



ESCOLA POLITECNICA DA UNIVERSIDADE DE SAO PAULO

Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto Mecânico

10,0 (Des)
Cl S Tr.
9/12/83.

"TORCIMENTO DO FIO CONTÍNUO"

- I. Introdução ao Torcimento do Fio Contínuo
- II. Comparação entre Processos do Torcimento
- III. Método para Determinação de Torção de Fios

Autor: Ngan Wai Hung

Nº USP: 9132559

Orientador: Prof. Carlos Tu

1983

São Paulo.

À minha Mãe e
ao meu Pai.

PREFÁCIO

Esse trabalho de formatura foi realizado na empresa Rhodia S.A., Divisão Têxtil, com a finalidade de apresentar e definir os principais parâmetros que são utilizados geralmente na indústria têxtil, e que sob influência da torção, alteram as propriedades físicas e mecânicas do fio contínuo. Outras importantes etapas foram também desenvolvidas, tais como: comparar processos de torcimento e estabelecer um método para a determinação da torção de fios. O assunto é amplo, e visa melhorar a qualidade do fio industrial, que tem grandes aplicações comerciais.

Agradeço ao Prof. Dr. Carlos Tu, pela orientação e acompanhamento desse trabalho, sempre disposto a esclarecimentos e sugestões; ao Prof. Dr. José Maria S. Jabardo, pelo sincero apoio e constante interesse, e à Assunta A. Napolitano, pela co-participação desse trabalho desenvolvido com muito esforço.

São Paulo, Dezembro de 1983

Ngan Wai Hung

INTRODUÇÃO

Enquanto a maioria dos cursos de Mecânica relatam a mecânica dos sólidos num contexto de materiais "duros" e estruturas rígidas, os conceitos fundamentais e as técnicas de análise desenvolvidas nesta área são, geralmente, aplicadas no campo dos materiais "leves" e estruturas altamente flexíveis, isto é, no campo das fibras, estruturas e técnicas têxteis.

Um trabalho com estruturas têxteis discute em grande parte, sobre as propriedades dos materiais têxteis. Essas propriedades podem ser classificadas em: propriedades globais, de superfícies e de transferência.

Como propriedades globais podemos citar: tração, compressão, cisalhamento, comportamento sob flexão e torção, concentração de tensões, estabilidade dimensional, resistência à fadiga. Como propriedades de superfície: característica de contato manual, resistência ao atrito por uso, aspereza, resistência à formação de nós. E finalmente, como propriedades de transferência: permeabilidade no ar e à água, eficiência de filtração, resistência à penetração e transferência de calor.

O torcimento altera as propriedades físicas e mecânicas do fio, o que torna a análise do efeito de torção de grande importância devido a sua vasta influência nas características das estruturas têxteis.

Esse trabalho compõe-se, basicamente, de três partes:

I . INTRODUÇÃO AO TORCIMENTO DO FIO CONTÍNUO

Essa parte é dividida em doze capítulos que apresentam e definem termos técnicos e parâmetros utilizados na indústria têxtil. É composta de uma síntese de um levantamento bibliográfico sobre os principais livros, jornais e revistas da área têxtil.

Para isso foram consultados o catálogo coletivo do IPT, o Centro Têxtil do IPT (CETEX), a Biblioteca Geral da EPUSP, e o Centro de Documentação da Rhodia S/A.

II. COMPARAÇÃO ENTRE PROCESSOS DE TORCIMENTO

É uma parte prática que expõe os tipos de processos de torcimento, suas vantagens, seus problemas, com a finalidade de selecionar, com base em dados experimentais. Há uma proposição de uma sé

rie de testes para se obter dados que possam fornecer resultados para análise.

III. MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DA TORÇÃO DE FIOS

Apresenta uma proposta de um processo que determina a quantidade e direção da torção de fios retirados de suportes pelo método da destorção ou contagem direta. Fez-se um estudo comparativo entre as normas ASTM, BISFA, ISO, AFNOR, BS, ABNT, FEDERAL e COPANT.

Para cada etapa do processo, procurou-se eliminar as causas que poderiam afetar o valor da torção dos fios singelos e binado. Esse procedimento nos levará a uma redução das medidas estatísticas de dispersão (amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação), isto é, haverá uma melhoria na qualidade dos resultados obtidos.

"TORCIMENTO DO FIO CONTÍNUO"

ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
I . Introdução ao Torcimento do Fio Contínuo	02
II. Comparação entre Processos do Torcimento	146
III. Método para Determinação de Torção de Fios	167
BIBLIOGRAFIA UTILIZADA	177

PARTE I

INTRODUÇÃO AO TORCIMENTO DO FIO CONTÍNUO

PARTE I

INTRODUÇÃO AO TORCIMENTO DO FIO CONTÍNUO

Capítulo 1: Classificação de Fios

- 1.1- Definição de fio
- 1.2- Classificação de fios
 - 1.2.1- fios picados
 - 1.2.2- fios contínuos
 - 1.2.3- fios fantasia
 - 1.2.4- fios especiais para uso específico
 - 1.2.5- fios volumosos
 - 1.2.6- fios extensíveis

Capítulo 2: Estrutura dos Fios Contínuos

- 2.1- Introdução
- 2.2- Estrutura de fios contínuos

Capítulo 3: Especificação de Fios

- 3.1- Introdução
- 3.2- Especificação de fios
 - 3.2.1- Especificação da densidade linear
 - 3.2.2- Especificação da forma estrutural
 - 3.2.3- Especificação do conteúdo da fibra
 - 3.2.4- Especificação de tratamentos mecânicos ou químicos

Capítulo 4: Propriedades Mecânicas dos Fios

- 4.1- Introdução
- 4.2- Testes de Tração
 - 4.2.1- Teste de tração da meada
 - 4.2.2- teste do fio único

4.3- A Curva Carga - Elongação

4.3.1- Aparência Geral

4.3.2- Parâmetros Úteis

4.3.2.1- Resistência

4.3.2.2- Elongação na Quebra

4.3.2.3- Trabalho de Ruptura

4.3.2.4- Módulo de Young

4.3.2.5- Limite de Proporcionalidade

4.3.2.6- Fator de Trabalho

4.3.2.7- Recuperação Elástica

Capítulo 5: Torção em Fios

5.1- Introdução

5.2- Definição

5.3- Direção de Torção

5.4- Determinação da Torção

5.5- Geometria Helicoidal Idealizada

5.6- Tamanho do Fio

5.7- Concentração devido à Torção

5.7.1- Cálculo Teórico

5.7.2- Valores Experimentais

5.8- Limites de Torção

5.9- Arranjo de filamentos no fio

5.9.1- Arranjo Aberto

5.9.2- Arranjo Hexagonal Fechado

5.9.3- Derivações das Formas Ideais

5.9.3.1- Fatores de Concentração

5.9.3.2- Fatores de Perturbação

5.9.4- Arranjo de Filamentos nos Fios Reais

5.10- Mudanças Dimensionais devido à Torção

5.10.1- Diâmetro do Fio

5.10.2- Densidade Volumétrica

5.10.3- Densidade Linear do Fio

5.10.4- Volume Específico

Capítulo 6: Efeitos da Torção sobre as Propriedades

6.1- Efeito da Torção sobre as Propriedades Físicas e de Tensão-
Elongação

- 6.1.1- Torção em Relação à Flexão
- 6.1.2- Efeito na Uniformidade
- 6.1.3- Irregularidade do Fio Torcido
- 6.1.4- Propriedades Elásticas
- 6.1.5- Elongação na Quebra
- 6.1.6- Tenacidade
- 6.1.7- Resistência à Abrasão

6.2- Efeito da Torção na Vida do Fio Torcido em Deformações
Repetidas

- 6.2.1- Resistência do Fio para Dobras Repetidas
- 6.2.2- Resistência do Fio para Trações Repetidas

Capítulo 7: Estrutura Mecânica do Fio Torcido

7.1- Introdução

7.2- Análise da Tensão do Fio Contínuo

- 7.2.1- Variação do Elongamento dos Filamentos
- 7.2.2- Análise das Forças de Tração
- 7.2.3- Análise com Forças Transversais e Contração Lateral
- 7.2.4- Análise para Largas Deformações
 - 7.2.4.1- Efeito dos Grandes Elongamentos
 - 7.2.4.2- Comportamento do Filamento às Grandes Extensões
 - 7.2.4.3- Análise da Tensão às Grandes Extensões
- 7.2.5- Análise da Mecânica do Fio Pelo Método da Energia
 - 7.2.5.1- Hipóteses
 - 7.2.5.2- Análise Geral
- 7.2.6- Observação Real do Comportamento da Tensão dos Fios
Contínuos

7.3- Ruptura do Fio Contínuo Torcido

- 7.3.1- Natureza de Ruptura
- 7.3.2- Elongação na Ruptura

- 7.4- Tenacidade
- 7.5- Efeito do Método de Torção nas Propriedades
 - 7.5.1- Introdução
 - 7.5.2- Efeito da Tensão de Torcimento
 - 7.5.3- Efeito do Método de Torção

Capítulo 8: Ângulo de Torção

- 8.1- Introdução
- 8.2- Efeito da Tortuosidade
- 8.3- Ângulo de Torção em Fios Associados
- 8.4- Equilíbrio de Torção em Fios Associados

Capítulo 9: Efeito da Torção sobre a Resistência

- 9.1- Introdução
- 9.2- Aspectos Teóricos
- 9.3- Experiências
- 9.4- Resistência de Fios Binados
- 9.5- Resistência do Tecido
- 9.6- Resistência das Cordas
- 9.7- Espaçamento dos Fios no Tecido e sua Relação com a Torção
- 9.8- Perda à Cablagem
- 9.9- Resistência à Fadiga
 - 9.9.1- Efeito de Alterações nas Propriedades sobre as Curvas Tenacidade x Torção e Resistência à Fadiga x Torção

Capítulo 10: Forma e Disposição da Fibra em Fios Torcidos

- 10.1- Migração da Fibra
 - 10.1.1- Introdução
 - 10.1.2- Migração Ideal
 - 10.1.3- Observação da Trajetória Individual das Fibras
 - 10.1.4- Caracterização da Migração
 - 10.1.5- Experiência de Morton e Yen
- 10.2- Variação da Tensão como Mecanismo de Migração
 - 10.2.1- Critério para Mudança de Posição
 - 10.2.2- Teoria da Migração
 - 10.2.3- Conclusões Experimentais

10.3- A Forma de Torcimento do Fio

10.3.1- Torcimento Cilíndrico e de Fita

10.3.2- Experiências com Fios Reais

10.3.3- Uma Explicação Geométrica da Migração do Filamento

10.4- Combinação de Mecanismos

Capítulo 11: Industrialização do Fio-Pneu

11.1- Uso do Fio Sintético para Fabricação de Bens Industriais

11.2- Requisitos das Propriedades dos Fios

11.3- A Corda (Fio Associado)

11.3.1- Torção em Dois Estágios

11.3.2- Torção em um Único Estágio

11.3.3- Efeito da Razão de Torção nas Propriedades do Fio

11.4- Fabricação da Lona

11.5- Classificação, Embalagem e Marcação das Lonas

11.6- Propriedades de Fios-Pneus e suas Lonas

11.7- Novos Fios Sintéticos para Fabricação de Cordas

11.8- Recuperação de Lonas e Fibras Usadas e Extraídas de Pneus Usados

Capítulo 12: Processamento de Fios Contínuos e Mantas
Métodos de Fiação da Fibra

12.1- Introdução

12.2- O Planejamento das Propriedades de Filamento

12.3- Sistema de Bicomponentes

V) APRESENTAÇÃO

1- CLASSIFICAÇÃO DE FIOS

1.1- Definição de Fio

Em geral, fio pode ser definido como um grupo linear de fibras ou filamentos que formam um cordão contínuo tendo características têxteis, que são boa tração e alta flexibilidade. Os cordões devem ser processados em equipamentos têxteis convencionais, ou deve possuir características estéticas (táteis e visuais) que usualmente são associadas com produtos têxteis.

1.2- Classificação de Fios

Existem inúmeras variedades de fios, que são obtidas a partir de fibras naturais, regeneradas e sintéticas. Todavia, a classificação dos fios é de acordo com as suas propriedades físicas e características de comportamento. Ambas dependem das propriedades físicas das fibras ou filamentos e da estrutura do fio, principalmente.

1.2.1- Fios Picados

Esses fios têm moderada resistência e uniformidade, e por causa da forma em que as fibras picadas são processadas, o número de fibras por secção transversal do fio varia consideravelmente ao longo do comprimento do fio. Essa condição limita a fragilidade do fio picado.

Em tecidos, fios picados têm excelentes qualidades táteis (manuseio, bom poder de revestimento, conforto) e são agradavelmente estéticos (aparência têxtil natural).

Existem quatro sistemas de manufecção básicos de fios picados, que foram padronizados:

1. Carded cotton
2. The combed cotton
3. The woolen (carded woolen)
4. the worsted (combed woolen)

Um fio feito por um desses sistemas tem uma estrutura geométrica específica, característica do sistema e não da fibra.

1.2.2- Fios Contínuos

Esses fios são compostos de filamentos sintéticos, cuja fabricação é forçar uma solução através de capilares, muito finos, de uma fieira, a tal ponto que a solução se solidifica por coagulação, evaporação ou resfriamento.

Usualmente, o número de capilares na fieira determina o número de filamentos em um fio. Também, o tamanho de cada buraco determina o diâmetro de cada filamento. Logo que um filamento individual se solidifica, eles são juntados com ou sem torção ou embaraçamento para formar o fio contínuo. Em tecidos, o fio contínuo usualmente tem excelente força e uniformidade. Os fios finos "monofilament" e "multifilament" têm boa aceitação comercial, pois o fio contínuo pode ser muito mais refinado em densidade linear e diâmetro do que o fio picado. Entretanto, na forma não texturada, o fio contínuo não possui bom poder de revestimento, qualidades tácteis, conforto ou aparência agradável, exceto para aplicações de vestuário como as camisolas e lingerie.

Em aplicações industriais, essas propriedades não são usualmente importantes, e é aí que os fios contínuos sobressaem-se frequentemente.

1.2.3- Fios Fantasia

São designados para decoração mais do que para propósitos funcionais. Raramente um tecido é composto inteiramente de fios fantasia, exceto em algumas aplicações em tapeçaria. Muitos fios fantasia são basicamente efeito fantasia ou tipo metálico. O primeiro são fios usualmente feitos por um enrolamento irregular de fibras ou fios contínuos; e o segundo são fios caracterizados por uma aparência brilhante e uma forma de secção transversal retangular.

1.2.4- Fios Especiais para Uso Específico

Esses fios são executados para um comportamento previsto sob condições específicas. Muitos fios industriais não têm qualidades visuais e tácteis de um fio designado para vestuário ou aplicações domésticas. Exemplos de fios que têm uso específico são: fio pneu, linha de costura, amianto ou fibra de vidro, alma de cabos, etc.

1.2.5- Fios Volumosos

Os fios volumosos são fios picados ou contínuos que têm uma elongação normal, mas um alto grau de volume.

Em tecidos, é possível obter grande poder de revestimento com pouco peso.

Fios contínuos podem adquirir uma volumosidade por uma criação de não linearidade e formação de laços torcidos. É comum referir-se a um jato de fluido texturizador porque a corrente de ar é usada para criar a não-linearidade nos filamentos.

Estruturas volumosas bem finas podem ser obtidas da texturização do fio contínuo.

1.2.6- Fios Extensíveis

São fios de uma extraordinária extensibilidade que podem ser alongados de 1,5 a 4 vezes do seu comprimento normal. Esses fios são, também, altamente elásticos, isto é, têm recuperação rápida e completa.

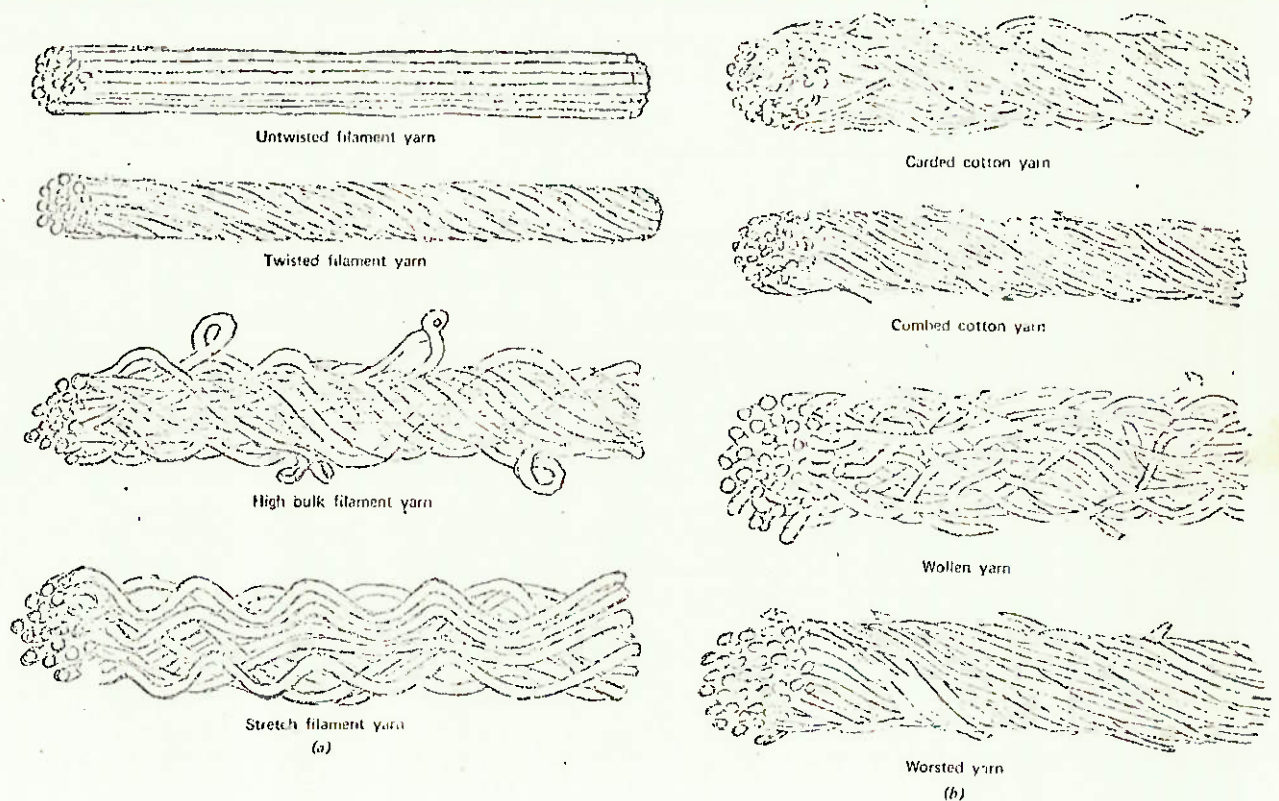
No seu estado natural, os fios extensíveis assemelham-se aos fios volumosos. Durante a elongação desses fios, o volume é reduzido consideravelmente e na elongação máxima, o fio extensível fica semelhante ao fio que lhe deu origem (o qual pode ser contínuo, picado ou combinado).

2- ESTRUTURA DO FIO CONTÍNUO

2.1- Introdução

Foi citado que a estrutura do fio é um dos fatores principais nas propriedades físicas e nas características de comportamento que classificam os tipos de fios. Conseqüentemente, se uma particular fibra for processada em várias estruturas, texturadas e não texturadas, podemos esperar características diferentes de cada fio. Portanto, é necessário explorar a estrutura do fio em detalhes.

Algumas estruturas de modelos idealizados são mostrados abaixo:



F. 2.1- Diagrama idealizado (a) fios de filamentos
(b) fios de fibra

2.2- Estrutura do Fio Contínuo Torcido

Em cabos de aço ou estruturas de corda, um cordão permanece no centro e todos outros componentes têm um específico e constante raio espiral (hélice), em torno do eixo do cabo. Em uma análise, poderemos achar os componentes mais longos na superfície e os mais curtos no centro. Isso é possível por causa que cada componente é individualmente controlado por tensão ou taxa de alimentação durante a formação do cabo.

Durante a torção de filamentos multicontínuos, entretanto, não existe controle da tensão ou da taxa de alimentação dos filamentos individualmente. Conseqüentemente, um fenômeno de auto-equilíbrio de tensão vai existir toda vez que os filamentos individuais trocam de posição radialmente entre as várias zonas anulares.

Aqueles filamentos que saem para as camadas externas desenvolvem maiores tensões, e forçam-se em direção ao centro do fio para aliviar essas tensões. Os filamentos do centro do fio que estão sob leve tensão, momentaneamente, são empurrados para a superfície do fio. Esse fenômeno é altamente desejável em estruturas torcidas, porque se um filamento quebrar, ele não continua desembaraçar-se indefinitivamente. Isso significa que todo filamento é embaraçado periodicamente na superfície e no centro do fio. (O termo "migração da fibra" é usado para descrever o movimento relativo da fibra durante o processo e a posição da fibra na estrutura final do fio. Esse fenômeno depende de: propriedades da fibra, características de um conjunto de fibras e as condições de processo).

Fios Contínuos com mínima torção ou embaraçamento tem um segmento longo de fibra entre dois pontos de embaraçamento. Com este pequeno embaraçamento, esses filamentos estão livres para expandir e não haverá forma estável ou definitiva na secção transversal ou no diâmetro. Filamentos podem ser retirados individualmente do corpo principal, criando problemas de desfiar. Essas estruturas de baixo embaraçamento possuem uma grande proporção de filamentos lineares, o que é muito desejado para muitas aplicações industriais que requeiram alta tração e baixa elongação.

Um acréscimo de torção na estrutura, vai causar um decréscimo do grau de linearidade do segmento do fio, o qual reduz a tração. Essa redução da tração do fio ocorre por causa que os filamentos mais lineares são alongados imediatamente com a carga, enquanto que os filamentos menos lineares tendem a ser retificados e então alongados.

Entretanto, um aumento de torção, também reduz a média dos comprimentos dos segmentos de filamentos entre pontos de embaraçamento e a tendência desses filamentos de expandir-se e desfiar-se. Com uma quantidade de torção suficiente, a secção transversal de um fio contínuo fica com sustentação suficiente que sob deformação de compressão ou de curvamento, ela assume forma elíptica. O aumento de torção no fio contínuo pode contribuir para aumentar a firmeza ao curvamento da estrutura do fio, principalmente por causa do grande embaraçamento e atrito entre os filamentos.

3- ESPECIFICAÇÃO DE FIOS

3.1- Introdução

As especificações de qualquer artigo têxtil é fundamental para sua identificação no mercado. A variedade imensa de especificações foi gerada por segredos industriais, pois cada empresa designava suas próprias especificações.

Houve uma tentativa de se fazer a padronização; a norma foi proposta pela International Organization for Standardization - ISO documento nº 1139 de 1973: "Designation of yarns".

3.2- Especificações de fios

Os fatores importantes na especificação de fios são:

- densidade linear;
- aspecto estrutural (forma estrutural);
- conteúdo das fibras; e
- indicação de algum tratamento químico ou mecânico

Agora tentaremos abordar cada um desses itens.

3.2.1- Especificação da densidade linear

3.2.1.1- Sistema direto

Massa por unidade de comprimento ou peso por unidade de comprimento.

Em alguns casos usa-se a densidade volumétrica, porém não é muito representativo.

a) Sistema denier:

$$1 \text{ denier} = 1 \text{ dn} = \frac{1 \text{ g}}{9000 \text{ m}}$$

$$\text{ex.: } 1800 \text{ dn} = \frac{1800 \text{ g}}{9000 \text{ m}} = 0.2 \frac{\text{g}}{\text{m}}$$

b) Sistema tex:

$$1 \text{ tex} = \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ m}}$$

também é usado $\left\{ \begin{array}{l} \text{dtex} = 10^{-1} \text{ tex} \\ \text{ou} \\ \text{mtex} = 10^{-3} \text{ tex} \end{array} \right.$

$$1 \text{ dn} = 1,11 \text{ dtex}$$

Esse sistema foi proposto pela ASTM (D-861) 1976. Como podemos observar, o sistema direto é o sistema mais razoável, pois mantém uma proporcionalidade à densidade linear.

3.2.1.2- Sistema indireto

Comprimento por peso.

Esse sistema é geralmente usado para algodão e lã, os sistemas básicos são: cotton, woolen run; worsted; linea lea; woolen cut; e o métrico.

a) Sistema métrico:

$$\frac{1000 \text{ m}}{\text{Kg}} = \frac{\text{m}}{\text{g}}$$

Os demais não serão apresentados aqui por não serem de utilidade para nosso estudo atual.

3.2.2- Especificação da Forma Estrutural do Fio

Para designarmos a forma estrutural do fio devemos especificar: Estrutura, Composição e Torção.

3.2.2.1- Estrutura

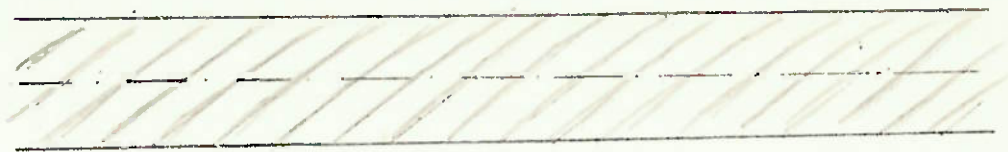
Se o fio é único ou é associação de fios únicos.

3.2.2.2- Composição

Primeiramente se são fibras picadas ou filamentos contínuos. Se for fio de fibras, devemos designar o sistema de fiação (fios cardados, penteados, lã cardada ou lã penteada).

É importante também, conhecer-se o nº de fios únicos equivalentes ou resultante (R) do fio sem torção de binagem. No caso de fios contínuos estima-se o valor de R, multiplicando-se o nº de fios-únicos pelo produto de associações feitas.

Exemplo: (150 X 2 X 3 = 900 dn) ou seja: R = 900 dn



(a)



(b)



(c)

F. 3.1- (a) Fio Torcido Singelo (ou fio único) de 150 dn

(b) Fio Binado de $2 \times 150 = 300$ dn

(c) Fio Trinado de $3 \times 150 = 450$ dn

3.2.2.3- Torção

Especificar: Quantidade e direção.

Devemos expressar a quantidade de torção em "torções por unidade de comprimento".

ex.: { Torção por metro = t. p. m.
 { Torção por polegada = t. p. i.

Em direção, devemos dizer apenas se é

{ S = direta = horária
 { ou
 { Z = esquerda = antihorária

Se for fios de fibras picadas podemos usar o número T.M. ou seja, quantidade de torção dividido pela raiz quadrada do título do fio; em fios contínuos TM é chamada de "fator de torção".

$$TM = \frac{t. p. m}{\sqrt{\text{Título}}}$$

Em fios contínuos encontramos TM igual a 0,25 - 0,5 em S ou Z. Mesmo em zero-torção verifica-se a longo prazo um embarçamento causado pelos filamentos intercambiados (fenômenos da migração, onde fios são trazidos da superfície em direção ao núcleo e vice-versa).

3.2.3- Especificação do Conteúdo da Fibra

Existem normas e leis para especificar o conteúdo das fibras que servem também para proteger o consumidor. Se a fibra for de lã deve ser identificado se é virgem; reprocessada ou reusada. Se for de várias fibras deve-se declarar a porcentagem. Quando são fibras sintéticas deve-se identificar: o comprimento das fibras; o encrespamento (se regular ou super, e declarar o número de encrespamentos por polegadas) e o fator de brilho (brilhante; semi-opaco; opaco).

Para fios contínuos deve ser dado: o nome genérico da fibra constituinte; a densidade linear; a quantidade de torção; sua direção e o fator de brilho.

exemplo: se encontrarmos a seguinte especificação:

70-34-1/2-Z bright

isso quer dizer que temos um fio com 70 denier de densidade; 34 filamentos no fio; 0,5 torção por metro, na direção Z e ainda que o fio é brilhante.

