

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Gustavo Henrick Marcondes Silva Costa

**ESTUDO ANALÍTICO DA INTERFERÊNCIA PRODUTIVA NO SURGIMENTO DE
DEFEITOS NO ARAME TREFILADO EM AÇO ABNT 1045**

Betim

2024

GUSTAVO HENRICK MARCONDES SILVA COSTA

**ESTUDO ANALÍTICO DA INTERFERÊNCIA PRODUTIVA NO SURGIMENTO DE
DEFEITOS NO ARAME TREFILADO EM AÇO ABNT 1045**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Rogério Eustáquio de Souza

Betim

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

C837e Costa, Gustavo Henrick Marcondes Silva

Estudo analítico da interferência produtiva no surgimento de defeitos no arame trefilado em aço ABNT 1045 / Gustavo Henrick Marcondes Silva Costa. – 2024.

31 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2024.

Orientador: Prof. Me. Rogério Eustáquio de Souza

1. Trefilação. 2. Fio-máquina. 3. Defeito. 4. Processo. 5. Engenharia mecânica. I. Costa, Gustavo Henrick Marcondes Silva. II. Título.


CDU: 621.7

Gustavo Henrick Marcondes Silva Costa


ESTUDO ANALÍTICO DA INTERFERÊNCIA PRODUTIVA NO SURGIMENTO DE DEFEITOS NO ARAME TREFILADO EM AÇO ABNT 1045

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.


Aprovado em: ____ / ____ / ____ pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **ROGERIO EUSTAQUIO DE SOUZA**
Data: 20/11/2024 09:32:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Ms. Rogério Eustáquio de Souza (Orientador) – IFMG Campus Betim

Documento assinado digitalmente
 **EVANILTON JOSE ALVES BARBOSA**
Data: 20/11/2024 11:45:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Ms. Evanilton José Alves Barbosa – IFMG Campus Betim

Documento assinado digitalmente
 **NORIMAR DE MELO VERTICCHIO**
Data: 20/11/2024 11:28:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Ms. Norimar Melo Verticchio – IFMG Campus Betim

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me apoiaram incondicionalmente nesta jornada. Agradeço principalmente aos meus familiares (minha noiva Emily e meus pais João e Jarleth), e aos meus amigos, que estiveram sempre ao meu lado durante o curso, procurando todos os meios possíveis para me suportarem da maneira que podiam. Foram muitos desafios e aprendizados. Tenho certeza de que levarei o que aprendi para toda minha vida, tornando-me não apenas um ótimo profissional, mas uma pessoa melhor.

RESUMO

O metal possui uma ampla gama de utilidades na sociedade, sendo uma delas o uso como arames diversos. As características destes arames podem variar desde bitolas a materiais de composições especiais. A principal forma de obtenção dos arames consiste no processo de trefilação, que exige um alto nível de rigor de produção, perpassando desde a composição, o pré-processamento do arame fio-máquina, até o dimensionamento de cada componente das feiras. Apesar do cuidado no processo produtivo, ainda é possível observar defeitos inerentes nesses materiais. Sendo a tensão a responsável pelo maior esforço relacionado com o processo de trefilação do arame, os defeitos estão ligados, principalmente, aos parâmetros de operação do maquinário utilizado. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é analisar, com base em revisão de literatura, o processo produtivo do metal ABNT 1045 trefilado e como as características do fio-máquina impactam no produto final, identificando os principais defeitos estruturais em arames em aço ABNT 1045.

Palavras-chave: trefilação; bitola; fio-máquina; defeito; processo.

ABSTRACT

Metal has a wide range of uses in society, one of which is its use as various types of wires. The characteristics of these wires can vary in gauge and material composition. The primary method for obtaining wires is the drawing process, which requires a high level of production rigor, encompassing everything from the composition and pre-processing of the wire rod to the sizing of each component of the dies. Despite the care taken in the production process, it is still possible to observe inherent defects in these materials. Since tension is the main stress related to the wire drawing process, defects are mainly linked to the operating parameters of the machinery used. Therefore, the objective of this work is to analyze, based on a literature review, the production process of ABNT 1045 drawn metal and how the characteristics of the wire rod impact the final product, identifying the main structural defects in ABNT 1045 steel wires.

Keywords: wire drawing; gauge; wire machine; defect; process.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estruturas para armazenagem do arame no processo de trefilação.....	16
Figura 2 – Fluxograma do processo de trefilação na metalurgia	17
Figura 3 – Sistema de tração do arame na trefilação	17
Figura 4 – Modo como o arame passa pela fieira	18
Figura 5 – Processo de lubrificação exemplificado	22
Figura 6 – Desenho exemplificativo da lubrificação	22
Figura 7 – Exemplo de diagrama causa e efeito na indústria.....	24

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tensão x Deformação com a determinação da Tenacidade	20
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características Gerais dos aços trefilados.....	19
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios de tensão do aço ABNT 1045	20
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

5W1H	do inglês, What, When, Whom, When, How e Why
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Co	Cobalto
df	Diâmetro final
GPa	Gigapascal
IFMG	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
K	Coeficiente de condutibilidade
MPa	Megapascal
SAE	<i>Society Engineering of America</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
WC	Carbeto de tungstênio
WC-Co	Liga de metal duro de carbeto de tungstênio e cobalto
σ_{ti}	Limite inicial de Resistência à Tração
k	Constante de trefilação do material antes do passe

