

Troca de processo de fabricação da trava da chave catraca

Exchange of manufacturing process ratchet pawl

Viviane de Castro Dorneles^a, José C. K. de Verney^{b,*}

^aSenai-CETEMP/RS, BR 116, nº3239, São Leopoldo/RS, 93025-000, Brasil

^bUniversidade Luterana do Brasil (ULBRA), Eng. Mecânica, PPGEMPS, Av. Farroupilha, 8001, Canoas/RS, 91.425-900, Brasil

Resumo

O objetivo deste trabalho é viabilizar a troca de processo de fabricação da trava, um dos componentes do conjunto da ferramenta manual chave da catraca, que atualmente é fabricado pelo processo de microfundição. O desenvolvimento se deu primeiramente em analisar os possíveis processos que pudessem atender aos requisitos técnicos que a peça exige. Após pesquisa, o processo que melhor atendeu as solicitações foi à metalurgia do pó. Para confirmar as pesquisas, foi construído um protótipo da peça pelo processo de metalurgia do pó, onde a liga para matéria-prima foi adaptada conforme as exigências mecânicas que a peça irá sofrer. Após sua moldagem, o protótipo passou pela etapa de sinterização e tratamento de superfície para aumentar a dureza e a resistência ao desgaste. Os protótipos foram montados em chaves e submetidos ao ensaio de torque, onde foi aplicado 62 N.m conforme a norma DIN 3122 que rege o produto. Todas as chaves testadas foram aprovadas, mas uma delas, que passou pelo tratamento de carbonitreção, apresentou resistência ao torque acima de 98 N.m.

© 2014 Sociedade Portuguesa de Materiais (SPM). Publicado por Elsevier España, S.L. Todos os direitos reservados.

Palavras chave: metalurgia do pó; microfundição; sinterização.

Abstract

The objective of this paper is to make feasible the exchange of the manufacturing process of pawls, one of the components of manual ratchet wrench tool, which currently is manufactured by the micro fusing process. The development has taken place, primarily, in analyzing the possible processes that could meet the technical requirements that the part requires, and after research, the process that has best met the requirements was powder metallurgy. To confirm the research, a prototype of the part has been made through the powder metallurgy process, in which the alloy for raw material has been adapted to the mechanical demands that the part will undergo. After molding, the prototype has gone through sintering and surface treatment to increase hardness and wear resistance. The prototypes have been assembled in six wrenches and subjected to torque test, in which has been applied 62 N.m, according to DIN 3122 which regulates the product. All 6 wrenches tested have been approved, but the sample 1 that had undergone carbonitriding treatment has shown the greatest resistance, resisting 98 N.m.

© 2014 Sociedade Portuguesa de Materiais (SPM). Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Keywords: powder metallurgy; investment casting; sintering.

1. Introdução

Num cenário de globalização, a busca pela eficiência e a necessidade de se manter competitiva no seu segmento de negócio faz com que as empresas se preocupem cada vez mais com as técnicas de produção

utilizadas no desenvolvimento de seus produtos. Não somente em relação a custo, mas outros índices que também são de suma importância como questões referentes à qualidade, meio ambiente, relação social, saúde e segurança.

Através de análises de relatórios de qualidade e controle de produção foram detectados inúmeros problemas de não conformidade com os produtos: chaves catraca e torquímetros. O principal problema

* Corresponding author.

E-mail address: jcverney@ulbra.br (José Verney)

apontado é que no momento de um maior esforço, os dentes de engrenamento pulam. Para realizar o conserto, a ferramenta deve ser desmontada e trocado o componente trava (figura 1 e 2).



Fig. 1. Componentes da chave catraca.



Fig. 2. Trava da catraca.

A trava apresenta tolerâncias dimensionais diferentes do especificado no desenho técnico, pois o processo atual utilizado é a microfusão, porém a tolerância dimensional máxima adquirida é de 0,127 mm [1] para este processo.

Dentro do contexto apresentado, este trabalho visa à elaboração de uma proposta de troca de processo, buscando a melhoria da qualidade do produto, redução de materiais rejeitados, retrabalhos e até mesmo redução de custo.