3.2.4- Especificação de Tratamentos Mecânicos ou Químicos

O tratamento químico mais interessante para fios contínuos é a texturização.

Os fios industriais têm muitos tratamentos e revestimentos: encerramentos; emborrachamentos; aplicação de resinas termoplásticas; isolamento elétrico; condução elétrica; retardadores de chama; impermeabilização.

Como os fios industriais são feitos com finalidade específica, têm tratamentos e efeitos de tratamento sobre as propriedades dos fios bem definidas, ou em estudo para que se obtenha essa importante definição.

A texturização sempre aumenta um degrau na densidade linear dos filamentos da sua configuração relaxada.

Exemplos de tratamentos químicos: aplicação de "goma" para evitar irritação durante o uso, de lubrificantes para evitar abrasão, atrito, evitar ou atenuar os efeitos da torção.

4- PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS FIOS

4.1- Introdução

Para o estudo do comportamento dos materiais têxteis, Backer classifica em três principais grupos as propriedades dos materiais têxteis:

a) Propriedades globais:

O qual inclui tração e compressão uniaxial e biaxial, características torcionais; flexão; comportamento sob tensão concentrada; estabilidade dimensional; resistência à fadiga em tração; compressão e dobramento.

b) Propriedades superficiais:

Manuseio; aspereza, resistência ao gasto de uso; atrito e resistência a tensão concentrada.

c) Propriedades de transferência:

Permeabilidade de ar e água; eficiência na filtração; resistência a penetração; transferência de calor.

Examinando a lista acima de propriedades, podemos perceber que a estrutura do fio e as propriedades mecânicas dos fios são de grande importância na modificação do comportamento básico da estrutura têxtil. Conseqüentemente, para prever e avaliar o comportamento básico da estrutura têxtil, uma compreensão do comportamento da estrutura e da mecânica dos fios é essencial. Algumas formas de geometria estrutural do fio foram apresentadas no Cap. 2. Iremos relatar a obtenção das propriedades mecânicas dos fios.

4.2- Testes de Resistência

Existem, essencialmente, dois modos pelos quais os fios são caracterizados pela sua resistência:

4.2.1- Teste de Tração da Meada

É comum o seu uso em setores da indústria têxtil de algodão, lã e linho. Nesse teste, uma meada de 120 fios (com 80 torções e tendo as pontas atadas) é quebrada num pêndulo de teste no qual o valor "Lea strength" da meada é obtido. Esse testes produz um valor relativo que é utilizado para o controle de qualidade.

A meada de fio pode, também, ser testada sob impacto no teste balístico. Esse teste combina três características do fio: carga na quebra, alongação na quebra e fator de trabalho. O valor obtido do teste balístico é uma quantidade de energia ou trabalho requerido para a ruptura da meada de fio.

4.2.2- Teste do Fio Único

Esse teste fornece melhores informações a respeito das características de tração de fios, pois produz o diagrama carga-elongação que proporciona obter boas informações das propriedades do fio.

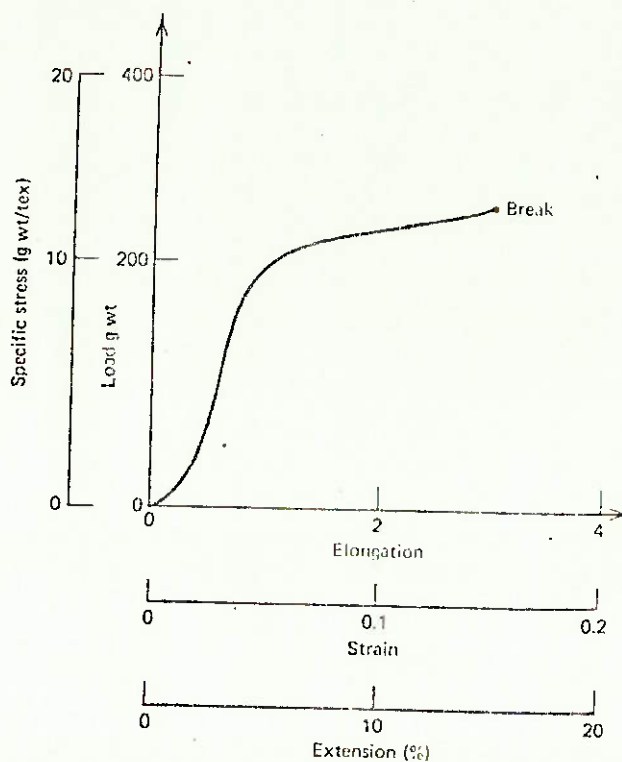
As características carga-elongação de fios são facilmente medidas pelo uso de instrumentos padronizados (em condições controladas)

- Scott or Uster constant-rate-of-loading inclined plane testers
- Instron constant-rate-of-elongation tester
- Goadbrand and/or the Cambridge Textile Extensiometer.

4.3- A Curva Carga-Elongação

4.3.1- Aparência Geral

O comportamento do fio sob uma aplicação gradual de aumento de carga é expresso pela curva carga-elongação e pelo ponto de quebra.



F. 4.1- Diagrama carga-elongação para um corpo de prova de 20 cm e 20 tex

Entretanto, para os propósitos de comparar as propriedades de diferentes tipos de fios, quantidades que são independentes das dimensões da amostra devem ser utilizadas. Para isso, definiremos:

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Carga}}{\text{Área da secção transversal}}$$

As unidades de tensão são dina/cm² ou Kgf/mm².

No caso de materiais têxteis, temos dificuldades para medir a área da secção transversal. Além disso, é o peso e não o volume do material que é importante.

Conseqüentemente, a tensão é expressa em termos de massa de amostra e é chamada de:

$$\text{Tensão específica} = \frac{\text{Carga}}{\text{Massa/Unidade de Comprimento}}$$

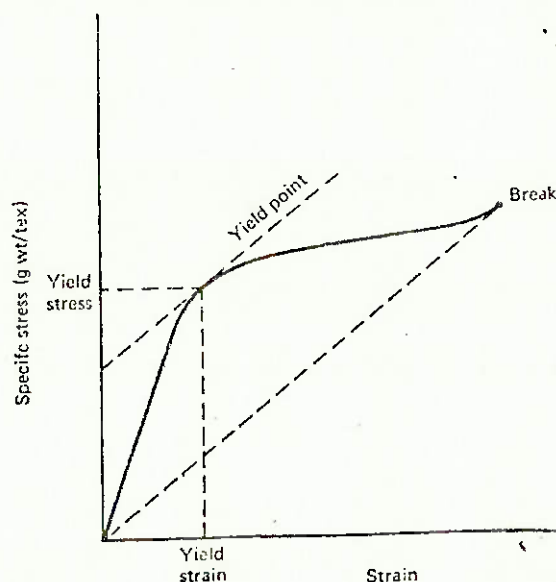
As unidades de tensão específica são:

gf/denier ou gf/tex

A elongação da amostra é expressa como deformação ou elongação percentual, o qual considera o comprimento original da amostra:

$$\text{Deformação} = \frac{\text{Elongação}}{\text{Comprimento Inicial}}$$

A curva carga-elongação pode ser convertida para a curva tensão-deformação pela mudança de unidades, e a forma de curva permanece a mesma.



F. 4.2- Diagrama tensão-deformação com a construção do limite de proporcionalidade

Existem outros parâmetros úteis que são obtidos da forma das curvas carga-elongação e da posição do ponto onde a quebra ocorre. Eles são definidos a seguir:

4.3.2- Parâmetros Úteis

4.3.2.1- Resistência

É a medida de uma forma estável requerida para a quebra do fio; para um fio individual, ela é dada pela carga na quebra em gf ou kgf.

Para comparar diferentes fios, a tensão específica na quebra é usada e é chamada de Tenacidade, cujas unidades são gf/tex ou gf/denier.

4.3.2.2- Elongação na Quebra

Pode ser expressa pela fração real ou pela percentagem de aumento em comprimento.

4.3.2.3- Trabalho de Ruptura

Definido como a energia requerida para quebrar o fio e é chamada também de "toughness". O trabalho de ruptura é dado pela área sob a curva carga-elongação e sua unidade é (dina-cm) ou (gf-cm).

4.3.2.4- Módulo de Young

O módulo inicial é a inclinação ($\tan \alpha$) da curva tensão-deformação na origem. Na parte inicial da curva (reta) o módulo permanece constante. O módulo é medido em unidade de tensão ou tensão específica (gf/tex). Módulo dá a medida da força requerida para produzir uma pequena elongação. O recíproco do Módulo é chamado de "compliance".

4.3.2.5- Limite de Proporcionalidade

Após a parte inicial da curva (reta), ela tende a encurvar-se, e nessa região, larga elongação é produzida com um pequeno aumento de tensão (ver fig. 4.2).

De acordo com Meredith, o limite de proporcionalidade é definido como o ponto o qual a tangente é paralela à linha que junta a origem com o ponto na quebra do fio.

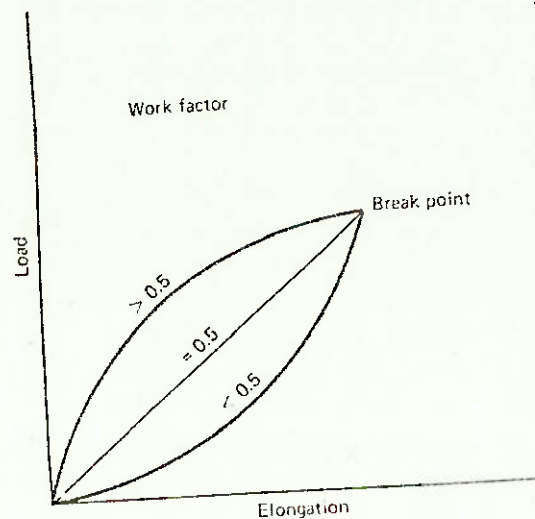
4.3.2.6- Fator de Trabalho

Para um material obedecendo a lei de Hooke, a curva carga-elongação pode ser uma linha reta e o trabalho de ruptura é dado por:

$$\text{Trabalho de Ruptura Ideal} = \frac{(\text{carga na quebra} \times \text{elongação na quebra})}{2}$$

Definimos:

$$\text{Fator de Trabalho} = \frac{\text{Trabalho de Ruptura Real}}{\text{Trabalho de Ruptura Ideal}}$$

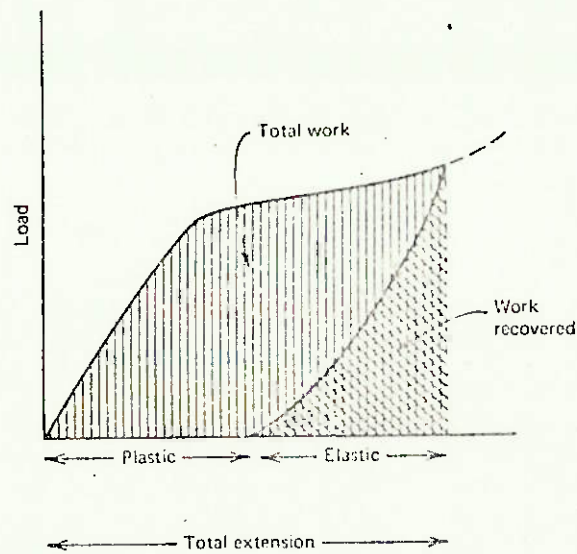


F. 4.3- Fator de trabalho

O Fator de Trabalho para um estado ideal será 0,5. Se a curva ficar acima da linha reta, o fator de trabalho será maior de 0,5 (fio inextensível) e se ficar abaixo, o fator de trabalho será menor de 0,5 (fio extensível).

4.3.2.7- Recuperação Elástica

É a propriedade do corpo de recuperar a sua forma e tamanho original depois da deformação.



F. 4.4- Elongação elástica e plástica

Defin-se:

$\text{Recuperação elástica} = \frac{\text{Elongação Elástica}}{\text{Elongação Total}}$
$\frac{\text{Trabalho Recuperado}}{\text{Trabalho}} = \frac{\text{Trabalho devolvido durante a recuperação}}{\text{Trabalho total realizado durante a elongação}}$

5- TORÇÃO EM FIOS

5.1- Introdução

Torção é o modo pelo qual um aglomerado de fibras, filamentos ou fios são arranjados e mantidos coesos.

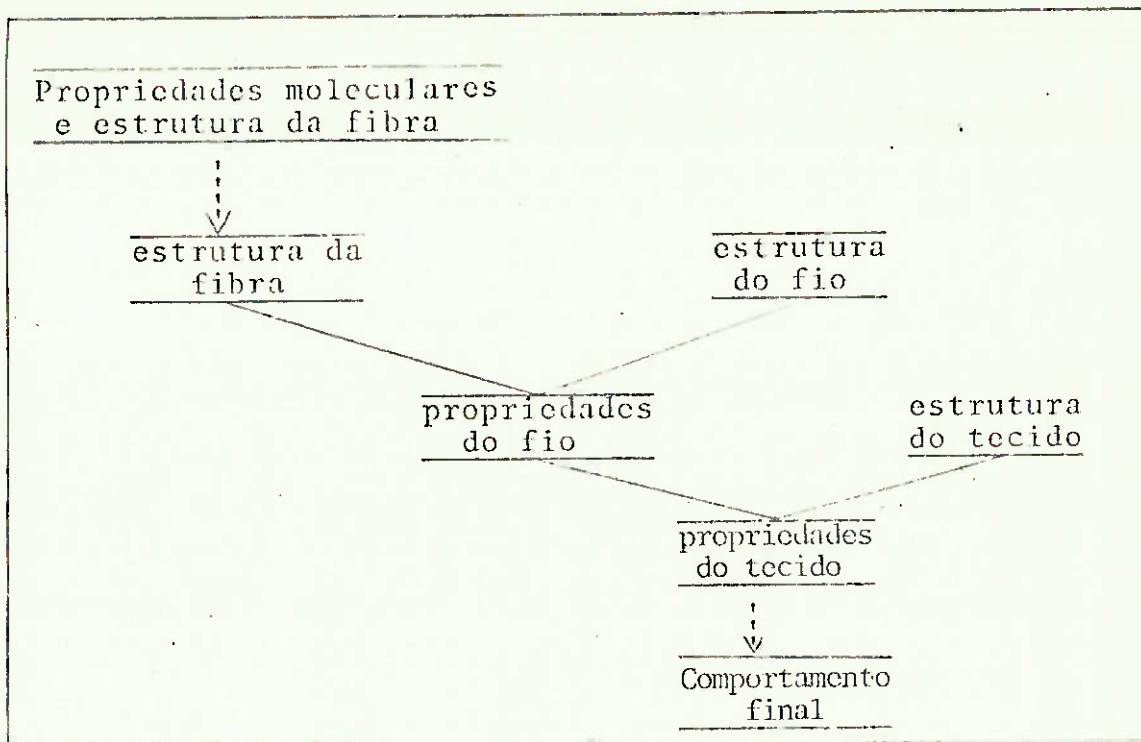
Torção é aplicada aos fios para dar-lhes coerência, principalmente nos casos de fios fiados com fibras curtas. Em fios contínuos, torção não é necessária para conseguir resistência (de fato, reduz) mas é necessária para conseguir resistência à abrasão, fadiga e outros danos associados à outras tensões. Por exemplo: uma simples tensão elástica poderia levar ao rompimento de filamentos individuais, conduzindo ao colapso total da estrutura. A função da torção nos fios contínuos é também produzir uma coerência estrutural que não pode ser facilmente desintegrada por tensões laterais, produzindo esse efeito sem aumentar significadamente a rigidez à flexão ou resistência ao dobramento.

Em estruturas têxteis deseja-se sempre a máxima flexibilidade, e isso geralmente se contrapõe com a necessidade de ter-se uma estrutura resistente. E essa contradição deve ser solucionada.

A figura 5.1 mostra a importância da estrutura do fio.

Lista de algumas características físicas pertinentes que são influenciadas pela torção:

- comportamento à flexão;
- resistência ao dobramento;
- resistência à abrasão;
- "caimento" (drapability);
- resistência ao impacto; e
- distribuição de tensões.

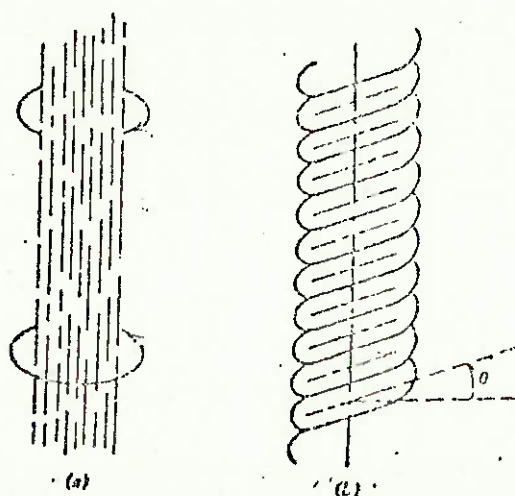


F. 5.1- Interrelações entre fibra, fio e estrutura e propriedades do tecido

5.2- Definição

Um fio está torcido quando as fibras da superfície que eram originariamente paralelas ao eixo do fio são rodadas fazendo um ângulo com o eixo (caso ideal).

Fatores que fazem a definição fugir dessa idealização: variação do diâmetro do fio, contração por causa da torção, migração das fibras, compressão lateral (radial) e o deslizamento das fibras.

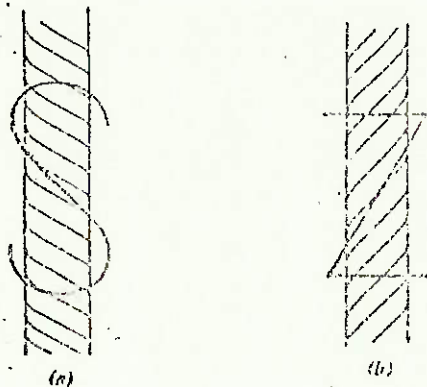


F. 5.2- a) aglomerado paralelo de fibras
b) aglomerado de fibras torcido

5.3- Direção da Torção $\left\{ \begin{array}{l} S = \text{direita (horário)} \\ Z = \text{esquerda (anti horário)} \end{array} \right.$

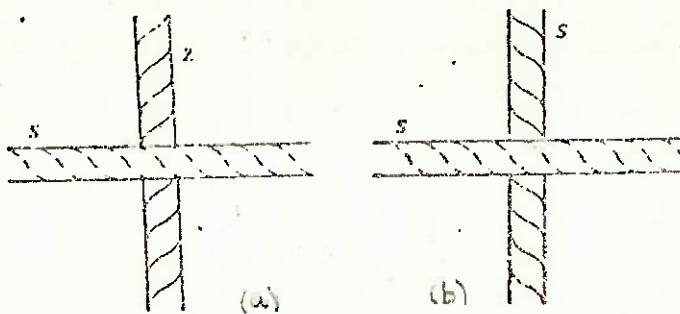
É essencial para designação do fio.

Afeta o aspecto do tecido: se combinarmos num tecido diagonalizado um fio torcido em S e outro em Z, o tecido terá um aspecto mais volumoso, enquanto que se combinarmos dois fios torcidos em uma mesma direção teremos um aspecto achatado.



F. 5.3- Direções de torção

- $\left\{ \begin{array}{l} \text{a- direita - horário (S)} \\ \text{b- esquerda-antihorário (Z)} \end{array} \right.$



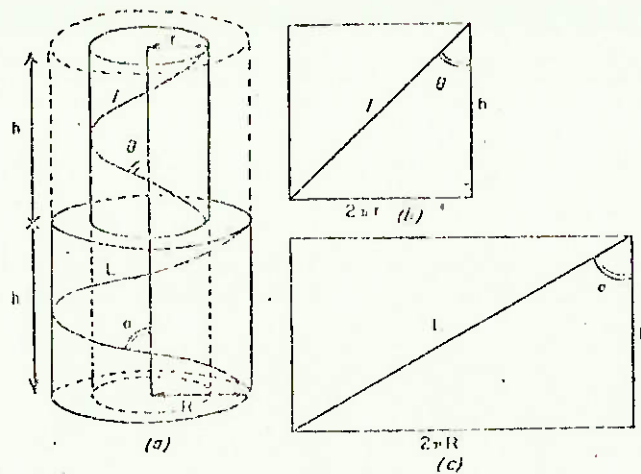
F. 5.4- Direção de torção e sua influência no aspecto do tecido:

- a) Z+S ou S+Z \Rightarrow não há encaixe \Rightarrow asp. + volumoso
 b) Z+Z ou S+S \Rightarrow há encaixe \Rightarrow asp. + achatado.

5.4- Determinação da Torção

Dois métodos são importantes para relatar a resistência e outras características físicas dos fios torcidos.

- 1) direto: distorce-se até que as fibras (filamentos) fiquem paralelas (visualização através de um microscópio).
- 2) indireto: é baseado na hipótese de que a torção em uma direção é removida quando torcida em outra direção até que o comprimento e a tensão inicial sejam restabelecidos.

5.5- Geometria Helicoidal Idealizada

- F. 5.5- a) Geometria helicoidal idealizada do fio .
 b) Diagrama desenvolvido para o cilindro de raio (r)
 c) Superfície do fio desenvolvida (raio R)

Para os estudos teóricos do fio é adotada a geometria idealizada como o ilustrado na figura.

Hipóteses:

- 1) O fio é circular na seção transversal e uniforme no comprimento;
- 2) Construção através de superposição de uma série de camadas coaxialmente;
- 3) O fio no centro tem $\theta = 0$ ($\theta =$ ângulo de torção) e o ângulo θ vai aumentando conforme o raio, de tal forma que o n° de torções por polegadas seja constante;
- 4) O eixo do fio coincide com o eixo do cilindro idealizado;
- 5) A densidade do pacote de filamentos no fio é constante; e
- 6) A estrutura tem um grande número de filamentos.

7) Cada filamento segue um caminho uniforme e helicoidal ao redor de um dos cilindros concêntricos, com a distância ao eixo do fio permanecendo constante.

Designações com referência à figura 5.5:

R = raio do fio;

r = raio de um cilindro contendo um caminho helicoidal de um filamento particular;

T = torção no fio;

h = comprimento de uma "volta" de torção;

α = ângulo de torção na superfície;

θ = ângulo de hélice no raio r;

l = comprimento de filamento numa volta de torção, no raio r;

L = comprimento de filamento numa volta de torção no raio R.

Claramente da figura temos:

$$h = \frac{1}{T}$$

Pelo corte do cilindro de figura 5.5, que aparece nas figuras 5.5.b e 5.5.c, segue-se que:

$$l^2 = h^2 + 4 \pi^2 r^2 \quad (5.2)$$

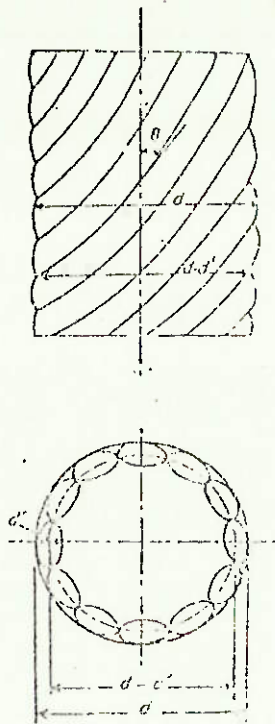
$$L^2 = h^2 + 4 \pi^2 R^2 \quad (5.3)$$

$$\text{tg } \theta = \frac{2 \pi r}{h} \quad (5.4)$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{2 \pi R}{h} \quad (5.5)$$

Como podemos observar pela figura 5.6, devemos corrigir o valor de $\text{tg } \alpha$ para $\text{tg } \alpha = \frac{\pi (d-d')}{h}$ ou $\text{tg } \alpha = \pi dK$ (5.6) onde $K = \frac{d-d'}{d}$ = constante de Schwarz (5.7).

Schwarz coletou valores de K para vários fios e observamos que $K = 1$ para maioria.



F. 5.6- Fio de muitos filamentos, mostrando a diferença entre o diâmetro externo (d) e o diâmetro efetivo ($d-d'$)

Quando um alongamento é imposto ao fio, os filamentos componentes são tensionados em diferentes graus, dependendo de sua posição no fio, e os filamentos do centro sustentam mais carga que os outros, portanto, se alongam mais. Assim é fácil compreender que o alongamento do fio é maior que o alongamento de seus filamentos.

Obs.: 1) No capítulo dois do livro "Structural mechanics of fibers, yarns and fabrics" existe a dedução com coordenadas polares.

2) No capítulo três do livro "Processing of man-made fibers" de V.A. Usenko, faz as mesmas deduções, partindo de ângulo de torção igual para diâmetros diferentes.

A medida da intensidade da torção é o ângulo da linha helicoidal (ângulo de torção). Para obter uma deformação igual de fios com diferentes densidades lineares em torção é necessário ter o mesmo ângulo de torção.

$$\text{Como } \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{1}{T_1 \pi d_1} \quad \text{e} \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{1}{T_2 \pi d_2} \quad (5.8)$$

mas, $\alpha_1 = \alpha_2$ portanto:

$$\frac{1}{\pi d_1 T_1} = \frac{1}{\pi d_2 T_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{d_2}{d_1} = \frac{T_1}{T_2} \quad (5.9)$$

Para obter a mesma intensidade de torção num fio para fios de diferentes diâmetros, uma diferente torção é necessária. A torção absoluta é o inverso da relação entre os diâmetros.

5.6- Tamanho do Fio (Título)

Geralmente designamos um fio por seu título, isso é, sua massa por unidade de comprimento ou densidade linear.

O volume por unidade de comprimento do fio é πR^2 e desde que seu volume específico seja V_y sua massa será $\pi R^2/V_y$, assim

Título do fio = C = massa de um Km

$$C = (\pi R^2/V_y) * 10^5 \text{ tex}$$

(já que R está em cm e V_y em cm^3/g).

Essa é a unidade recomendada universalmente.

Existem tabelas para as conversões de unidades como a que segue:

Name of system	Unit of count	Conversion to tex	Unit of twist factor	Conversion to tex: turns/cm
Direct systems:		Multiply by:		Multiply by:
tex	g/km	1	tex ^{1/2} : turns/cm	1
denier	g/9000 m	1/9 = 0.111	---	---
Indirect systems:		Divide into:		Multiply by:
cotton count	840 yd hanks/lb	590.5	tpi/count ^{1/2}	9.57
worsted count	560 yd hanks/lb	835.8	tpi/count ^{1/2}	11.72
metric number	km/kg	1000	---	---
TYPPI	1000 yd hanks/lb	496.0	tpi/TYPPI ^{1/2}	8.81

TAB. 5.1- Conversão de unidades para título do fio, fator de torção e densidade linear.

Rearranjando a equação 5.11 em termos de R ficamos com:

$$R = (V_y C/10^5)^{1/2} \quad (5.12)$$

Combinando com as equações (5.1) e (5.5) teremos:

$$\text{tg} \alpha = 10^{-3} (40 \pi V_y)^{1/2} C^{1/2} \cdot T \quad (5.13)$$

$$\text{tg} \alpha = 0.0112 V_y^{1/2} \cdot \tau \quad (5.14)$$

Assim para obter a mesma intensidade de torção, devemos procurar um mesmo FATOR DE TORÇÃO (T) que é o produto da quantidade de torção pela raiz quadrada da densidade linear em kilotex. O valor ótimo do fator de torção (T) é determinado experimentalmente:

$$T = C^{1/2} \cdot T \quad (5.15)$$

A importância prática da fórmula acima é grande, pois com base na torção num fio de certa densidade linear é possível calcular a quantidade de torção para um fio de mesmo tipo (origem) com qualquer densidade linear.

Na tabela (5.2) temos os ângulos de torção correspondentes aos valores de fatores de torção para os valores típicos de volume específico.

