

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
ANA CLAUDIA DOS SANTOS LEITE**

**MELHORIAS NA MATRIZ DE EXTRUSÃO DE BORRACHA (EPDM) ATRAVÉS
DO TRATAMENTO TÉRMICO**

**Varginha
2015**

ANA CLAUDIA DOS SANTOS LEITE

**MELHORIAS NA MATRIZ DE EXTRUSÃO DE BORRACHA (EPDM) ATRAVÉS
DO TRATAMENTO TÉRMICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Esp. Fabiano Faria de Oliveira.

**Varginha
2015**

ANA CLAUDIA DOS SANTOS LEITE

**MELHORIAS NA MATRIZ DE EXTRUSÃO DE BORRACHA (EPDM) ATRAVÉS
DO TRATAMENTO TÉRMICO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas Gerais – UNIS, como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof.

Prof.

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho a todos que de alguma forma contribuíram para sua realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre ao meu lado e por tudo que sou. A minha família, pela força e incentivo no decorrer deste curso e em tudo na minha vida, a minha filha Maryanah, minha fonte de inspiração, aos professores, aos amigos, aos colegas de trabalho e faço um agradecimento mais que especial, ao meu namorado Deivid Lima.

“A persistência é o menor caminho para o êxito.”

Charles Chaplin

RESUMO

As aplicações de aços ferramentas utilizados na confecção de matrizes no processo de extrusão de borracha Etileno-Propileno-Dieno EPDM, estão sujeitos as mais rigorosas solicitações, devido à complexibilidade de se produzir perfis com características geométricas específicas para atender a necessidade do cliente. O presente trabalho tem como objetivo apresentar os resultados obtidos através da análise entre duas matrizes de extrusão de borracha EPDM, comparando a vida útil e os gastos aplicados a uma ferramenta sem tratamento térmico e a uma ferramenta com tratamento térmico, a durabilidade de cada uma e os tempos de parada de linha devido ao desgaste ocorrido durante o processo, sendo que ambas são confeccionadas do mesmo material, o aço D2, regido pela norma americana “*American Iron And Steel Institute*” (Sistema Americano para Classificação dos Aços) AISI, sendo submetidos aos mesmos processos de fabricação, recebendo a mesma solicitação durante o processo de extrusão e produzindo o mesmo perfil. Porém a matriz que recebeu o tratamento térmico de têmpera e revenimento a vácuo teve sua vida útil ampliada, apresentado maior durabilidade e maior índice de dureza comparado com a matriz sem tratamento. O baixo custo do tratamento térmico acrescido no valor de uma matriz sem tratamento térmico, aumentando drasticamente gastos da empresa com ferramental de extrusão, tornando a matriz tratada mais viável na utilização no processo de extrusão de borracha EPDM.

Palavras-chave: Matriz de Extrusão. Aço Ferramentas. Tratamento Térmico.

Abstract

The tool steel applications used in the manufacture of dies in the process of extrusion Ethylene Propylene Diene EPDM rubber, the highest requests are subject due to the complexity of producing profiles with specific geometric features to meet customer needs. This study aims to present the results obtained from analysis of two arrays of EPDM rubber extrusion, comparing the life and spending applied to a tool without heat treatment and a tool with heat treatment, the durability of each and the line downtime due to wear occurred during the process, both of which are made of the same material, the D2 steel, governed by American Standard "American Iron And Steel Institute" (American System for Classification of Steel) AISI and submitted the same manufacturing process, receiving the same request during the extrusion process and producing the same profile. However, the matrix that received the heat treatment of quenching and tempering vacuum had its extended life, providing greater durability and hardness ratio compared with the untreated matrix. The low cost of heat treatment increased the value of an array without heat treatment, dramatically increasing company expenses extrusion tooling, making the matrix more feasible treated in using the EPDM rubber extrusion process.

Keywords: *Extrusion Matrix. Tools steel. Heat treatment.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Exemplos dos produtos desenvolvidos	14
Figura 02 – Componentes de uma extrusora	15
Figura 03 – Vista explodida de uma matriz de extrusão de borracha EPDM	16
Figura 04 – Torno CNC.....	17
Figura 05 – Centro de usinagem.....	18
Figura 06 – Máquina de eletroerosão a fio	19
Figura 07 – Layout das extrusoras.....	19
Figura 08 – Fluxo de massa em uma matriz de extrusão de borracha EPDM.....	20
Figura 09 – Tempos de produção e paradas de linha - Matriz sem têmpera	29
Figura 10 – Tempos de produção e paradas de linha - Matriz com têmpera.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Composição química do aço AISI D2	22
Tabela 02 – Quantidade de matrizes.....	25
Tabela 03 – Custos de confecção de uma matriz sem tratamento térmico.....	26
Tabela 04 – Custos com tratamento térmico de têmpera e revenimento a vácuo	27
Tabela 05 – Custos de confecção de uma matriz com tratamento térmico	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPDM – Etileno Propileno Dieno

AISI – American Iron And Steel Institute

HB – Dureza Brinell

HRC – Dureza Rockwell

°C – Celsius

C – Carbono

Si – Silício

Cr – Cromo

Mo – Molibidênio

V - Vanádio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 PROCESSO DE EXTRUSÃO DE BORRACHA EPDM.....	13
2.1 O processo de extrusão.....	13
2.2 Borracha EPDM.....	13
2.3 Extrusão de EPDM.....	14
2.4 Matriz de extrusão de borracha EPDM	16
2.4.1 Processode fabricação para confecção da matriz de extrusão.....	16
2.4.1.1 Torno CNC.....	17
2.4.1.2 Centro de usinagem	18
2.4.1.3 Eletroerosão a fio.....	18
2.4.2 Fatores de desgaste da matriz	19
3 O AÇO UTILIZADO NA CONSTRUÇÃO DA MATRIZ DE EXTRUSÃO	21
3.1 Definição de aço	21
3.2 A escolha do aço para trabalho a frio AISI D2 aplicado nas matrizes	21
4 TRATAMENTO TÉRMICO	23
4.1 Objetivo	23
4.2 Têmpera.....	24
4.3 Revenimento.....	24
5 MATERIAL E MÉTODO	25
5.1 A escolha da matriz de extrusão	25
5.2 Custos com a matriz sem tratamento térmico	26
5.3 Custos com a matriz com tratamento térmico.....	27
6 RESULTADOS	29
6.1 Tempo médio de parada de linha para matriz sem têmpera.....	29
6.2 Tempo médio de parada de linha para matriz com têmpera	30
7 DISCUSSÃO	31
8 CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