A proposta é que seja substituído pelo processo da metalurgia do pó (MP), que além de produzir as mais diversas formas e facilidade na composição de ligas, tem como característica de processo o bom acabamento, tolerâncias dimensionais reduzidas e possibilidade de fabricar um grande número de peças por hora.

2. Estudo de caso

A catraca reversível é uma ferramenta manual que realiza movimentos de aperto e desaperto de elementos

mecânicos, para aplicações com baixos torques. A chave utilizada possui referência nº 2093U-3 com 130 mm de comprimento e é produzida em aço cromo-vanádio 31CrV3 conforme norma de fabricação DIN 3120 [2], (Figura 3).



Fig. 3. Chave catraca reversível 1/4".

A resistência ao torque em catracas é determinada de acordo com o tamanho do encaixe da espiga, e obedece a norma DIN 3122 [3], (tabela 1).

Tabela 1. Norma DIN 3122 [3] para ensaio de torque em chave catraca manual

Quadrado externo (DIN 3122) Tamanho nominal	Momento Torsor máximo N.m
1/4" (6,35 mm)	62

A trava é produzida em aço SAE 8620 e devido ao esforço requerido sofre um tratamento térmico de têmpera seguido de revenimento em uma camada 0,3 a 0,4 mm obtendo uma dureza na faixa de 52 a 56 HRC (i.e. Rockwell C). Este material especificado no projeto da trava tem como característica ser um aço para cementação, de média temperabilidade, e média resistência mecânica. A dureza superficial, na condição cementada e temperada pode alcançar 62 HRC, enquanto que a dureza do núcleo varia entre 30 e 45 HRC, a resistência à tração chega a 1200 MPa.

3. Materiais e métodos

Para realizar uma comparação de material e processo foi necessária a comprovação da matéria-prima atual. No intuito de se analisar a matéria-prima utilizada na trava da catraca fundida foi realizado um ensaio de espectrometria de emissão óptica para identificação da composição química da peça.

A escolha do pó foi baseada nesta análise e nas propriedades do aço SAE 8620, i.e., nas características necessárias para utilização da peça e na disponibilidade do mercado.

Após, os corpos-de-prova foram compactados, sinterizados, e usinados no tamanho e forma, conforme desenho do produto, e, assim, submetidos a testes de caracterização e resistência.

Para execução de tais operações foi necessário dividir em pelo menos 11 etapas para melhor organização e aproveitamento dos recursos. São elas:

1. Análise da matéria-prima atual – Para analisar a matéria-prima utilizada na trava da catraca foi necessário realizar dois ensaios, o primeiro foi um ensaio de espectrometria de emissão óptica, realizado no espectrômetro Shimadzu modelo PDA-7000, onde o grau de impurezas na peça comprometeu a identificação da composição química. O segundo ensaio foi realizado em um microscópio eletrônico de varredura com EDX (Energy Dispersive X-ray), onde apesar das inúmeras impurezas foi obtido êxito.
2. Seleção de matéria-prima similar – A escolha do pó foi baseada em um material similar ao já utilizado, e na disponibilidade do mercado;
3. Confeção dos corpos-de-prova:
 - a. A composição foi preparada conforme os resultados obtidos no processo de seleção, devidamente pesados e misturados.
 - b. Devido ao alto custo do ferramental, foram confeccionados 60 corpos-de-prova em uma matriz já existente.
 - c. Para verificação do nível de porosidade da peça, foram realizadas ensaios de densidade verde com a técnica de princípio de Arquimedes.
 - d. Após seguirem para o processo de sinterização em um forno contínuo com atmosfera controlada (H₂-N₂). Nesta etapa é realizado o dimensional das peças.
4. Medição de rugosidade – Para realizar este ensaio foi necessário um rugosímetro, e considerando somente a rugosidade média (Ra) conforme solicitado no desenho. O equipamento utilizado foi da marca Taylor Hobson modelo surtronic25 do tipo portátil.
5. Usinagem – 20 peças foram usinadas, levando em conta o dimensionamento do desenho. As máquinas utilizadas foram uma eletro-erosão a fio, para a usinagem do perfil dos dentes, e um centro de usinagem CNC, para a furação.
6. Tratamento térmico – As amostradas foram divididas em dois grupos, sendo que algumas sofreram o processo de tratamento de carbonitreção e outras o tratamento de nitreção, estes processos foram realizados pela empresa Grefortec.
7. Ensaio de dureza – As peças foram submetidas ao ensaio de microdureza. O equipamento para realizar o ensaio foi um durômetro Mitutoyo modelo MVK-H2 e o método utilizado foi por microdureza Vickers conforme a norma ISO 4507-2000 [4].