Speciãe volume, cm ³ /g	Twist factor, tex ^{1/2} turns/cm						
	0	20	40	60	80	100	120
	Twist Angles						
0.5	0°	9°	18°	25°	32°	38°	44°
1.0	0°	13°	24°	34°	42°	48°	53°
1.5	0°	15°	29°	39°	48°	54°	59°

TAB. 5.2- Valores de ângulos de torção para vários fatores de torção para tipos comuns de fios

5.7- Contração Devido à Torção

5.7.1- Cálculo Teórico

Quando os fios são torcidos eles se contraem, pois seus filamentos seguem um caminho helicoidal que é mais longo que o anterior.

A existência de migração de filamentos (que será discutida no Capítulo 10), torna possível a simplificação dos cálculos desde que podemos assumir um comprimento médio específico dentro do fio para os diferentes comprimentos de filamentos nas diferentes posições.

A magnitude da contração pode ser definida de dois modos:

a) Fator de contração = C_y = comprimento do fio à zero torção por comprimento do fio torcido

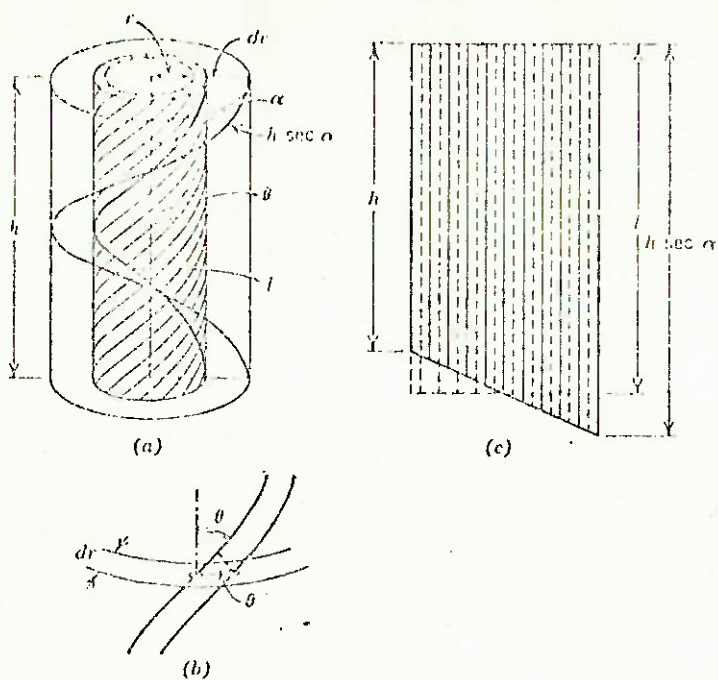
$$C_y = \frac{l_0}{l} \quad (5.16)$$

b) R_y = retração = (comprimento do fio à zero torção menos comprimento do fio torcido) por comprimento do fio à zero torção $R_y = \frac{l_0 - l}{l_0}$ (5.17)

Claramente: $C_y = 1/(1-R_y)$ (5.18)

O fator de contração varia de 1 até o infinito e serve para se ajustar tamanho do fio, fazendo com que quando torcido fique com o comprimento desejado.

A retração (R_y) varia de 0 a 1, é mais usada para fios contínuos e representa o decréscimo fracionário no comprimento ou acréscimo fracionário na densidade linear.



F. 5.7-

- a) filamentos no fio torcido;
- b) passagem oblíqua de um elemento de largura dr ;
- c) distribuição dos comprimentos dos filamentos no fio.

Consideremos um fio torcido de comprimento h como na figura (5.7). Podemos assumir que, por causa da migração dos filamentos, o aumento no comprimento dos filamentos torcidos se faz uniformemente sobre todos os filamentos do fio.

Quando o fio não está torcido, seu comprimento é \bar{l} , onde \bar{l} é o comprimento dos filamentos no comprimento h do fio torcido.

Aqui h será o comprimento de uma torção; tomaremos n ($\hat{c}ne$) como o número de filamentos por unidade de área transversal (perpendicular ao eixo do fio).

Consideremos um elemento de área da seção transversal do fio entre o raio r e $r+dr$. Os filamentos estão inclinados a esse elemento com ângulo θ para com a normal, como na figura (5.7.b).

Assim o número de filamentos passando aí, será:

$$dn = n \cdot 2 \pi r \cdot dr \cdot \cos \theta \quad (5.19)$$

mas da eq. (5.4) temos $2 \pi r = h \operatorname{tg} \theta$ e portanto:

$$2 \pi dr = h \sec^2 \theta d\theta \quad (5.19 \text{ a})$$

substituindo isso na eq. 5.19 teremos:

$$dn = \frac{n h^2}{2 \pi} \sec \theta \operatorname{tg} \theta d\theta \quad (5.20)$$

Da figura 5.5 notamos que $\cos \theta = h/\ell$ assim:

$$\begin{aligned} \ell &= h \sec \theta \text{ e portanto:} \\ d\ell &= h \sec \theta \operatorname{tg} \theta d\theta \quad (5.21) \end{aligned}$$

assim:

$$dn = \frac{n h}{2 \pi} d\ell \quad (5.21a)$$

portanto da eq. 5.20 e 5.21a :

$$\frac{dn}{d\ell} = \frac{nh}{2\pi} = \text{constante} \quad (5.22)$$

O que quer dizer que o número de filamentos correspondente a qualquer incremento de comprimento é constante, e a distribuição dos comprimentos é linear, como na figura 5.7c. Portanto o comprimento do filamento \bar{l} será igual à média entre o máximo e o mínimo comprimentos dos filamentos (na superfície e no centro do fio, respectivamente).

$$\bar{l} = \frac{(h + h \sec \alpha)}{2} \quad (5.23)$$

onde α é o ângulo de torção na superfície. Consequentemente:

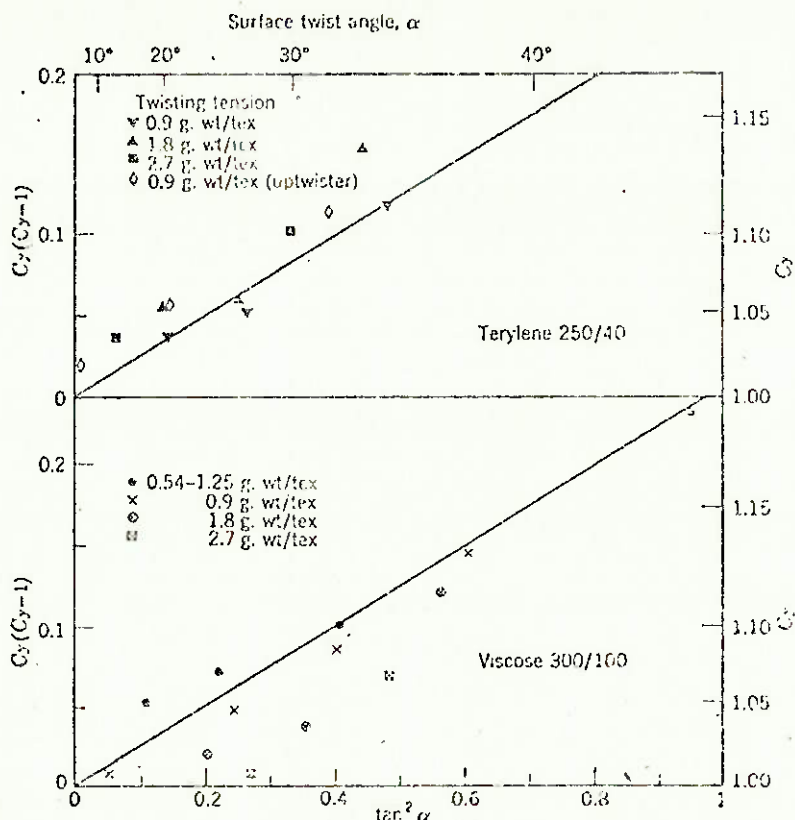
$$\text{fator de concentração} = C_y = \frac{\bar{l}}{h} = \frac{1}{2} (1 + \sec \alpha) \quad (5.24)$$

$$e \text{ retração} = R_y = \frac{(l-h)}{l} = \frac{\sec \alpha - 1}{\sec \alpha + 1} = \frac{1 - \cos \alpha}{1 + \cos \alpha} = \text{tg}^2(\alpha/2) \quad (5.25)$$

A tabela 5.3 mostra alguns resultados obtidos com essas fórmulas.

Twist angle, α	Contraction factor, C_y	Retraction, R_y
0°	1	0
10°	1.008	0.008
20°	1.032	0.031
30°	1.078	0.072
40°	1.153	0.132
50°	1.278	0.217

TAB. 5.3- Valores de contração e retração para vários ângulos de torção.



F. 5.8- Resultados obtidos comparados à fórmula (5.24) = $C_y = \frac{1}{2} \cdot (1 + \sec \alpha)$

A linha teórica desenhada está de acordo com a equação:

$$C_y(C_y - 1) = \frac{1}{4} \tan^2 \alpha$$

5.7.2- Valores Experimentais

Rearranjando a equação (5.24) para

$$C_y(C_y - 1) = \frac{1}{4} \cdot \text{tg}^2 \alpha \quad (5.26)$$

obtemos um parâmetro (α) mais conveniente para a construção de gráficos.

Essa é apenas uma maneira mais conveniente para se preparar gráficos. A figura 5.8 mostra os resultados obtidos para o poliéster (Terylene) que apresenta grande concordância com a teoria. A contração de vários materiais é comparada na figura 5.9.

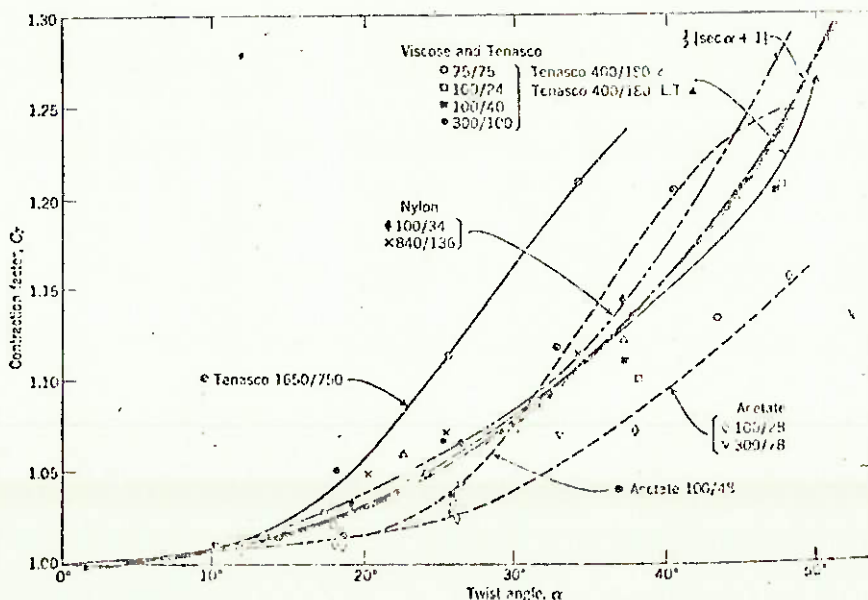
Deve observar que o nylon apresenta uma concordância razoável com a teoria.

Riding mediu valores de retração na torção estática versus $2 \sqrt{R/h}$, que é igual a $\text{tg} \alpha$ (figura 5.10) Nessa figura podemos observar também que à altas tensões não obtemos boa reversibilidade.

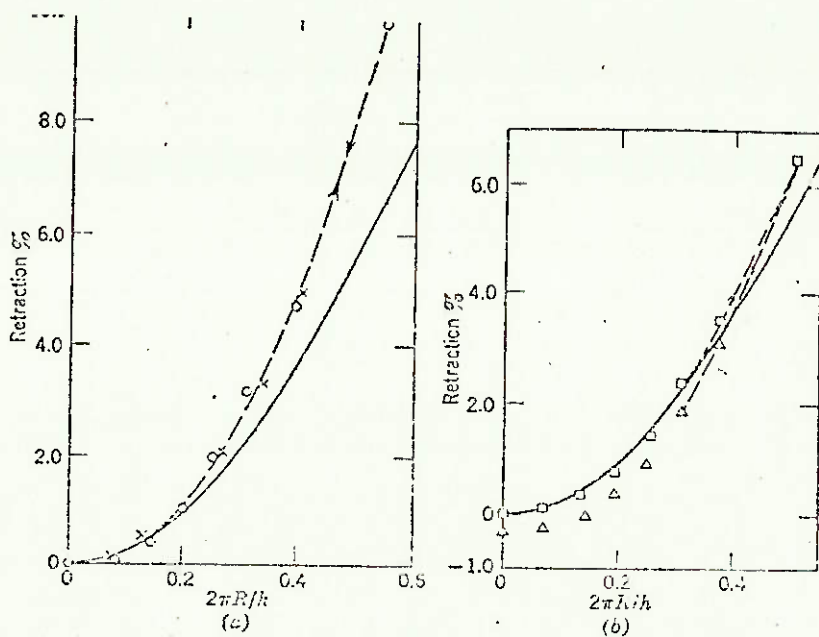
Os valores negativos obtidos para retração na figura 5.10.b é a evidência que os filamentos ficaram com uma deformação permanente. Observações experimentais confirmam isso.

O fenômeno é resultado de irregularidades e "embaraçamentos" desenvolvidos pelo fenômeno da migração quando os filamentos não têm liberdade de deslizamento.

A figura 5.11 mostra que a retração é pouco influenciada pela tensão de torção aplicada; e que os valores são independentes do comprimento da zona torcida, da máxima torção dada e da densidade linear do fio.

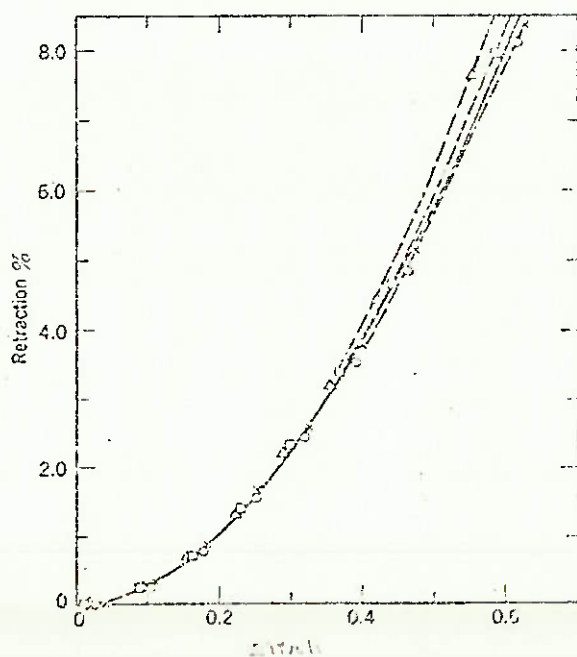


F. 5.9- Comparação entre as contrações reais para vários materiais e a previsão teórica



F. 5.10- Retração na torção estática do fio tenasco (1650 dn), (a) torcido sob tensão de 100g-wt., (b) torcido sob tensão de 500 g-wt
 (a) (x) torcendo; (o) destorcendo; (-) teórico
 (b) (□) torcendo; (Δ) destorcendo; (-) teórico

Em geral, podemos dizer que as equações (5.2.4) e (5.2.5) predizem bem o comportamento dos fios de filamentos contínuos. Porém podem ocorrer derivações causadas por irregularidades no fio torcido ou pela não validade do modelo geométrico adotado ou se existir deformações permanentes de alguns filamentos, ou ainda, flambagem dos filamentos centrais. Alguns desses problemas foram discutidos por Kilby (1959).



F. 5.11- Retração na torção contínua do fio num modelo de up-twister, sob várias tensões (fio tenasco 1050dn)
 (x) tensão de 500 g-wt;
 (o) tensão de 200 g-wt;
 (□) tensão de 400 g-wt;
 (Δ) tensão de 700 g-wt
 (-) retração teórica

Obs.: O autor russo V.A.Usenko, troca as definições que usamos aqui para contração e retração, apresenta várias equações, sem, no entanto, deduzi-las. Além disso, as equações são de autores diversos e na sua maioria empíricas, com muitas constantes para serem determinadas experimentalmente; ocorre ainda, que algumas não se ajustam bem à realidade como pode ser observado pelos gráficos apresentados.

5.8- Limites de Torção

O autor Gracie (1960) apontou que quando uma análise de retração é encontrada em termos de número de torções por unidade de comprimento que deve ser aplicado num dado comprimento de fio, o resultado é uma equação quadrática com duas soluções.

Suponha que uma "volta" de torção é aplicada num comprimento de fio l_0 de raio R_0 , para dar um comprimento h de fio torcido de raio R . Se não existe mudança na densidade do arranjo, o volume permanece constante:

$$\pi R^2 h = \pi R_0^2 l_0 \quad (5.27)$$

O comprimento inicial do fio l_0 deve ser igual à média dos comprimentos dos filamentos do fio torcido, usando as equações (5.24), (5.5), (5.27) e algumas relações trigonométricas, temos:

$$\begin{aligned} (2 l_0/h - 1)^2 &= 1 + 4 \pi R^2/h^2 = \\ &= 1 + 4 \pi R_0^2 l_0/h^3 \end{aligned} \quad (5.28)$$

Portanto:

$$\frac{4 l_0^2}{h^2} - \frac{4 l_0}{h} + 1 = 1 + \frac{4 \pi R_0^2 l_0}{h^3} \quad (5.29)$$

que podemos reduzir para:

$$h^2 - h l_0 + \pi^2 R_0^2 = 0 \quad (5.30)$$

com as soluções:

$$h = \frac{1}{2} \left[l_0 \pm (l_0^2 - 4 \pi^2 R_0^2)^{1/2} \right] \quad (5.30a)$$

ou usando que $h = \frac{1}{T}$

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{T_0} \pm \left(\frac{1}{T_0^2} - 4 \pi^2 R_0^2 \right)^{1/2} \right] \quad (5.31)$$

onde T = verdadeira torção

T_0 = torção nominal

Portanto para um dado valor de torção aplicado num certo comprimento de fio, existe duas soluções possíveis para a forma do fio. Uma forma é da baixa torção, essa forma é estável na torção e ocorre na prática. A outra forma é a de alta torção, e é estável na compressão.

É conveniente rearranjar a equação (5.31) em termos adimensionais $\{ \operatorname{tg} \alpha_0 = 2 \pi R_0 T_0 \}$

$$\frac{T}{T_0} = \frac{2}{1 \pm \left[1 - (2 \pi R_0 T_0)^2 \right]^{1/2}} \quad (5.32)$$

agora usando a equação (5.15):

$$\zeta_0 = (2 \pi R_0 T_0) / 0.0112 V_y^{1/2} \quad (5.33)$$

para valores reais no fio torcido; usando a eq. (5.27)

$$\operatorname{tg} \alpha = 0.0112 V_y^{1/2} \zeta = 2 \pi R T = (2 \pi R_0 T_0) \cdot (T/T_0)^{3/2} \quad (5.34)$$

As duas soluções tornam-se uma quando

$$2 \pi R_0 T_0 = 1 \quad (5.35)$$

Nesse estado, existe estabilidade na tração e na compressão,

aqui $T_0 = \frac{1}{2 \pi R_0}$ ou $T_{0,m} = \frac{1}{2 \pi R_0}$ é o número máximo de

torções que é geometricamente possível colocar num dado comprimento de fio.

A torção real $T_m^{(*)}$, corresponde a:

$$T_m = 2 T_{0,m} = \frac{1}{\pi R_0} \quad (5.36)$$

(*) observar eq. (5.32)

e usando a eq. (5.27)

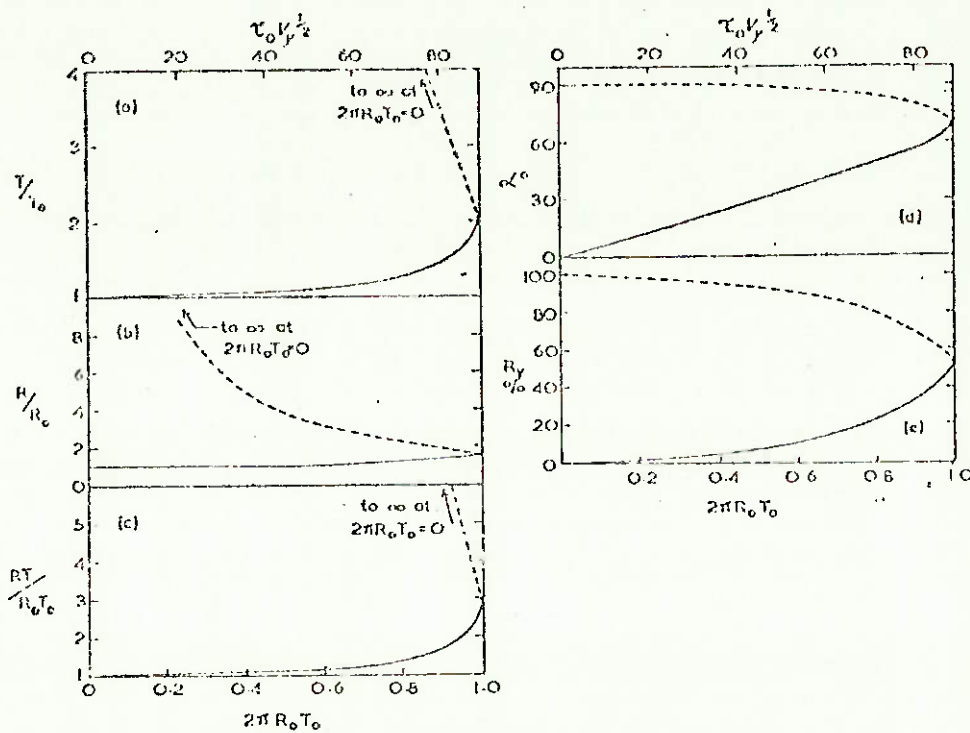
$$R_m^2 = (R_o^2/T_o) T_m = 2R_o^2 \quad (5.37)$$

e portanto o ângulo de torção α_m

$$\text{tg } \alpha_m = 2\sqrt{1} R_m T_m, \text{ donde usando as eqs. 5.37 e 5.36:}$$

$$\text{tg } \alpha_m = 2\sqrt{2}, \text{ portanto } \alpha_m = 70,5^\circ \quad (5.38)$$

Ângulos de torção menores que $70,5^\circ$ implica em formas estáveis na tração; enquanto que maiores, serão estáveis somente na compressão e isso não é realizável nas operações têxteis comuns.



F. 5.12 - LIMITES DA TORÇÃO.

Solução das equações de retração devido à torção .

A linha cheia mostra a forma estável na tração, e a linha tracejada a forma estável na compressão. A absissa $2\sqrt{1} R_o T_o$ é igual a tangente do ângulo de torção nominal ($\text{tg } \alpha_o$) (baseada na densidade linear original e torção dada num comprimento original). Na escala de cima $\tau_o \times V_y^{1/2}$ corresponde a $\text{tg } \alpha_o / 0.0112$. (τ_o é o fator de torção nominal e V_y é o volume específico.

(a) T/T_o é a razão entre a torção real e a nominal

(b) R/R_o é a razão entre o raio real e o nominal

(c) RT/R_oT_o é a razão dos fatores de torção real e nominal

(d) α (o ângulo de torção) $\times \text{tg } \alpha_o$ (tangente do ângulo nominal)

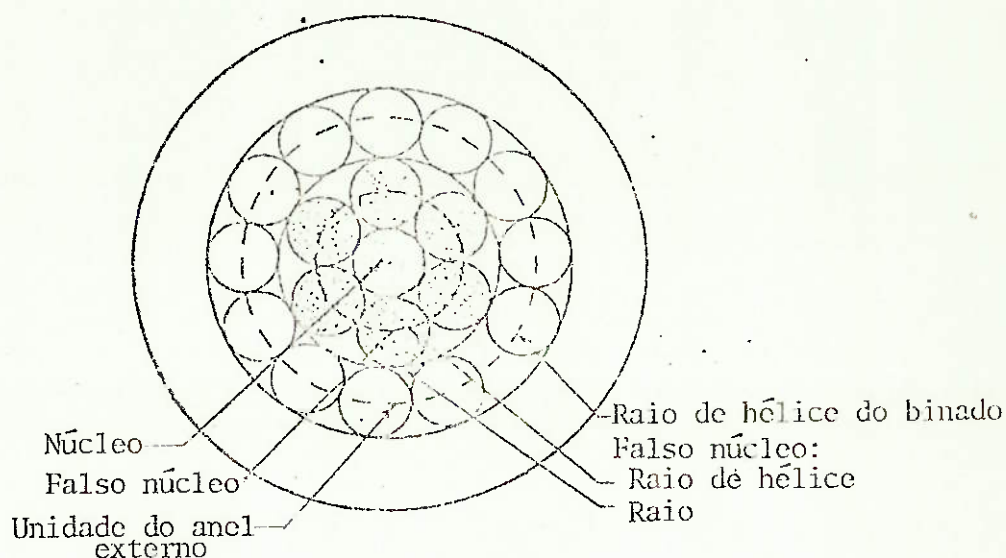
(e) R_y (retração) $\times \text{tg } \alpha_o$

A figura 5.12 ilustra esses resultados graficamente. Toda essa análise é baseada na suposição de que a densidade do arranjo não é alterada, e o volume do fio permanece constante. Se isso não for válido, existirá diferença em detalhes, porém o princípio será exatamente o mesmo.

5.9- Arranjo de Filamentos no Fio

Existe duas formas ideais básicas: o arranjo aberto e o arranjo hexagonal fechado.

5.9.1- Arranjo aberto



F. 5.13- Conceitos envolvidos na estrutura do arranjo aberto

No centro de um arranjo aberto de filamentos circulares, existe um filamento, como mostrado na figura (5.13). Ao redor dele, seis filamentos podem ser arranjados. A terceira camada é adicionada concentricamente e assim sucessivamente.

Considerando o raio de filamento igual a r_f , teremos que: o raio do círculo que circunscreve a n ésima camada será igual ao raio do fio com n camadas:

$$R = (2n-1)r_f \quad (5.39)$$

Layer No.	Maximum No. of Fibers in Layer	Total No. of Fibers
1	1	1
2	6	7
3	12	19
4	18	37
5	25	62
6	31	93

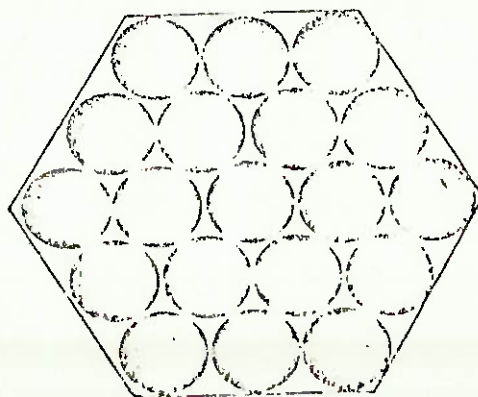
TAB. 5.4- Lei de formação ideal do arranjo aberto

Na tabela 5.4 podemos observar o número máximo de filamentos por camada.

5.9.2- Arranjo Hexagonal Fechado

O arranjo fechado com um filamento como centro é apresentado na figura (5.14). Arranjo fechado de filamentos circulares formam um contorno hexagonal no qual todos os filamentos estão em contato.

A distância do centro do fio até a n ésima camada varia de $2(n-1)r_f$ (nos cantos) até $\sqrt{3}(n-1)r_f$ (na metade dos lados). A tabela (5.5) dá os valores numéricos para sucessivas camadas. A expressão geral para o número de filamentos em cada camada é $6(n-1)$.