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa	12
1.2 Colocação do Problema.....	13
1.3 Objetivos	14
2 METODOLOGIA	15
3 REVISÃO DE LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 O processo de trefilação.....	16
3.2 Análise do material: aço ABNT 1045	19
3.3 Possíveis defeitos do processo de trefilação	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5 CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

A trefilação é uma forma comum na sociedade moderna de conformar mecanicamente o metal, em que a matéria-prima é puxada através de uma matriz com formato convergente, chamada de fieira ou trefila. Esse procedimento utiliza uma força trativa aplicada na saída da matriz para reduzir o diâmetro do material e melhorar suas propriedades mecânicas, como a resistência mecânica e a dureza (CIMM, 2024).

O segmento de trefilação da indústria metalúrgica fabrica uma variedade de produtos, como cordoalhas, arames de cobre e arames galvanizados, cada um passando por processos distintos de fabricação. Como em todo processo industrial, é preciso que cada etapa seja acompanhada, de forma a evitar qualquer imperfeição que possa acometer a qualidade do produto final. Ao se maximizar o controle produtivo, reduz-se os defeitos correlatos.

Esse processo demanda a análise dos parâmetros de operação e testes diversos, para que seja possível entender o que acontece com o produto em cada etapa da produção. Mesmo tendo muitas variáveis, compreender como esses parâmetros interferem estruturalmente no processo, especialmente no caso do arame em aço ABNT 1045, assegura uma melhor confiabilidade para o processo e para a qualidade do produto.

1.1 Justificativa

A indústria metalmeccânica se desafia constantemente com o objetivo de obter produtos com melhor qualidade, menor custo e no menor tempo possível. Para tanto, se fazem necessárias melhorias contínuas no processo produtivo, aprimorando desde a confiabilidade das máquinas empregadas até o controle de qualidade do processo produtivo.

O processo produtivo pode ser prejudicado por causa dos defeitos inerentes aos maquinários velhos, com longo tempo de vida útil, bem como, falta de treinamento de pessoal e manutenção de maquinário ineficiente. Portanto, a indústria que não se preocupar com a vida útil de seus equipamentos produtivos, com a segurança operacional e com o treinamento de pessoal terá um processo mal organizado e propenso a problemas.

Uma das matérias primas utilizadas no processo de trefilação é o aço ABNT 1045. Esse metal sofre diversas deformações mecânicas desde o começo do processo na entrada do fio-máquina até armazenamento dos mesmos. O estudo estrutural deste material ajuda a entender por que a tensão sofrida é alta e por que as interações químicas e as interferências térmicas são tão importantes. De toda forma, é possível considerar que, proporcionalmente, rasgos e trincas podem ser evitados combatendo problemas de má qualidade estética e de propriedades indesejadas no produto final.

Diante do contexto apresentado, este trabalho se justifica por buscar entender o que acontece com o produto em cada etapa da produção possibilita identificar a principal causa de defeitos indesejados no produto final, viabilizando que a indústria entenda o problema e tente evitá-lo. Sendo assim, esta pesquisa bibliográfica busca explicar o quanto as deformações que decorrem da trefilação do arame, são responsáveis pelo resultado final alcançado. Sendo o objeto principal de análise o fio-máquina, busca explicar qual é o limiar de deformações aceitáveis para a fabricação do arame ABNT 1045.

1.2 Colocação do Problema

Ao se considerar o processo de fabricação dos arames ABNT 1045 por meio da trefilação, o dimensionamento equivocado do conjunto como um todo pode trazer implicações indesejáveis. Como defeitos de forma geral, citam-se como exemplos as marcações no arame e as ovalizações. Para evitá-los, o correto manuseio e aplicação do fio-máquina são boas práticas. O problema que este trabalho se propõe a analisar são os parâmetros de aplicação e os defeitos correlatos desse tipo de material, tendo por base a literatura.

1.3 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é analisar o processo produtivo do aço ABNT 1045 trefilado e como as características do fio-máquina e das condições de operação impactam no produto final. Esta investigação é importante porque verifica as influências das condições da máquina trefiladora, das matérias primas envolvidas no processo e dos parâmetros de funcionamento do maquinário, como velocidade, temperatura e lubrificação, nos diferentes pontos de processamento do arame. A análise busca expor os defeitos estruturais e como eles interferem nas propriedades obtidas do produto final.

1.4 Organização do Trabalho

Nesta introdução, foram apresentados a justificativa, o problema e os objetivos da pesquisa. Na Seção 2, descreve-se a metodologia adotada, o cronograma de desenvolvimento do trabalho e os recursos empregados. A Seção 3 aborda os principais tópicos da Revisão de Literatura e da Fundamentação Teórica, incluindo as definições do Processo de Trefilação, a análise do Aço ABNT 1045 e os possíveis defeitos do processo de trefilação. Na Seção 4, são discutidos os resultados obtidos. Por fim, a Seção 5 apresenta as conclusões.

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada consiste na realização de revisão de literatura. As fontes de consulta utilizadas foram livros, artigos, trabalhos de conclusão de curso e dissertações de mestrado correlatas ao tema, que pudessem contextualizar a análise proposta neste trabalho.