8. Análise de microestrutura – As peças foram analisadas quanto à porosidade, arranjo dos grãos e camada após o tratamento. O equipamento utilizado foi um microscópio óptico da marca Versamet II.

9. Montagem das chaves – A montagem foi realizada em 6 chaves, organizadas com 3 diferentes tempos de sinterização e 2 diferentes tipos de tratamento térmico.

10. Ensaio de torque – As chaves foram submetidas a um teste de torque onde foi aplicado 62 N.m conforme a norma DIN 3122, e após um ensaio de torque máximo, utilizando um transdutor não-rotacional de torque, juntamente com um sistema de aquisição de dados, da marca HBM modelo MGCplus com certificado de calibração apresentando uma incerteza de medição de 0,05% até 200 N.m utilizado na calibração de torquímetros.

Análise de trincas – Após o ensaio de torque as peças foram novamente analisadas para determinar seu comportamento após o esforço mecânico. O equipamento utilizado foi um microscópio eletrônico de varredura da marca Shimadzu modelo SSX -550.

4 Resultados e comentários

As não conformidades do produto chave catraca estão relacionadas a problemas com o dimensional da peça. Segundo Ferreira [5] tolerâncias dimensionais de 0,05 mm são atingidas sem problema, chegando a 0,015 mm se passar pelo processo de calibração na MP. Neste aspecto a MP seria o processo que atenderia as características dimensionais do produto.

Para definir a amostra sinterizada, foi necessário caracterizar a matéria-prima, definir a densidade absoluta, tempo e temperatura de sinterização, atender os requisitos de dureza que a peça exige, para então efetuar os ensaios de torção.

No ensaio de espectrometria de emissão óptica, o grau de impurezas na peça comprometeu a identificação da composição química, ficando sem resultado. O segundo ensaio foi realizado em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) onde foram obtidos um espectro destas impurezas e através do sistema de micro-análise foi possível qualificar e quantificar os elementos químicos das amostras (tabela 2 e figura 4). Salienta-se que estes valores não são absolutos, devido a este método fornecer valores aproximados. Inclusive apresenta valores de impurezas, como alumínio, que não fazem parte da liga.

Tabela 2. Principais elementos químicos da trava da catraca microfundida

C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mg (%)	Fe (%)	Al (%)
0,20 -0,30	0,50 -0,80	0,0	0,05 -0,80	0,20 -0,30	0,0	0,40 -0,50	0,30	Bal.	1,60 -4,00

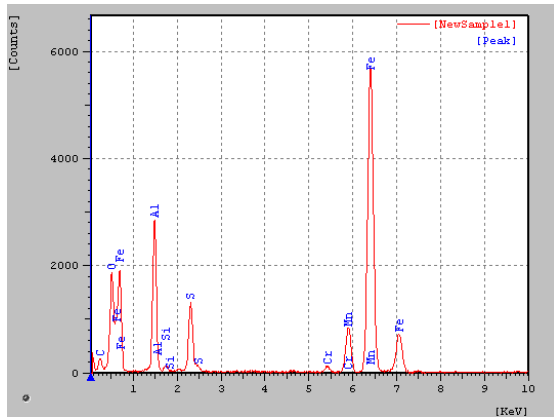


Figura 4. Análise dos principais elementos químicos da trava da catraca microfundida.

