são obtidas convencionalmente (Figura 10).

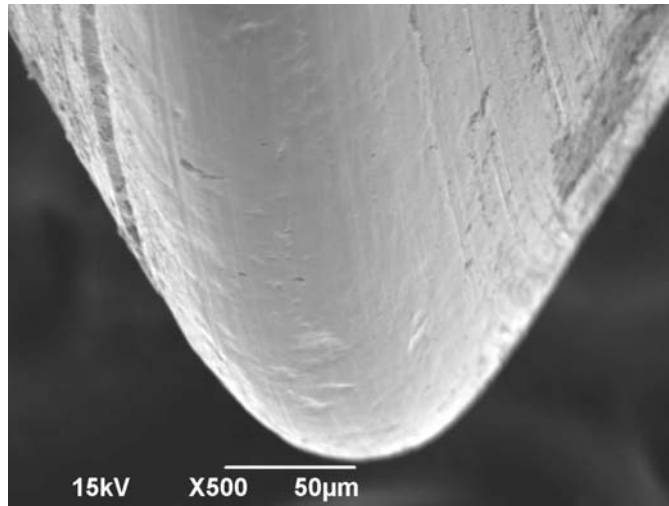


Figura 10. Rosca laminada com aumento de 500x.

Os valores de dureza Rockwell (HRC) foram de $(29,00 \pm 0,84)$. Não existe um valor de dureza normalizado para este material.

Na média os conjuntos fixados com os parafusos com rosca usinada suportaram uma carga máxima de 1047.475N conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Resultados dos ensaios

Amostra	Carga Máxima (N)	Momento Máximo (N.m)
1	1.008,70	5,55
2	1.031,60	5,67
3	1.088,30	5,99
4	1.061,30	5,84
5	994,90	5,47
Média	1.047,475	5,761
Desvio Padrão	34,705	0,191

A Figura 11 mostra o conjunto implante/prótese dentária fixadas com parafusos de retenção após ensaio de torque.



Figura 11. Amostra após os ensaios.

Na média os conjuntos fixados com os parafusos com rosca laminadas suportaram uma carga máxima de 1675.96N.

4 DISCUSSÃO

Dentro do processo de fabricação a operação de rosqueamento é um dos processos mais complexos da usinagem. As roscas têm algumas medidas que devem ajustar entre si: diâmetro maior, diâmetro menor, passo da rosca e ângulo de hélice da rosca.

Se uma destas medidas estiver incorreta, o ajuste ou a transmissão de forças ou movimentos entre a rosca interna e a rosca externa será deficiente.

No processo de torneamento com ferramenta simples o perfil da rosca é executado apenas com um gume em vários passes, ou seja, a ferramenta remove material ocasionando rebarbas em seu flanco. Mas se compararmos o processo de fabricação com laminador de rolos, cada gume realiza um corte mais profundo que o anterior, ou seja, a rosca é executada em um só passe conformando o material no perfil desejado eliminando as rebarbas no produto.

Os resultados mostram que é possível aumentar a resistência ao torque dos parafusos de retenção alterando o processo de fabricação de remoção de material (torneamento) para conformação (laminação a frio).

5 CONCLUSÃO

Dentro da metodologia empregada neste estudo e com base na análise dos dados é possível concluir que os parafusos de retenção obtiveram um ganho de resistência mecânica a torção em média de 20%.

Notamos que a rosca laminada apresenta menos rebarba nos flancos da rosca do que a rosca usinada.

Além disso, conseguimos otimizar o processo de fabricação em torno de 3% em seu tempo de operação (rosca).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CCDM – Centro de Caracterizações e Desenvolvimento de Materiais pelos ensaios realizados, a UNITAU – Instituto Nacional de Experimentos e Pesquisas Odontológicas e a SIN – Sistema de Implante por terem fornecido as amostras, as instalações e equipamentos necessários à realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 Brånemark, P.-I., Hansson, B.O., Adell, R., Breine, U., Lindström, J., Hallén, O. and Öhman, A., 1977, "Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw: experience from a 10-year period", Scand J Plast Reconstr Surg Vol. 16(suppl), pp. 1-132.
- 2 Y. Okazaki, et. Al., Corrosion resistance and corrosion fatigue strength of new titanium alloys for medical implants without V and Al, Materials Science and Engineering A, Vol.213, pp. 138-147, 1996.
- 3 M. Geetha, et. Al., Effect of thermomechanical processing on evolution of various phases in Ti-Nb-Zr alloys, Journal of Alloys Compounds, Vol.384, pp.131-144, 2004.
- 4 L. A. Matlakhova, et. Al., Properties and structural characteristics of Ti-Nb-Al alloys, Materials Science and Engineering A, Vol.393, pp.320-326, 2005.
- 5 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 5832-2. Implante para cirurgia – Materiais metálicos - Parte 2: Titânio puro. 2001.

- 6 ASTM. ASTM F67-06. Unalloyed Titanium for Surgical Applications (UNS R50250, UNS r 50400, UNS R 50550, UNS R 50700). 2006.
- 7 ASTM. ASTM F136-02. Unalloyed Titanium for Surgical Applications (UNS R50250, UNS r 50400, UNS R 50550, UNS R 50700). 2006.