

COBEF2017-0576 APLICAÇÃO DE AÇO DIN 27MNCr5 COMPARADO AO AÇO DIN 19MNCr5, AMBOS CARBONITRETADOS EM FORNO DE ATMOSFERA CONTROLADA, APLICADO A CONSTRUÇÃO DE ENGRENAGENS

Carlos Alberto de Sousa Neves, casnevesengmecanico@gmail.com¹

Wellington Alexandre Cunha, wellington.cunha@fcagroup.com²

Marcos Paulo Miranda, marcos.miranda@fcagroup.com³

Querlem Saraiva, querlem.saraiva@fcagroup.com⁴

Ronan Rodrigues Ferreira, ronan.ferreira@fcagroup.com⁵

Jose Rubens, joserub@pucminas.br⁶

Gilmar Cordeiro, gilmarcord@gmail.com⁷

Josué Santos, josue.santos@fcagroup.com⁸

Paulo Sérgio Martins, paulo.martins@fcagroup.com⁹

Diego Pratis, diego.pratis@fcagroup.com¹⁰

¹ Fiat Powertrain, Av. Do Contorno da Fiat, 3455 CEP: 32530-490 Betim – MG.

²PUC Minas, Av. Dom José Gaspar 500, prédio 10, Coração Eucarístico CEP: 30535-401 Belo Horizonte – MG.

Resumo: A fabricação de produtos e componentes com elevado valor agregado é um desafio grande para os engenheiros da indústria automobilística. Este trabalho técnico apresenta uma avaliação comparativa entre os aços DIN 19MnCr5 e DIN 27MnCr. Ambos foram submetidos ao tratamento térmico de carbonitreção seguido de tempera e revenimento, sempre realizado em um forno de atmosfera controlada com a premissa de não alterar os parâmetros de processo. Foram fabricadas engrenagens de coroa cilíndrica de dentes helicoidais, construídas com os aços já mencionados. Após a construção de 60 amostras, foram selecionadas 3 amostras de cada tipo de aço que na sequência foram analisadas nas características de composição química, dureza superficial, dureza de núcleo, espessura de camada e microestrutura. Foram avaliadas as diferenças nos resultados encontrados e posteriormente foi realizada uma análise técnica para diagnosticar a real implicação das propriedades destes materiais no desempenho das engrenagens. Baseado nos resultados obtidos verificou-se a necessidade de se estabelecer novos parâmetros para o processo de tratamento térmico.

Palavras-chave: Tratamento térmico, material, metalurgia, fornos, propriedade mecânica.

1. INTRODUÇÃO

O processo de tratamento térmico, embora pareça simples, envolve uma série de variáveis e torna-se um processo desafiador para indústrias que exigem sua aplicação. Por natureza, denomina-se um processo especial onde monitora-se com rigor o processo para obtenção de propriedades características do produto final desejado.

É fato a busca pela competitividade, principalmente em países emergentes, onde a economia cresce, alianças comerciais e blocos econômicos são estabelecidos e fortalece a concorrência entre as empresas. Por esse fator, e também pela própria exigência do consumidor pela Qualidade, seja pela performance e/ou durabilidade e confiabilidade dos produtos, entrega e baixo custo, as empresas perseguem incessantemente novas aplicações de materiais, processos de fabricação mais otimizados, com elevada eficiência e eficácia, reduzindo suas perdas e assegurando um produto de excelência aos seus clientes.

A aplicação de materiais para engrenagens veiculares deve obedecer rigorosamente critérios de fabricação para que não haja perda de propriedades mecânicas que impactam na performance exigida em sua aplicação. Por esse aspecto entre outros, qualquer mudança de material torna-se desafiadora e deve-se estudar, avaliar e validar com rigor qualquer variável alterada. Esse é um aspecto importante a se observar, a variação do material do produto. Em contrapartida, quando se varia o material em um processo de fabricação, deve-se avaliar os seus impactos nesse processo. A parametrização do material, ou seja, as características construtivas desse produto, seja estrutural, dureza, tamanho de grão, fibragem ou até mesmo características de sobremetal, interfere diretamente na forma em que se deve fabricar esse produto, seja na aplicação de novas ferramentas de corte, novos tipos de fluidos refrigerantes ou de corte e obviamente, avaliar seus impactos no processo de tratamento térmico.