4.1. Material substituto

Para peças que exigem maior resistência mecânica, é indicado o pó de ferro com adição de ligas para aumentar as propriedades mecânicas, estáticas e dinâmicas [6].

Segundo Ferguson [6], a adição de elementos não ferrosos como cobre ou níquel elevam as propriedades de temperabilidade, o uso dessas misturas promove também maior densidade verde, menor temperatura de sinterização e, portanto menor distorção nas peças.

A matéria-prima utilizada nas amostras é um pó pré-ligado fabricado pela empresa Höganäs [7] que possui os seguintes elementos químicos, tabela 3, e propriedades físicas (tabela 4):

Tabela 3. Elementos químicos do material substituto (valores fornecidos pelo fabricante)

Fe (%)	Cu (%)	Ni (%)	Mo (%)
93,4	1,5	4,5	0,6

Tabela 4. Propriedades físicas do pó utilizado (valores fornecidos pelo fabricante)

Propriedades físicas	Resultado
Densidade aparente (g/cm ³)	3,1
Escoamento (sec/50g)	23
Compressibilidade a 600 MPa (g/cm ³)	7,02

Tabela 6. Medidas dimensionais das amostras após sinterização

Amostras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Seção externa / mm	23,24	23,24	23,25	23,22	23,24	23,27	23,27	23,28	23,25	23,22
Altura/mm	17,92	17,97	17,97	18,02	18,00	17,83	17,82	17,84	17,85	18,01

Tabela 7. Valores de medição de microdureza das amostras

Amostras	AM1 carbonitretada	AM2 carbonitretada	AM3 carbonitretada	AM1 nitretada	AM2 nitretada	AM3 nitretada
HV 0,1	498 ± 0,5%	498 ± 0,5%	498 ± 0,5%	312 ± 0,5%	402 ± 0,5%	350 ± 0,5%

O pó foi misturado por 20 minutos (1200 s) a 30 rpm em um misturador do tipo duplo cone e acrescentado 0,5%, em massa, de lubrificante estearato de zinco. A quantidade de adição de estearato de zinco pode variar de 0,5 a 1,5% devido à influência direta no escoamento do pó e resistência do material.

Na conformação dos corpos-de-prova foi utilizada uma matriz já existente, de formato cilíndrico resultando em amostras de base de 23,25 mm de diâmetro na parte inferior e na superior com 16,10 mm e 17,92 mm de altura, conforme figura 5.

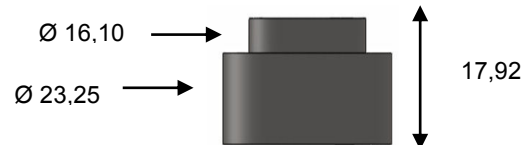


Figura 5. Dimensões do corpo-de-prova.

A compactação foi realizada em uma prensa Gasbarre de duplo efeito de 1000 kN, a uma pressão de 480 MPa, e pressão para extração da peça 0,41 MPa. A densidade verde foi determinada de acordo com o princípio de Arquimedes, utilizando água como fluido. Na sinterização foi utilizado um forno Sinterite contínuo com atmosfera controlada, cuja atmosfera é composta por hidrogênio e nitrogênio. As amostras foram processadas com 3 velocidades diferentes de sinterização, 65 mm/min, permanecendo cerca de 23 minutos em cada zona, 80 mm/min com 19 minutos em cada zona e a velocidade de 100 mm/min com permanência de 15 min em cada zona (tabela 5). Nos testes foram mantidos os parâmetros de temperatura e vazão dos gases modificando apenas a velocidade da esteira, a vazão de nitrogênio foi de 6,0 m³/h e a vazão de hidrogênio foi de 0,2 m³/h.

Tabela 5. Valor da densidade antes e depois do processo de sinterização

	AM1	AM2	AM3	Desvio Padrão
Densidade verde (g/cm ³)	6,99	6,98	7,01	0,015
Velocidade da esteira (mm/min)	80	65	100	17,559
Densidade absoluta (g/cm ³)	7,16	7,29	7,25	0,067

Após a sinterização as amostras foram medidas com um paquímetro digital de 0,01 mm de resolução. A tabela 6 mostra os valores encontrados.