O processo de extrusão de borracha EPDM refere-se a um processo mecânico de produção contínua, que força o material a fluir, por compressão, através de um orifício em uma matriz para que ela adquira assim, a forma de perfis utilizados como vedação automobilística. A introdução de material na extrusora é feita por funis de alimentação por onde a massa de EPDM cairá sobre uma rosca por gravidade e a transportará dentro de um cilindro aquecido por resistências elétricas e parte deste calor será promovido pelo próprio atrito do material com as paredes do cilindro, entrando nas cavidades da matriz por compressão. O desgaste da matriz é intensificado considerando três fatores importantes, a velocidade com que o cilindro transporta a massa, influenciando diretamente na velocidade com que o perfil passa pela matriz, a abrasão do material em contato com a matriz e o tempo de trabalho contínuo. O material da matriz é o aço AISI D2, que é amplamente utilizado para este tipo de trabalho por possuir excelente combinação entre resistência mecânica e resistência ao desgaste. Depois de usinado, este material necessita ser tratado termicamente para melhorar suas propriedades mecânicas, como a dureza e diminuir o desgaste ocorrido durante o processo de extrusão pois a massa de borracha ao passar por uma matriz não conforme, danifica a geometria do perfil final, que é descartado como refugo ou mais precisamente, como scrap, podendo gerar ainda, gastos para empresa com mão-de-obra, os custos da linha, matéria-prima e atrasos na entrega.

O aumento da vida útil será demonstrado em uma aplicação comparando duas matrizes iguais, que produzem um perfil de alta produção, sendo que uma possui tratamento térmico e outra não, avaliar se o tratamento térmico é viável e demonstrar que sua aplicação aumenta a vida útil e justifica a diminuição dos gastos com ferramental de extrusão.

Diante da necessidade de diminuir os gastos e aumentar a confiabilidade do produto acabado, se faz necessário um estudo dos problemas que desgaste gera, pois a extrusão é o primeiro e principal processo na confecção de perfis de borracha, utilizado na vedação automotiva.

2 PROCESSO DE EXTRUSÃO DE BORRACHA EPDM

O processo de extrusão de borracha é bastante complexo por possuir muitas variáveis que podem influenciar no perfil final, pois no início do processo a borracha ainda não se encontra vulcanizada, ou seja, a massa ainda não passou pela aplicação de calor e pressão nos fornos que sucedem o processo de extrusão a fim de dar consistência a massa do perfil final, por isso a uma grande dificuldade de manter a estabilidade do processo.

2.1 O processo de extrusão

Segundo Chiaverini (1986) é o processo de conformação em que a borracha é forçada a passar através do orifício de uma matriz sob alta pressão, de modo a ter sua seção transversal reduzida.

Geralmente, se consegue através do processo de extrusão de polímeros em composições termofixas, produzir uma extensa versatilidade de perfis das mais variadas formas como tubos, perfis, barras, cano, além das formas de seções irregulares (REDFARN, 1958).

O processo de extrusão produz perfis de borracha de forma contínua, onde o material a ser extrudado é aquecido para diminuir os esforços necessários para a deformação da borracha. Existem dois tipos básicos de extrusão, a direta e a indireta, neste caso abordaremos a extrusão direta. Extrusão direta: a borracha é colocada em uma câmara aquecida, através de temperaturas controladas e é conformada sob alta pressão através do orifício de uma matriz por meio de uma rosca a alta temperatura e atrito (CHIAVERINI, 1986).

2.2 Borracha EPDM

Segundo Gomes (2013) borracha é um tipo de material que após serem conformados retornam sua forma original devido seu alto poder de elasticidade. Existem vários tipos de borracha, porém o material utilizado no processo de extrusão de perfis para vedação de portas e vidros automotivos é o EPDM, onde a letra “E” e “P” significam etileno e propileno, a letra “M” significa que a borracha possui uma cadeia saturada de polimetileno, que são termopolímeros, que quer dizer três monômeros vindos do etileno e propileno e uma parte não conjugada do dieno, ou seja, esta presente em menor quantidade, porém não participa da cadeia estrutural principal, esta borracha é vulcanizada por partes dos agentes químicos como

enxofre e aceleradores acrescentados em sua mistura, a temperatura de vulcanização esta acima dos 150° C , possui boa resistência ao calor e ao envelhecimento, boa resistência a baixa temperatura e a luz solar, boa elasticidade, bom poder isolante, excelente resistência e alta durabilidade.

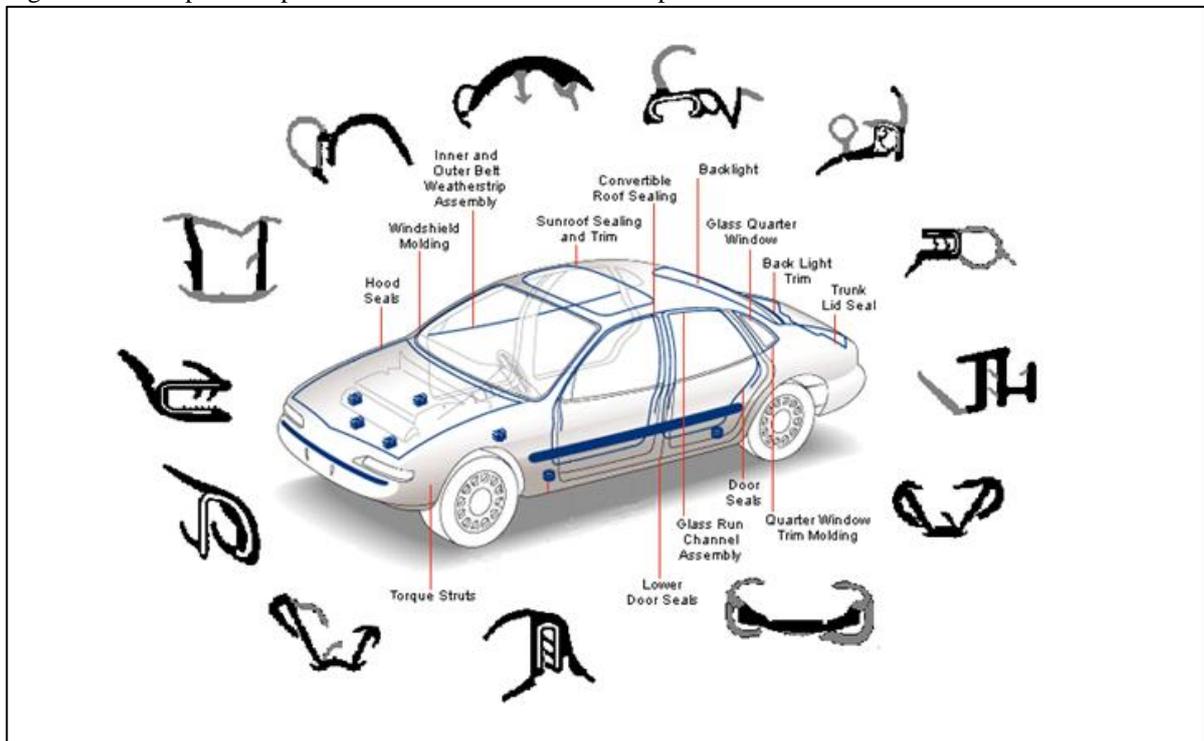
A estrutura molecular principal dos polímeros de etileno e propileno, de origem hidrocarbônica, apresentam cadeias complementares saturadas, ou seja, sem nenhuma dupla ação, o que permite uma excelente resistência a esta borracha, principalmente depois da vulcanização.