O procedimento adotado incluiu pesquisa acerca do processo de trefilação e dos conceitos de produção do arame trefilado, de forma que fosse possível compreender melhor o processo e sua conformação. Em seguida, foram pesquisadas informações sobre o aço ABNT 1045 e os tipos de danos estruturais que podem afetar o produto final desse material.

Concluindo, com base no que foi observado através dos dados obtidos junto às informações investigadas, buscou -se atingir o objetivo de verificar os parâmetros envolvidos no processo e relacioná-los com os defeitos elencados na literatura.

3 REVISÃO DE LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

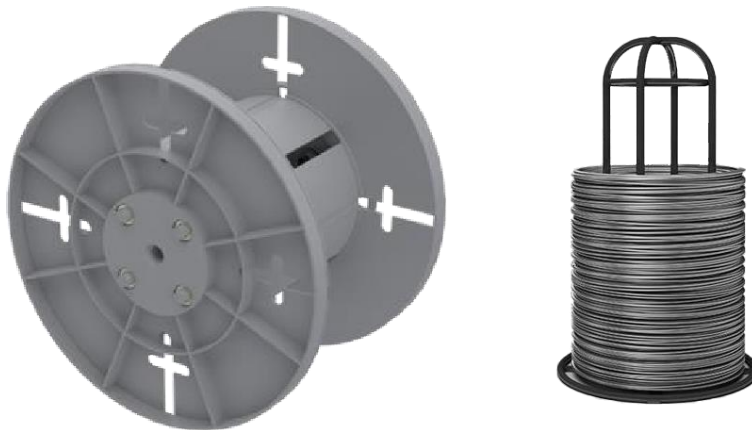
3.1 O processo de trefilação

A trefilação é uma técnica para conformação mecânica de metais em que a matéria prima é conduzida por uma matriz convergente, denominada fieira ou trefila, e submetida a uma força de tração na saída da matriz. O objetivo principal é diminuir o diâmetro do material e melhorar suas propriedades mecânicas, tais como resistência mecânica e dureza (CIMM, 2024).

Existem a trefilação a quente e à frio. A trefilação a quente é aplicado aos materiais CCC (Cúbico de Corpo Centrado) e em materiais HC (Hexagonal Compacto), sendo materiais menos maleáveis. A trefilação à frio é aplicada aos materiais de CFC (Cúbico de Face Centrado), tendo que serem lubrificadas para que não sobrecarreguem o maquinário (SPILLERE, 2024).

No processo de trefilação, o fio-máquina, de bitola conhecida, é armazenado em carretéis e “spiders”, conforme a Figura 1, sendo o Carretel a Figura “a” e o Spider a Figura “b”:

Figura 1 – Estruturas para armazenagem do arame no processo de trefilação



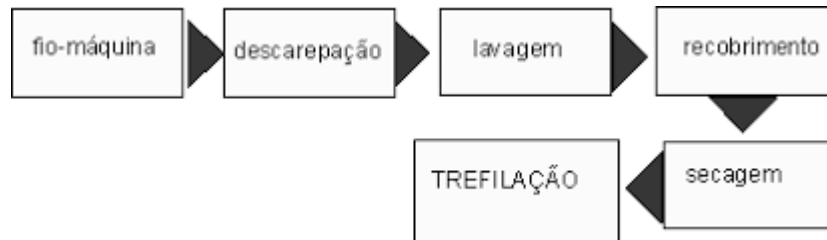
a) Carretel

b) Spider

Fontes: Metal Cairo (2024); Gabiões Sul (2024)

A trefilação é composta por várias etapas ao longo do processo de fabricação do arame, ao sair da siderurgia. Como mostra no fluxograma da Figura 2.

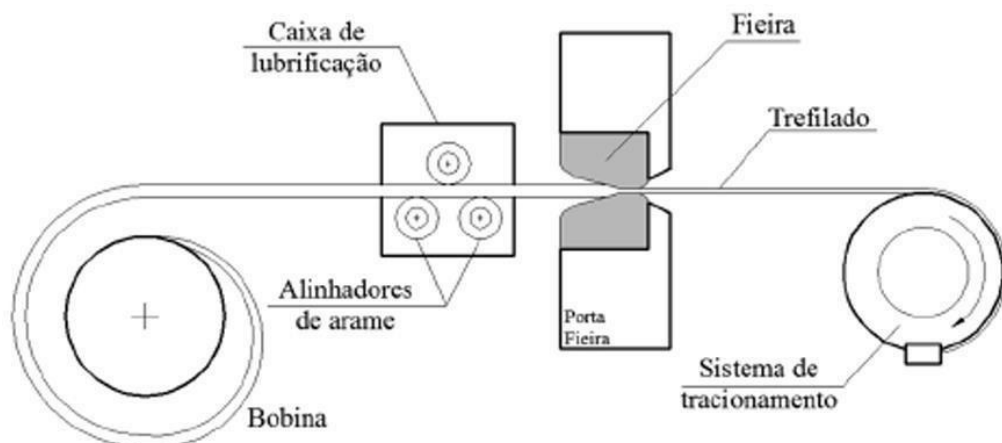
Figura 2 – Fluxograma do processo de trefilação na metalurgia



Fonte: Pavanati (2006)

Ao começar a produção, o arame então é inserido na máquina, e tracionado por tambores de metal, movidos por motores elétricos, por entre vários passes de trefilação, como demonstra a Figura 3.