Quando a variável envolvida é uma modificação no material e o processo de fabricação desse material exige-se algum tipo de tratamento térmico, deve-se se ater aos menores detalhes que envolve esse processo. Na obstante ser o produto que sofre as alterações, é necessário conhecer bem as propriedades mecânicas do projeto do produto para

parametrizar corretamente o processo de tratamento térmico para asseguar-las com qualidade. E como existem variáveis em fornos de alta pressão para tratamento térmico que são cruciais para as empresas, tais como temperatura, pressão e tempo, é necessário averiguar cuidadosamente cada uma delas para evitar qualquer decisão que comprometa a competitividade da empresa, ou seja, se por um lado busca-se um produto que tenha a mesma performance com um custo menor, por outro tem-se o processo de fabricação desse produto, que se não for bem avaliado ficará com um custo mais elevado.

Existem no mercado uma vasta gama de aços para várias aplicações. Tem-se, por exemplo, dentro da Norma DIN, aços de liga com Cromo, Molibdênio, Níquel, Manganês, Tungstênio entre outros. O objetivo desse estudo é analisar as propriedades mecânicas de dois aços distintos, DIN 19MnCr5 e DIN 27MnCr5, e verificar se ambas podem ser tratadas termicamente em fornos de atmosfera controlada com os mesmos parâmetros de processo.

2. METODOLOGIA

Foram selecionadas 60 amostras de engrenagens de coroa cilíndricas com 61 dentes helicoidais. Para construção destas engrenagens foram utilizados dois tipos de aços o DIN 19MnCr5, amostra A e o aço DIN 27MnCr5, amostra B. Este segundo tipo de aço será o objeto principal deste teste por se tratar de um tipo de aço que não é comumente aplicado em projetos de transmissão veicular. A metodologia baseia-se na comparação das propriedades dos dois materiais quando submetidos ao mesmo processo produtivo.

Seguem abaixo o valor especificado para a composição química dos aços utilizados neste trabalho técnico.

A composição química foi avaliada por espectrômetro ótico.

Tabela 1. Especificação da composição química dos aços DIN 19MnCr5 e DIN 27MnCr5

AMOSTRAS	%C	%Mn	%Si	%Cr	%B	%Ti	%Cu	%S	%P	%Al
Amostra A	0,15	1,00	0,15	0,80	-	-	≤ 0,30	0,02	0,035	0,02
	0,21	1,30	0,35	1,10				0,04		0,05
Amostra B	0,23	1,10	0,10	1,00	≤ 0,0005	≤ 0,010	≤ 0,30	0,025	≤ 0,30	0,015
	0,31	1,40	0,40	1,30				0,040		0,040

O produto então foi submetido ao processo de usinagem basicamente composto por um torneamento completo, furação vertical com rosqueamento dos furos, fresagem de dentes helicoidais, chanfradora e acabamento microgeométrico de todos os dentes helicoidais. Em cada etapa do processo atentou-se para possíveis variações do produto cujo aço é DIN 27MnCr5, principalmente no que tange ao acabamento superficial e desgaste e/ou fraturas de ferramentas de usinagem, mesmo que a hipótese tenha sido levantada como remota. Todas as amostras foram usinadas em uma mesma célula de usinagem, observando ao que foi proposto da redução de variáveis de processo.

A premissa básica é manter os mesmos parâmetros do processo de tratamento térmico de carbonitretação, visando não alterar o custo de fabricação do produto.