Esta borracha foi introduzida nos Estado Unidos da América em 1962, porém a sua comercialização ocorreu no ano de 1963.

Segundo Lesko, (2004, p. 228),

Borracha é definida como um material capaz de recuperar-se rápida e forçadamente de uma grande deformação. Em seu estado modificado, leva até um minuto para retrair-se menos de uma vez e meia seu comprimento natural após ter sido esticado à temperatura ambiente, a um tamanho duas vezes maior que seu tamanho e mantido por um minuto antes da liberação.

Figura 01: Exemplos dos produtos desenvolvidos através do processo de extrusão de EPDM



Fonte: A autora, 2015.

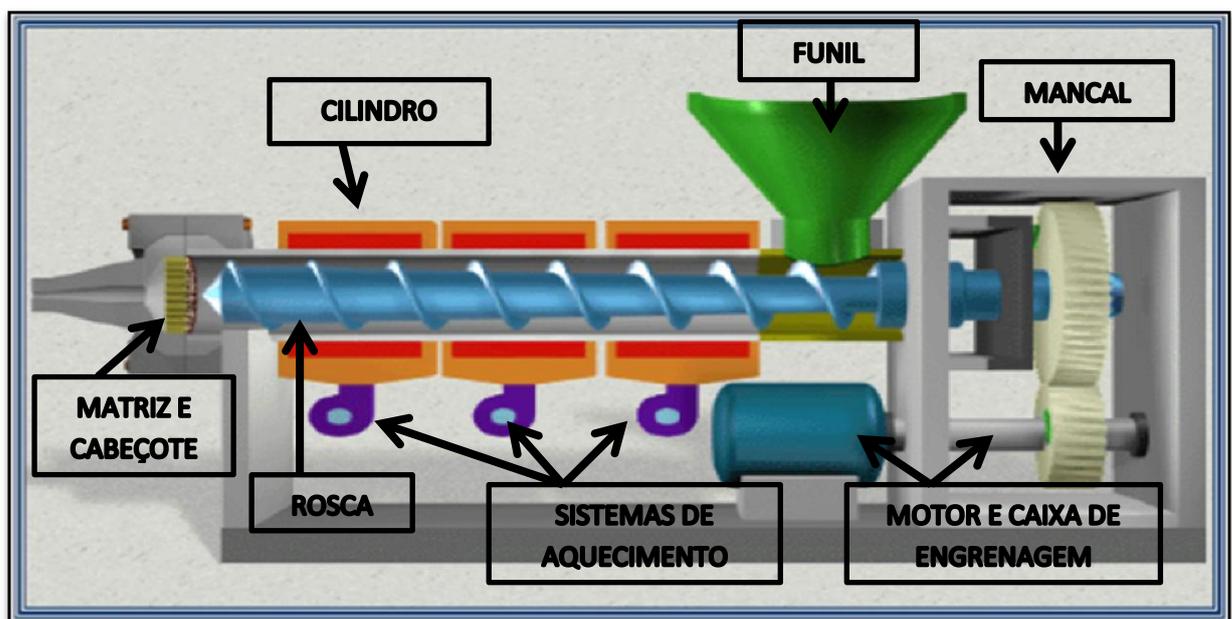
2.3 Extrusão de EPDM

As maiorias dos materiais poliméricos em composição termoplásticos podem ser conformados pelo processo de extrusão em formas, como barras, fitas, perfis, perfis em H, tubos e canos. Um extrusora de polímeros consiste de um cilindro, acoplado com um parafuso. A matriz é colocada no cabeçote do extrudador na parte dianteira e a alimentação é no terminal do cilindro. O cabeçote e o cilindro são aquecidos, e com o parafuso em rotação o material é introduzido através do cilindro pelo parafuso e forçado a passa pela matriz.

Um parafuso necessita de um motor potente para seu acionamento e um mancal robusto para vencer a pressão de retorno. O parafuso ou rosca é canalizado internamente para que água passe através dele para controle da temperatura, para que a massa não ultrapasse a temperatura que deverá ser conformada.

O parafuso normalmente têm três ou quatro zonas de aquecimento ao longo do comprimento do cilindro que podem ser controlados separadamente a temperaturas pré-determinadas. O aquecimento é realizado através de resistências elétricas no cilindro e no bocal. A zona do alimentador tem sua temperatura controlada a fim de prevenir que o material plástico se torne quente, coerindo e cobrindo o parafuso, interferindo assim, na própria introdução do material nos sulcos entre as roscas do parafuso. Haverá assim duas ou três zonas de aquecimento no cilindro e outra no cabeçote do extrudador, próximo a matriz. Na pratica, em geral é ter uma escala de temperatura em ascensão do alimentador a matriz. (REDFARN, 1958)

Figura 02: Componentes de uma extrusora



Fonte: Extrusão de termoplásticos.