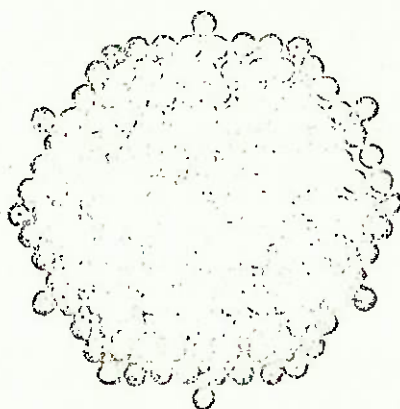


F. 5.14- Estrutura do arranjo fechado, com três camadas. ./.

Layer	Distance between yarn center and fiber center		Number in layer	Total no. of fibers
	At corner	At middle of side		
1	0	0	1	1
2	$2r_f$	$1.73r_f$	6	7
3	$4r_f$	$3.46r_f$	12	19
4	$6r_f$	$5.20r_f$	18	37
5	$8r_f$	$6.93r_f$	24	61
6	$10r_f$	$8.66r_f$	30	91
7	$12r_f$	$10.4r_f$	36	127
8	$14r_f$	$12.1r_f$	42	169
9	$16r_f$	$13.9r_f$	48	217

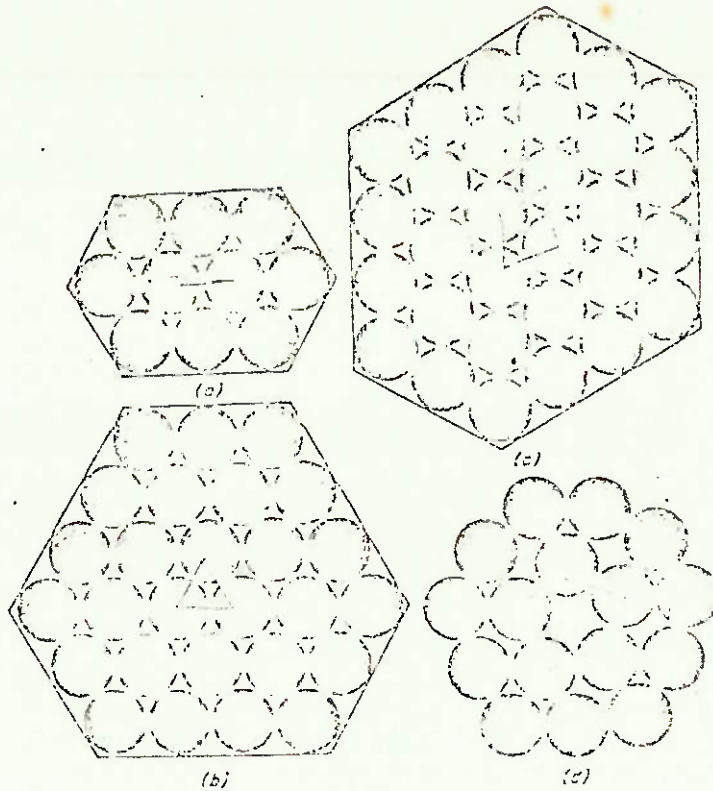
TAB. 5.5- Lei de deformação ideal do arranjo hexagonal fechado.

Pode, no entanto, ocorrer anomalias, como mostra a figura 5.15.



F. 5.15- Arranjo fechado de 169 filamentos mostrando a ocupação parcial da 8ª e 9ª camada.

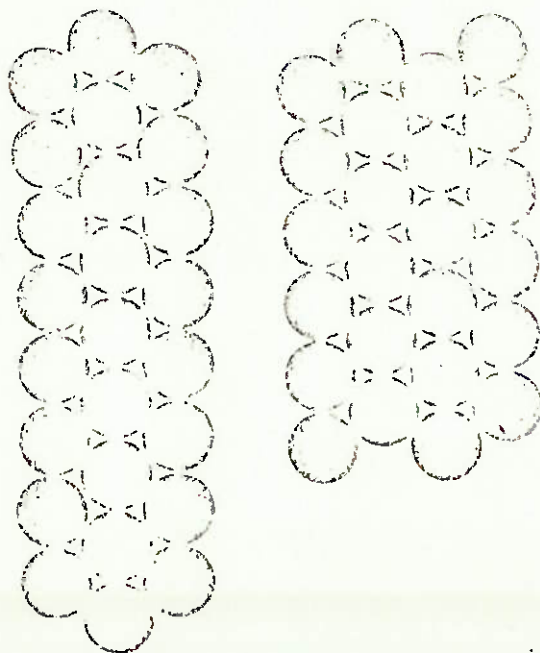
Também ocorre estruturas com mais de um filamento no centro, como aparece na figura 5.16, porém com os contornos hexagonais irregulares.



F. 5.16- Arranjos hexagonais fechados com diferentes números de filamentos no núcleo.

- a) núcleo de dois filamentos; b) núcleo de três filamentos;
 c) núcleo de quatro filamentos; d) núcleo de cinco filamentos

É possível acontecerem formas desse tipo, serem distorcidas como fitas, figura (5.17)



F. 5.17- Formas em fita derivadas de arranjo fechado com 25 filamentos.

5.9.3- Derivações das Formas Ideais

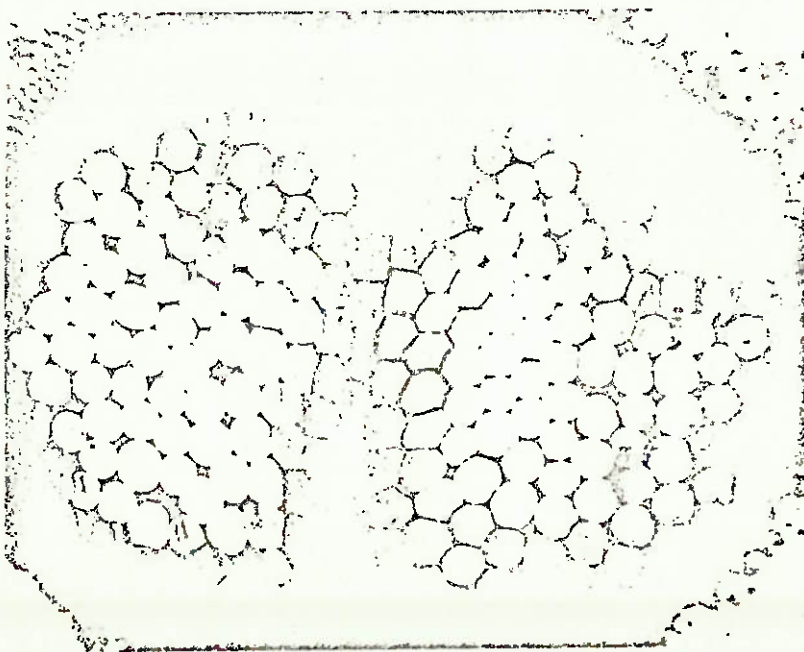
As duas formas idealizadas até aqui não ocorrem separadamente, elas se contrapõe devido aos fatores de concentração e de perturbação.

5.9.3.1- Fatores de Concentração

a) O primeiro fator de concentração está no fato dos filamentos tentarem seguir o mesmo caminho para a energia mínima.

Se o fio está sob tensão, tentará atingir o menor comprimento, dado por uma linha reta entre o início e o fim, mas se o fio está solto, tentará fazer uma curva, enquanto que um fio que está sujeito a um torque poderá flambar.

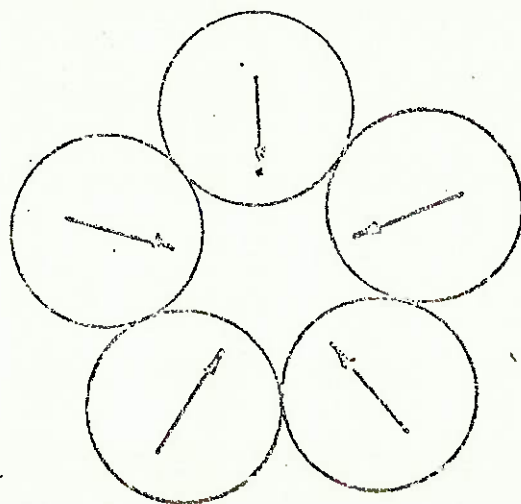
b) A torção causa uma grande tendência à concentração, qualquer tensão provoca uma pressão interna de uma camada sobre a de dentro. Se a torção e tração forem grande o bastante, podem causar distorção na forma do filamento. A figura 5.18 mostra a secção transversal de um nylon para fio pneu estirado à quente, no qual os filamentos centrais foram distorcidos para formas hexagonais, preenchendo todos os espaços entre eles. Um efeito similar ocorre durante a produção de fios estirados pelo método de falsa torção.



F. 5.18- Seção transversal de um fio-pneu de nylon estirado à quente, mostrando a distorção do arranjo ideal, devido à pressão.

5.9.3.2- fatores de perturbação

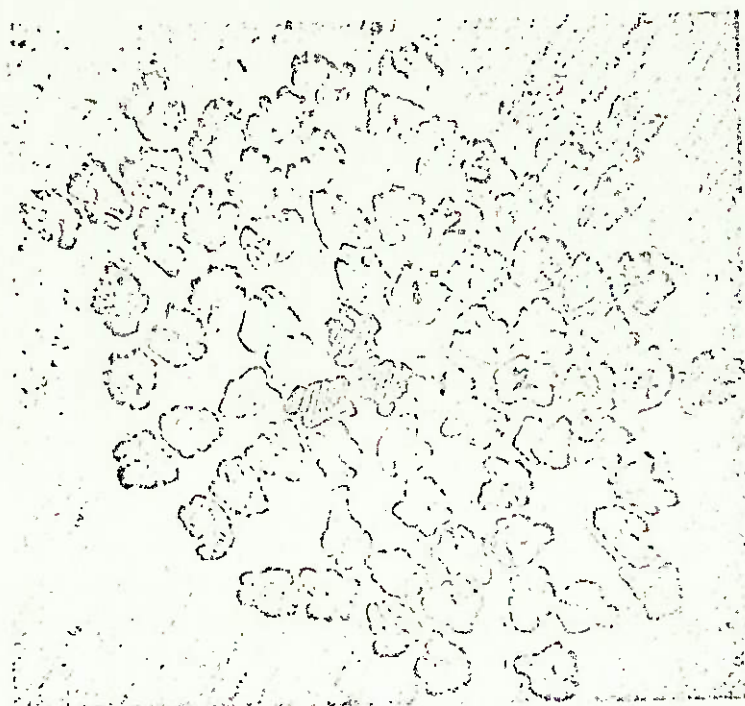
- a) O número de filamentos por camadas é diferente do estabelecido nas tabelas 5.4 e 5.5. Assim nem sempre ocorre contornos simétricos;
- b) Se a seção transversal do filamento não é circular, a forma simples do arranjo ideal será modificada;
- c) A torção causa mudanças profundas no arranjo dos filamentos. Devido à torção, os filamentos seguem um outro caminho helicoidal introduzindo helipticidade na seção transversal dos filamentos, modificando também o arranjo ideal dos filamentos na seção transversal do fio;
- d) Outra perturbação da torção é a variação no comprimento dos filamentos, nas diferentes posições radiais, que tendem a ser solucionadas por maior estiramento dos filamentos externos ou por flambagem dos filamentos centrais ou ainda pelo fenômeno da migração. Essas são as formas do fio manter um comprimento médio efetivo.
- e) Pode ocorrer irregularidades nos processamentos causando irregularidades no arranjo do fio.
- f) Irregularidades dentro da estrutura do fio podem ficar estáveis sob ação da pressão interna, como ilustrado na figura 5.19.
- g) O fio pode não ter seção circular pois ele pode ter sido alterado nos processamentos pelos quais passou. (Isso será discutido no capítulo 10).



F. 5.19- Estabilidade das irregularidades através de compressão interna.

5.9.4- Arranjo de Filamentos nos Fios Reais

A figura (5.20) mostra uma seção transversal de um fio de filamentos contínuos com baixa torção. Schwarz estabeleceu os 3 hachurados com núcleo e a partir daí considerou 4 camadas. Há mais algumas seções obtidas por Hearle and Bose (1960). É evidente a assimetria e a irregularidade das estruturas. Deixamos discussões mais detalhadas dessa parte para o capítulo 10.



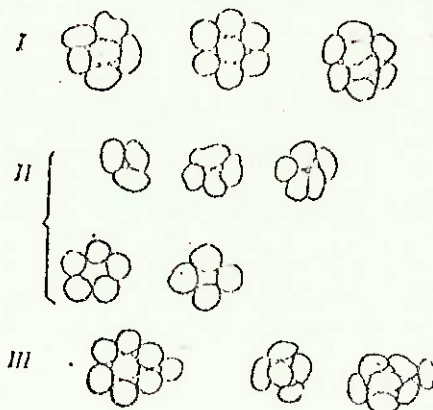
F. 5.20- Seção transversal de um fio, obtida por Schwarz, fio de rayon com filamentos contínuos, com núcleo e camadas externas.

Obs.: O autor russo V.A. Usenko considera três estruturas:

- a) estrutura com núcleo
- b) estrutura tubular
- c) estrutura espiral

Considera ainda, que a estrutura com núcleo e com um grande número de filamentos é a que mais ocorre, mas as investigações mostram que esses não permanecem "fixos".

Os filamentos periféricos percorrem um caminho helicoidal e têm um passo variável de voltas, ou seja, os filamentos de fora migram para dentro e os do centro para fora (fenômeno da migração).



.F. 5.21- Principais estruturas dos fios torcidos, segundo V.A. Usenko.

- I) estrutura com núcleo
- II) estrutura tubular
- III) estrutural espiral

5.10- Mudança Dimensionais Devido à Torção

As mudanças dimensionais que ocorrem no comprimento já foram consideradas no ítem contração.

Nos fios torcidos há altas tensões durante o torcimento, o que pode causar considerável "achatamento" do fio. Esse efeito merece atenção para se entender a geometria da estrutura do fio. A mudança de seção nos fios de tecido causa significativo efeito na estética e em algumas características físicas dos tecidos.

5.10.1- Diâmetro do Fio

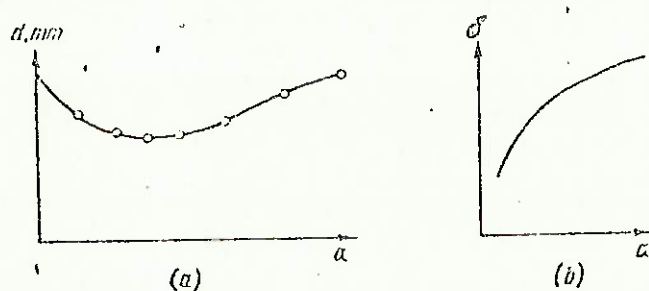
O diâmetro do fio diminui com o aumento da torção (ou do fator de torção) devido à compressão dos filamentos sob a ação das forças radiais geradas durante o processo de torcimento. Depois que um certo limite de torção é atingido, o diâmetro começa crescer devido à contração promovida com o estreitamento do fio, figura 5.22.a.

Com o aumento de torção, a densidade do fio se aproxima da densidade do filamento, pois existirá menos de 10% de ar contido entre os filamentos.

Obs.: Pelo diagrama apresentado e observações experimentais, notamos que no início da curva (pequenas torções), o diâmetro do fio diminui com a torção devido ao aparecimento das forças radiais que compactam os filamentos.

Depois de uma certa torção (valor obtido experimentalmente), o diâmetro do fio começa a aumentar com aumento da torção devido ao aumento de massa num mesmo comprimento de fio, pois ocorre contração.

Os efeitos de quantidades de ar dentro do fio, métodos de processamento e umidade, torna impossível realizar um tratamento teórico satisfatório sobre o efeito da torção no diâmetro do fio.

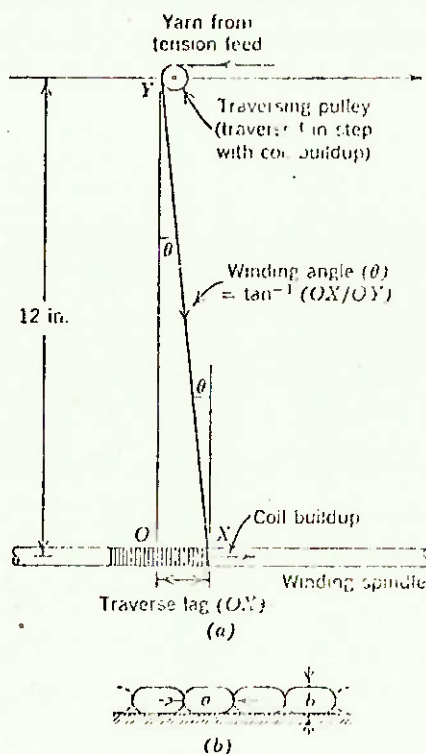


F. 5.22- Curvas mostrando a dependência de um fio de viscose (185 tex) com o fator de torção:

a) diâmetro

b) densidade volumétrica

O diâmetro do fio pode ser medido com razoável precisão, através do dispositivo de Hamilton, como na figura



F. 5.23- Método de Hamilton, para medir dimensões diametraís do fio

a) princípio do aparato

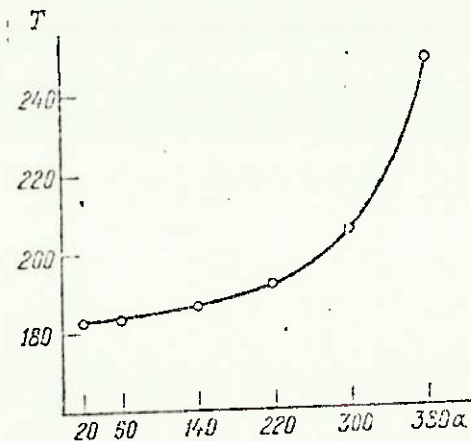
b) arranjo das bobinas sobre o fuso, sob as condições de enrolamento normal.

5.10.2- Densidade Volumétrica (Massa/m³)

A densidade volumétrica do fio torcido cresce com o aumento do fator de torção, como na figura 5.22.b.

5.10.3- Densidade Linear do Fio

Densidade linear do fio cresce junto com o fator de torção devido ao aumento da massa do fio no mesmo comprimento, além disso, um aumento na densidade simultaneamente com a redução do comprimento do fio devido à contração.



F. 5.24- Mudança da densidade linear de um fio de viscose com densidade linear inicial de 182 tex versus fator de torção.

A figura 5.24 mostra a curva da densidade linear do fio de viscose versus o fator de torção.

A densidade do fio depende: do tamanho do filamento; da densidade desses filamentos; da torção; de tensões criadas na manufatura. Apesar disso, seu valor é medido facilmente através dos métodos tradicionais.

5.10.4- Volume Específico

Fazendo um rearranjo nas equações (5.12) e (5.13) obtemos:

$$V_y = \pi R^2 / C * 10^5 \quad (5.40)$$

$$V_y = \frac{\text{tg}^2 \alpha}{4 \pi C T^2} * 10^5 \quad (5.41)$$

O volume específico do fio dependerá obviamente do volume ocupado pelos filamentos e pela quantidade de espaço entre eles: Por isso geralmente usa-se o chamado fator de pacote φ :

$$\therefore \varphi = \frac{V_f}{V_y} = \frac{\text{Volume ocupado pelos filamentos}}{\text{Volume do fio}} \quad (5.42)$$

Obs.: Em casos normais $0.4 < \varphi < 1.1$

Para medir o volume específico, é necessário antes medir a densidade e também o diâmetro do fio ou a sua torção e seu ângulo de torção. Porém existe dificuldades e erros em todas essas medições.

O volume específico também é afetado pelo comprimento dos filamentos; fineza das fibras; sistema de manufatura; condições de tensão e compressão nos diferentes processos.

Medições de valores de V_y são feitas pela eq. (5.41) tendo se o valor de C (densidade linear do fio), diâmetro do fio; torção no fio e ângulo de torção.

6- EFEITO DA TORÇÃO SOBRE AS PROPRIEDADES

6.1- Efeito da Torção sobre as Propriedades Físicas e de Tensão-Elongação

As dimensões geométricas, as propriedades tensão-elongação, a regularidade do fio, as componentes de deformação dos fios para sustentar tensões repetidas e muitas outras propriedades dependem muito da torção.

6.1.1- Torção em Relação à Flexão

O fio é geralmente curvado na forma helicoidal quando torcido para fazer estruturas trançadas e facilitar o processo de manufatura convertendo-se no interior numa estrutura trançada embaraçadamente.

As propriedades mecânicas da estrutura têxtil durante o processamento será grandemente afetada pelo tipo e quantidade de deformação que cada componente da estrutura de superfície teve.

O nível de deformação nos filamentos afetará a forma geométrica na qual os filamentos são arranjados no fio e consequentemente no tecido, logo esse conhecimento é essencial. Backer analisou a geometria idealizada de um fio curvado, partindo dos filamentos que ocorrem nas estruturas com altas torções, que são deformadas em flexão.

A análise revela que o nível de tensão do fio torna-se menor quando o raio de curvatura do fio (toróide) é aumentado relativamente ao raio do fio.

Por outro lado, o nível de tensão local cai quando o nível de torção no fio aumenta.

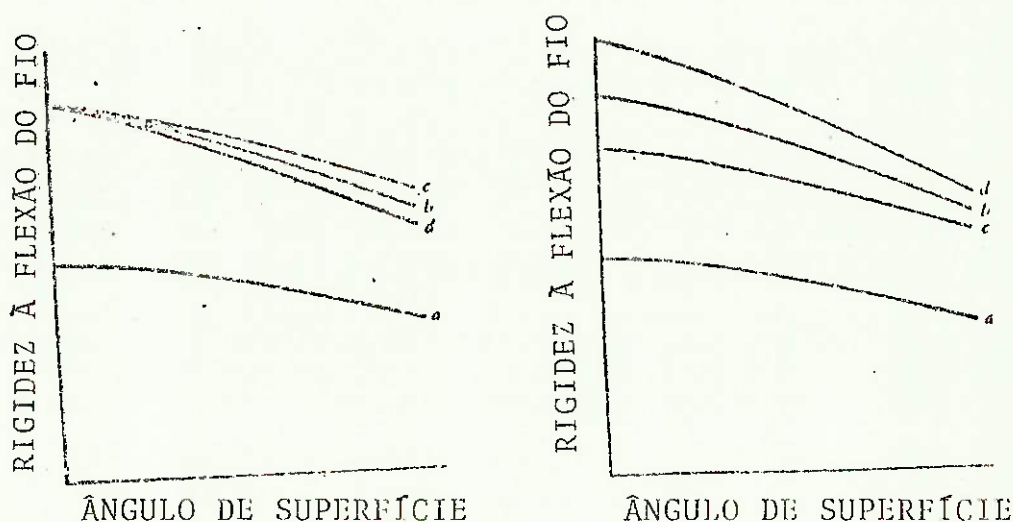
Observa-se que os filamentos do centro do fio não sofrem tensão.

Backer, assumindo que não existe atrito entre os filamentos conseguiu calcular o ângulo de hélice local.

Platt estudou a análise teórica do efeito das propriedades dos filamentos e da estrutura do fio sobre a rigidez do fio à flexão. Os parâmetros considerados foram dimensões das fibras, fineza, proporção das rigidezes à torção e à flexão, densidade, tamanho, torção, quantidade e tempo passado de tratamentos recebidos anteriormente.

Os dois casos extremos: total liberdade e impossibilidade de existência de movimentos relativos entre os filamentos foram analisados. Os resultados estão na figura abaixo(6.1) (efeito da torção sobre a rigidez à flexão).

Hunter verificou o mesmo resultado para fios worsted (lã penteada).



6.1- RIGIDEZ À FLEXÃO DO FIO VERSUS ÂNGULO DE SUPERFÍCIE

No gráfico I - Existe total liberdade para o movimento dos filamentos (com migração).

No gráfico II - Os filamentos não têm total liberdade de movimento (sem migração).

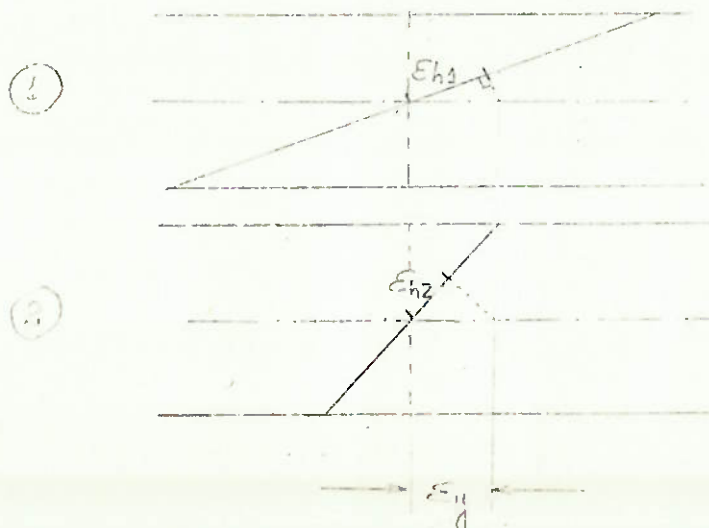
a- indica fio com seus filamentos próprios

b- indica que filamentos inflexíveis são uniformemente misturados ao fio

c- indica que filamentos inflexíveis são misturados no núcleo do fio

d- indica que filamentos inflexíveis são misturados na camada externa do fio.

Através da figura 6.1, notamos que a rigidez à flexão diminui com o aumento da torção, as figuras seguintes tentam explicar fisicamente o que acontece:



Analisemos dois fios ((1) e (2)) sendo que a torção no fio (1), T_1 será menor que a torção no fio (2) T_2 ;

$$T_1 < T_2 \implies$$

$$\alpha_1 < \alpha_2 \text{ logo}$$

(Ver figura) para um mesmo alongamento do fio $\epsilon_{y1} = \epsilon_{y2}$ temos que:

$$\epsilon_{h1} > \epsilon_{h2}$$

./.

Ou seja, o fio (1) reage mais à mesma deformação; portanto, o fio (1) é mais rígido à flexão:

$$R_1 > R_2$$

Portanto chegamos a conclusão: ao aumentarmos a torção diminuímos a rigidez à flexão, ou seja, aumentamos a flexibilidade do fio.

6.1.2- Efeito na Uniformidade

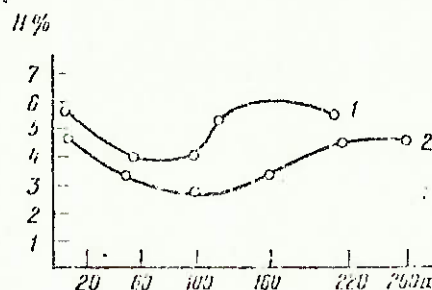
A resistência à tração do fio é um importante índice de qualidade do fio, porém não somente alta resistência é requerida; uniformidade de resistência também é uma das propriedades frequentemente exigida. Geralmente é preciso fazer-se gráficos de coeficientes de variação da resistência contra torção. Já existem esses trabalhos feitos para fios de algodão e lã, respectivamente, por Morton e Stanbury and Byerly.

6.1.3- Irregularidade do Fio Torcido

Com referência à irregularidade, decresce na maioria dos casos com o aumento da torção até um valor crítico, depois começa a crescer novamente. (Observar figura 6.2).

No início, a torção promove um fortalecimento dos pontos fracos, aumentando a tenacidade e diminuindo a irregularidade. Depois de um valor crítico, verifica-se um aumento na irregularidade do fio.

Isso é explicado pela sobre-torção e enfraquecimento dos pontos fracos.



F. 6.2- Irregularidade na resistência de um fio acetato versus torção:

- 1) 6.67 tex
- 2) 11.1 tex

6.1.4- Propriedades Elásticas

As propriedades elásticas aumentam com o aumento da torção e com o aumento simultâneo da deflexão total que é confirmado através dos dados experimentais.

A elongação do fio cresce até o valor crítico e depois decresce bruscamente.

6.1.5- Elongação na Quebra

Com o aumento da torção, a elongação na quebra do fio torcido aumenta. A máxima elongação na quebra corresponde ao fator de torção que é um pouco maior que a torção ótima.

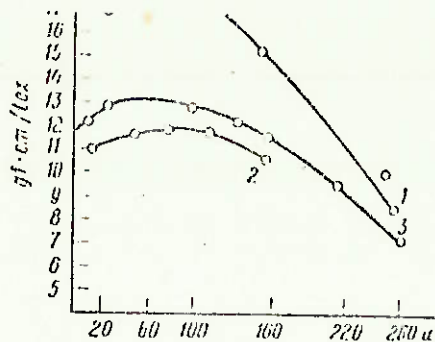
6.1.6- Tenacidade

A tenacidade aumenta com um aumento de torção, até um certo limite, chamado de torção crítica, daí a tenacidade começa a diminuir.