Como uma análise dessa natureza envolve várias variáveis de processo, buscou-se isolar o máximo de variáveis possíveis para obtermos um resultado o mais fidedigno possível. Portanto, dentro do processo de fabricação definiu-se usar o mesmo ferramental de usinagem, mesmas máquinas, mesmo horário de fabricação, mesma mão de obra para ambos os materiais, DIN 19MnCr5 e DIN 27MnCr5. Com isso, extingue-se, não absolutamente, mas significativamente a influência dessas variáveis nos resultados finais.

Tabela 2. Especificação das propriedades construtivas das amostras no estado de forjado

DESCRIÇÃO	DUREZA (HBW)	CONSTITUINTES	TG Austenítico Conf. (ASTM E112)
Amostra A	140 a 200	Ferrita e perlita	5 a 8
Amostra B	140 a 200	Ferrita e perlita	5 a 8

Ao finalizar-se o processo de usinagem os produtos de ambos os materiais foram submetidos aos controles de microgeometria do dente em um equipamento tridimensional e posteriormente preparados para submissão ao tratamento termoquímico carbonitretado. Todos os parâmetros do forno foram mantidos inalterados conforme premissa já citada. As características do forno utilizado para esse estudo são: Forno contínuo automático com atmosfera controlada usado em produção de larga escala. Parâmetros de processo controlados com rigor e aprovado conforme Norma CQI-9 da AIAG – Automotive Industry Action Group. Basicamente os produtos foram submetidos há uma atmosfera a 880°C enriquecido em carbono e após encharque e obtenção de camada cementada desejada, aplica-se têmpera em banho de óleo a 120°C e depois segue-se para revenimento.

Submetidas as amostras ao tratamento termoquímico carbonitretado obteve-se as amostras tratadas para enfim submete-las a uma análise metalúrgica em laboratório. Retirou-se então, do lote de 60 peças, 03 peças para análise conforme resultado em Tabela 03.

Tabela 3. Especificação da propriedades construtivas das amostras no estado de acabado

DESCRIÇÃO	DUREZA SUP. (HRc)	DUREZA NUC. (HRc)	ESPESSURA CAMADA (mm)	CONSTITUINTES
Amostra A	≥ 60	32 a 38	0,40 a 0,80 (525HV)	Martensita, e bainita
Amostra B	≥ 60	32 a 38	0,35 a 0,60 (650HV)	Martensita, e bainita

3. DESENVOLVIMENTO/RESULTADO

Na sequencia são apresentados os resultados das amostras A e amostras B, conforme pode ser verificado na tabela 4, tabela 5, tabela 6. Estes resultados pertencem aos ensaios de composição química, dureza e metalografia.

Tabela 4. Resultado da análise de composição química das amostras A e B

AÇO	%C	%Mn	%Si	%Cr	%B	%Ti	%Cu	%S	%P	%Al
Amostra A	0,18	1,05	0,30	0,98	-	-	0,25	0,035	0,030	0,030
Amostra B	0,25	1,30	0,36	1,17	0,0003	0,008	0,21	0,031	0,20	0,025

A análise de composição química demonstrou que as duas ligas avaliadas encontram-se de acordo com a especificação padrão. Todos os elementos químicos atendem os percentuais especificados.

Tabela 5. Resultado da análise das amostras A e B no estado de forjado

ITENS	AMOSTRAS	DUREZA (HBW)	CONSTITUINTES	TG Austenítico Conf. (ASTM E112)
1	Amostra A	156	Ferrita e perlita	6
2	Amostra A	160	Ferrita e perlita	6
3	Amostra A	162	Ferrita e perlita	6
4	Amostra A	160	Ferrita e perlita	6
5	Amostra A	156	Ferrita e perlita	6
1	Amostra B	180	Ferrita e perlita	8
2	Amostra B	178	Ferrita e perlita	8
3	Amostra B	185	Ferrita e perlita	8
4	Amostra B	188	Ferrita e perlita	8
5	Amostra B	185	Ferrita e perlita	8

As amostras forjadas que foram avaliadas antes de processo de usinagem apresentaram resultados compatíveis com a especificação do componente, tanto para resistência mecânica, quanto para microestrutura. Verifica-se apenas a ocorrência de diferença no que se refere a tamanho de grão austenítico, amostras A grãos grosseiro e amostras B grãos refinados.