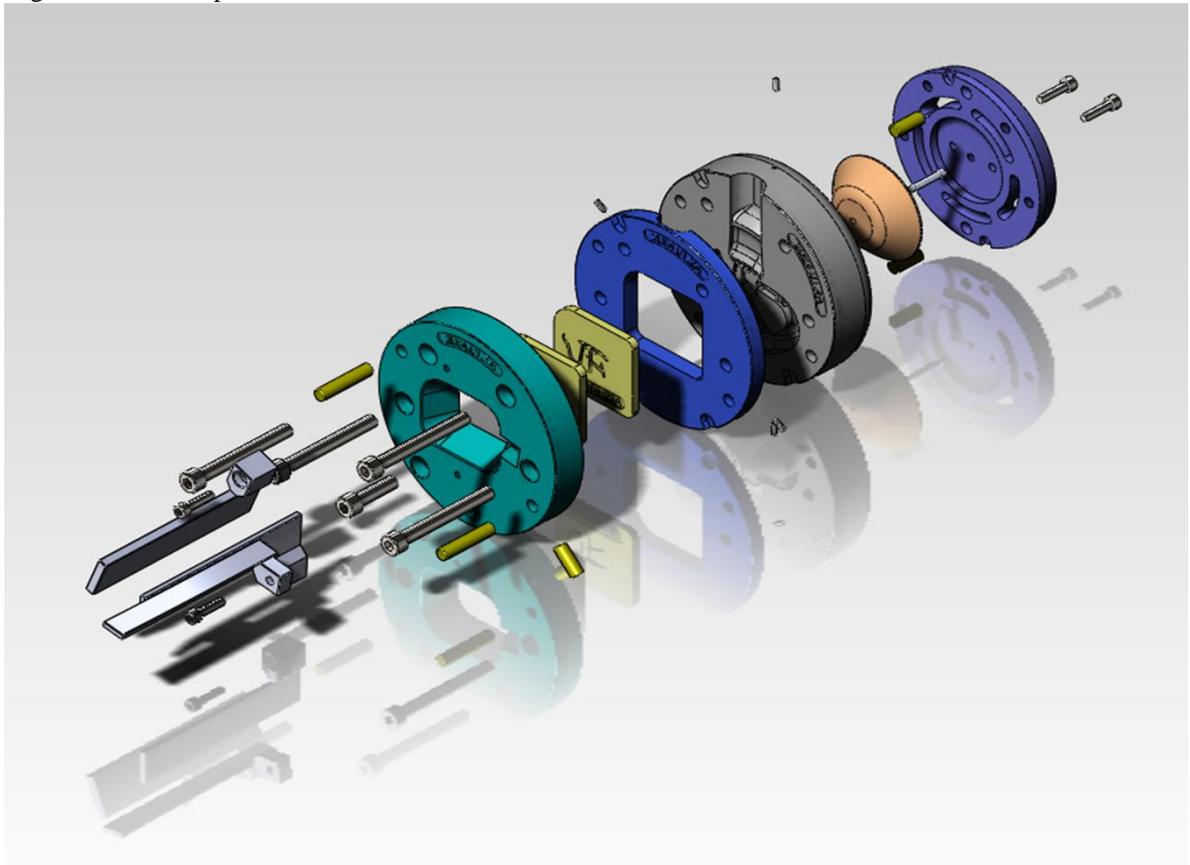
2.4 Matriz de extrusão de borracha EPDM

As matrizes de extrusão são projetadas em software, a partir de desenhos pré-determinados pelo cliente e são confeccionadas a partir de tarugos de aço liga para trabalho a frio AISI D2 e por apresentarem uma geometria complexa necessitam de cuidados durante o processo de fabricação. É composta por varias partes que são montadas a partir de pinos e parafusos.

Segundo Chiaverini, (1986, p. 89),

Matriz possui ainda uma cavidade na superfície, propositalmente confeccionada, e que segue o perfil da peça sob o plano de união das duas metades, com o objetivo de conter o excesso de material que deve ser previsto, de modo a garantir total preenchimento da matriz e produzir uma peça sã. Assim sendo, é necessário que o volume de material a ser deformado corresponda a todas as cavidades da matriz.

Figura 03: Vista explodida de uma matriz de extrusão de borracha EPDM.



Fonte: A autora, 2015.

2.4.1 Processos de fabricação para confecção da matriz de extrusão

Para Chiaverini (1986, p. 193), “as peças metálicas fabricadas pelos processos metalúrgicos convencionais – como fundição e forjamento etc. – geralmente apresentam superfícies mais ou menos grosseiras e que, portanto, exigem um determinado acabamento.”

Por esse motivo, se faz necessário à aplicação de processos de usinagem aos tarugos de aço AISI D2 para conformar as placas e conceder as formas desejadas a matriz.

Primeiramente, as peças, normalmente cilíndricas, são usinadas em torno para faceamento, depois passa pelo centro de usinagem onde vão ser feitos os furos que servem de referência para pinos e parafusos, além do desbaste das bolsas de alimentação e por fim, é feito os cortes necessários na máquina de eletroerosão a fio.

2.4.1.1 Torno CNC

Segundo Skack (1996) a máquina de Comando Numérico Computadorizado (CNC) possui uma unidade de processamento onde um software processa os dados inseridos pelo operador, tais como, velocidade de corte, avanço, dimensões das peças, entre outros, a partir de comandos numéricos e códigos específicos, o software faz a programação para que a máquina seja acionada com a movimentação dos eixos.

O torno é utilizado para torneamento e faceamento de peças normalmente cilíndricas, ambos conseguidos a partir de um movimento de rotação e o acionamento de uma ferramentas de corte, onde a peça é presa à placa de fixação do eixo da árvore e gira em torno do eixo principal da máquina, para se obter um acabamento desejado e com as dimensões a partir do desenho e é preparado para as demais operações. O diâmetro pode variar de acordo com o projeto da matriz.

Figura 04: Torno CNC



Fonte: Romi, 2015.

2.4.1.2 Centro de usinagem

Segundo Farraresi (1970) os centros de usinagem são máquinas que foram desenvolvidas com intuito de substituir as fresadoras e os tornos convencionais, porém mais eficazes por serem programadas através de computadores.

É utilizada para fazer furos que servem de referencia para os pinos e os parafusos que fixam as placas da matriz de extrusão, além de posicionamento, desbaste e acabamento das bolsas de alimentação, ou seja, onde passa o fluxo de massa.

Figura 05: Centro de usinagem



Fonte: Agie Charmilles, 2015.

2.4.1.3 Eletroerosão a fio

O processo de corte a fio da peça na máquina de eletroerosão a fio, não modifica as propriedades mecânicas do material devido a característica do processo, que consiste na remoção de material por consequência de sucessivas descargas elétricas que ocorrem entre um eletrodo e a peça submersa em um líquido dielétrico, que nada mais é que água desmineralizada para não conduzir eletricidade.

Figura 06: Máquina de eletroerosão a fio

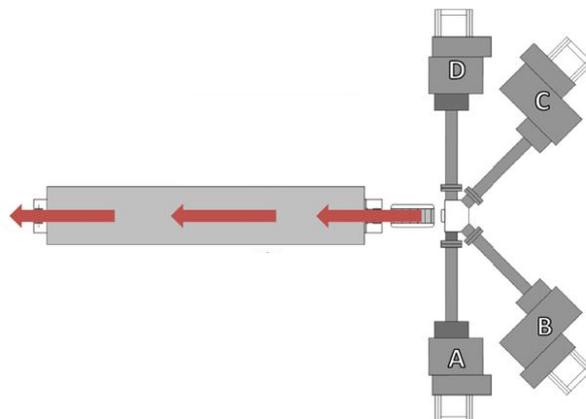


Fonte: Agie Charmilles, 2015.