O aumento na tenacidade do fio com o aumento da torção é explicado pelas grandes forças de atrito que se manifestam entre os fios torcidos impedindo seu deslizamento.

Devido ao torcimento, a elongação das fibras torna-se igual e o resultado é o aumento do número de quebras simultâneas. A diminuição da tenacidade do fio depois da torção de atrito entre os filamentos serem geradas pela compressão dos filamentos durante o torcimento que reduz sua resistência. Além disso o aumento do ângulo de inclinação do fio sendo torcido em relação ao eixo do fio, acarreta uma perda adicional na resistência dos fios individuais.

Se os filamentos tivessem uma regularidade ideal na resistência, na grossura e na elongação, o fio não torcido apresentaria uma grande tenacidade e quando torcido, essa tenacidade seria mais baixa. Entretanto, os fios não torcidos são irregulares e a torção promove uma uniformidade de suas características, e assim aumenta sua tenacidade até o valor da torção-crítica.



F. 6.3- Resistência relativa do fio versus fator de torção:

- 1) 11.1 tex (viscose)
- 2) 5 tex (acetato)
- 3) 11.1 tex (acetato)

Como podemos ver pela figura 6.3 o valor da torção crítica depende da densidade linear do fio.

Obs.: Tenacidade é o valor da resistência (valor de uma força estável requerida para a quebra do fio) dividida pela densidade linear do fio, assim as unidades usuais são gf/tex ou gf/denier.

Essas e outras importantes definições estão melhor explicadas no Capítulo "PROPRIEDADES MECÂNICAS NOS FIOS", e no Capítulo "EFEITOS DA TORÇÃO SOBRE A RESISTÊNCIA", são dadas mais informações sobre tenacidade.

6.1.7- Resistência à Abrasão dos Fios

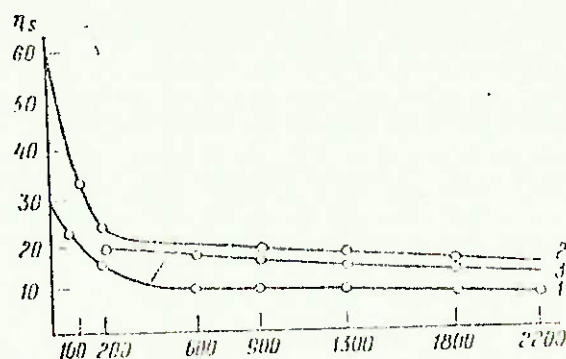
A resistência à abrasão dos fios, no início, aumenta com um aumento de torção, mas à alta torção aumenta lentamente. Com um aumento na densidade linear do fio e no número de filamentos, sua resistência à abrasão aumenta.

6.2- Efeito da Torção na Vida do Fio Torcido em Deformações Repetidas

6.2.1- Resistência do Fio para Dobras Repetidas (Resistance to Double Folding)

A resistência do fio para dobras repetidas decresce com o aumento da torção (fig. 6.4). Isso ocorre porque, na dobragem

(Folding) do fio à baixa torção, ocorre um notável nivelamento no ponto de dobragem e os filamentos ficam dispostos como se estivessem numa camada. Desse modo, o fio adquire uma estrutura livre e macia. Com uma torção alta, a rotação no fio sujeita os filamentos externos a um estiramento maior que os internos e a tensão dos filamentos externos aumenta, o que resulta numa tenacidade baixa e reduz a resistência dos filamentos para dobras repetidas.



F. 6.4- Resistência do fio para dobras repetidas versus torção:

- 1) acetato - 11.1 tex/25 filamentos
- 2) acetato - 11.1 tex/33 filamentos
- 3) viscosa - 11.1 tex/25 filamentos

6.2.2- Resistência do Fio para Trações Repetidas (Reiterated Tension Stresses)

A resistência do fio para tensões repetidas aumenta com a alta torção e diminui somente quando uma torção muito alta é atingida. A melhora da duração do fio sob trações repetidas à alta torção é muito importante para vários artigos. Por exemplo: um fio para cordas é feito com torção maior que a do valor crítico. A resistência absoluta na quebra do fio para cordas é mais baixa que a resistência total dos filamentos torcidos. Entretanto, esse fio possui uma alta resistência para tensões repetidas, o que aumenta consideravelmente a vida dos pneus.

Obs.: Quanto à deformação do filamento no fio, o autor V.A. Usenko, apenas menciona a complexidade e apresenta algumas fórmulas, não apresentando dados concretos e confiáveis.

7- ESTRUTURA MECÂNICA DO FIO TORCIDO7.1- Introdução

Muitos trabalhos teóricos da estrutura mecânica do fio torcido pertencem aos fios contínuos, pois tais fios são fáceis de manipular para formar estruturas de fio torcido, para um estudo teórico e experimental.

Um resumo das publicações sobre o tratamento teórico realizado por diversos pesquisadores é dado na tabela abaixo.

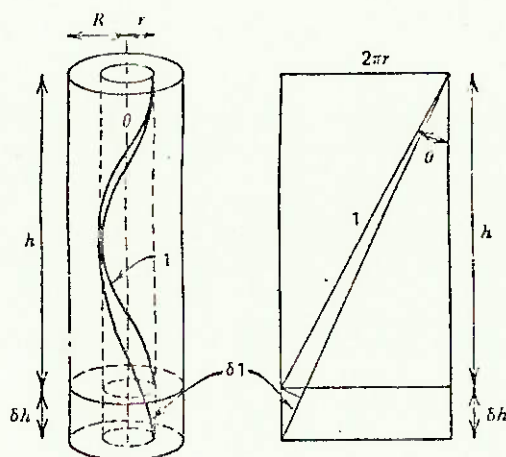
Name and Reference	Nature of Theoretical Treatment
Gegauff (6)	Theory of spun yarns, but includes basic equations of simplest treatment of filament yarns
Platt (7, 8)	Tensile forces only; includes effects of lateral contraction, large extensions, and deviations from Hooke's law
Hearle (9)	Tensile and transverse forces; Small strains, Hooke's law, no lateral contraction
Hearle, El-Behery, and Thakur (12)	(i) Tensile and transverse forces, small strains Hooke's law, with lateral contraction; (ii) Tensile forces only: large strains, lateral contraction, deviations from Hooke's law
Treloar and Hearle (13)	Corrects an error in previous two papers
Treloar (14)	Continuum rubber filament model
Wilson and Treloar (15)	Two-filament rubber model
Wilson (16)	7 and 19 filament rubber models
Treloar and Riding (17)	Energy method—includes effects of transverse forces, constant volume deformation, large strains, deviations from Hooke's law
Symes (18)	Cord properties, with approximations
Kilby (19)	Develops theory to consider effect of equalization or nonequalization of tension in migrating filaments; and effect of bending strains
Treloar (20)	Applies energy method to yarn with migrating filaments
Treloar (21)	Applies energy method to multiply cords
Wilson (22)	Model yarns with five filaments in regular pattern around a core filament
Hearle (84)	Reexamines the energy method and simplifies the treatment of the theory. Suggests four general equations to predict the mechanical properties.
Konopasek and Hearle (85)	Analysis of the mechanics of bending curves
Cheng, White, and Duckett (86)	Apply continuum mechanics and tension matrix analysis

TAB. 7.1- Publicações sobre o tratamento teórico realizado por diversos pesquisadores

7.2- Análise da Tensão do Fio Contínuo

7.2.1- Variação do Elongamento dos Filamentos

Hearle assumiu que o fio tinha uma geometria ideal, conforme a fig. 7.1.



F. 7.1- Geometria do fio sujeito a alongação

Os filamentos da secção transversal do fio têm propriedades uniformes, e cada filamento mantém um passo fixo de hélice dentro do fio, sem nenhuma mudança radial. Além disso, não há mudança no diâmetro do fio durante a alongação.

Da consideração da geometria do fio e da relação entre a deformação aplicada no fio e da deformação axial do filamento, Hearle relata a relação solucionada por Platt:

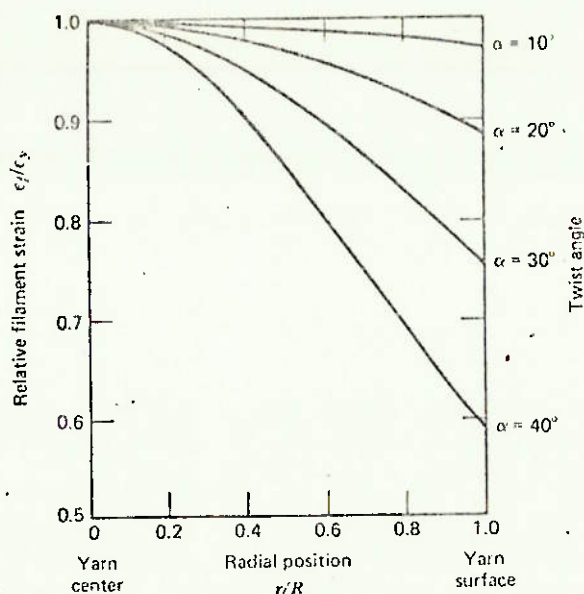
$$\boxed{\epsilon_f = \epsilon_y \cdot \cos^2 \theta} \quad (7.1)$$

onde ϵ_f = alongação do filamento

ϵ_y = alongação do fio

θ = ângulo da hélice

Essa relação é mostrada na figura 7.2, onde a razão ϵ_f/ϵ_y é plotada contra a posição radial do filamento no fio (r/R). A alongação do filamento decresce do centro para a superfície do fio.



F. 7.2- Variação da deformação do filamento através do fio

7.2.2- Análise das Forças de Tração

Considerando a força atuando ao longo do eixo do filamento, a expressão derivada por Hearle para a tensão no fio se torna

$$\text{Tensão total no fio} = (\pi R^2 E_f \epsilon_y / V_y) \cos^2 \alpha \quad (7.2)$$

onde:

R = raio do fio

E_f = módulo do filamento

ϵ_y = alongação do fio

V_y = volume específico do fio

α = ângulo de torção da superfície

Essa expressão pode ser usada para calcular a tensão específica e o módulo do fio.

$$\text{Tensão específica do fio} = E_f \cdot \epsilon_y \cdot \cos^2 \alpha \quad (7.3)$$

$$E_y = E_f \cdot \cos^2 \alpha \quad (7.4)$$

Essa expressão prevê que o módulo do fio irá decrescer com um aumento do valor α (ângulo de torção). Essa simples relação tem mostrado de acordo com os resultados experimentais.

7.2.3- Análise com Forças Transversais e Contração Lateral

O tratamento citado anteriormente ignora um aspecto muito importante: o papel da força lateral sobre as características carga-elongação dos fios. As forças laterais são muito importantes na influência da transferência da carga de fibra para fibra durante a elongação do fio. Um outro importante parâmetro é o efeito da redução do diâmetro do fio por causa da contração. Hearle realizou as análises de previsão da tração no fio, levando em conta as forças transversais e a contração lateral.

Seu procedimento foi de estabelecer primeiro uma relação entre a deformação do filamento e a deformação do fio, levando em conta a razão de contração σ_y (razão de Poisson).

$$\text{Deformação do filamento} = \epsilon_f = \epsilon_y \cdot (\cos^2 \theta - \sigma_y \sin^2 \theta) \quad (7.5)$$

onde:

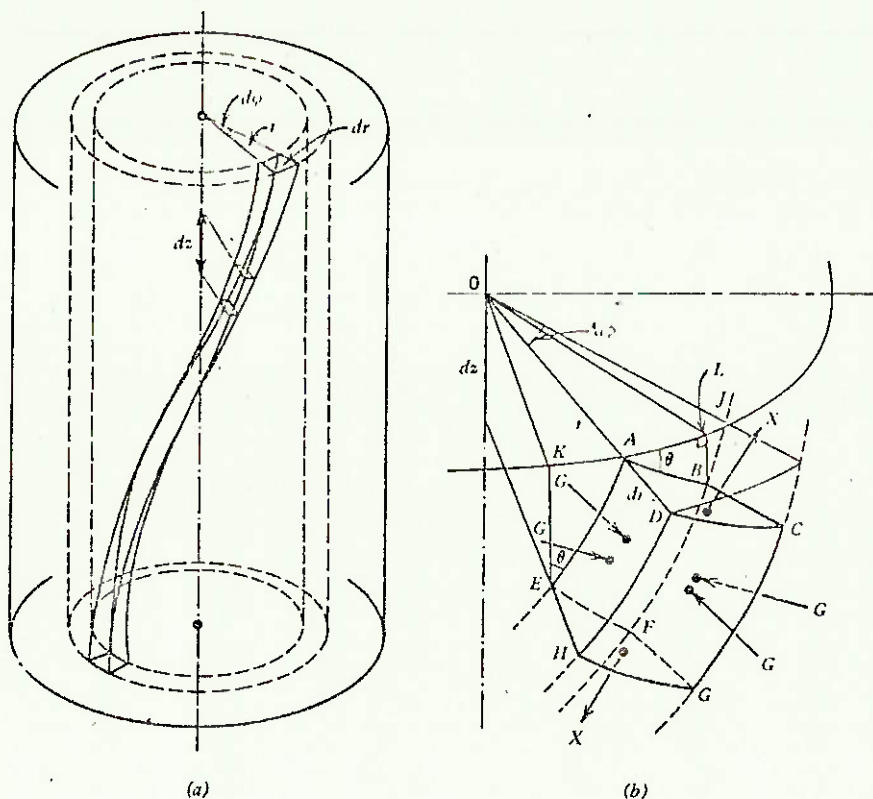
$$\sigma_y = \frac{\text{tensão de contração radial do fio}}{\text{tensão axial do fio}}$$

Assumindo que a elongação do filamento segue a lei de Hook (fibra linearmente elástica), com base na teoria da elasticidade:

$$\text{Deformação do filamento} = \epsilon_f = \frac{X}{E_f} - \frac{2 \cdot \sigma_1}{E_f} \quad (-G) \quad (7.6)$$

onde: $\left\{ \begin{array}{l} X = \text{tensão de tração no filamento} \\ E_f = \text{módulo do filamento} \\ G = \text{tensão transversal de compressão do filamento} \\ \sigma_1 = \text{razão de Poisson axial (transverse strain/axial strain) para uma tração.} \end{array} \right.$

A convenção de sinal adotada é: tomar X positivo quando tração e G como positivo quando compressão. O sinal negativo para X, significa flambagem de filamento e o valor negativo para G, significa separação dos filamentos.



F. 7.3- (a) Modelo de fio torcido mostrando os elementos definidos por dr , $d\phi$, dz
 (b) Vista aumentada do elemento

Combinando as equações (7.5) e (7.6) podemos obter a expressão para a tensão de tração no filamento X.

$$X = E_f \cdot \epsilon_y (\cos^2 \theta - \nu_y \sin^2 \theta) - 2 \nu_1 G \quad (7.7)$$

Hearle normalizou a tensão de tração no filamento X e a tensão de compressão na fibra G dividindo cada um pelo fator $X_f = E_f \cdot \epsilon_y$, obtendo:

$$\begin{aligned} x &= X/X_f \\ g &= G/X_f \end{aligned}$$

Em seguida, fez-se um equilíbrio de forças agindo num elemento do fio. Derivando e solucionando a equação diferencial obtida, assumindo que as fibras e o fio deformam com volume constante (nesse caso $\nu_1 = 0,5$) teremos:

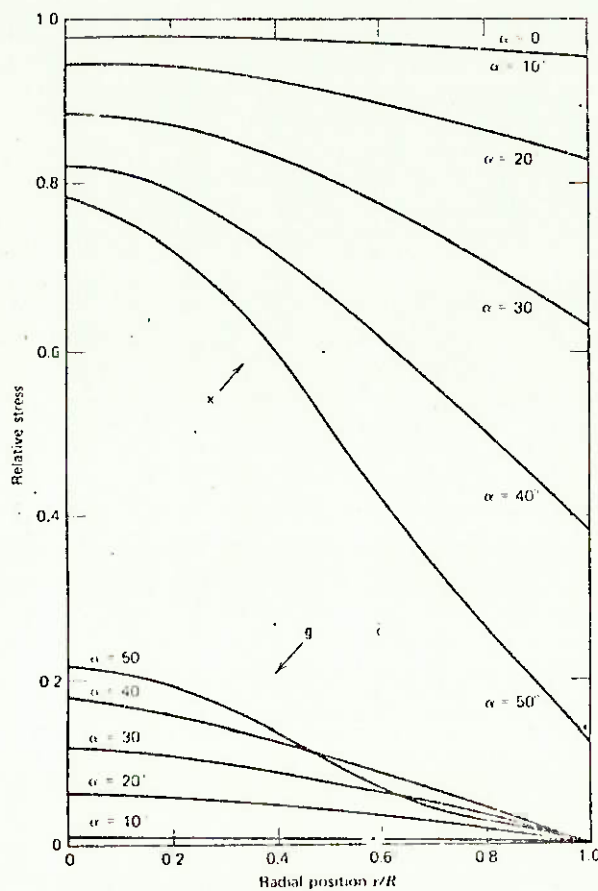
$$x = \frac{3}{4} \cos^2 \left[1 + \left(\frac{\ell}{L} \right)^2 \right] - \frac{1}{2} \left[1 + \ln \left(\frac{\ell}{L} \right) \right] \quad (7.8)$$

$$g = \frac{3}{4} \cos^2 \left[1 - \left(\frac{\ell}{L} \right)^2 \right] + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\ell}{L} \right) \quad (7.9)$$

onde: ℓ = comprimento do filamento no raio r

L = comprimento do filamento na superfície do fio (raio R)

Essas relações (7.8) e (7.9) são plotadas na Fig. 7.4 para vários valores do ângulo de torção.



F. 7.4- Variação da tensão de tração com a posição radial do fio

Hearle, posteriormente, derivou uma expressão para fios de tensão normalizada sujeitos a pequenas deformações axiais. Esse útil parâmetro conduz a previsão do módulo do fio.

$$F_y(\alpha, \sigma_1, \sigma_y) = \frac{E_y}{E_f} = \frac{\text{yarn specific stress at } \epsilon_y}{\text{fiber specific stress at } \epsilon_y}$$

onde $F_y(\alpha, \sigma_1, \sigma_y)$... tensão média normalizada do fio.

A tabela 6.2 mostra os valores dos parâmetros do fio para vários valores de $\alpha, \sigma_1, \sigma_y$ ($\sigma_y = 0$ sem contração e $\sigma_y = 0,5$ volume do fio constante)

α	$\cos^2 \alpha$	σ_1	G_c/X_f	X_c/X_f	$F_y(\alpha, \sigma_1, \sigma_y)$ with $\sigma_y = 0$	$F_y(\alpha, \sigma_1, \sigma_y)$ with $\sigma_y = 0.5$
		any value	0	1	1	1
0°	1					
10°	0.970	-0.25	0.0153	1.0076	0.973	0.966
		0	0.0152	1	0.970	0.962
		0.25	0.0151	0.9924	0.966	0.959
		0.5	0.0151	0.9849	0.962	0.955
20°	0.883	-0.25	0.0612	1.0306	0.896	0.867
		0	0.0603	1	0.882	0.854
		0.25	0.0594	0.9703	0.868	0.841
		0.5	0.0585	0.9415	0.855	0.828
30°	0.750	-0.25	0.139	1.0694	0.772	0.713
		0	0.134	1	0.745	0.689
		0.25	0.129	0.9353	0.718	0.665
		0.5	0.125	0.8750	0.693	0.643
40°	0.587	-0.25	0.250	1.1248	0.612	0.522
		0	0.234	1	0.572	0.491
		0.25	0.220	0.8902	0.535	0.462
		0.5	0.207	0.7934	0.502	0.435
50°	0.413	-0.25	0.397	1.1983	0.430	0.321
		0	0.357	1	0.384	0.293
		0.25	0.323	0.8384	0.343	0.268
		0.5	0.293	0.7066	0.309	0.246

TAB. 7.2- Valores dos parâmetros

7.2.4- Análise para Largas Deformações

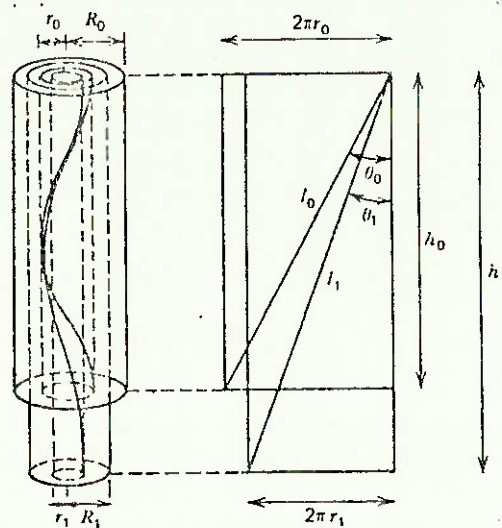
7.2.4.1- Efeito dos Grandes Elongamentos

A análise discutida na seção anterior aplica-se no caso de deformações pequenas nos filamentos e no fio. Entretanto, se considerarmos a ruptura dos fios em aplicações industriais, as rupturas encontradas nos filamentos são da ordem de 15-30%. É portanto desejável uma análise que leva em conta a tensão do fio à quebra. Hearle realizou uma rigorosa análise e derivou a

seguinte expressão para a deformação do filamento, obtida da geometria do fio e da larga deformação do fio, a partir da figura 7.5.

$$\epsilon_f = \epsilon_y (\cos^2 \theta_1 - \bar{\sigma}_y \sin^2 \theta_1) - 3/2 \epsilon_y^2 (1 + \bar{\sigma}_y)^2 \sin^2 \theta_1 \cdot \cos^2 \theta_1 \quad (7.10)$$

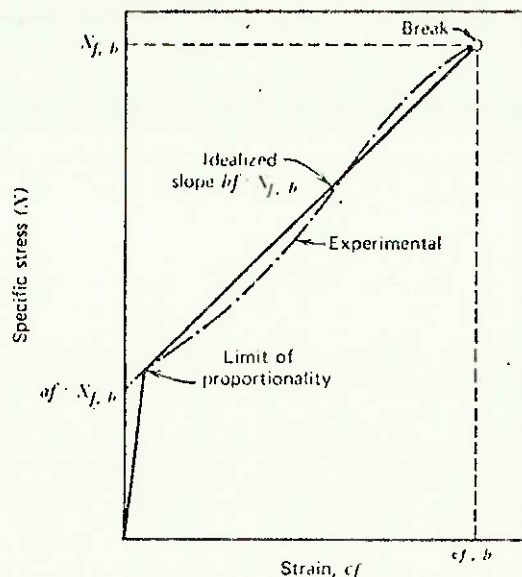
Podemos exemplificar que para uma alongação de 10%, podemos fazer uso da equação simplificada que é a eq (7.1). Para essa equação apresentada acima, a alongação pode ser de até 30%. A diferença em se usar $\bar{\sigma}_y = 0,5$ e a equação correta para volume constante é pequena, exceto para grandes alongamentos e valores altos de torção.



F. 7.5- Geometria do fio sujeito a largas deformações

7.2.4.2- Comportamento do Filamento às Grandes Extensões

Para muitos tipos de fios, depois do limite de proporcionalidade, é razoável assumir que a curva tensão-deformação é linear até o ponto de ruptura.



F. 7.6- Curva idealizada tensão-deformação comparada com uma curva típica de viscose rayon

Hearle, então, derivou a seguinte expressão, desprezando a força transversal, mas levando em consideração a contração lateral e normalizando a região não-Hookiana da curva tensão-deformação, obtendo para larga elongação:

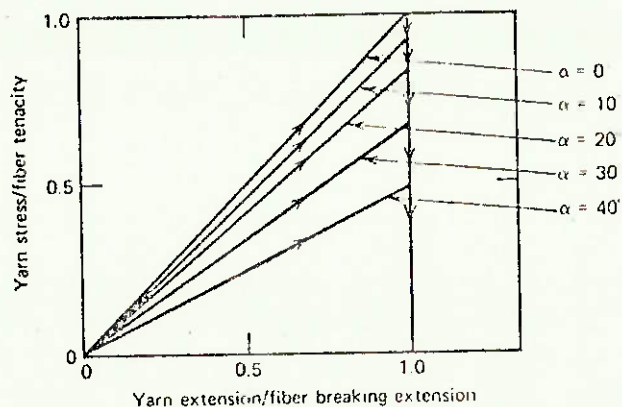
$$\frac{\text{Tensão específica no filamento}}{\text{Tenacidade do filamento}} = \frac{X}{X_{f,b}} \cdot af + bf \cdot \epsilon_{f,b} \dots \quad (7.11)$$

onde $X_{f,b}$ = tenacidade do filamento na ruptura da fibra
 af e bf = coeficientes.

7.2.4.3- Análise da Tensão às Grandes Extensões

A equação obtida anteriormente (7.11) é combinada com (7.1) e (7.2) para obter uma expressão para a previsão da curva tensão-deformação de um fio contínuo torcido ideal perto do ponto de quebra.

Essas expressões aplicam-se ao comportamento da tensão-deformação do fio até a ruptura do primeiro filamento, o qual está no centro do fio e altamente forçado (sob tensão) com elongação igual a elongação do fio ($\epsilon_{fb} = \epsilon_y$). Isso pode ser seqüência a uma ruptura catastrófica em todo o fio e se as regiões rompidas do fio não contribuírem para a tensão, a curva tensão-deformação irá cair linearmente como a mostrada na fig. 7.7.



F. 7.7- Comportamento esperado de fios com ruptura catastrófica

Deve ser mencionado que essa análise não considera o efeito da pressão devido as forças transversais.

Esse fator é introduzido por Treloar and Riding na análise mecânica da elongação do fio torcido pelo Método da Energia. Esse método envolve o cálculo da energia de deformação, o qual é obtido da equação do trabalho realizado pelas forças externas na elongação do fio e da energia elástica armazenada nos filamentos deformados.

Hearle mostrou uma possível solução das relações do Método da energia, em uma forma mais simples e breve que a relatada por Treloar e Riding.

A relação seguinte descreve a previsão de uma tensão no fio de um fio contínuo torcido ideal pelo método da energia:

$$\text{tensão específica} = f_y = 2 \int_0^1 f f (\partial C_f / \partial \epsilon_L) x dx$$

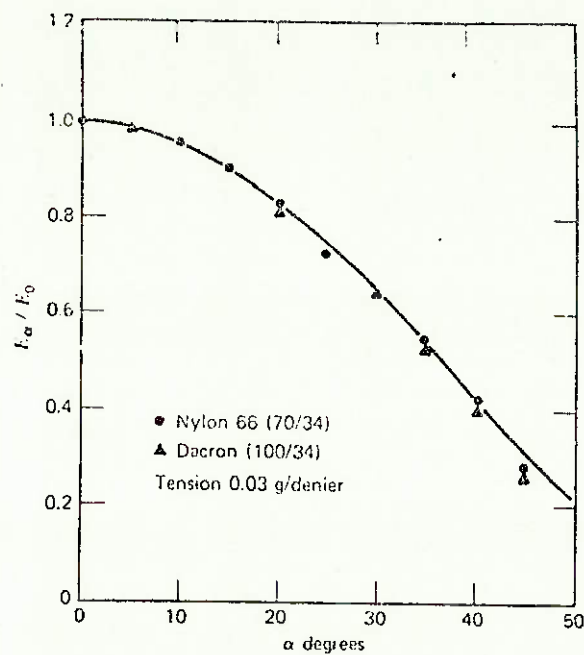
$$\epsilon_f = \left[(1 + \epsilon_L)^2 \cos^2 \theta_0 + (1 - \nu_y \epsilon_L)^2 \sin^2 \theta_0 \right]^{1/2} - 1 \quad (7.12)$$

$$\tan \theta_0 = x \cdot \tan \alpha_0$$

$$\tan \alpha_0 = 2\pi R_0 T_0 = 2\pi N_0^{1/2} \cdot C_0^{1/2} T_0$$

onde: C_0 = densidade linear inicial
 T_0 = torção no fio
 V_0 = volume específico do fio
 σ_y = razão de Poisson
 f = função (ϵ_f)
 x = r_0/R_0
 r_0 = posição radial
 R_0 = raio do fio
 θ_0 = ângulo de hélice
 α_0 = ângulo de torção da superfície

A validade da equação(7.12) em prever a relação tensão-deformação dos fios contínuos torcidos estão na fig. 7.8. .