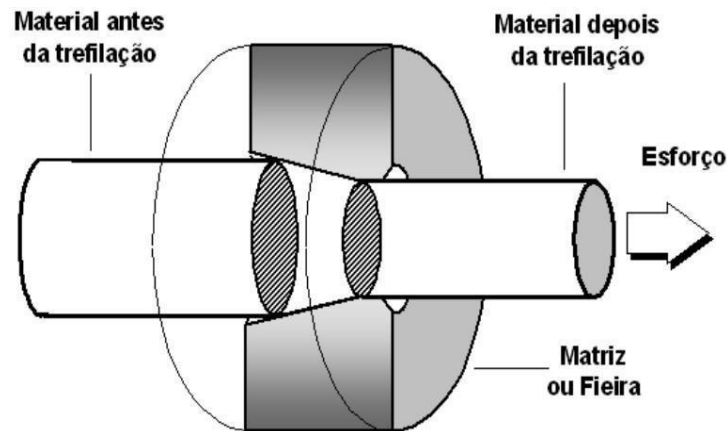
Figura 3 – Sistema de tração do arame na trefilação



Fonte: Ferreira (2020, p. 5)

De acordo com Dustre, (2024), os passes de trefilação são realizados em matrizes de uma carcaça composta por aço e por um núcleo central feito de um material dotado de bastante dureza (normalmente o tungstênio ou de diamante industrial), de bitolas cada vez menores do que na sessão anterior. Durante o processo, a sessão transversal do fio de arame é guiada e tracionada, promovendo o seu alongamento e a redução da sua sessão transversal.

Figura 4 – Modo como o arame passa pela fieira



Fonte: Cetlin, 2002

Para realizar a trefilação, o material é conduzido através de um passe, de forma que ele entra com um diâmetro inicial e sai com um diâmetro menor. Conforme a TRE-501 (Gerdau, 2010, apud Krug, 2013, p. 17), a força de tração pode ser calculada conforme a equação 1.

$$F_{tref} = kd_f^2\sigma_{ti} \quad (1)$$

De acordo com Krug (2013), a equação possui três componentes:

- (k) constante de trefilação: depende da redução de área no passe, do ângulo de entrada, do comprimento do paralelo e do tipo de lubrificante;
- (df) diâmetro final da bitola de saída do material;
- (σ_{ti}) limite inicial de resistência à tração do material antes do passe.

Considerando a equação, há parâmetros que dependem exclusivamente do material a ser trefilado. Isso significa que suas características físico-químicas têm um impacto direto em sua resistência à tração, que é justamente o parâmetro mais importante para o cálculo da força de trefilação.

Referente às análises virtuais, a indústria comumente os usa para cálculo de tensões residuais e cálculo de força. Por exemplo, são usados os softwares Simufact.formingGP® e DeformTM.

3.2 Análise do material: aço ABNT 1045

Muitos fatores interferem no processo de trefilação e o mais relevante dele é o material a ser utilizado. A indústria metalmecânica trabalha com diversos tipos de materiais e suas ligas. No que tange ao processo de trefilação, são utilizadas ligas com diferentes índices de resistência mecânica, ductibilidade, dureza, resistência à oxidação, resistência a baixas e altas temperaturas; além de aditivos que conferem proteções superficiais pontuais.

O aço ABNT 1045 é conhecido por sua boa usinabilidade e soldabilidade. Pode passar por processos como o tratamento térmico de recozimento, têmpera e os processos produtivos de forjamento (similarmente ao endurecimento e a têmpera). Possui boa resistência mecânica e é usado em vários setores, como automotivo, construção civil, petróleo e gás, apresentando ótimo custo-benefício. O aço ABNT 1045 é composto principalmente por ferro e carbono. A composição, com 0,45% de carbono, atribui a esse material propriedades de resistência mecânica importantes para suportar os esforços de tração a que o arame fabricado será submetido durante a trefilação. (Coppermetal, 2023 e Aço especial, 2024).

Entretanto, ele apresenta maior fragilidade quando comparado com outros materiais usados na indústria, conforme apresentado no Quadro 3 a seguir:

Quadro 1 - Características Gerais dos aços trefilados

Material	Características	Cuidados na trefilaria
Aço com baixo teor de carbono	Alta ductibilidade, média resistência à tração.	Possui baixa resistência mecânica.
Aço com médio teor de carbono	Alta resistência mecânica, suporta bem cargas de compressão.	É pouco maleável para esse fim.
Ligas especiais	Mais resistentes a produtos químicos e versáteis quanto à resistência à conformação.	Operam passando em banhos químicos.

Fonte: Os 3 Tipos de Aço Carbono: alto, médio e baixo carbono. **Blog Sacchelli**, 2024. Disponível em: <https://sacchelli.com.br/os-3-tipos-de-aco-carbono-alto-medio-e-baixo-carbono>. Acesso em 29 out. 2024.