2.4.2 Fatores de desgaste da matriz

A matriz é projetada e confeccionada e a partir de então, esta pronta para ser encaminhada ao processo de extrusão. No processo, a matriz é acoplada ao cabeçote da extrusora através de um cone para guiar o fluxo de massa, direcionado por quatro extrusoras diferentes conforme layout abaixo:

Figura 07: Layout das extrusoras



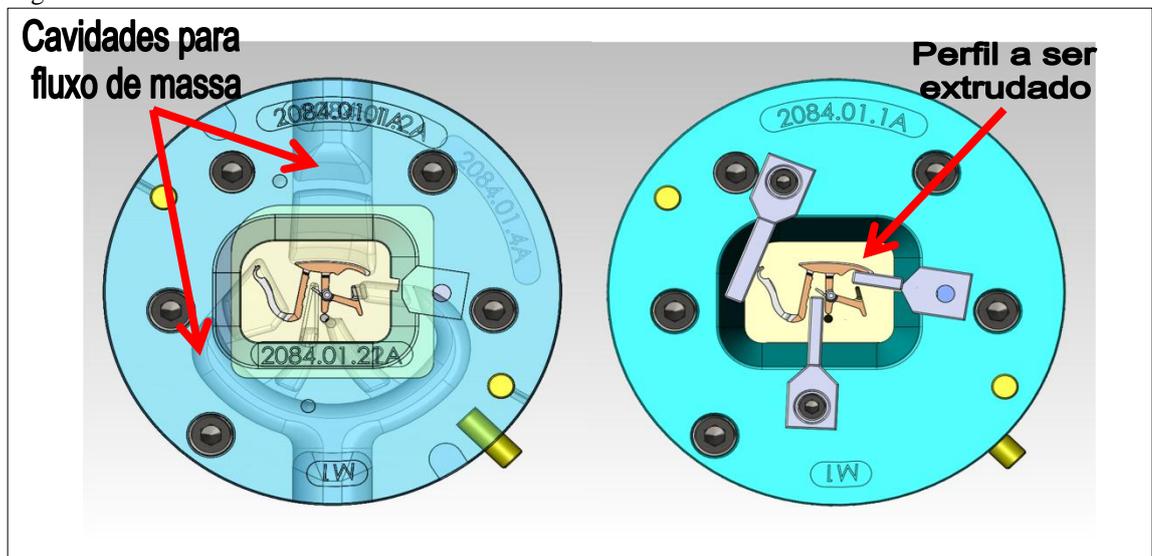
Fonte: A autora, 2015.

Os parâmetros são controlados através dos painéis, dispostos em cada extrusora a fim de não se ter variações bruscas e afetar a geometria do perfil e em longo prazo, afetam a geometria da matriz, são eles:

- a) A temperatura que a massa;
- b) A pressão de operação;
- c) A velocidade com que o material passa pela matriz.

Observa-se ainda, o fluxo que o material tem que seguir para ser conformado conforme esquema abaixo:

Figura 08: Fluxo da massa em uma matriz de extrusão de borracha EPDM



Fonte: A autora, 2015.

O desgaste da matriz ainda pode ser agravado por dois fatores importantes, o tempo contínuo que a matriz permanece em produção e o desgaste abrasivo, causado pela massa de borracha EPDM ao passar pela matriz.

3 O AÇO UTILIZADO NA CONSTRUÇÃO DA MATRIZ DE EXTRUSÃO

Abordaremos o aço ferramenta para trabalho a frio AISI D2 utilizado na confecção das matrizes de extrusão de borracha EPDM.

3.1 Definição de aço

Segundo Chiaverini (1986, p. 66) “[...] aço-carbono: liga ferro-carbono contendo geralmente de 0,008 a 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais resultantes dos processos de fabricação [...]”.

De certa forma é difícil definir o que é aço pela gama de aplicações empregadas a este material. Desta forma, adotaremos os aços ferramenta para trabalho a frio, que nada mais é um aço-liga especial utilizada na construção mecânica do material de estudo.

Para Chiaverini (1986, p. 86) “[...] aço-liga: aço carbono que contém outros elementos de liga ou apresenta os elementos residuais em teores acima dos que são considerados normais[...]”

O número de tipos de aços é muito elevado, devido não simplesmente aos aços somente carbono, mas a grande quantidade de aços ligados.

Dentre as varias associações técnicas especializadas para facilitar a seleção do aço e atenderem satisfatoriamente as necessidades do meio, a “*American Iron And Steel Institute*” (Sistema americano para a classificação dos aços) AISI é a norma americana que rege e classifica o aço pela composição química do aço utilizado, o AISI D2 para trabalho a frio.

3.2 A escolha do aço para trabalho a frio AISI D2 aplicado nas matrizes

A escolha do aço AISI D2, foi realizada a partir das vantagens oferecidas pelo material ao processo de extrusão de borracha EPDM.

O material empregado na confecção das matrizes são aços especiais – tipo ferramenta – caracterizados por conterem carbono de médio a alto teor e elementos de liga como cromo, níquel, molibidênio, tungstênio e vanádio. Exigem tratamento térmico tanto mais complexo, quanto maior a quantidade e a porcentagem de elementos liga presentes. (CHIAVERINI, 1996, p. 95).

Segundo Chiaverini (1986) aços para trabalho a frio, são dentre os tipos de aço os utilizados na construção de ferramentas e matrizes, pois são menos suscetíveis a alterações de

forma e dimensão durante o tratamento térmico e alta resistência ao desgaste especialmente em condições abrasivas o que facilita o nosso trabalho devido à necessidade de se manter a geometria da matriz para garantir o perfil dentro das especificações.

Dentre os principais tipos de aço da série AISI D é designado pela letra “D” pois são de mais altos carbono e cromo e o tipo 2 é mais utilizado quando se deseja combinar suas propriedades de resistência com a tenacidade. A sua composição química é apresentada na Tabela 01. Dentre os elementos, alguns possuem em papel fundamental na microestrutura, propriedades e desempenho do ferramental.

Tabela 01: Composição química do aço AISI D2

C %	Si %	Cr %	Mo %	V %
1,55	0,3	12	0,75	0,9

Fonte: A autora, 2015.

Este tipo de ferramenta é utilizada em operações de conformação, corte e rebarbação em temperaturas inferiores a 200 °C sendo que no processo de extrusão de borracha a matriz fica exposta a variações de temperatura entre 80 °C a 120°C.

Este material é fornecido no estado recozido com dureza máxima de 250 HB, o aquecimento da têmpera varia entre 1010 °C e 1030 °C recomendando-se pré-aquecer as ferramentas e resfriar em óleo apropriado ou banho de sal fundido e logo após atinja a temperatura de 60 °C , fazer o revenimento com temperatura de aquecimento escolhidas de acordo com a dureza desejada, que varia entre 200 °C a 540 °C e resfriar a peça lentamente até a temperatura ambiente para que atinja dureza típica de 58 a 62 HRC. Os relatórios de dureza encaminhado pelos fornecedores nos mostram materiais com dureza atingida de 61 HRC pós tratamento térmico de tempera e revenimento a vácuo.

4 TRATAMENTO TÉRMICO

4.1 Objetivo

Os processos de produção aos quais os vários tipos de aços são submetidos nem sempre fornecem materiais nas condições desejadas devido às tensões originadas dos processos de fundição, conformação e de usinagem fazem que problemas de distorção sejam observados tais como empenamento e as estruturas resultantes não são adequadas as necessidades de trabalho devido as consequências negativas das propriedades mecânicas dos materiais.