Das 10 amostras medidas, houve uma variação de $\pm 0,03$ mm na secção externa e de $\pm 0,10$ mm na altura das amostras. O valor da rugosidade superficial especificada no desenho da trava é de $R_a = 3,2 \mu\text{m}$, e os valores encontrados nas amostras de MP foram de $R_a = 2,2 \mu\text{m}$.

A especificação de dureza no desenho da trava é de 52 a 56 HRC. Dez amostras foram submetidas ao tratamento de carbonitretação e, outras 10 amostras ao tratamento de nitretação. A camada solicitada foi de 0,3 a 0,4 mm, conforme desenho da trava.

A carbonitretação realizada nas amostras foi do tipo gasosa. A temperatura utilizada neste processo foi de 840-860 °C para atingir uma camada de 0,3 mm a 0,4 mm e foi necessário 1 hora de processo.

A nitretação também foi do tipo gasosa. Neste processo o nitrogênio é difundido na superfície da peça em concentração suficiente para formar uma fina camada de nitreto de ferro, que pode ser vista na figura 6. O tempo necessário para este processo foi de 2 horas, porém a camada gerada neste processo não ultrapassou 0,04 mm.

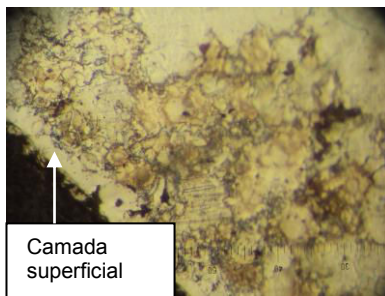


Figura 6. Camada superficial de nitreto de ferro.

O ensaio de dureza foi realizado conforme norma ISO 4507-2000 [4] que determina o ensaio para materiais sinterizados que sofreram tratamento térmico.

Foi avaliada a dureza das amostras por microdureza Vickers em um durômetro Mitutoyo modelo MVK-H2 com carga de 100 gf (HV 0,1) representando uma média de 3 impressões na face superior da amostra, tabela 7.

Para uma confirmação dos tratamentos térmicos executados, procedeu-se a análise de microestrutura pela técnica convencional de metalografia. As estruturas obtidas são do tipo bainita ou martensita. Na figura 7 mostram-se imagens da estrutura da amostra AM2 que passou pelo processo de carbonitretação (ataque nital 2 %).

Na análise de microestrutura das peças carbonitretadas, figura 7a, se reconhece os poros como sendo os pontos pretos da imagem. Apresenta uma matriz ferrítica que é representada pela cor clara, e uma microestrutura típica de martensita em placas. A cor mais escura confirma a adição de carbono, mas pode-se realmente visualizar melhor o tipo de estrutura na imagem da figura 7b.

A amostra AM1 passou pelo processo de nitretação (figura 8).

Esta amostra nitretada é reconhecida rapidamente pela fina camada branca, formadas por nitretos de ferro em forma de agulha que se apresentam logo abaixo da superfície tratada.