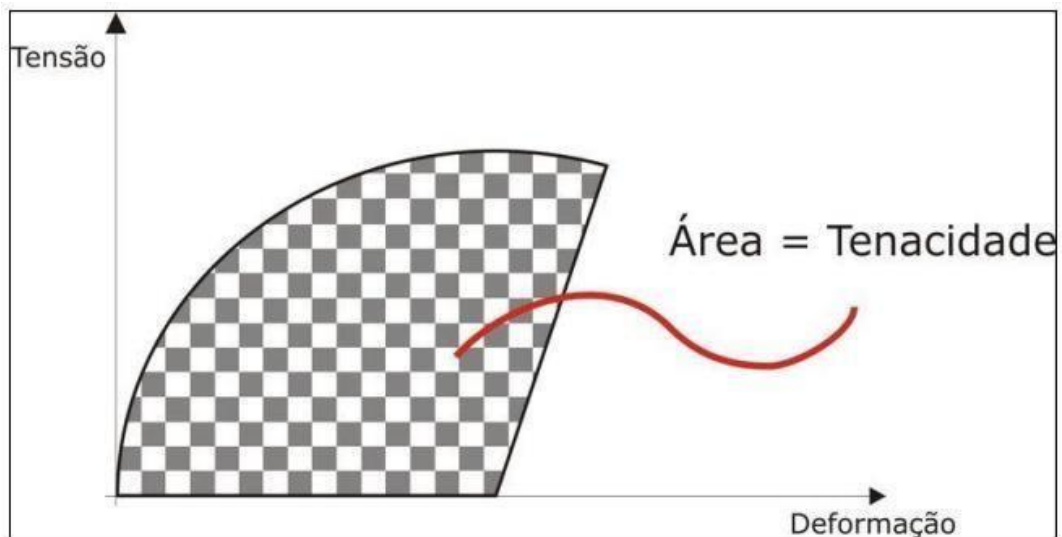
A tabela e o gráfico a seguir apresentam as características do aço ABNT 1045 e como elas podem descrever o comportamento mecânico deste material:

Tabela 1 – Valores médios de tensão do aço ABNT 1045

% de Carbono	Limite de elasticidade- F_{el} (MPa)	Limite de escoamento- F_y (MPa)	Limite de resistência à tração- F_u (MPa)	% de Alongamento
0,45	250	310	560	17

Fonte: AÇOESPECIAL (2024)

Gráfico 1 - Tensão x Deformação com a determinação da Tenacidade



Fonte: Oliveira e Denti (2007, p. 26)

No processo de extrusão do fio-máquina, ao ser tracionado e puxado nos passes pelas bobinas, ocorre a redução do diâmetro de sua seção transversal, resultando em encruamento e geração de tensões internas devido à força exercida e ao esticamento de seu comprimento como um todo. O lubrificante é essencial para não sobreaquecer o metal. No entanto, o uso incorreto, excessivo ou deficitário pode ser ruim ao processo. O sobreaquecimento do metal pode diminuir sua resistência mecânica final e provocar trincas e falta de homogeneidade.

Considerando tais características, bem como o processo produtivo do arame em ABNT 1045, destacam-se algumas boas práticas referentes ao fio-máquina:

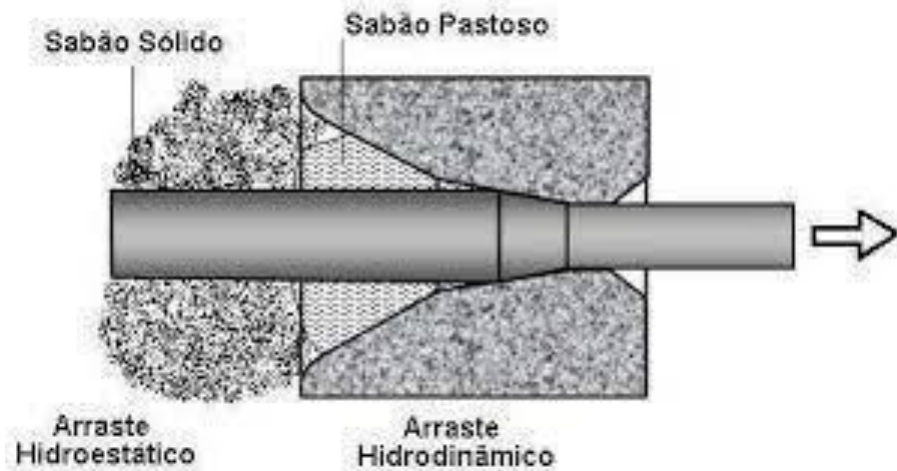
- Armazenamento em local adequado (evitando contaminações);
- Correto manejo (evitando quebras, ranhuras e empenos);
- Produto de boa qualidade (evitando contaminações e quebras);
- Uso de lubrificante ideal no seu manejo (evitando superaquecimentos).

3.3 Possíveis defeitos do processo de trefilação

Como destacado na fundamentação teórica, o processo de trefilação é executado por máquinas robustas, capazes de tracionar o arame através dos passes de redução de seção transversal do arame. A lubrificação e o controle de temperatura são importantes parâmetros a se controlar quando a indústria metalúrgica faz esse tipo de conformação, pois inconformidades nesses aspectos podem causar danos à ferramenta e, principalmente, comprometer as propriedades mecânicas do produto final (Vares, 2016).