Por esse motivo, se faz necessário submeter às peças metálicas a determinados tipos de tratamentos térmicos objetivando minimizar ou mesmo eliminar os inconvenientes citados acima a fim de conceder uma melhorara das suas propriedades mecânicas.

Os tratamentos térmicos são operações de aquecimento e resfriamento subsequente, ambos controlados, ou seja, o tempo de permanência a uma dada temperatura, ambiente do aquecimento e resfriamento, além da velocidade e o tempo com que essas operações são executadas, dependendo do material utilizado.

Os objetivos dos tratamentos térmicos são resumidos da seguinte forma:

- a) Remoção de tensões internas (oriundas de resfriamento desigual, trabalho mecânico ou outra causa);
- b) Aumento ou diminuição da dureza;
- c) Melhora da ductilidade
- d) Melhora da resistência ao desgaste;
- e) Melhora de resistência a corrosão;
- f) Melhora a resistência ao calor;
- g) Modificações das propriedades elétricas e magnéticas.
- h) Aumento da resistência mecânica;
- i) Melhora da usinabilidade;
- j) Melhora das propriedades de corte;

Muitas vezes a obtenção de alguma dessas propriedades pode afetar outras, por exemplo, quando se deseja aumentar a resistência mecânica e a dureza, obtém-se como consequência a diminuição da ductilidade, sem necessário a aplicação de tratamentos simultâneos buscando eliminar esse tipo de problema. (CHIAVERINI, 1986)

A matriz de extrusão de borracha EPDM em questão é submetida à têmpera e revenimento a vácuo, processo que vem ganhando espaço no mercado devido às vantagens associadas à maior integridade superficial, maior controle do processo, em geral automatizado e as menores distorções observadas na peça, o que nos garante que a geometria obtida no processo não será afetada.

4.2 Têmpera

Segundo Chiaverini (1986, p. 245), “É este o tratamento térmico mais importante dos aços, principalmente os que são utilizados em construção mecânica.”

Aços ferramenta para trabalho a frio são submetidos a um aquecimento a temperaturas na faixa de 950° a 1.040°C, conforme o tipo, e o resfriamento é muito rápido, geralmente em meios líquidos logo após serem aquecidas. O resultado deste processo são modificações estruturais muito intensas, tais como um grande aumento da dureza, resistência ao desgaste, da resistência á tração, porém propriedades como a ductilidade sofrem diminuição e tensões internas são geradas com grande intensidade causadas por tensões na própria estrutura e tensões térmicas, devido ao fato da peça apresentar secções diferentes, gerando diferenças quando é realizado o resfriamento, fazendo com que um tratamento térmico de correção seja aplicado chamado revenimento.

4.3 Revenimento

Segundo Chiaverini (1986) este tipo de tratamento térmico é aplicado à peça logo após a têmpera, a temperaturas inferiores a zona crítica, resultando em uma estrutura diferente a obtida na têmpera, sendo este tipo de alteração responsável pela melhora da ductilidade e reduzindo os valores da dureza, que dependendo do nível atingido pode tornar o material frágil e as tensões internas são aliviadas ou eliminadas.

O tratamento de tempera e revenimento estão sempre associados.

5 MATERIAL E MÉTODO

5.1 A escolha da matriz de extrusão

A metodologia utilizada é o estudo feito entre duas matrizes de iguais dimensões e parâmetros, ou seja, com uma rotação de saída do perfil de 1500 metros/hora, porém uma ferramenta com tratamento térmico e outra sem tratamento térmico, através da análise feita dos registros de intervenções realizadas nas duas ferramentas de estudo durante um tempo de 5 meses de produção para cada uma e as paradas de linha decorrentes dessas intervenções, através dos registros efetuados pelos matizeiros, pessoas responsáveis pela realização das intervenções nas matrizes, comparando os custos aplicados a cada uma. Como a ferramenta com tratamento térmico não atingiu o máximo de sua vida útil, analisaremos as matrizes com 800.000 metros de perfis produzidos, metragem já atingida por ela.

Atualmente a contamos com 549 matrizes de extrusão. Dessa demanda são:

Tabela 02: Quantidade de matrizes.

MATRIZES TRATADAS		MATRIZES NÃO TRATADAS	
CONDICÃO	QUANTIDADE	CONDICÃO	QUANTIDADE
PRODUÇÃO	61	PRODUÇÃO	279
RESERVA	38	RESERVA	79
OUTRAS	20	OUTRAS	72
TOTAL	119	TOTAL	430

Fonte: A autora, 2015.

Dentre as 549 matrizes, 340 são de produção, onde se encontram as mais importantes que são os 10 maiores volumes de produção, ou seja, matrizes que produzem 100.000 metros ou mais de perfis mensalmente.

A partir dos 10 maiores volumes de produção foi escolhida uma matriz para estudo. A partir de então se iniciaram as análises.

Antes de mais nada, se faz necessário fazer uma prévia do que seria aplicável a matriz quando analisando sua vida útil. A vida útil das matrizes é controlada através da metragem de produzida por dia. A partir de então, quando uma matriz chega a 400.000 metros de perfis será necessário primeira intervenção preventiva para avaliar todos os componentes do ferramental para verificar se algum apresenta desgaste ou alguma não conformidade a ser reparada e iniciar a confecção de uma nova matriz, denominado matriz reserva. Com 800.000

metros de perfis produzidos é realizada uma nova inspeção para troca de componentes, se necessário, onde já se encontra uma matriz reserva pronta. Com 1.000.000 de metros de perfis produzidos a matriz é reavaliada de forma mais detalhada e é decidido a partir de uma análise da projeção do perfil comparando-o com o mylar (desenho original da peça), se há necessidade de troca de algum componente, ou se há necessidade de substituição por uma matriz reserva ou se esta de acordo com o processo. Se estiver dentro das conformidades às manutenções diminuem a frequência e passam a ser realizadas a cada 250.000 metros de perfis produzidos avaliando minuciosamente para que o perfil não seja produzido fora de sua geometria causando problemas de qualidade.

5.2 Custos com a matriz sem tratamento térmico

Primeiramente iremos avaliar os custos para confecção da ferramenta sem tratamento térmico, demonstrados na tabela abaixo:

Tabela 03: Custos de confecção de uma matriz sem tratamento térmico

MATRIZ SEM TÊMPERA	
CONFECÇÃO DE UMA MATRIZ	CUSTO MÉDIO
MATERIAL (CONSIDERAR 10 Kg AÇO AISI D2)	R\$ 1.000,00
HOMEM HORA	R\$ 4.000,00
HORA MÁQUINA	R\$ 1.000,00
TOTAL	R\$ 6.000,00

Fonte: A autora, 2015.