F. 7.8- Pontos são experimentais
 Linha é teórica

7.2.5- Análise da Mecânica do Fio pelo Método da Energia

7.2.5.1- Hipóteses

Treloar e Riding (1963) estudaram a mecânica do fio pelo Método de Energia de Deformação, relacionando a Energia Elástica armazenada nos filamentos deformados com o trabalho realizado para estender o fio. A análise pelo método da energia é mais simples, já que Energia é uma quantidade escalar. Porém, obtemos somente o valor de Tensão total do fio e não a distribuição das tensões no fio.

Foi considerado as forças transversais, e os resultados obtidos foram satisfatórios. As hipóteses realizadas por Treloar e Riding em sua análise foram:

1. O fio não esticado tem uma geometria idealizada de hélices coaxiais, com densidade uniforme;
2. Os filamentos deformam sem mudar seu volume (incompressíveis sob pressão hidrostática). O estado alongado de cada filamento consiste de uma extensão axial, combinada com igual contração lateral em todas as direções perpendiculares;
3. O fio deforma-se sem mudança de volume;
4. As propriedades tensão-elongação dos filamentos são assumidas iguais as dos filamentos isolados ou a zero-torção do fio;
5. Os filamentos são perfeitamente elásticos, de modo que todo trabalho feito se converte em energia elástica armazenada.

7.2.5.2- Análise Geral

Resumiremos a análise desenvolvida por Hearle.

Nessa análise, a relação entre tensão específica X e o alongamento dos filamentos ϵ_f pode ser dada por uma função geral:

$$X = \varphi(\epsilon_f) \quad (7.13)$$

O trabalho W_f feito para um alongamento f , nos fornece a energia armazenada por unidade de massa do filamento e é dado por:

$$W_f = \int_0^{\epsilon_f} \varphi(\epsilon_f) d\epsilon_f \quad (7.14)$$

A energia total elástica armazenada W_y por unidade de comprimento do fio é:

$$W_y = 2\pi / V_y \int_0^{R_0} \left[\int_0^{\epsilon_f} \varphi(\epsilon_f) d\epsilon_f \right] r_0 dr_0 \quad (7.15)$$

onde $\left\{ \begin{array}{l} V_y \dots \text{volume específico do fio} \\ R_0 \dots \text{raio do fio não alongado} \end{array} \right.$

Se somente uma força F é responsável pelo trabalho realizado, e se ela estiver agindo ao longo do eixo do fio, teremos, considerando que o trabalho realizado deve ser igual ao aumento de energia elástica armazenada, que:

$$F = \left(\frac{2\pi}{V_y} \right) \int_0^{R_0} \varphi(\epsilon_f) \cdot \frac{\partial \epsilon_f}{\partial \epsilon_y} r_0 dr_0 \quad (7.16)$$

Donde obteremos a tensão específica do fio Y

$$Y = F \cdot \left(\frac{V_y}{R_0^2 \pi} \right) = \frac{2}{R_0^2} \int_0^{R_0} (\epsilon_f) \frac{\partial \epsilon_f}{\partial \epsilon_y} r_0 dr_0 \quad (7.17)$$

onde: $\left\{ \begin{array}{l} R_0 \dots \text{raio do fio não alongado} \\ f \dots \text{alongamento do filamento} \\ y \dots \text{alongamento do fio} \end{array} \right.$

Para avaliar a equação (7.17) devemos saber:

1. A forma da função $\varphi(\epsilon_f)$
2. A maneira pela qual ϵ_f varia com ϵ_y e com a posição radial do fio r_0 .

Para avaliar ϕ (ϵ_f) é melhor adotar uma integração numérica pelo computador, utilizando dados reais, relacionando tensões com alongamentos dos filamentos (ϵ_f).

Hearle desenvolveu a expressão necessária que fornece a variação ϵ_f com ϵ_y e r_0 , para grandes alongamentos.

$$1 + \epsilon_f = (1 + \epsilon_y) \left[\frac{1 + (1 + \epsilon_y)^{-3} 4\pi^2 r_0^2 T^2}{1 + 4\pi^2 r_0^2 T^2} \right]^{1/2} \quad (7.18)$$

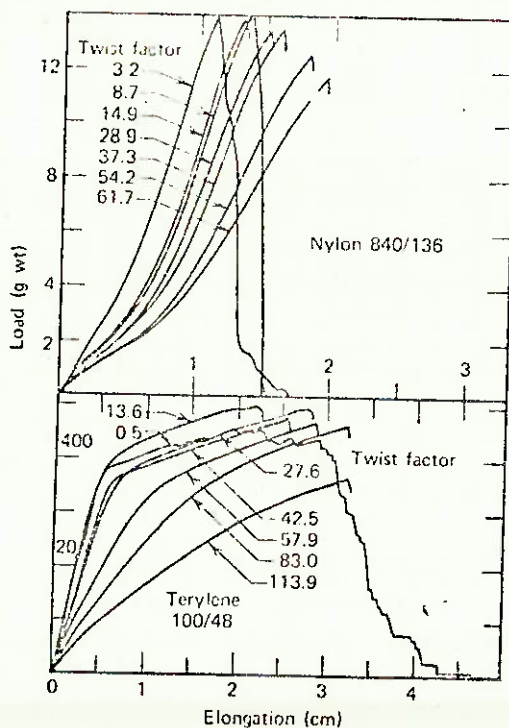
Onde: T... número de torções por metro de fio não alongado

7.2.6- Observação Real do Comportamento da Tensão dos Fios Contínuos

Antes de discutirmos o comportamento da carga-elongação dos fios contínuos torcidos, devemos salientar que as suas características de tensão são influenciadas pelo método de torção, pois afeta as propriedades dos filamentos individuais.

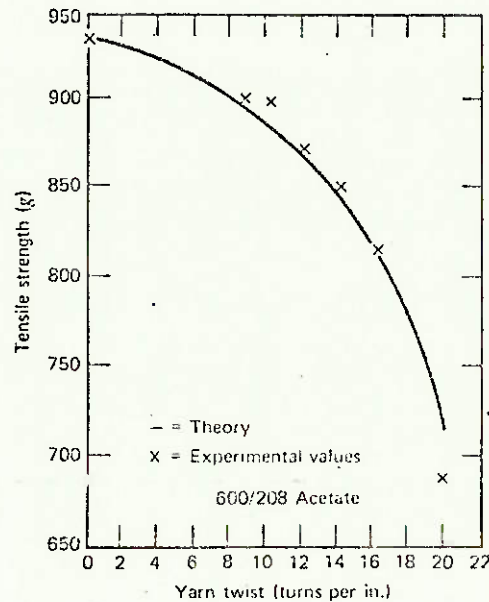
As curvas individuais carga-elongação mostra alguma variação conforme a fig. 7.9 .

Por simples comparação, é comum obter valores médios dos parâmetros de tensão (módulo, tenacidade, alongação na quebra, trabalho de ruptura, etc.) e desenhar uma curva média.



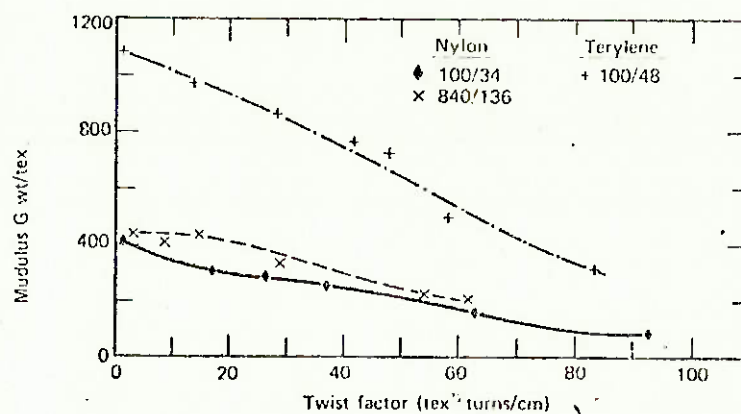
F.7.9- Algumas curvas carga-elongação de fios contínuos

Uma concordância experimental e teórica tem sido demonstrada por Platt. Na fig. 7.10 temos a expressão teórica calculada por Platt (a variação da tração com $(\cos^2 \alpha)$) e os valores do fio contínuo de ACETATO em função do grau de torção.



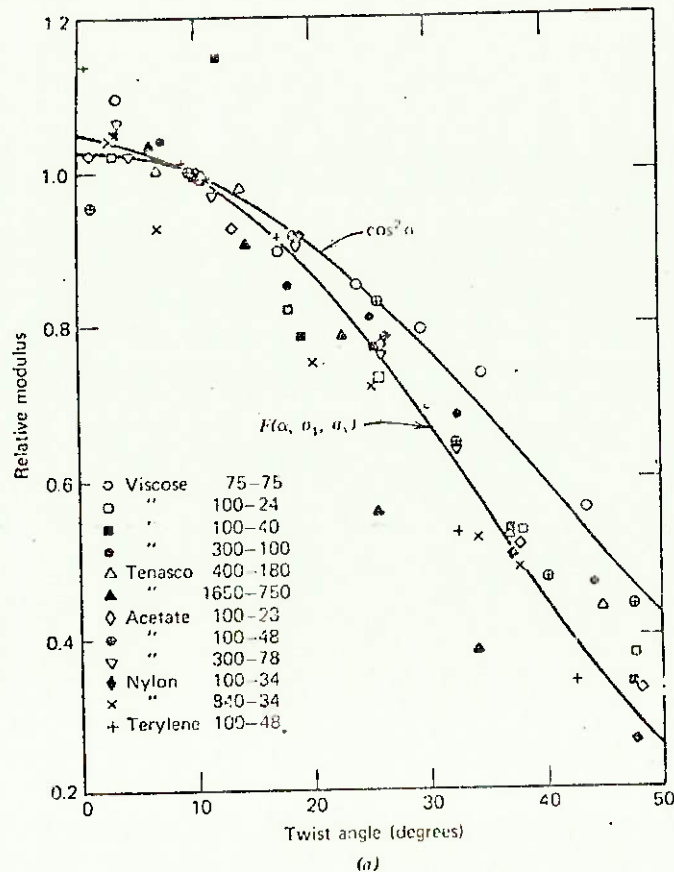
F. 7.10- Tenacidade versus Torção

Hearle relata os resultados experimentais da variação do Módulo com o fator de torção para os fios de nylon 66 e poliéster, ocorrendo um decréscimo do módulo com a torção.



F. 7.11- Variação do módulo com a torção

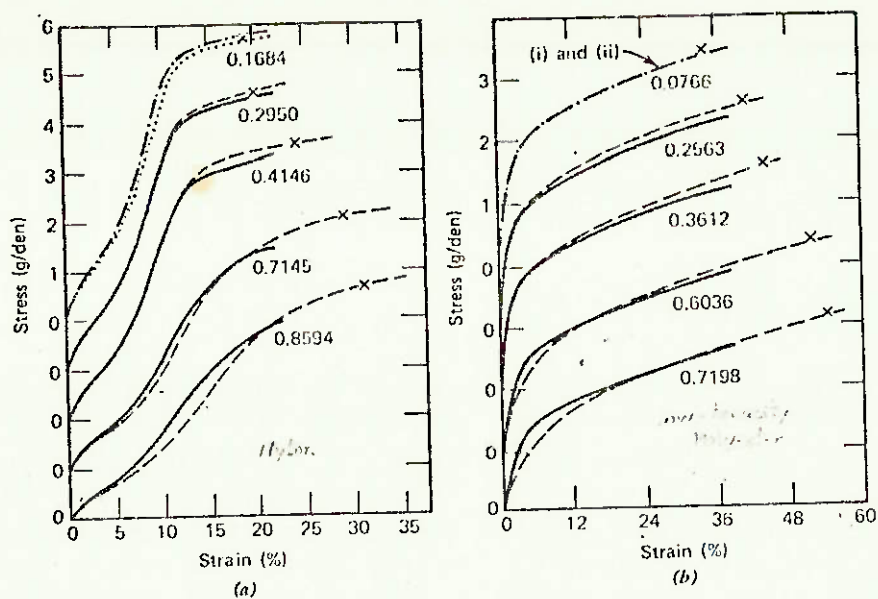
Hearle também plotou os valores relativos de módulo (E_y/E_f) com o ângulo de torção Fig. 7.12.



F. 7.12- Comparação de valores experimentais de módulo com as relações teóricas

As curvas carga-elongação para fios altamente torcidos não demonstram boa concordância com as previsões feitas pelas expressões teóricas. Entretanto as curvas carga-elongação, em geral, concordam com as previsões feitas pelo método da Energia desenvolvido por Treloar e Riding.

Os resultados experimentais de Riding e Wilson comparados com os obtidos teoricamente estão na Fig. 7.13. Esses métodos requerem conhecimento de fatores geométricos (torção no fio e raio do fio). Podemos ver que os desvios das previsões teóricas em baixa deformação e alta torção, podem ser atribuídos ao encrespamento.



F. 7.13- Comparação das curvas tensão-deformação teórica e experimental
 Linhas pontilhadas são curvas experimentais
 Linhas contínuas são curvas teóricas
 (x) Ponto de ruptura
 Números sobre as curvas são valores de Tan (%)
 (a) Nylon
 (b) Poliéster baixa tenacidade

7.3- Ruptura do Fio Contínuo Torcido

7.3.1- Natureza da Ruptura

A ruptura de toda estrutura de fio torcido é complexa e, portanto, muito difícil de se tratar analiticamente, pois:

- Há migrações de filamentos afetadas pelas condições de torção.
- Há uma uniformização local das elongações durante a torção.
- Há uma recuperação local e uma flambagem dos filamentos.

Todos esses fatores irão contribuir para a variação do comportamento do filamento individual numa dada estrutura de fio. Platt e Hearle demonstraram que há uma razoável concordância entre o comportamento do modelo simples de tensão do fio e a tensão real. Entretanto, seria interessante ver se essas teorias poderiam explicar a real ruptura, isto é, as limitações e outros aspectos comportamentais em uma estrutura de fio torcido.

Platt sugere que, desde que deformação da fibra no eixo do fio seja igual a deformação axial do fio, a ruptura irá primeiro ter lugar no centro do filamento seguido de uma ruptura

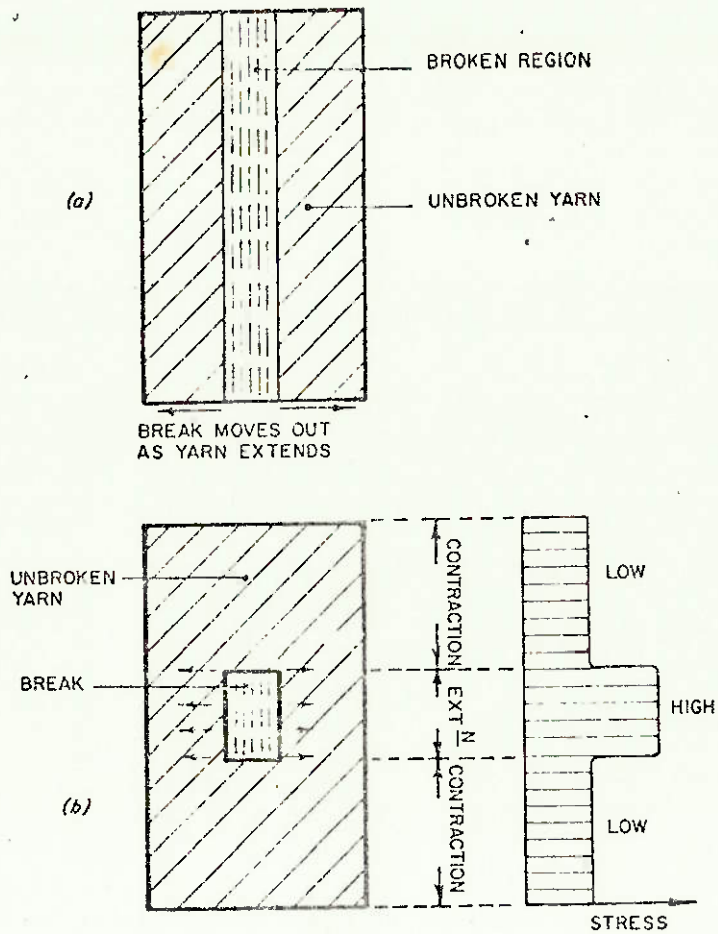
sucessiva dos filamentos remanescentes, terminando em uma brusca queda. Esse tipo de fenômeno, no qual a falha ocorre por causa da propagação instantânea da ruptura tem sido observado, mas não se aplica em todos os casos de quebra nos fios, pois a propagação da falha irá depender de fatores como a torção, propriedades superficiais da fibra, razão de mistura do fio, etc...

Hearle sugere a ocorrência de dois diferentes mecanismos de ruptura:

- a) A ruptura em fios com baixa torção ocorre em etapas com cada filamento individual comportando-se independentemente dos outros e cada quebra de filamento ocorre quando ele próprio alcança a sua elongação na quebra. Isso é resultado da falta de pressão lateral (uma consequência da torção).
- b) Em fios com alta torção, os filamentos são mantidos juntos, de forma mais coesa, comportando-se como um todo, resultando em uma quebra brusca, como a prevista pela análise teórica.

Hearle imagina que na ruptura real, o que ocorre é: Quando o filamento se quebra, ele cessa de ser capaz de suportar a carga no ponto de quebra, mas, desde que haja algum atrito, haverá ainda uma sobra de uma parte ativa do fio em posição distante do ponto de quebra. Portanto, a fig.7.14b mostra o começo da quebra, de modo mais correto. Podemos notar que a tensão será maior nessa região de quebra, pois teremos menos material para suportar a carga. A carga total que o fio suporta deve ser diminuída, e a tensão nas regiões distantes deve diminuir permitindo uma contração, que vai causar uma elongação na região de ruptura, e então a ruptura vai mover-se do centro para fora do fio. Esse processo de quebra acumulativa irá continuar em alta velocidade até a ruptura ser completada.

A energia elástica acumulada nas regiões distantes do ponto de ruptura, irá servir para completar a ruptura na secção transversal do fio.

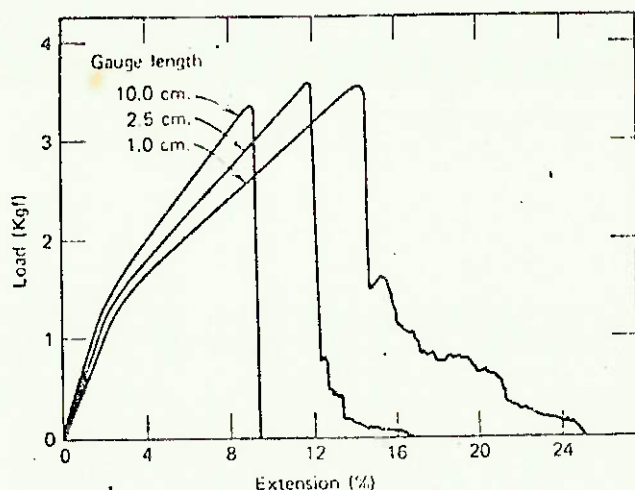


F. 7.14- Mecanismo de ruptura

- (a) ruptura uniforme do centro para fora
- (b) quebra catastrófica

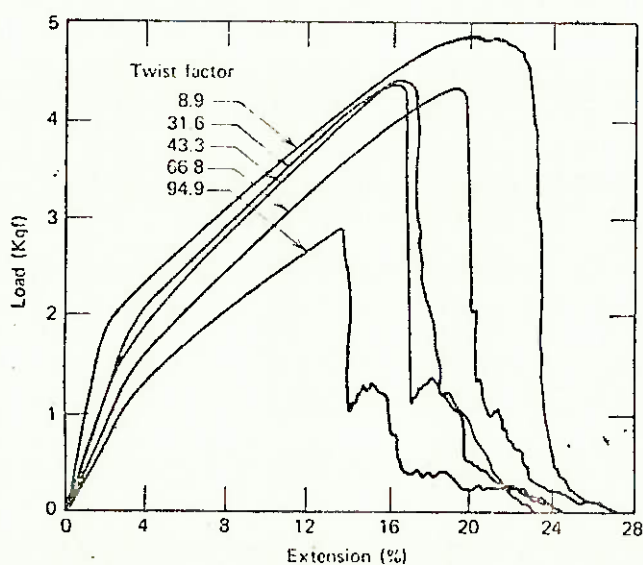
Hearle relata os efeitos de:

- a) Torção no fio
- b) Comprimento de teste da amostra
- c) Taxa de alongação na ruptura do fio sobre o comportamento da ruptura, conforme mostra os resultados com o fio TENASCO 1650/750 nas figuras 7.15 e 7.16, e na tabela 7.3.



F. 7.15- Efeito do comprimento de teste da amostra sobre a curva carga-elongação de um fio com fator de torção $67 \text{ tex}^{1/2}$ voltas/cm taxa de alongação 40% por min

Podemos observar que enquanto a amostra longa (10 cm) mostra uma queda brusca, o comprimento padrão de 1 cm descreve uma curva na sua extremidade (alta alongação), com uma parte do fio quebrando bruscamente.



F. 7.16- Curvas carga-elongação com várias torções (TM). Comprimento de teste de amostra 1 cm com alongação 40% por min.

Enquanto que as curvas de fios com alto fator de torção ocorre uma parcial caída brusca, os pontos de ruptura em fios com baixa torção têm uma forma mais suave.

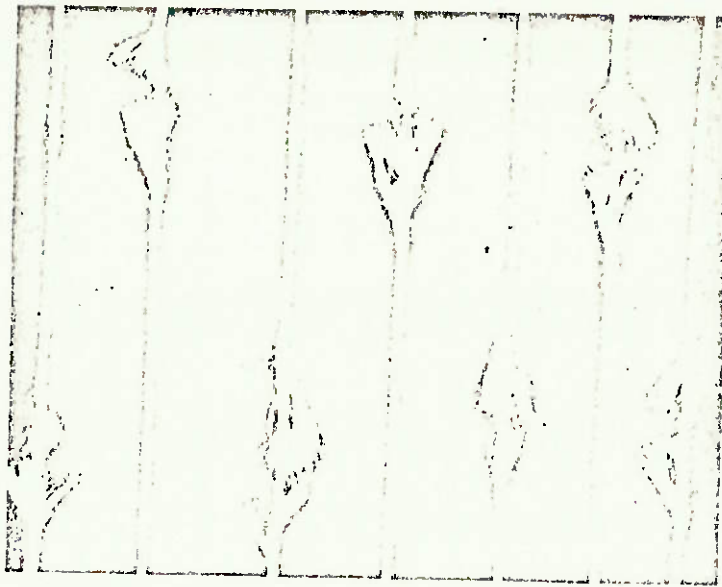
A tabela 7.3; fornece resultados sobre a taxa de alongação.

Rates of Extension	Breaking Extension (%)			Breaking Load (g)			Load Immediately after break (g)		
	4%	40%	400%	4%	40%	400%	4%	40%	400%
							per min		
Gauge length	16.4	19.0	18.4	2050	2425	2750	1000	1000	1250
	16.6	20.6	16.0	2275	2700	2525	750	1000	1200
1 cm	22.2	19.4	18.0	2525	2425	2800	1000	1700	1000
Average	18.4	19.7	17.5	2283	2517	2690	983	1233	1150
	14.8	11.6	12.8	2400	2550	2950	1250	850	150
	12.8	13.2	14.4	2600	2900	3100	850	900	150
2.5 cm	12.0	10.4	14.4	2350	2400	3050	750	1100	100
	11.6	13.4		2450	2750		750	450	
	14.4	12.8		2400	3100		1000	750	
Average	13.1	12.3	13.8	2440	2740	3033	920	810	130
	10.2	10.7	12.0	2475	2725	3200	625	200	0
5.0 cm	10.0	10.1	12.4	2625	2600	3260	650	0	0
	10.4	11.6	10.4	2650	2900	1250	75	75	0
	10.1	11.5	10.8	2590	2850	2750	840	150	0
Average	10.2	10.9	11.4	2580	2770	3040	842	142	0
	8.1	8.5	7.6	2700	2900	2750	0	0	0
	7.9	8.5	8.8	2550	3000	2760	0	0	0
7.5 cm	7.7	8.2	8.8	2300	2800	3100	0	0	0
	7.9	7.5		2450	2750		0	0	0
	8.1	8.6		2225	2800		0	0	0
Average	7.9	8.3	8.4	2445	2850	2870	0	0	0
	9.7	10.6	11.6	2600	2600	2950	0	0	0
10.0 cm	9.2	9.9	11.2	2650	2500	2950	0	0	0
	9.1	8.5	11.6	2675	2575	3100	0	0	0
Average	9.3	9.7	11.5	2640	2555	3000	0	0	0

TAB. 7.3- Ruptura do fio ring-twisted Tenasco 1650/75, 12tpi

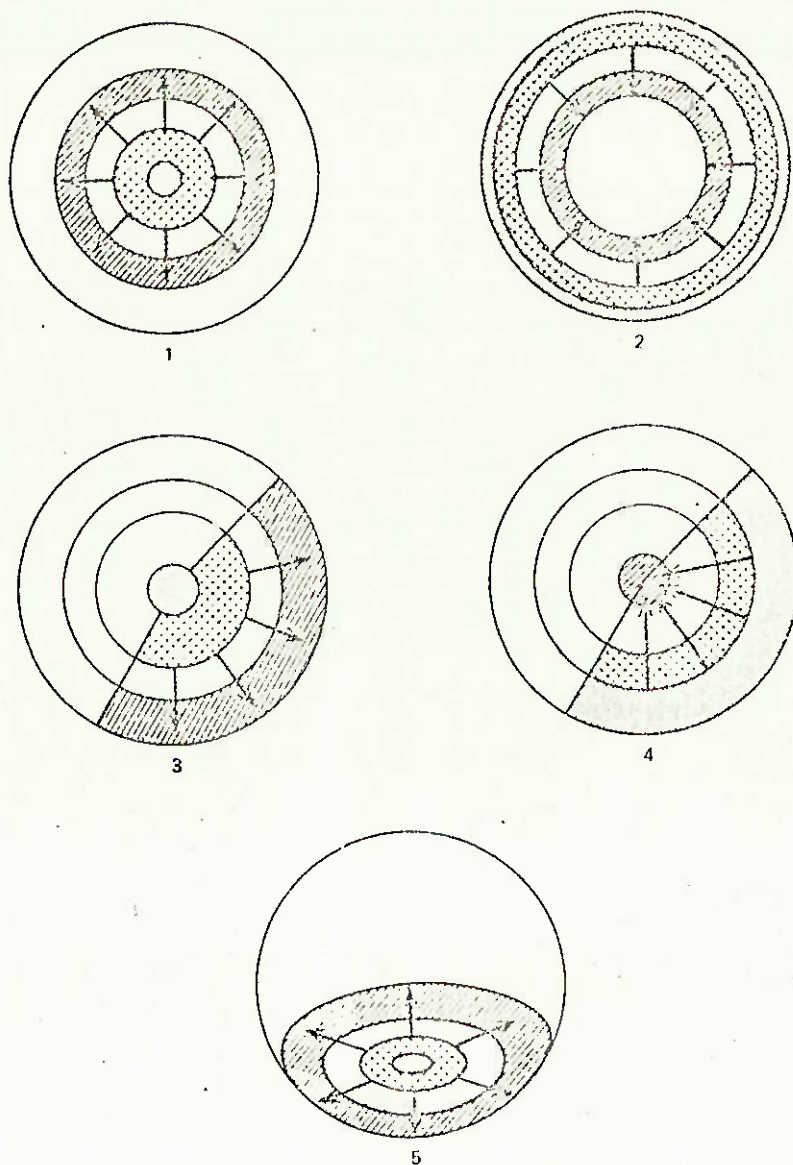
Hearle também relata que se pode interromper o processo de ruptura na metade e parar o progresso da quebra.