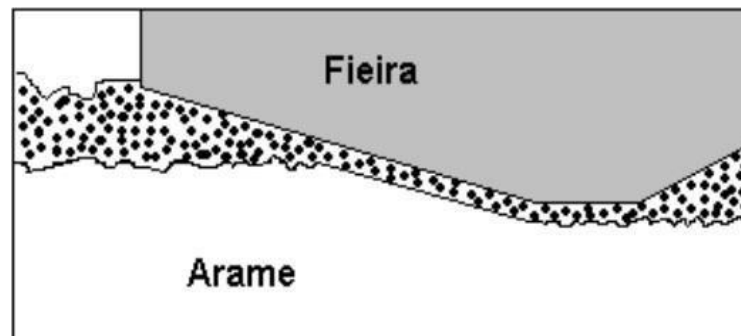
O parâmetro da lubrificação é de extrema importância para o processo de conformação, podendo ser o responsável por reduzir a carga de deformação, aumentar o limite de deformação que antecede a fratura, controlar o acabamento da superfície, minimizar a absorção de metal da peça pelas ferramentas e o desgaste da ferramenta e proporcionar um isolamento térmico para a peça e as ferramentas (Giorgini, 2013). As figuras 5 e 6 ilustram o processo de lubrificação. Sendo que a Figura 4 exemplifica a interface do lubrificante com o arame na fieira e a Figura 5 destaca no detalhe que mesmo quando se parece ter completo contato do arame com a fieira, ainda há lubrificante.

Figura 5 – Processo de lubrificação exemplificado



Fonte: Pinto; França, 2004

Figura 6 – Desenho exemplificativo da lubrificação



Fonte: Brusius Júnior (2009) apud Lara (2015, p. 18)

Os lubrificantes químicos usados na trefilação também influenciam no processo produtivo, uma vez que podem contaminar o arame pelos óxidos do sabão lubrificante. Ao analisar essa atuação, conclui-se que o arame não consegue se deformar devidamente ao ser lubrificado incorretamente. Como resultado, ocasionam-se empenamentos e uso excessivo de força no maquinário, comprometendo a qualidade final esperada para o produto (Souza; Corbacho, 2015).

Ao tensionar o aço ABNT 1045 na trefilação, ele encrua e estica, adquirindo no processo resistência interna através de quebras nos seus grãos. À medida que se vai trabalhando com uma composição química-estrutural mais frágil do que dúctil (como é o caso do metal ABNT 1045), o material tende a gerar trincas e, por conseguinte, quebrar (Cunha, 2007). Na situação oposta, ao usar metais mais dúcteis (como é o caso do aço ABNT 1005), o arame se deforma mais plasticamente.

Levando em consideração especificamente o processo de fabricação do arame ABNT 1045, é de grande relevância que a tração aplicada na sessão transversal do fio seja adequada e que sejam consideradas as intemperes como sol, chuva e produtos químicos aos quais o arame será exposto. Na trefilação do aço ABNT 1045, os principais problemas que ocorreram em relação às tensões sofridas decorrem do dimensionamento do processo. Tracionar e alongar conferem resistência mecânica e comprimento ao fio-máquina e o lubrificante confere segurança e continuidade do processo. Dessa forma, a velocidade e as espessuras dos passes necessitam ser dimensionadas corretamente, de forma a evitar empenos, possibilitando que as partes da trefila trabalhem em consonância durante todo o processo (OLIVEIRA, 2024).

Com o dimensionamento respeitado, o fio máquina sofrerá tensão em cada passe e o lubrificante assegurará que microestruturalmente o aço não deforme além do previsto. Dessa maneira, garante-se a qualidade do produto final.

É importante também que o maquinário esteja perfeitamente balanceado, sem cavacos na guia do arame, e que haja uma atuação constante, fluida e síncrona dos dispositivos de tração. Ademais, é crucial que o fio-máquina esteja em condições ideais de uso, sem defeitos mecânicos ou oxidação, além de que haja controle dos produtos químicos, que podem contaminar o arame usado.

A análise dos processos de trefilação é uma grande responsabilidade para quem os opera. Usar o correto fio-máquina (retirando a carepa de oxidação que cobre o arame ao ser armazenado), controlar a temperatura ao longo do processo, lubrificar na medida correta e assegurar a confiabilidade da máquina trefiladora e a sua correta manutenção, tendem a assegurar uma maior confiabilidade ao processo e maior qualidade do produto final.

Ferramentas de controle de qualidade, como Fluxograma, Gráfico temporal, Brainstorming, Gráfico de Pareto, Diagrama de causa e efeito, e 5W2H, podem ser usadas para entender melhor o processo e seus defeitos inerentes. Exemplo de tais defeitos incluem oxidação pelo contato do aço com o ar, empeno em estoque, defeitos de movimentação, empeno em processo e marcas helicoidais por má manutenção ou contaminantes na máquina, misturas, manchas de decapagem por falha no processo e riscos, dentre outros.

Um exemplo, aplicado na indústria da metalurgia do arame é o Diagrama de causa e efeito mostrado pela figura 7.

Figura 7 – Exemplo de diagrama causa e efeito na indústria



Fonte: Accept (2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa demonstrou a importância de analisar e controlar cada parte do processo de trefilação do arame ABNT 1045. Durante o processo, os defeitos podem ser decorrentes do maquinário, de erros humanos e/ou de parâmetros de uso inadequados.