A matriz de estudo versão não tratada termicamente teve início de produção em 16/07/2014 e foi desativada em 28/04/2015, ou seja, aproximadamente 10 meses com um volume produzido de 1.560.000 metros acumulados o que nos dá uma média de 156.000 metros por mês. Porém, após 90 dias de produção, com uma média aproximada de 468.000 metros produzidos a matriz começou a apresentar problemas na geometria do perfil, sendo necessária a troca de componentes por estarem desgastados ou a necessidade de se fazer ajustes manuais. Do tempo total de produção, 533 horas, supondo que durante 5 meses a matriz produziu aproximadamente durante 22 dias não contínuos, 15 horas foram de paradas linha por causa de problemas com a ferramenta, tais como ajuste, ou troca de componentes ou limpeza, que nos dá uma média de 3 horas de paradas em 5 meses, até que a ferramenta atinja a metragem de 800.000 metros de perfis produzidos. Este tipo de problema causa ajuste

manual, que é uma manutenção corretiva realizada na ferramenta, que dependendo da gravidade, pode demorar até 2 horas para ser solucinado para que a matriz seja novamente lançada na linha de produção. O desgaste gera problema de qualidade, custos da linha de extrusão por hora parada, que inclui mão de obra, depreciação dos equipamentos, custos fixos que são indispensáveis ao seu funcionamento, os custos variáveis que aumentam ou diminuem de acordo com o volume produzido e o lixo que é gerado até que o problema seja detectado, que nada mais é que a matéria prima consumida. Dependendo do prazo solicitado pelo cliente, pode ainda gerar gastos com transporte urgente.

5.3 Custos com a matriz com tratamento térmico

Avaliaremos agora, os custos para confecção da ferramenta com tratamento térmico, considerando um fornecedor tercerizado. Primeiramente, avaliaremos os custos com o tratamento térmico:

Tabela 04: Custos com tratameto térmico de têmpera e revenimento a vácuo

CUSTOS DE TEMPERA E REVENIMENTO A VÁCUO POR QUILO (Kg)	
FORNECEDOR 1	R\$ 14,15
FORNECEDOR 2	R\$ 13,10
FORNECEDOR 3	R\$ 15,20
MÉDIA	R\$ 14,15

Fonte: A autora, 2015.

Os custos empregados a uma matriz com tratamento térmico, considerando um peso aproximado de 10 Kg:

Tabela 05: Custos de confecção de uma matriz com tratamento térmico

MATRIZ TEMPERADA	
CONFECCÃO DE UMA MATRIZ	CUSTO
MATERIAL (CONSIDERAR 10 Kg ACO VD2)	R\$ 1.000,00
HOMEM HORA	R\$ 4.000,00
HORA MÁQUINA	R\$ 1.000,00
TRATAMENTO TÉRMICO DE TÊMPERA E REVENIMENTO A VÁCUO	R\$ 141,15
TRANSPORTE EXCLUSIVO	R\$ 1.200,00
CUSTOS DE UMA MATRIZ TEMPERADA	R\$ 7.341,15

Fonte: A autora, 2015.

A matriz tratada termicamente teve início de produção no dia 29/04/2015 e analisado até 30/09/2015 e decorridos aproximadamente 150 dias, ou seja, 5 meses a ferramenta está

com uma metragem acumulada de 800.000 metros de perfis produzidos, uma média de 155.945,42 metros de perfil produzido por mês sem que seja necessário fazer intervenções decorrente de desgaste ou para troca de componentes, apenas limpeza da matriz. Do tempo total de produção, 533 horas, supondo que durante 5 meses a matriz produziu aproximadamente durante 22 dias não contínuos, 37 minutos foram de paradas linha decorrente de intervenções na ferramenta, tais como limpeza que nos dá uma média de 7,4 minutos em 5 meses.

6 RESULTADOS

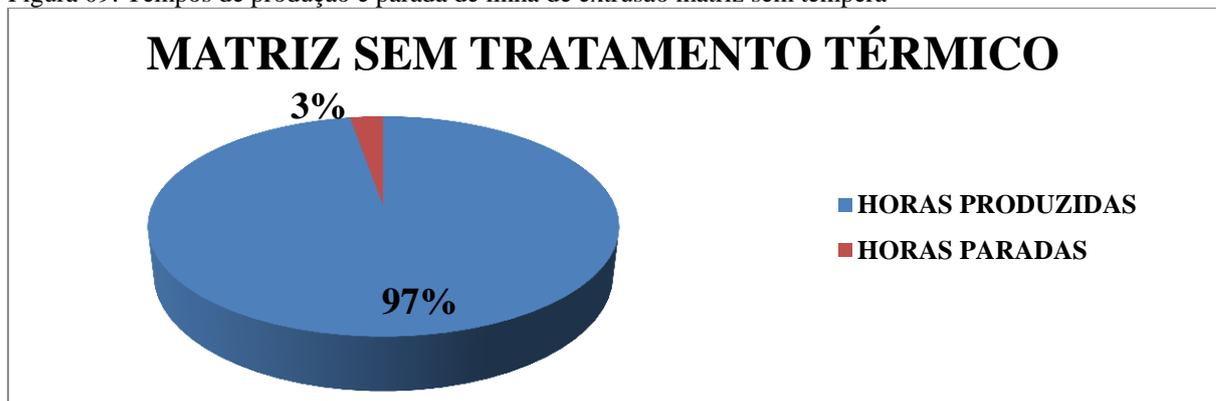
Através da complexibilidade do processo de extrusão de borracha EPDM e o grande números de variáveis existentes no processo que contribuem para o desgaste da matriz, trouxe a necessidade de avaliar quantitativamente os ganhos obtidos financeiramente através do tratamento térmico aplicado ao ferramental ao se avaliar uma matriz sem tratamento térmico e uma com tratamento térmico de têmpera e revenimento a vácuo, ambas confeccionadas de mesmo material o AISI D2.

As análises foram realizadas nas ferramentas até a metragem de 800.000 metros de perfis produzidos, para ambas, e estudadas as consequências do desgaste ocorrido no decorrer do processo de extrusão, como por exemplo os gastos com as paradas da linha de produção, lixo gerado, causando prejuízos maiores, pela falta do tratamento térmico.

6.1 Tempo médio de parada de linha para matriz sem têmpera

Segue abaixo os tempos de linhas pardas por problemas decorrentes de intervenções na matriz de extrusão de borracha EPDM, demonstrando que uma matriz sem tratamento térmico de têmpera e revenimento a vácuo trabalhou 533 horas em 5 meses, a uma rpm de 1500 metros/horas, atingiu a metragem de 800.000 teve um prejuízo com paradas de produção de 15 horas. Nos outros 5 meses a mais de produção que a matriz ainda teve, os problemas foram agravados e se teve ainda mais prejuízos, até que foi decidido que as intervenções já não dariam mais os resultados esperados, considerando que a partir de 3º mês de trabalho a matriz já começou apresentar problemas provenientes de desgaste que permaneceu até o fim de sua vida útil.