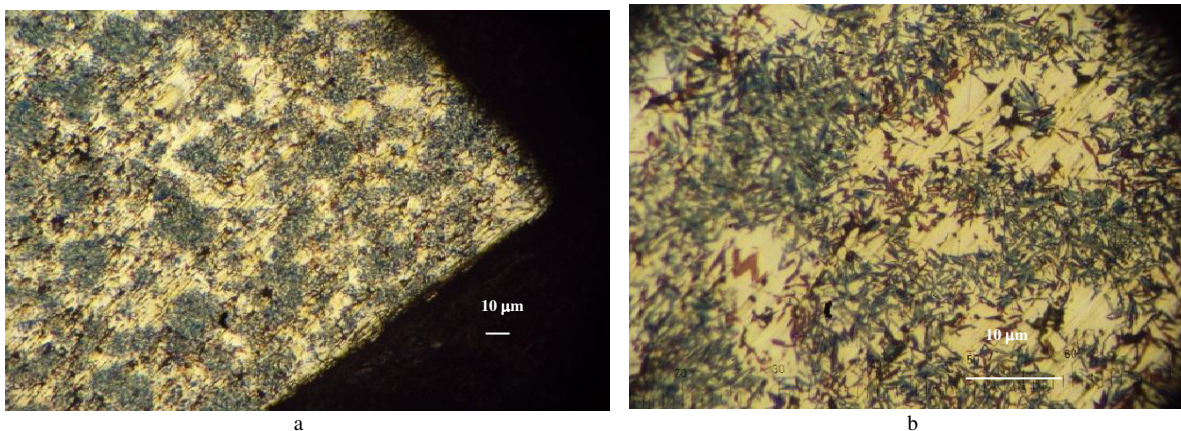


Figura 7. Microestrutura típica de martensita em placas - Amostra AM2, após tratamento de carbonitretação. Ataque nital 2%.

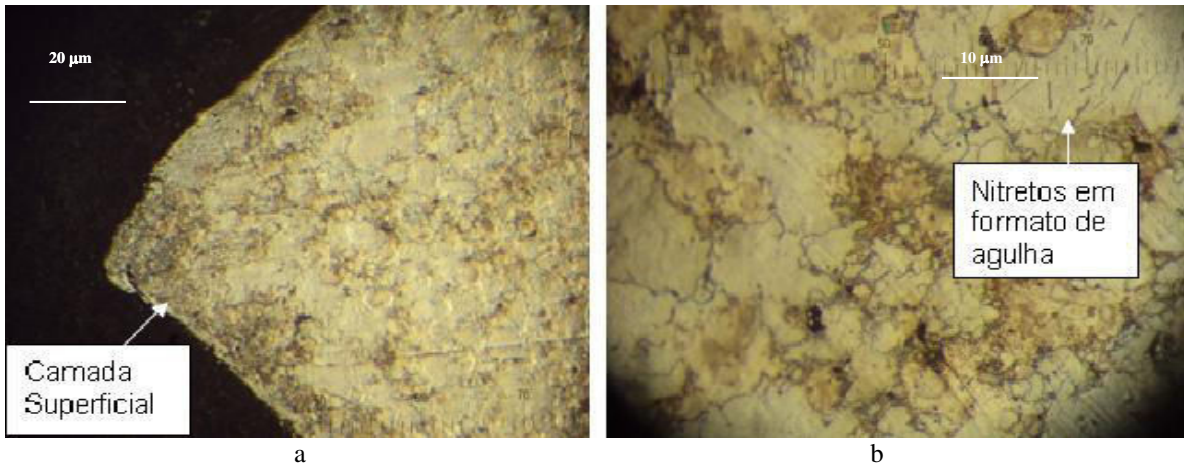


Figura 8. Microestrutura da amostra AM1, após tratamento de nitretação. Ataque nital 2%.

Tabela 8. Valor do momento torsor máximo das 6 chaves

Amostra	AM1	AM2	AM3	AM1	AM2	AM3
	carbonitretada	carbonitretada	carbonitretada	nitretada	nitretada	nitretada
N m	98,23	97,70	96,77	91,66	91,80	95,12

4.2. Teste de resistência mecânica

Para executar o ensaio foi utilizado um transdutor não-rotacional de torque acoplado a um sistema de aquisição de dados. Os testes foram realizados em 6 chaves catracas, sendo 3 delas com tratamento

superficial de carbonitretação e as 3 demais com nitretação.

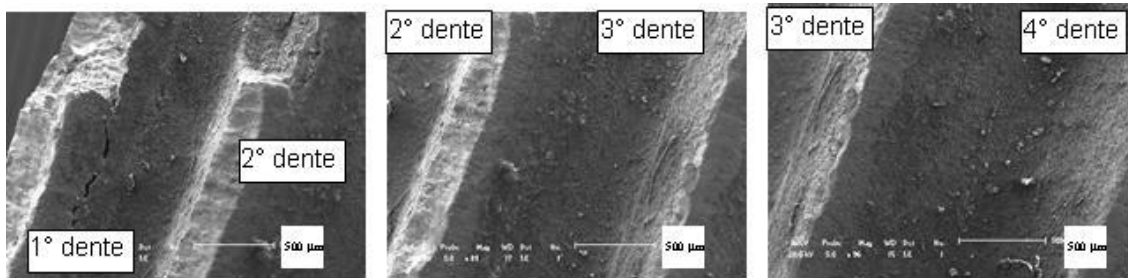


Figura 9. Análise de trinca na amostra AM3 carbonitretada após ensaio de torção.