Quesitos como presença de oxidação ou não e a qualidade do material utilizado interferem diretamente na eficiência da deformação plástica à qual a trefila submete o arame. A incorreta lubrificação também tem consequências para o processo. A ocorrência dos defeitos estruturais depende da organização atômica e da interação com as variações de temperatura, dado o processo de conformação mecânica a que o arame é submetido do início ao fim do processo. Falhas superficiais e fraturas podem acontecer por motivos diversos, tornando essencial que o processo seja devidamente planejado em todas as suas etapas.

Os dados operacionais demonstram ações a serem tomadas em casos de superaquecimento dos motores elétricos, lubrificação pobre, tambores de tração danificados superficialmente. Essas ações incluem a paralisação da máquina, o entendimento dos impactos no maquinário e no arame presente em produção, e a melhoria no processo para evitar a recorrência desses problemas.

A boa qualidade do produto final é alcançada, conforme revisão bibliográfica proposta neste trabalho, quando todos os tipos de manutenções preventivas, corretivas e preditivas são realizados em todos os componentes envolvidos na fabricação do arame. Além disso, é essencial o correto manuseio logístico, desde o armazenamento da matéria-prima até o transporte ao cliente final.

Foi observado que a composição e a produção do fio-máquina, de responsabilidade da siderúrgica, influenciam diretamente a qualidade final do arame. Quanto maior a qualidade inicial do fio-máquina, menos ajustes são necessários no que tange a defeitos superficiais e de resistência mecânica do arame ao final do processo de fabricação.

A indústria está cada vez mais empenhada em entender detalhadamente como melhorar a experiência e o material entregue ao cliente. Por exemplo, há uma preocupação em garantir a alta homogeneidade do arame ao longo do seu comprimento, procurando marcações ou defeitos estruturais nos tambores de tração. Também há um foco na observação da espessura do arame através de sensores, uma prática muito aplicada em produtos voltados à galvanização e ao cobreamento do arame. Além disso, há preocupação em testar a resistência à tração em

laboratório para assegurar a qualidade do produto. Outra área de interesse é o desenvolvimento e a busca por novos tipos de lubrificantes, entendendo como seus componentes atuam e identificando soluções que possam oferecer maior eficiência para a operação, garantindo a qualidade ao final.

Foi pesquisado o processo de ponta a ponta, com foco no fio-máquina, para entender qual é o estado da arte em termos operacionais referente à concepção do arame ABNT 1045. Constatou-se que é altamente danoso ter uma matéria-prima de baixa qualidade, enfrentar ocorrência de superaquecimento, tambores defeituosos superficialmente e, principalmente, contar com um setor de qualidade ineficiente.

Entender detalhadamente o processo de trefilação e o material, em especial o arame ABNT 1045, é essencial para garantir a alta repetitividade da produção, a baixa ocorrência de contaminantes e a minimização de defeitos superficiais, garantindo, assim, uma produção eficiente. Quanto mais controle, usando as ferramentas da qualidade do processo para identificar e prevenir defeitos, e adotando processo produtivo definido, a indústria reduz defeitos e garante melhor qualidade do produto.

5 CONCLUSÃO

Foi evidenciado que são muitos os parâmetros a serem controlados no funcionamento de uma trefila, e a falta de cuidado com esses parâmetros provoca diversos problemas. Entre eles, estão a perda de material durante o processo produtivo ou produção de menor qualidade (afetando a venda ao cliente final), o gasto desequilibrado de lubrificante, a contaminação do sistema, o desgaste prematuro dos motores elétricos usados na fabricação dos arames e seu sistema de redução, além de danos à própria estrutura da máquina de trefilação.

Muitos destes parâmetros estão diretamente ligados ao tipo de material utilizado. Considerando que o aço ABNT 1045 possui específicas propriedades mecânicas e químicas, foi observado que seus parâmetros de operação devem ser configurados respeitando suas características mecânicas, como a dureza.

Outro ponto de atenção é a gestão de qualidade, que deve ser presente em todo o processo produtivo. A qual é alcançada analisando se o arame não sofrerá empenos ou arranhões, se a velocidade de trefilação afeta na resistência que cada passe de trefilação suportará ao ser tracionado, se o alinhamento garante a correta passagem do arame sem alterações angulares que gerariam defeitos, se o correto trabalho do motor influencia no torque esperado para tracionar o arame, e se o correto processo de decaparia do arame e os corretos materiais que vão realizar o banho químico no metal interferem na contaminação do arame. Além da garantia do respeito ao processo de produção, que todos os treinamentos estão sendo feitos, que estão sendo feitas reuniões frequentes para sanar problemas e que está sendo analisada a qualidade do produto final e da matéria-prima.

Ao final de todo o processo de trefilação do arame ABNT 1045, espera-se que ele tenha sido controlado do início ao fim, para que, assim, com os materiais necessários, crie-se um sistema robusto focado em maximizar a entrega de um produto cada vez melhor, agregando mais valor ao cliente.