Tabela 6. Especificação da propriedades construtivas das amostras no estado de acabado

ITENS	AMOSTRAS	DUREZA SUP. (HRc)	DUREZA NUC. (HRc)	ESPESSURA CAMADA (mm)	CONSTITUINTES
1	Amostra A	60	34	0,55	Martensita, e bainita
2	Amostra A	61	33	0,56	Martensita, e bainita
3	Amostra A	60	34	0,55	Martensita, e bainita

4	Amostra A	61	35	0,58	Martensita, e bainita
5	Amostra A	61	33	0,55	Martensita, e bainita
1	Amostra B	60	38	0,60	Martensita, e bainita
2	Amostra B	60	40	0,50	Martensita, e bainita
3	Amostra B	60	38	0,55	Martensita, e bainita
4	Amostra B	61	39	0,54	Martensita, e bainita
5	Amostra B	61	40	0,55	Martensita, e bainita

A verificação das propriedades dos aços demonstra que para as características de dureza de superfície, espessura de camada efetiva e microestrutura os resultados apontam para o atendimento das especificações.

Para a característica de dureza de núcleo verifica-se que os valores encontrados nas amostras B estão acima do que é especificado. O gráfico 1 evidencia a tendência de elevada dureza que difere as amostras A das amostras B, percebe-se um perfil de dureza mais elevado nas amostras B, isso ocorre em função do mais teor de carbono presente nas amostras B, o maior teor de carbono eleva a temperabilidade do aço, neste caso causando um perfil de dureza com valores mais acentuados.

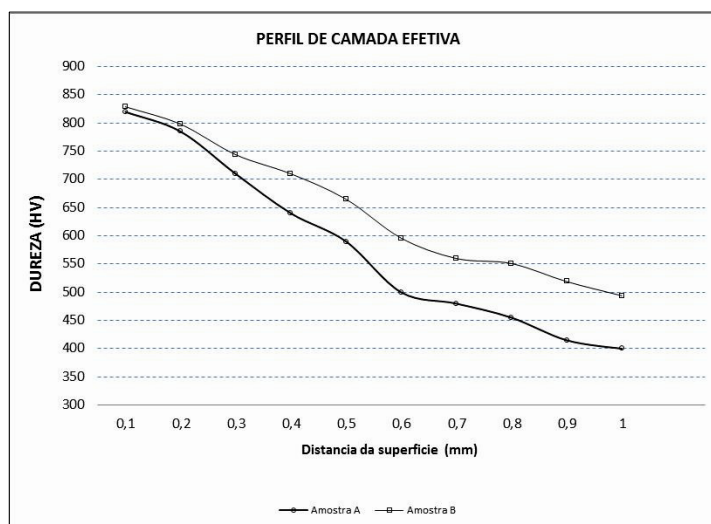


Gráfico 1. Demonstração do perfil de dureza das amostras A e B

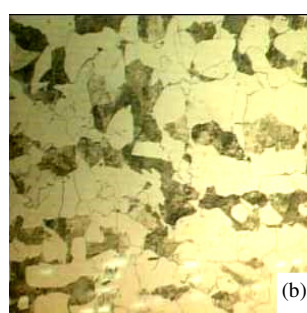
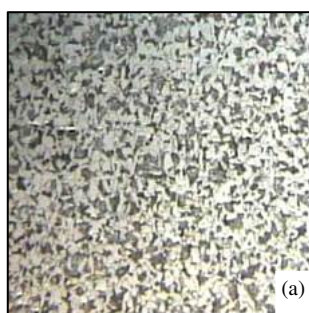