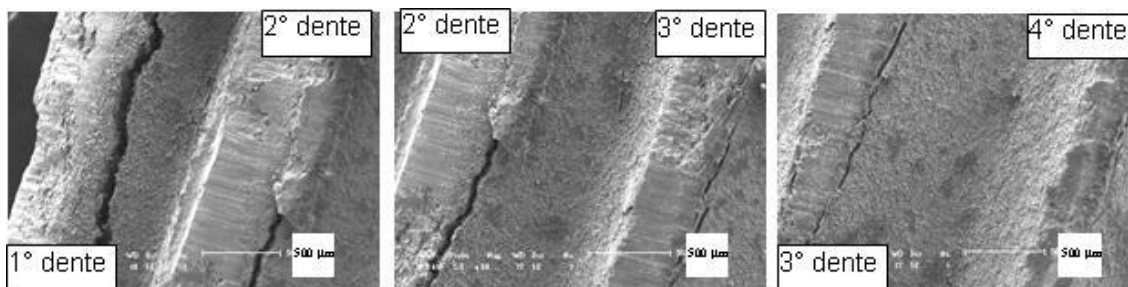


Figura 10. Análise de trinca na amostra AM1 nitretada após ensaio de torção.

5. Conclusão

Como a trava da chave catraca é uma peça que possui características importantes no dimensional, tendo tolerâncias de até 0,05 mm e uma forma geométrica complexa devido aos dentes, os processos para sua fabricação ficam restritos. Após analisar e testar o processo de metalurgia do pó conclui-se que:

- Pequenas diferenças de valores de densidade verde podem ser um fator importante no tempo de sinterização
- As características apresentadas na literatura quanto à tolerância dimensional e acabamento superficial puderam ser comprovadas pela medição dimensional do perfil da peça e pela medição de rugosidade, realizados neste trabalho.
- A boa escolha da matéria-prima é algo fundamental. Ela irá garantir o dimensional, o acabamento, a porosidade, o sucesso do tratamento térmico e também a resistência desejada.
- Os seis protótipos com liga Fe–4,5Ni–1,5Cu–0,6Mo foram montados, testados e atenderam as exigências da norma que rege o produto.
- O protótipo que resistiu ao maior esforço foi a amostra I (menor densidade absoluta após sinterização) tratada pelo processo de

carbonitreção, que possuía uma dureza superficial de 498 HV 0,1, chegando a suportar um momento torsor de 98 N m.

Referências

- [1] J.M.G.C. Ferreira. Tecnologia da Fundição. AEIST, Lisboa, 1996.
- [2] Norma DIN 3120 - Verbindungsvierkante für handbetätigte Schraubwerkzeuge (Driving squares for hand-operated socket wrenches), 1993.
- [3] Norma DIN 3122 - Antriebsteile mit Außenvierkant für handbetätigte Steckschlüsseinsätze (Driving parts for hand operated square drive socket wrenches) 1989.
- [4] Norma ISO 4507-2000 - Sintered ferrous materials, carburized or carbonitrided - Determination and verification of case-hardening depth by a micro-hardness test, 2000.
- [5] J.M.G.C. Ferreira. Tecnologia da Pulverometalurgia, AEIST, Lisboa, 2002.
- [6] H.A. Ferguson. Heat Treating of Powder Metallurgy Steels, in: Heat Treating, vol. 4, ASM Metals Handbook. Materials Park, 1991. pp 554-555.
- [7] Höganäs Handbook for Iron and Steel Powders for Sintered Components, Copyright Höganäs AB, 2004.