REFERÊNCIAS

- AÇOESPECIAL. **Aço SAE 1045 e suas propriedades**. Aço Especial, 2024. Disponível em: <<https://www.acoespecial.com.br/aco-sae-1045-propriedades>>. Acesso em: 27 abr. 2024.
- CIMM. **Trefilação - Introdução**. Machining on line Ltda, 2024. Disponível em: <www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6495-trefilacao-introducao>. Acesso em: 22 mar. 2024.
- COPPER METAL. **Tudo sobre o aço SAE 1045**. Coppermetal; Agência Canna, 2023. Disponível em: <<https://www.coppermetal.com.br/blog/aco-sae-1045/>>. Acesso em: 25 jun. 2024.
- CUNHA, Daniella de Sousa. **Desenvolvimento de fio máquina para a fabricação de arames para soldagem MIG, com características adequadas ao processo de descarepação mecânica**. 2007. 57f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-8DRJQ8>>. Acesso em: 25 jun. 2024
- FERREIRA, Geraldo M. Mól. **Avaliação das causas de rupturas de arames no processo de trefilação do aço equivalente ao ABNT1005 na unidade industrial da Arcelormittal Juiz de Fora MG**. 2020. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/36658/3/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Geraldo%20M%C3%B3l%20\(1\)%20-%20Copia.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/36658/3/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Geraldo%20M%C3%B3l%20(1)%20-%20Copia.pdf)>. Acesso em: 25 jun. 2024.
- GABIÕES SUL. **Produtos - Arame BTC**. Malvis, 2024. Disponível em: <<https://www.gabioessul.com.br/monta.asp?link=produtos&qual=10>>. Acesso em: 25 jun. 2024.
- GIORGINI, Daniele Granha. **Otimização do processo de trefilação através da proposição de um modelo de previsão da força de trefilação adequado às condições reais da V & M do Brasil**. 2013. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-96SJZD>>. Acesso em: 25 jun. 2024.
- KRUG, Felipe. **Estudo dos fenômenos que ocasionam quebras do arame cultura aérea derivados do aço SAE 1057B trefilado e galvanizado**. 2013. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/96510>>. Acesso em: 25 jun. 2024.
- LARA, Bárbara de Souza. **Análise da distribuição de microdureza em barras de Cobre e de Alumínio Trefiladas e Tracionadas**. 2015. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em:

<https://www.demat.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/25/2018/06/TCCII-_2%C2%BA_-2015_B%C3%A1rbara-de-Souza-Lara-vers%C3%A3o-final.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2024.

METAL CAIRO. **Carretel Desmontável**. Crstech, 2024. Disponível em: <<https://metalcairo.com.br/carretel/>>. Acesso em: 25 jun. 2024.

OLIVEIRA, Claudia Santos de; DENTI, Guilherme Boynard. **Avaliação da tenacidade ao impacto da região revenida pelo passe duplo em soldagem SMAW do Aço AISI 1045**. 2007. 48f. Projeto de Graduação (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 207. Disponível em:

<https://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2007-1_claudia_santos_de_oliveira.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2024.

PINTO, Eric de Andrade; FRANÇA, Fabricio Klai. **SICT - Sistema para Cálculos de Trefila**. 2004. 69f. Relatório de Trabalho de Graduação (Bacharelado em Ciência da Computação) - Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2004. Disponível em: <<https://biblioteca.univap.br/dados/000042/000042fb.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2024.

SOUZA, Guilherme Oliveira de; CORBACHO, Robert. Análise da viabilidade técnica do processo de remoção do óxido de ferro através da decapagem mecânica na trefilação do aço ABNT 1075. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, 8º, 2015, Salvador. Disponível em:

<<http://repositoriosenaiba.fieb.org.br/bitstream/fieb/345/1/Análise%20da%20viabilidade%20técnica%20do%20processo%20... PDF>>. Acesso em: 25 jun. 2024

TRE 501

UCL. **Trefilação**. UCL Ensino Superior, 2024. Disponível em:

<<https://www.passeidireto.com/arquivo/45111826/trefilacao-aula-atual>>. Acesso em: 25 jun. 2025

VARES, João Vinícius de. **Estudo dos efeitos do método de produção em aciaria nas propriedades mecânicas de produtos trefilados a partir de aço semelhante ao SAE 1045**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/152743>>. Acesso em: 25 jun. 2024.

DUSTRE. **Trefilação**. Dustre, 2024. Disponível em:

<<https://dustre.com.br/servicos/trefilacao/#:~:text=As%20fieiras%2C%20que%20s%C3%A3o%20os,material%20dotado%20de%20bastante%20dureza>>. Acesso em 28 out. 2024

SPILLERE. **Processo de Trefilação de Aço**. Spillere, 2024. Disponível em:

<<https://www.spillere.com.br/processo-de-trefilacao-de-aco/>>. Acesso em 29 out. 2024

MORO, Norberto. **CONFORMAÇÃO MECÂNICA II – Extrusão, Trefilação e Conformação de Chapas**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Santa Catarina, 2016. Disponível em:

<http://pavanati.com.br/doc/pfb_conformacaoii.pdf>. Acesso em 30 out. 2024

ACCEPT. O Poder do Diagrama de Ishikawa: aprenda a identificar e solucionar problemas! Accept, 2023. Disponível em <<https://www.accept.pt/diagrama-de-ishikawa-causa-efeito/>>. Acesso em 31 out. 2024