Figura 1. Microestrutura da amostra A, apresenta constituintes de ferrita e perlita, (a) aumento 100X e (b) aumento 500X

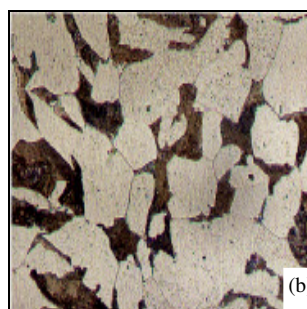
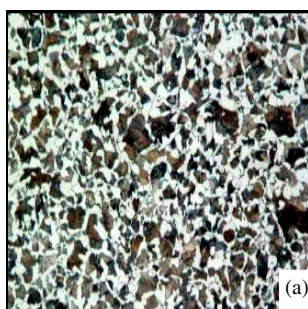


Figura 2. Microestrutura da amostra B, apresenta constituintes de ferrita e perlita, (a) aumento 100X e (b) aumento 500X

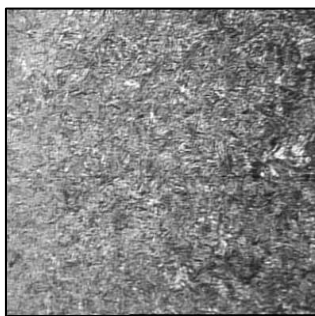


Figura 3. Microestrutura da amostra A, apresenta constituinte de martensita, aumento 100X

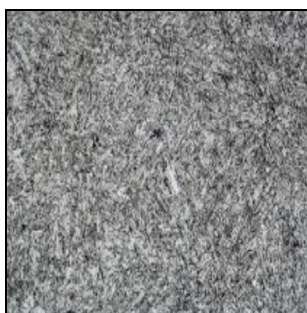


Figura 4. Microestrutura da amostra B, apresenta constituinte de martensita, aumento 100X

Observadas na análise metalúrgicas as amostras A e B apresentaram os constituintes de microestrutura formada por ferrita e perlita para as amostras em estado de forjado, portanto antes da usinagem e com constituinte martensítico para as amostras em estado de acabado. As amostras foram avaliadas na região próximo à superfície da engrenagem.

Além desses dados, analisou-se também as distorções na microgeometria do dente após o tratamento termoquímico carbonitretado para as amostras A e B, a qual podemos observar na Tabela 7.

Tabela 7. Resultado dimensional da microgeometria do dente após o tratamento termoquímico carbonitretado

Parâmetro	Amostra A (μm)			Amostra B (μm)		
	Flanco esquerdo / direito			Flanco esquerdo / direito		
	Peça N°:1	Peça N°:2	Peça N°:3	Peça N°:1	Peça N°:2	Peça N°:3
Cα (Abaulamento do perfil)	3.6 / 4.1	3.9 / 4.3	4.9 / 4.2	4.4 / 3.7	4.3 / 3.9	4.3 / 3.1
Cβ (Abaulamento da hélice)	7.4 / 7.8	6.8 / 7.3	6.2 / 6.7	4.3 / 5.6	4.7 / 5.7	4.4 / 5.0
FHα (Erro angular do perfil)	-3.7 / -5.6	-3.4 / -4.7	-5.0 / -5.5	-12.4 / -12.1	-12.1 / -12.9	-12.9 / -12.3
FHβ (Erro angular da hélice)	-0.6 / -0.2	-0.4 / -0.3	-0.9 / -0.7	0.5 / 3.7	0.9 / 3.5	0.5 / 3.2
ffα (Erro de forma do perfil)	4.8 / 4.1	5.2 / 4.5	4.8 / 4.1	4.8 / 4.4	4.4 / 4.3	4.2 / 4.8
ffβ (Erro de forma da hélice)	2.3 / 2.8	2.0 / 2.3	2.8 / 2.3	3.9 / 3.3	3.2 / 3.9	3.1 / 3.5

4. CONCLUSÃO

Concernente às distorções oriundas do processo de tratamento termoquímico carbonitretado, conclui-se que não há impactos significativos no emprego do aço DIN 27MnCr5 em fornos contínuo de alta pressão. As distorções na micro geometria dos dentes da engrenagem apresentaram similaridade às atuais distorções que ocorrem no aço DIN 19MnCr5 e, portanto, não afetam em absolutamente nada na qualidade final do produto.