Fig.(7.17) ilustra fios de TENASCO torcidos cuja quebra foi interrompida.



F. 7.17- Fios tenasco, testado com 1 cm de comprimento de amostra e taxa de alongação de 40% por min, mostrando ruptura interrompida

Baseado em observações feitas das curvas carga x alongação e do real comportamento de ruptura dos fios, Hearle comenta que enquanto que para uma amostra longa e com alta taxa de alongação, a quebra é brusca e completa; para amostra curta e baixa taxa de alongação a quebra ocorre numa série de etapas. Essa mudança de mecanismo causada pelo comprimento padrão, é alterada devido a quantidade de energia elástica armazenada ser menor na amostra curta e insuficiente para uma quebra completa. Em testes lentos, a energia elástica armazenada terá um decréscimo devido a tensão de relaxação. Hearle, então, sugere cinco diferentes modos de propagação da quebra conforme a Fig. 7.18.



F. 7.18- Modos de propagação de ruptura, propostos por Hearle

As figuras:

- 1) Mostra que o início da quebra começa de dentro e espalha-se para fora, parando na metade da secção transversal do fio.
 - 2) A quebra começa de fora para dentro.
- Nenhum desse mecanismo parece plausível já que não há razões para se esperar que a quebra pare na posição proposta.

- 3)4) Assumindo a assimetria da estrutura do fio, a quebra move do centro para fora ou de fora para dentro, não podem ser ignorada completamente.
- 5) Nesse modelo no qual a quebra começa no centro de uma metade do fio e propaga-se para fora, mostra simularidade com a aparência observada na estrutura do fio aparentemente binado, no qual uma parte da estrutura se rompe e a outra permanece intacta.

- Backer fez um modelo de uma estrutura de 91 fios contínuos torcidos sem migração e usou indicadores mecânicos para identificar o mecanismo de ruptura. Os fios usados foram o 70/34 poliéster e o 79s algodão como fio indicador, tingido em diferentes cores para fácil identificação. O fio de algodão foi usado para que sua baixa elongação de ruptura (~8%) fosse comparado com a alta elongação de ruptura (~ 30-35%) do fio de poliéster.

Esse sistema foi escolhido com a idéia de que o fio de algodão poderia quebrar em estágios iniciais de elongação, sem influência na ruptura total do fio poliéster.

Backer afirma que esse modelo permite estudar o movimento de ruptura de algodão para algodão, e de algodão para poliéster. Outra vantagem é a possibilidade de se fazer uma investigação experimental da distribuição de elongamento e da pressão lateral dentro da estrutura torcida.

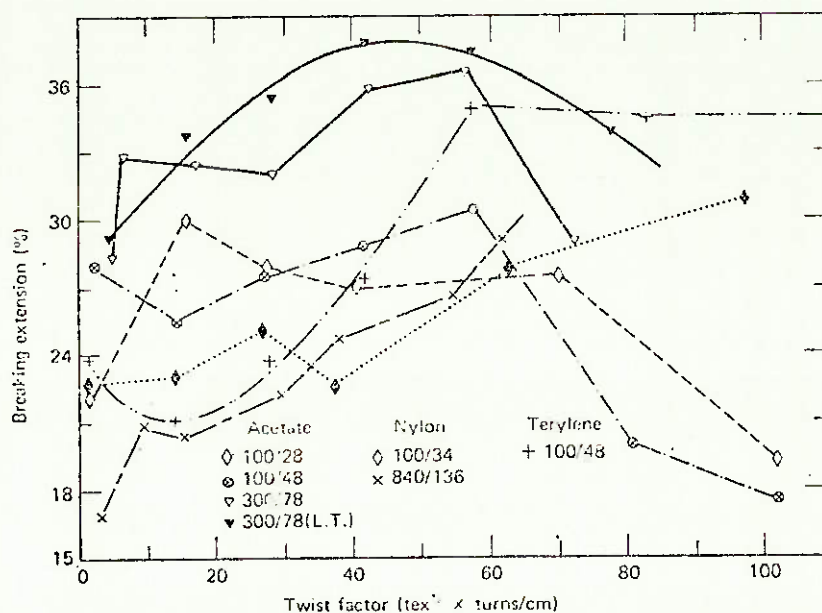
O método usado para registrar a posição e a frequência do componente rompido em cada elongação consiste em desenhar linhas paralelas em grupos correspondentes aos fios em cada camada da secção transversal do fio. Daí cada linha do modelo é designada com um número de acordo com a posição do fio correspondente na secção transversal do fio.

Os resultados obtidos de um modelo 2 algodão/89 poliéster com a torção múltipla de 2.19 (twist multiplier) é mostrado na fig. 7.19.

Após uma elongação de 11%, o componente ~~#~~ 52 (localizado no segundo anel a partir do centro) sofreu 5 quebras em 8 polegadas, enquanto que o componente ~~#~~ 8 (localizado no quinto anel) não sofreu nenhuma quebra; após uma elongação de 15%, o

7.3.2- Elongação na Ruptura

Os estudos anteriores nos informam que o filamento mais elon- gado é o filamento central, que tem uma elongação igual a do fio. Se assumirmos que a elongação na ruptura não é afetada pela presença dos filamentos no fio (por exemplo, não é afe- tada pelas forças transversais), segue-se que o filamento central deve quebrar primeiro, e o início da ruptura irá o- correr quando a elongação do fio for igual a elongação na ruptura dos filamentos. Portanto, a elongação na ruptura se- rá constante, independente da torção. Mas, experimentalmente, resultados obtidos da elongação na ruptura mostra uma varia- ção considerável com a torção, conforme mostra a fig. 7.20.



F. 7.20- Variação da elongação de ruptura com a torção

Podemos observar que o Terylene (Poliéster) mostra um decréscimo inicial e depois cresce com um aumento da torção; o nylon cresce com um aumento de torção.

Hearle forneceu várias hipóteses para explicar o tipo de comportamento mencionado acima:

- 1) A mudança do comportamento individual do filamento é causada pelos próprios filamentos que estão sendo torcidos e pela grande tensão transversal.

- 2) A alteração das propriedades dos filamentos como resultado de forças impostas sobre os filamentos durante o processo de torção. Como consequência, os filamentos poderiam sofrer deformações permanentes.
- 3) Por causa da migração dos filamentos de uma camada helicoidal para a outra, poderá ocorrer uma redistribuição de alongação dentro do fio, tendendo a equalizar a alongação, como resultado do escorregamento quando o fio é tracionado. As regiões mais alongadas das porções centrais irão puxar as porções exteriores menos alongadas do mesmo filamento. Isso poderá resultar em uma maior alongação do fio. Esse tipo de comportamento é altamente provável de acontecer, em caso de fios com baixa torção ou filamentos com coeficiente de atrito baixo. Kilby produziu a tabela 7.4 com fios lubrificadas.

Lubricant content, %	Tenasco 35			Tenasco Super 70			Tenasco Super 105		
	Twist angle, degrees	Relative tenacity ^a	Breaking extension, %	Twist angle, degrees	Relative tenacity ^a	Breaking extension, %	Twist angle, degrees	Relative tenacity	Breaking extension, %
0.15	0	0.90	9.2	0	0.87	11.0	0	0.85	10.8
	17	0.96	12.2	21	0.93	15.6	23	0.95	14.1
	45	0.35	11.3	46	0.36	14.6	52	0.43	16.0
0.66	0	0.86	8.0	0	0.83	6.8	0	0.86	10.0
	19	0.97	10.6	19	1.00	10.6	22	0.94	12.8
	43	0.55	13.0	46	0.64	16.4	51	0.51	15.6
1.97	0	0.69	6.7	0	0.77	7.0	0	0.89	10.4
	17	0.84	9.2	20	1.00	12.0	20	0.94	12.6
	51	0.41	9.6	41	0.6	15.7	52	0.48	15.5

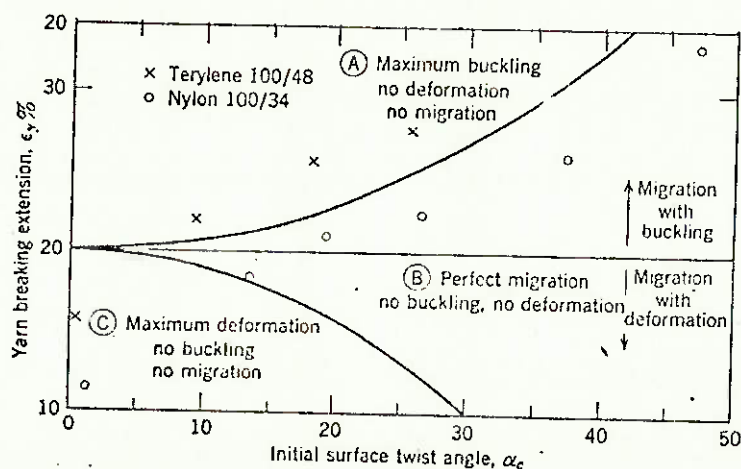
TAB. 7.4- Fios lubrificadas rayon alta tenacidade 1650 denier

- 4) A tensão de torção e o triângulo geométrico de torção têm um papel influente em alterar a alongação na quebra do filamento e eventualmente do fio. Uma grande parte da tensão de torção é absorvida no tracionamento dos filamentos externos para acomodá-los mais facilmente ao longo das trajetórias da superfície do fio torcido. Após aliviar tensão no

fio, os filamentos externos irão contrair-se causando nos filamentos internos uma flambagem. Esse tipo de mecanismo é presumivelmente aquele que predomina no aumento da elongação dos fios de nylon e poliéster com alta torção.

- 5) Curvamente (flambagem) pode ocorrer durante a operação de torção quando não houver migração suficiente.
- 6) Os filamentos em um fio não são idênticos. A quebra é determinada pelo ponto mais fraco de cada filamento. A introdução da torção altera a situação em duas maneiras. Primeiro, a torção introduz uma coesão mútua entre os filamentos e aumenta a elongação na ruptura. Segundo, por causa que os filamentos externos são menos elongados que os centrais, a quebra pode iniciar no centro ou perto dele, e portanto, a elongação na ruptura é determinada pela elongação dos filamentos centrais.

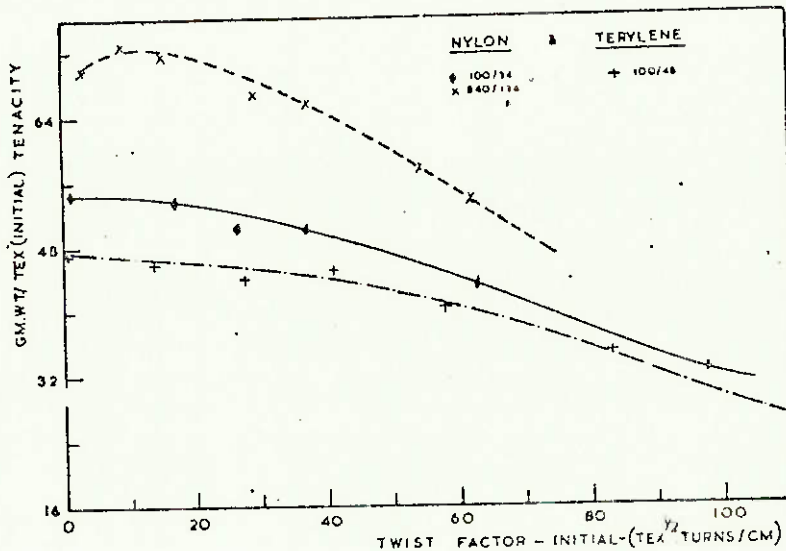
O aumento da elongação na ruptura com o aumento da torção, em baixas torções, é provavelmente ao efeito de variação das propriedades dos filamentos, discutido nesse último parágrafo. Em altas torções, o comportamento pode ser explicado em termos do efeito da tensão torcimento. Se o material é facilmente deformado, a elongação na ruptura decresce, mas se o material é elástico, haverá uma flambagem dos filamentos centrais e a elongação na ruptura crescerá. A fig. 7.21 mostra o comportamento do nylon e terylene (poliéster). Migração perfeita iguala as diferenças de tensões entre os filamentos externos e internos, tornando a tensão total do fio nula.



F. 7.21- Valores teóricos e experimentais da elongação de ruptura

7.4- Tenacidade

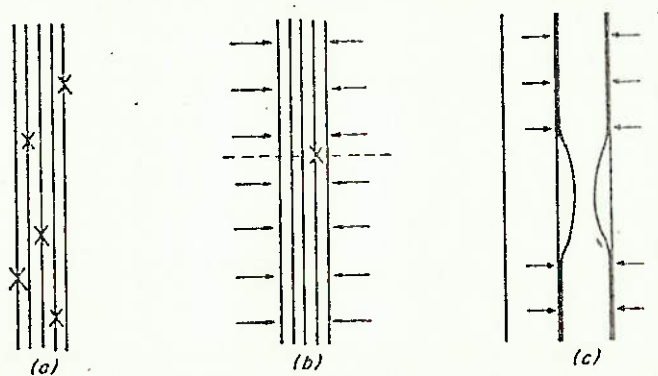
Valores experimentais da variação da tenacidade com a torção é mostrado na fig. 7.22.



F. 7.22- Variação da tenacidade com torção

Em geral, a tenacidade primeiro cresce com o aumento da torção e então decresce.

O crescimento inicial é devido aos efeitos da torção sobre a variação do material, o qual é resultado da sustentação dos lugares fracos de um filamento, pelos filamentos vizinhos, através das forças transversais, e da limitação da ruptura inicial, conforme a fig. 7.23.



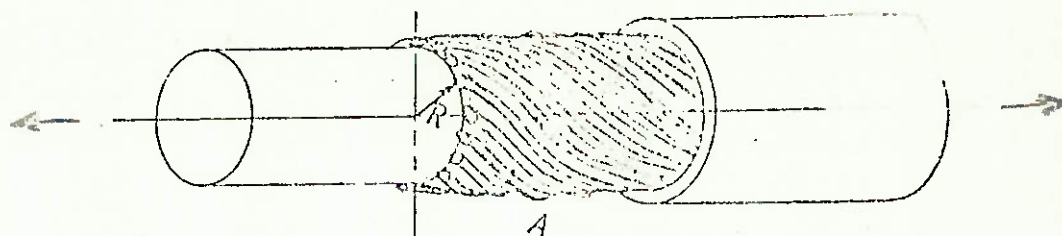
F. 7.23- Regiões fracas sustentadas por filamentos vizinhos

O decréscimo da tenacidade com o aumento da torção pode ser explicado teoricamente em termos do efeito de obliquidade. Considere o modelo da fig. 7.24, em que cada filamento está sob tensão. Note que o ângulo de hélice aumenta nas camadas mais externas. Tomemos um filamento particular conforme a fig. 7.25 e podemos perceber que a medida que o ângulo de hélice do filamento aumenta, ocorre o aparecimento de uma força radial (F_r) que resultará em maior coesão do fio. Portanto, teremos um tubo de filamentos, todos pressionando para dentro. A tensão atuante no fio é (T) e pode ser decomposta em força tangencial ao círculo de raio R (T_p) que é a força que faz o fio querer se distorcer, e a força paralela ao eixo do fio (T_a) que é a contribuição real do filamento. Na fig. 7.26a podemos obter a relação:

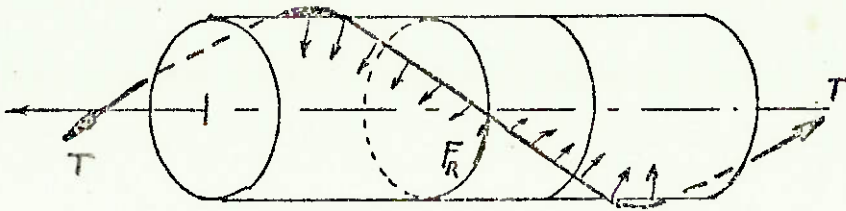
$$T_a = T \cdot \cos \alpha$$

o qual indica que o ângulo de hélice do filamento é muito importante na determinação da força do fio, isto é, a medida que α aumenta, (T_a) decresce como indicado na fig. 7.26b.

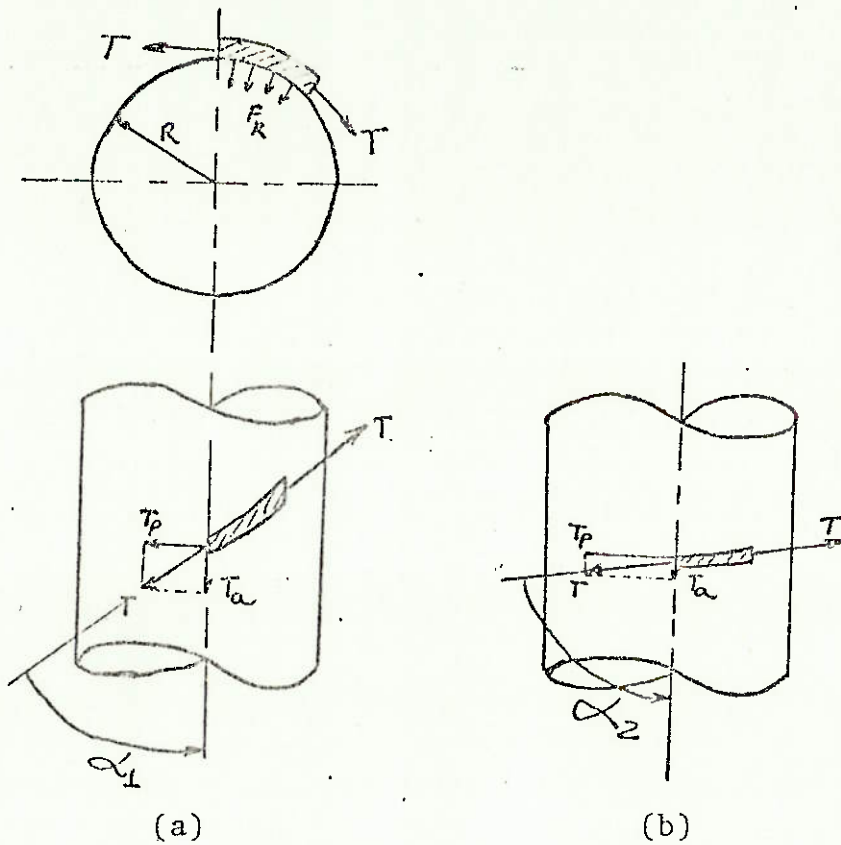
Na estrutura real do fio, o ângulo α varia de maneira complexa e essa simples equação não vale para casos práticos, mas ela é suficiente para demonstrar que a força no fio torcido diminui, pois a torção faz com que o filamento fique oblíquo em relação ao eixo do fio, tornando menor a sua contribuição para a resistência do fio.



F. 7.24- Modelo em que cada filamento está sob tensão



F. 7.25- A medida que o ângulo de hélice do filamento aumenta, a força radial (F_R) aumentará a coesão do fio



F.7.26- A tensão atuante no fio pode ser decomposta em (T_p) e (T_a) em função do ângulo de hélice (α)

7.5- Efeito do Método de Torção nas Propriedades

7.5.1- Introdução

O processo de torção pode influenciar na forma de torção (tipo fita ou forma cilíndrica) e no comportamento migratório dos filamentos. Essas mudanças impostas na estrutura do fio pode alterar as propriedades dos filamentos.

Há, por exemplo, uma evidente diferença entre a torção estática e o processo de torção contínua, onde ainda ocorre diferenças entre o up-twisted e o ring-twisted.

A tensão aplicada durante o torcimento também afeta essas propriedades.

Tendo em vista esses efeitos, foram realizados dois tipos de testes:

- a) Fios torcidos com mesma torção nominal, na mesma máquina, mas com tensões diferentes.
- b) Fios torcidos com mesma torção nominal, sob tensões semelhantes em máquinas diferentes.

7.5.2- Efeito da Tensão de Torcimento

Na primeira série de experimentos, fios foram torcidos na binadeira de anéis com viajante, com a tensão de torcimento variando, pela mudança do viajante.

Obteve-se os resultados mostrados na tab. 7.5.

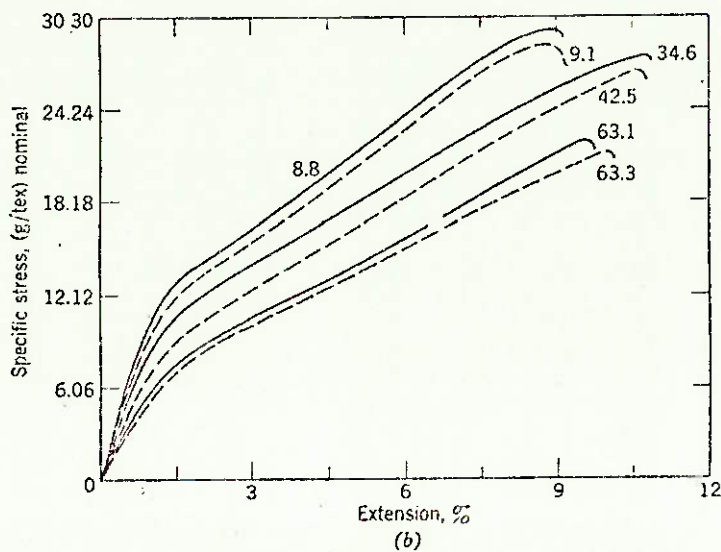
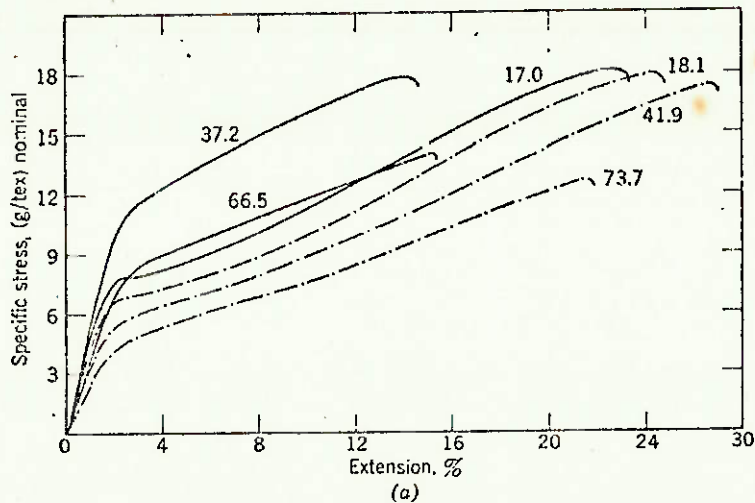
Yarn and tester	Twisting tension, g/tex	Tensile modulus (g/tex) at twist factors (tex ^{1/2} turns/cm) of:				
		5	10	20	40	60
Nylon 840/136 (Instron)	0.9	460	460	450	357.5	230
	1.8	480	490	473	370	250
Terylene 250/48 (Instron)	0.9	1140	1100	1000	740	480
	1.8	1080	1050	975	790	500
	2.7	1175	1155	1080	825	—

TAB. 7.5- Efeito da tensão de torcimento nas propriedades mecânicas do fio

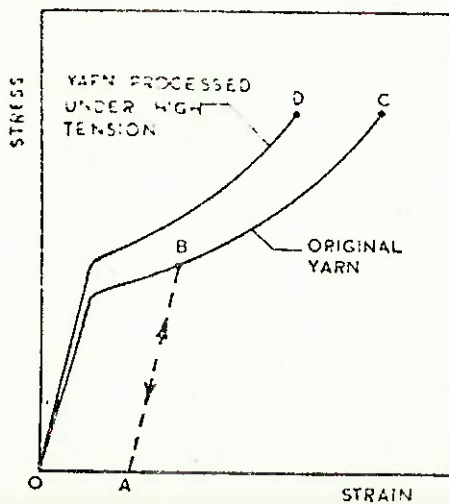
Yarn and tester	Twisting tension, g/tex	Tensile modulus (g/tex) at twist factors ($\text{tex}^{1/2}$ turns/cm) of:				
		5	10	20	40	60
Tenacity (g/tex) at Above Twist Factors						
Nylon 840/136 (Instron)	0.9	73.2	73.8	73.6	70.0	59.0
	1.8	72.9	73.4	73.2	70.5	60.6
Terylene 250/48 (Uster)	0.9	61.2	62.4	62.4	57.2	47.8
	1.8	—	—	63.6	57.6	45.6
	2.7	62.8	64.0	63.4	55.2	—
Breaking Extension (%) at Above Twist Factors						
Nylon 840/136 (Instron)	0.9	13.8	14.4	15.6	17.0	18.6
	1.8	13.0	13.4	14.3	16.0	17.8
Terylene 1650/750 (Uster)	0.9	10.8	11.5	11.9	12.7	14.2
	1.8	—	—	11.9	12.3	13.2
	2.7	10.3	11.3	10.9	11.5	—

TAB. 7.5 (Continuação)

Nota-se que para o Nylon e Terylene, os valores absolutos do módulo dos fios sofreram um pequeno aumento com o aumento da tensão de torcimento; as tenacidades dos fios são levemente alteradas e as elongações na ruptura decresceram. Esses resultados estão resumidos nas curvas carga-elongação da fig. 7.27 e são compatíveis com a hipótese de que a tensão de torcimento causa alguma deformação permanente. Essa hipótese é ilustrada na fig. 7.28.



F. 7.27- Curvas carga-elongação de fios torcidos sob diferentes tensões
 (a) nylon 840 den/136 tensão de torcimento = 1,8 g/tex
 (b) pol. 1650 den/750 tensão de torcimento = 2,7 g/tex



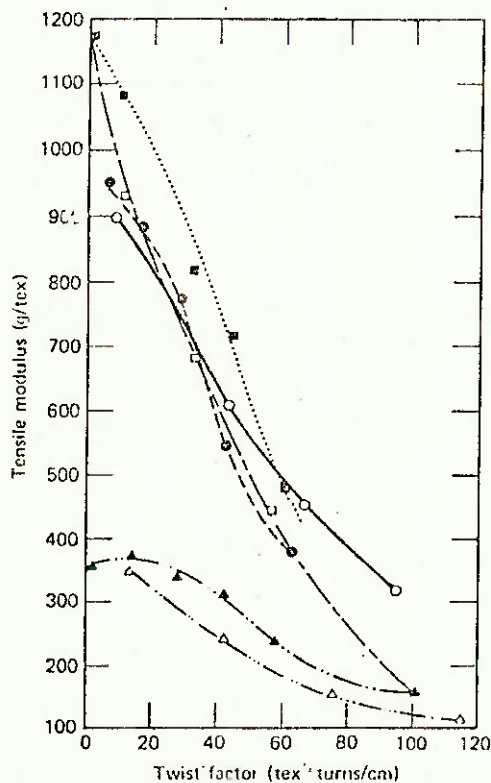
F. 7.28- Efeito da tensão de processamento na curva tensão-deformação
 (a curva muda de OBC para OD)

Como a tensão de torcimento utilizada é, frequentemente, muitas vezes menores do que a tensão do limite de proporcionalidade dos fios, isso implica que há uma desigual distribuição da tensão durante o torcimento, com alguns filamentos suportando grandes cargas, tornando-se permanentemente deformados. Poderá, também, haver algumas mudanças no comportamento da migração dos filamentos, como resultado da variação da tensão de torcimento.

Kilby relata que a tensão sob o qual o fio é bobinado causa uma mudança física das propriedades do fio. Ele acha considerável a diferença entre as propriedades do fio medida imediatamente depois dele ser removido da bobina, e aquela medida depois do fio ser relaxado por algum tempo sob condições padrões.

7.5.3- Efeito do Método de Torção

Na segunda série de experimentos, fios foram torcidos sob tensão de 0,9 g/tex em duas máquinas diferentes: Doubler e Up-Twister, cujos resultados estão nas figs. 7,29, 7,30 e 7,31.