Figura 09: Tempos de produção e parada de linha de extrusão matriz sem têmpera

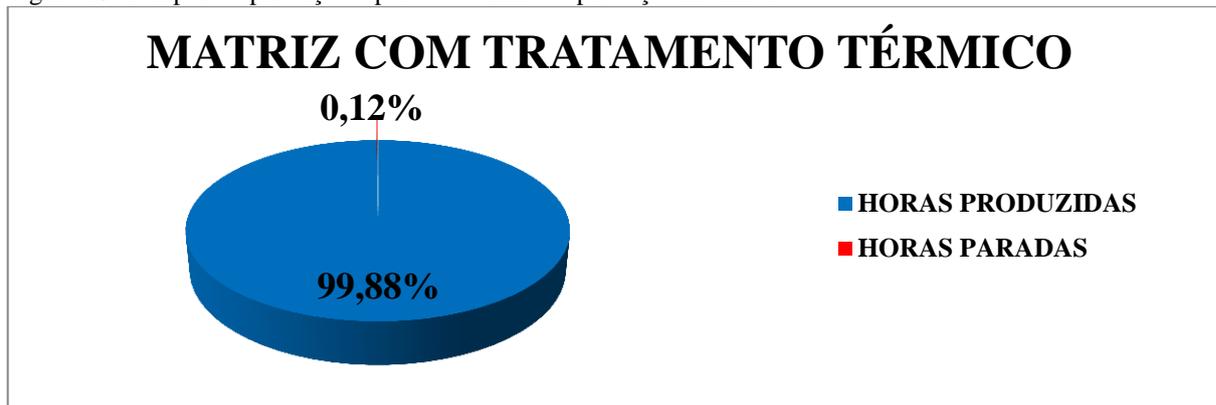


Fonte: A autora, 2015.

6.2 Tempo médio de parada de linha para a matriz com têmpera

Segue abaixo os tempos de parada de matriz decorrentes das intervenções realizadas na matriz de extrusão de borracha EPDM que não sofreu nenhum problema proveniente de desgaste da ferramenta durante o tempo avaliado de 5 meses, com uma média de 533 horas trabalhadas, há uma rotação de 1500 metros/hora produzindo 800.000 metros de perfis.

Figura 10: Tempos de produção e parada de linha de produção matriz tratada



Fonte: A autora, 2015.

7 DISCUSSÃO

Atualmente, devido a grande quantidade de matrizes de extrusão de borracha EPDM existentes na empresa e a grande demanda do processo, se faz necessário avaliar as causas de paradas de linha por interveções de matrizes de produção para que os gastos sejam minimizados ao máximo e os prazos sejam atendidos em tempo hábil.

O emprego do tratamento térmico de têmpera e revenimento a vácuo, empregado no valor da matriz, acresce o valor de R\$ 1.341,15 ao preço de uma matriz não tratada termicamente, analisando a economia que foi gerada durante o processo com poucas paradas de linha de produção, problemas de qualidade, troca de componentes, ajustes manuais e atrasos com os fornecedores quando se compara com o mesmo tempo que a matriz produziu sem tratamento térmico, justifica a compra de outra matriz, quando a mesma iniciasse os problemas decorrentes de desgaste. Com a diminuição de 2,88% nas es de parada de linha e conseqüentemente produção de refugo durante os primeiros 800.000 metros de perfis produzidos temos uma economia de 40% com estes gastos.

8 CONCLUSÃO

Conforme o estudo de caso realizado ao se comparar uma matriz de extrusão de perfis de borracha EPDM utilizado em vedações automobilísticas, comparando uma ferramenta com o emprego do tratamento térmico e uma sem o tratamento térmico, analisando os tempos de paradas de linha e as causas de intervenções realizados nas ferramentas, percebe-se que se torna mais viável o emprego do tratamento térmico, mesmo que os serviços sejam terceirizados e seja empregado um custo para o processo, faz com que a matriz não gere gastos desnecessários decorrentes do desgaste da ferramenta.

Com o emprego do tratamento térmico, os custos com o serviço terceirizado deixam de ser observados pois obtivemos uma redução de quase 40% com paradas de linha de produção decorrentes de ajustes de matriz durante o tempo estimado de 5 meses, até que a matriz atinja uma metragem de 800.000 metros de perfis acumulados devido a durabilidade superior e o menor desgaste quando comparado a uma matriz não tratada.

REFERÊNCIAS

- AGIE CHARMILLES 2015. Disponível em
<<http://www.gfms.com/content/gfac/com/en.html>>. Acesso em 17 set. 2015
- CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamentos**. 2 ed. – São Paulo: McGraw-Hill, 1986.7
- CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica: Materiais de construção Mecânica**. 2 ed. – São Paulo: McGraw-Hill, 1986.7
- CRUZ, Sandra A. **Extrusão De Termoplásticos**. Santo André, SP Disponível em
<http://www3.fsa.br/materiais/Processamento/extru_1.pdf>. Acesso 08/07/2015.
- FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.
- GOMES, Manuel Morato. Rubber Pedia, 2015. Disponível em
<http://www.rubberpedia.com/autores/mmgomes.php>. Acesso em 23 jul. 2015
- LESKI, Jim, **Design Industrial: Materiais e Processos de Fabricação**. São Paulo: Edgard Blucher, 2014.
- MENDANHA, Adriano. **Tenacidade do Aço Ferramenta Para Trabalho a Frio AISI D2 – parte ii Influência do Ciclo de Tratamento Térmico**. Disponível em
<<http://heattech.com.br/trabalhos/2003%20-%201o%20ABM%20Moldes%20-%20AISID2%20Parte%20II.pdf>> Acesso em 28 mai. 2015
- PALMEIRA, Alexandre Alvarenga. **Capítulo 4: Processos de extrusão**. Resende, RJ, 2005
- REFARN, C. A. **Tecnologia das matérias plásticas**. 2 ed São Paulo: Polígono LTDA, 1962.
- SILVA, A. L. da C. e; MEI, P. R. **Aços e Ligas especiais**. 2 ed. Sumaré, SP: Eletrometal S.A. Metais Especiais, 1988.
- SLACK, N. et al. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1996.
- ROMI, 2015. Disponível em
<http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/3617-romi-mostra-nova-versao-de-torno-na-sul-metal-mineracao>. Acesso em 17/09/2015
- VILLARES METALS 2015. Disponível em
<<http://www.villaresmetals.com.br/pt/Produtos/Acos-Ferramenta/Trabalho-a-frio/VD2>>. Acesso em 30 set. 2015