Com relação às propriedades mecânicas do aço DIN 27MnCr5 conclui-se que existe uma ponto crítico na obtenção da dureza de núcleo do produto aplicando-se esse tipo de tratamento para esse aço. A dureza de núcleo obtida está acima do especificado. Por se tratar de uma característica crítica em termos de aplicação do produto, recomenda-se novos estudos para regularizar esse parâmetro de produto, tais como variação do tipo de óleo de têmpera ou até mesma a temperatura desse óleo durante aplicação da têmpera e avaliar as respostas de todas as características finais de produto.

Conclui-se que não descarta-se a hipótese da aplicação de tratamento termoquímico carbonitretado para aços DIN 27MnCr5, ou seja, acredita-se que com ajustes nos parâmetros de processo, é possível obter-se os parâmetros de produto especificados conforme projeto.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FCA – *Fiat Chrysler Automobiles* e a Universidade PUC Minas pelos dados, disponibilidade de materiais e laboratórios para as análises. Agradecem ao Professor José Rubens pela orientação e contribuição acadêmica e aos colegas da FCA, Omar Ribas e Vicente Paz, pelo apoio e atenção para execução de todas as atividades desse projeto.

6. REFERÊNCIAS

Shigley, Joseph E., Mischke, Charles R., Budynas, Richard G.: Projeto De Engenharia Mecânica – 7ª Ed. 2005 – Editora Bookman
Silva, André Luiz da Costa e Mei, Paulo Roberto– Ações e ligas especiais – 2ª Edição (1988).

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

APPLICATION OF STEEL DIN 27MnCr5 COMPARED TO STEEL DIN 19MnCr5, BOTH CORBONITRETATED IN CONTROLLED ATMOSPHERIC OVEN, APPLIED TO CONSTRUCTIONS FO GEARS.

Carlos Alberto de Sousa Neves, casnevesengmecanico@gmail.com¹
Wellington Alexandre Cunha, wellington.cunha@fcagroup.com²
Marcos Paulo Miranda, marcos.miranda@fcagroup.com³
Querlem Saraiva, querlem.saraiva@fcagroup.com⁴
Ronan Rodrigues Ferreira, ronan.ferreira@fcagroup.com⁵
Jose Rubens, joserub@pucminas.br⁶
Gilmar Cordeiro, gilmarcord@gmail.com⁷
Josué Santos, josue.santos@fcagroup.com⁸
Paulo Sérgio Martins, paulo.martins@fcagroup.com⁹
Diego Pratis, diego.pratis@fcagroup.com¹⁰

¹ Fiat Powertrain, Av. Do Contorno da Fiat, 3455 CEP: 32530-490 Betim – MG.

²PUC Minas, Av. Dom José Gaspar 500, prédio 10, Coração Eucarístico CEP: 30535-401 Belo Horizonte – MG.

Abstract: *The manufacturing of products and components with high value added is a major challenger for the engineers of industry automotive. This technical work shows an evaluation about the heat treatment carbonitriding made in high pressure ovens when applied at automotive gears of steel DIN 27MnCr5. It was evaluated the results of hardness, microstructure and chemical composition of component after heat treatment realized with parameters of process applied on treatment of steel DIN 19MnCr5. We check all differences in results and their implications in gear performance. Based in these results, we show some proposes for modify some parameters at heat treatment's process current with the goal of optimizing the gear performance.*

Keywords: *Heat treatment, material, metalurgical, furnace, property mechanical.*