F. 7.29- Efeito do método de torcimento sobre módulo

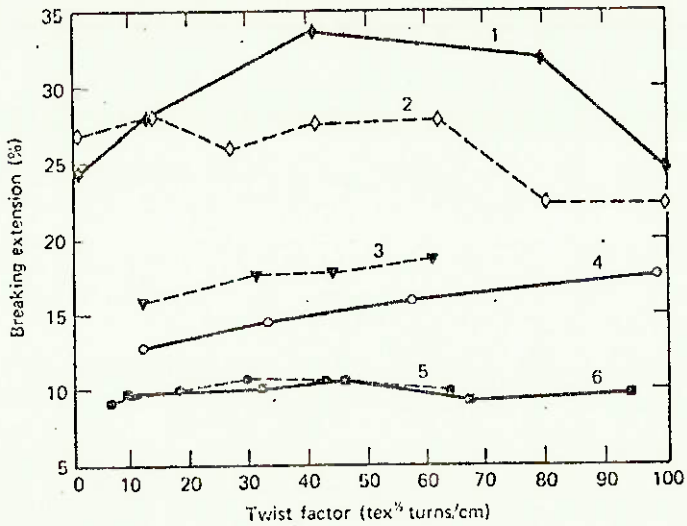
figuras cheias: ring-twisted

figuras vazias: up-twisted

(○) Tenasco 1650/750

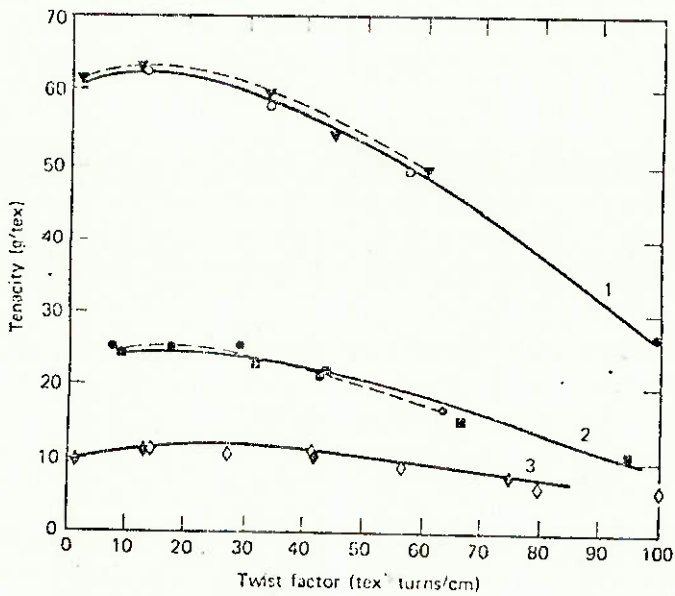
(△) Acetato 100/48

(□) Poliéster 250/48



F. 7.30 - Efeito do método de torcimento sobre a elongação de ruptura

Acetato 100/46 (◇) Doubler twisted
 (◊) Uptwister twisted
 Terylene 250/48 (▽) Doubler twisted
 (○) Uptwister twisted
 Tenesco 1650/750 (●) Doubler twisted
 (■) Uptwister twisted



F. 7.31- Efeito do método de torcimento sobre a tenacidade

Terylene 250/48 (▽) Doubler twisted
 (○) Uptwister twisted
 Tenesco 1650/750 (●) Doubler twisted
 (■) Uptwister twisted
 Acetato 100/48 (◇) Doubler twisted
 (◊) Uptwister twisted

Os módulos formam curvas diferentes para os fios torcidos up-twisted e ring-twisted. Por exemplo, o TERYLENE ring-twisted mostra um maior valor do módulo.

As elongações na ruptura dos fios TERYLENE up-twisted são menores do que os doubler-twisted.

As tenacidades dos fios torcidos pelos dois métodos são quase indistinguíveis.

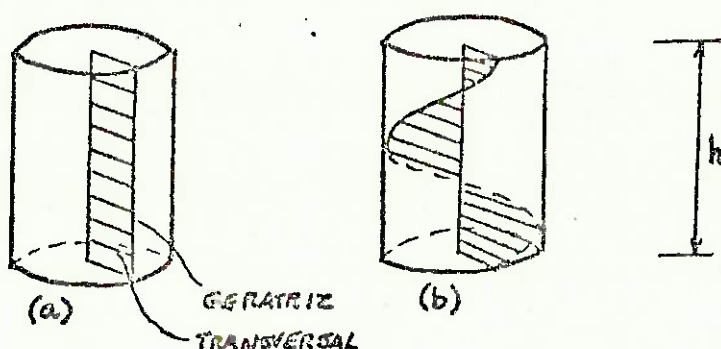
Essas diferenças de propriedades provavelmente tem por base a estrutura do fio.

8- ÂNGULO DE TORÇÃO

8.1- Introdução

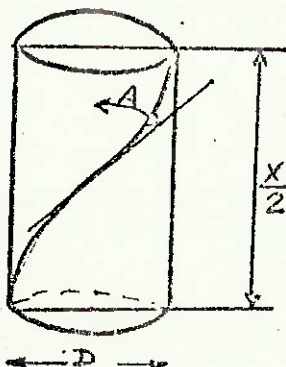
Consideramos, inicialmente, o caso de um cilindro reto e uniforme. A fig. 8-1a mostra o cilindro antes da torção. A linha imaginária sobre sua superfície que é paralela ao eixo do cilindro é chamada de geratriz. Os raios de qualquer secção transversal são chamados de transversais.

A torção pode ser definida como a rotação, em torno do eixo das transversais, de uma dada geratriz, por unidade de comprimento do eixo. Quando o cilindro é torcido, a geratriz se torna helicoidal e as transversais sofrem mudança de plano, conforme a fig. 8-1b.



F. 8.1- Conceito geométrico de torção

O ângulo da hélice (A) é o ângulo entre a tangente da helicoidal e a linha que passa pelo ponto de tangência e é paralela ao eixo do fio, como mostra a fig. 8.2.



F. 8.2- Conceito geométrico de torção

Nesse diagrama, X representa o comprimento do cilindro de diâmetro D, para uma volta completa da helicoidal de comprimento b .

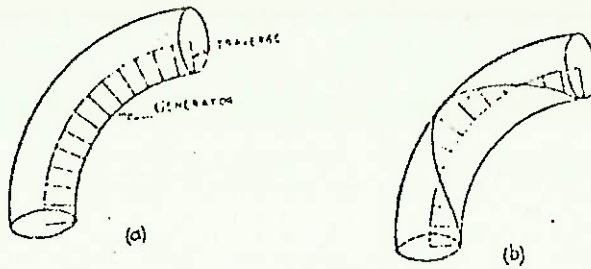
Como $X = \frac{1}{T}$ onde T é nº de torção por unidade de comprimento, podemos relacionar T com A obtendo:

$$T = \frac{\tan A}{\pi \cdot D} \quad (1)$$

Essa fórmula é válida para cilindros retos e uniformes e é frequentemente usada, para aplicação prática, desde que o ângulo A possa ser facilmente medido.

8.2- Efeito da Tortuosidade

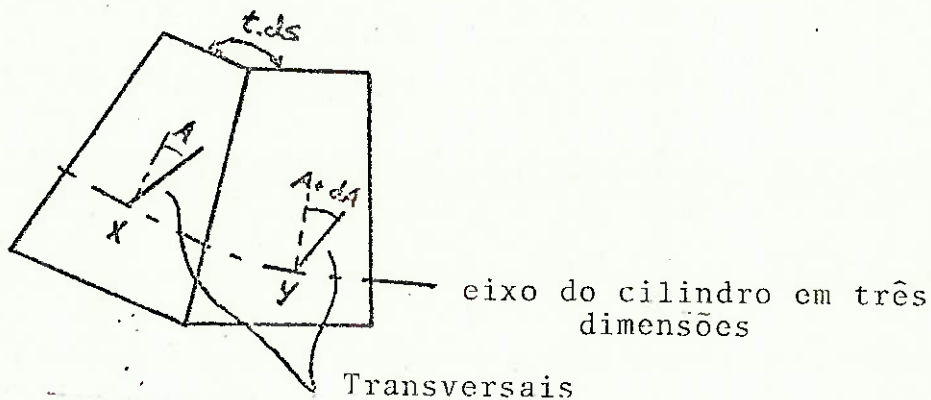
Consideremos, agora, o caso de um cilindro cujo eixo forma uma curva complexa. A fig. 8.3a mostra um segmento não torcido, e a fig. 8.3b mostra um segmento torcido, em que as transversais são deslocadas de suas posições originais. Da definição, a torção em qualquer ponto, é a quantidade de mudança angular por unidade de comprimento.



F. 8.3- A torção não é afetada pelo curvamento do fio se o eixo do fio estiver em um plano

- (a) antes da torção
- (b) depois da torção

Quando o eixo do cilindro assume uma curva complexa, tal curva permanece em três dimensões e, portanto, não há nenhum plano natural fixo que pode ser usado como referência das transversais. Contudo, é possível em cada ponto, ao longo da curva, selecionar um plano que contém um pequeno comprimento de curva. Planos consecutivos irão ser inclinados um ao outro por pequenos ângulos e podem ser considerados que sofreram rotação ao longo do lado comum, conforme a fig. 8.4.



F. 8.4- Efeito da tortuosidade sobre a torção

A quantidade dessa rotação por unidade de comprimento é chamada de TORTUOSIDADE de uma curva e é designada por t . Vamos assumir que conhecemos o ângulo entre a transversal de cada ponto e o correspondente plano. Para um dado ponto X , o ângulo será A . Para um outro ponto Y , o ângulo entre a outra transversal e seu correspondente plano será $A + dA$. O plano de

referência forma um ângulo $t \cdot dS$ com outro plano. Portanto, o ângulo entre o ponto Y e o plano de referência será $A + dA + t \cdot dS$. Mas, a torção é dada pela diferença entre o ângulo X e Y e é $dA + t \cdot dS$. Dividindo esse ângulo por dS para converter a expressão em unidade de comprimento, temos:

$$T = t + dA \div dS \quad (2)$$

Essa expressão indica que o nº de voltas por polegada em um fio é mudado se ele estiver em trajetórias tortuosas.

Existem métodos para computar tortuosidade que estão fora do domínio desse trabalho. Se a curva formada tiver a forma de uma helicoidal, então:

$$t = \frac{\text{sen}Q \cdot \text{cos}Q}{2\pi R} \quad (3)$$

onde $\begin{cases} Q = \text{ângulo de hélice da helicoidal descrita pelo fio} \\ R = \text{raio da helicoidal} \end{cases}$

Portanto, a fórmula que relaciona a torção em um fio cujo eixo descreve uma helicoidal é:

$$T = \left(\frac{\tan A}{\pi} \cdot D \right) + \frac{\text{sen}Q \cdot \text{cos}Q}{2\pi R} \quad (4)$$

onde $\begin{cases} A = \text{ângulo de hélice do filamento} \\ Q = \text{ângulo de hélice da helicoidal descrita pelo fio} \\ D = \text{diâmetro do fio} \\ R = \text{raio da helicoidal descrita pelo fio} \end{cases}$

Essa fórmula acima é válida quando o fio for um cilindro uniforme torcido, descrevendo uma helicoidal.

Para um fio composto de filamentos discretos, E.R.Schwarz estudou o efeito dessa geometria de torção, e definiu:

$\begin{cases} R = \text{constante helicoidal empírica} \\ N = \text{número de associações do fio} \\ n = \text{número de unidades externas} \end{cases}$

E mostrou na tabela, a seguir, os valores de R e de n , para diferentes valores de associações N .

<i>No. of Plics</i>	<i>Plics in Outer Ring</i>	<i>Empirical Helix Constant</i>
<i>N</i>	<i>n</i>	<i>k</i>
1	1	1.00
2	2	0.50
3	3	0.54
4	4	0.59
5	5	0.63
6	6	0.67
7	6	0.67
8	7	0.70
9	8	0.72
10	0	0.75
11	9	0.74
12	10	0.76
13	10	0.76
14	11	0.78
15	11	0.78
16	12	0.79
17	12	0.79
18	13	0.81
19	13	0.81
20	VG	0.81
21	13	0.82
22	14	0.82
23	15	0.82
24	15	0.83
25	16	0.84
26	16	0.84
27	16	0.84
28	17	0.85
29	VG	0.85
30	17	0.85
40	21	0.87
50	25	0.89
60	29	0.90
70	33	0.92
80	37	0.93
90	41	0.94
100	45	0.95

Como regra geral, para fios fortemente torcidos, o valor de R diminui em 10%, e para fios folgadoamente torcidos, o valor de R aumenta em 10%.

O valor de R é usado como correção do valor, nominal ou medido, do diâmetro do fio. Devemos ainda considerar a mudança do comprimento do fio com a torção. Essa mudança de comprimento e , é chamada de contração.

Corrigindo a fórmula (4) para essas mudanças:

$$T \left[1 - \frac{e}{100} \right] = \frac{\tan A}{\pi R D} + \frac{\text{Sen} Q \cdot \text{Cos} Q}{2 \pi R} \quad (5)$$

Essa é a fórmula para o cálculo da torção no fio composto de filamentos, cujo eixo descreve uma helicoidal.

Exemplo: suponhamos que temos um fio de Orlon 200 denier, 80 filamentos com 15 torções Z por polegada e necessitamos calcular o ângulo que os filamentos externos formam com o eixo do fio. Utilizaremos a fórmula (5) para calcular esse ângulo. Nesse caso, como o fio é reto, o valor Q para a correção da tortuosidade é zero e a fórmula se torna:

$$\tan A = T. \left\{ 1 - \frac{e}{100} \right\} \sqrt{RD} \quad (6)$$

Então, temos:

T = 15 voltas por polegada

e = -3,5 (contração obtida por tabelas)

R = 0,84 (80 filamentos com o valor R reduzido em 10% devido à forte torção)

D = 0.00682 polegada

Esse valor do diâmetro do fio foi obtido da fórmula de Pierce que considera o efeito do ar dentro do fio na densidade específica do fio (S.G) dada pela tabela abaixo:

Fiber	Fiber Density	Yarn Density		Filament
		Soft	Hard	
		Twist Staple 50% of Fiber	Twist Staple 60% of Fiber	
Acetate	1.32	0.66	0.86	1.06
Cotton and rayon	1.51	0.75	0.98	1.21
Dacron	1.38	0.69	0.90	1.11
Oryel	1.28	0.61	0.83	1.02
Glass	2.54	1.27	1.65	2.03
Hylon	1.11	0.57	0.71	0.91
Orlon	1.17	0.58	0.76	0.91
Wool and silk	1.32	0.66	0.86	1.06

A fórmula do diâmetro é:

$$D = \frac{1}{2.54} \frac{\text{denier} \times 4}{\text{S.G.} \times 9000.000 \times \sqrt{RD}} \text{ polegada}$$

Voltando ao exemplo, substituindo os valores na equação (6) teremos: $\tan A = 0.278$

$$A = 15.5^{\circ}$$

Comparando com o valor obtido experimentalmente (15.3°), mostra que os cálculos teóricos fornecem bons resultados para o fio real.

8.3- Fios Associados

Vamos supor que dois desses fios únicos torcidos (Z) de Orlon fossem binados em (S). Para o cálculo do ângulo da hélice A do fio único necessitaremos considerar o efeito de tortuosidade. Admitiremos que o fio único descreve uma helicoidal de ângulo de hélice Q.

Para o cálculo de Q do fio binado podemos utilizar a fórmula (6) onde T é a torção aplicada à associação, e o valor de R deve ser corrigido para fio binado.

Para o cálculo do ângulo de hélice A do fio único, basta utilizar a fórmula (5).

Exemplo: Vamos supor que os fios únicos são binados em sete voltas por plegada em (S). O resultado obtido para o ângulo da hélice é $A = 12.7^{\circ}S$.

Portanto o resíduo é:

$$A' = 15.5^{\circ} - 12.7^{\circ} = 2.8^{\circ}Z$$

O valor obtido experimentalmente é $3.9^{\circ}Z$

O ângulo que a fibra forma com o fio único pode ser mostrado na fig. 8.5 e seu valor é:

$$F = A' + Q = 2.8^{\circ} + 7.6^{\circ} = 10.4^{\circ}$$



F. 8.5- Ângulos do fio binado

8.4- Equilíbrio da Torção

Foi determinado que existe uma relação fundamental entre o ângulo de torção e muitas propriedades do fio. Uma dessas propriedades é o equilíbrio da torção.

Muitos fios binados são feitos de forma que qualquer tendência do fio binado em se distorcer é resistida pelos fios únicos torcidos. Essa condição é encontrada quando os filamentos ficam paralelos com o eixo do fio binado. Na fig. 8.5, o ângulo A deve ser nulo para essa condição. É reconhecido que um equilíbrio do fio pode ser obtido pela alteração da torção do fio único ou do fio binado. Entretanto, através dos cálculos, é possível determinar se uma amostra será equilibrada. Isso pode ser particularmente importante onde a torção em um fio já é estabelecida.

9- EFEITO DA TORÇÃO SOBRE A RESISTÊNCIA

9.1- Introdução

Quando a torção é aplicada ao fio, profundas alterações ocorrem. Supondo que o fio seja um cilindro ideal, onde cada filamento segue uma perfeita hélice em torno desse cilindro, poderemos estudá-lo de forma bastante simples.

9.2- Aspectos Teóricos

A resistência do fio não torcido é igual ao produto da sua densidade pela resistência individual de cada filamento, ou seja:

$$S_0 = (\text{densidade}) \times (\text{resistência}) \quad (9.1)$$

$$[S_0] = [\text{Tex}] \cdot [\text{gf/tex}] = [\text{gf}]$$

Depois da torção, a resistência do fio pode ser expressa por:

$$S_y = U \cdot S_0 \quad (9.2)$$

onde $\left\{ \begin{array}{l} U \text{ é um fator de utilização; e} \\ S_y \text{ é a resistência do fio torcido} \end{array} \right.$

Platt formulou uma equação para determinar o valor de U em função do ângulo de hélice e de características tensão-elongação do fio.

$$U = \frac{(1-c)}{\text{tg}^2 A} \left[a \cdot n (\sec^2 A) + b E \sin^2 A \right] \quad (9.3)$$

onde (A = ângulo de hêlice das camadas, que pode ser medido como o descrito no capítulo 8.

{ a = valor da intercepção da curva tensão-elongação com o eixo das coordenadas dividido pelo valor da tensão de quebra.

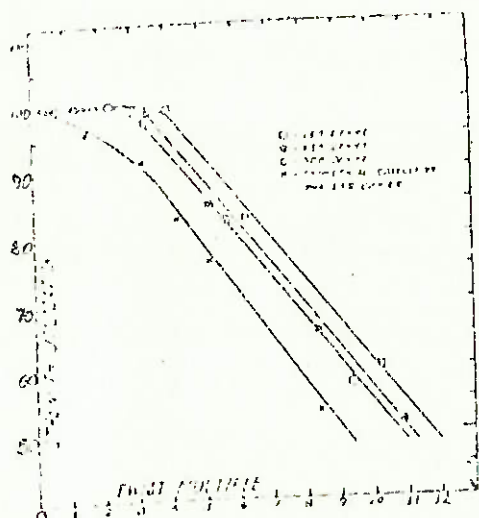
{ b = valor da inclinação da curva tensão-elongação dividido pelo valor da tensão de quebra.

{ E = alongação dos filamentos na quebra.

{ c = correção pelo aumento da densidade ou contração do fio devido à torção.

Essa fórmula teórica apresenta boa concordância com os resultados experimentais. Quando existe discrepâncias se dão pela inadequação de se estudar o fio como um cilindro ideal.

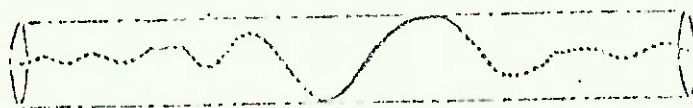
A figura 9.1 mostra as curvas obtidas a partir do uso da fórmula 9.3, a disparidade com a curva teórica é explicada pela mudança das propriedades tensão-elongação da fibra resultante de um tipo de estiramento que resulta num decréscimo da alongação e aumento da tenacidade durante a operação de torção, por causa da tensão imposta às fibras.



F. 9.1- Efeito da torção sobre a resistência do fio viscoso rayon de várias densidades (150 dn) (250 dn) (330 dn) e a curva teórica para o fio de (250 dn) ./.

A torção tem uma tendência em aumentar a resistência do fio, pois uniformiza os filamentos no fio, fazendo com que quando tensionados funcionem uniformemente aumentando a resistência do fio.

O primeiro fato que comprova isso foi apresentado pelo Professor Morton que misturou fibras pretas entre as brancas num fio, e o deixou imerso num líquido de mesmo índice de refração que as fibras brancas, provando que as fibras se deslocam do centro para a superfície do fio, tentando uniformizar a tensão no fio (Fenômeno da migração).



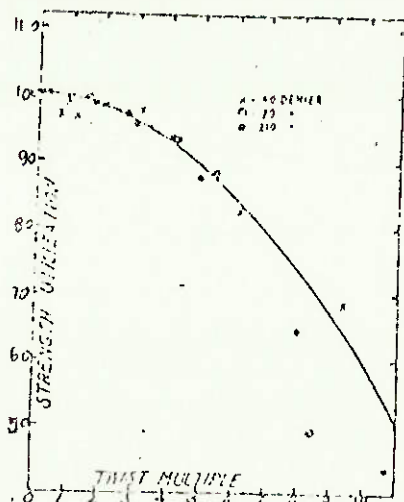
F. 9.2- Sob a influência da torção, os filamentos migram do centro para a superfície do fio e vice-versa

Além disso, a torção fortalece certos pontos fracos do fio, pois quando o fio não é torcido e um filamento fraco é solicitado, esse rompe e fica inutilizado, porém quando o fio é torcido, o filamento rompido ainda pode suportar parte da carga sustentada pelo fio.

9.3- Experiências

Se plotarmos a resistência do fio contra a torção, verificamos, no início, um aumento de resistência, seguido de decaimento, cuja inclinação depende da densidade linear, do tipo de fio, e das propriedades de tensão-elongação (principalmente módulo de elasticidade e elongação na quebra).

Os poliésteres (DACRON) e os nylons, mostram uma lenta perda de resistência com o aumento de torção, figuras 9.3 e 9.4.

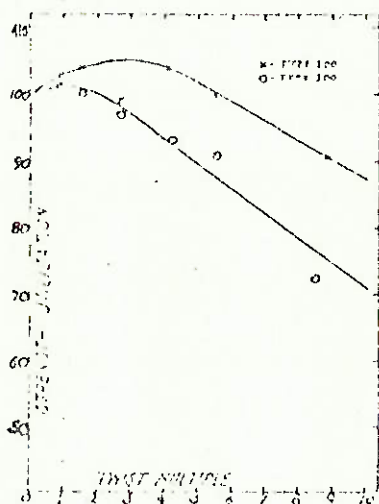


Experimental Data Used for Dacron Filament

Denier	Turns Per Inch	Grams Tensile
30.6	1.0	217
32.8	1.5	211
35.4	2.0	211
38.5	2.5	218
41.0	3.0	220
43.8	3.5	213
46.7	4.0	198
49.2	4.5	182
51.8	5.0	200
54.6	5.5	200
57.4	6.0	200
60.2	6.5	200
63.0	7.0	200
65.8	7.5	200
68.6	8.0	200
71.4	8.5	200
74.2	9.0	200
77.0	9.5	200
79.8	10.0	200
82.6	10.5	200
210.7	1.1	1491
213.2	1.1	1400
216.7	1.1	1470
221.8	1.1	1403
227.8	1.1	1427
233.8	1.1	1427
239.8	1.1	1427
245.8	1.1	1427
251.8	1.1	1427
257.8	1.1	1427
263.8	1.1	1427
269.8	1.1	1427

F. 9.3- Efeito da torção sobre a resistência do fio de filamentos poliéster (DACRON)

O gráfico do nylon é ainda mais interessante, pois tem uma grande elongabilidade.



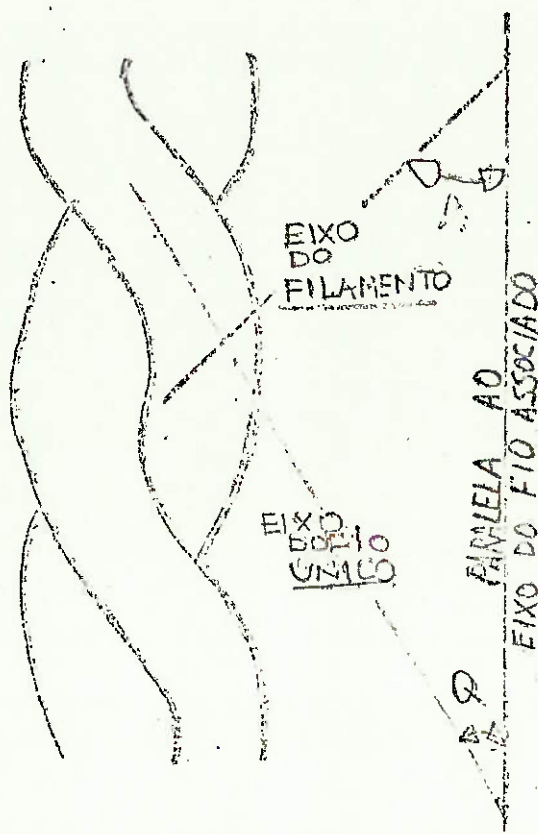
Experimental Data Used for Fig.

Denier	Turns Per Inch	Grams Tensile	Per Cent Elongation
Type 200 Nylon Filament			
70.3	0.1	407	27.2
70.5	1.5	420	27.5
70.8	11.7	428	28.1
72.1	12.9	415	28.6
73.4	13.7	419	32.5
74.9	16.2	419	31.5
81.7	62.7	413	37.4
Type 300 Nylon Filament			
71.6	0.5	564	21.9
71.7	1.1	502	22.1
72.6	13.6	503	22.4
73.8	22.0	505	22.2
76.1	25.1	500	21.4
77.6	45.9	497	27.9
83.0	67.6	453	31.2

F. 9.4- Efeito da torção sobre a resistência do fio nylon (tipo 200 e tipo 300)

9.4- Resistência de Fios Binados

A resistência final dos fios binados é muito similar ao caso dos fios únicos torcidos. A resistência dos fios binados é determinada pelas propriedades dos filamentos e suas configurações geométricas no fio.



F. 9.5- Relações angulares para um fio binado

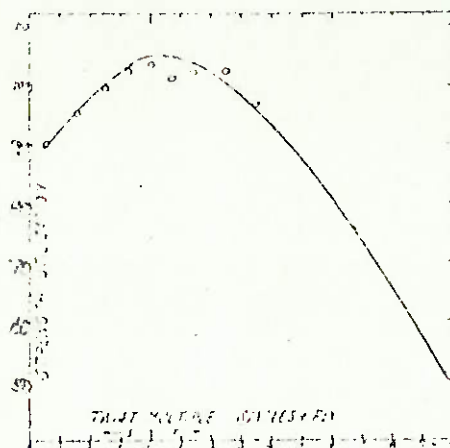
Devemos primeiro calcular a resistência do fio único, componente do fio binado. A fórmula (9.3) poderá ser então usada, porém deve-se tomar cuidado com a determinação do ângulo (A). O ângulo (A) é o ângulo entre o eixo do filamento e o eixo do fio binado, que pode ser calculado conforme exposto no capítulo 8. Deve ser notado que um fio torcido na direção (Z) e binado na direção (S), terá um ângulo final de torção menor do que antes da binagem.

Sabendo-se o número de associações (N) (se binagem $N = 2$, se trinagem $N = 3...$) pode-se determinar a resistência final (S_p):

$$S_p = N \times S_y \times \cos Q \quad (9.4)$$

Onde Q é o ângulo entre o eixo do fio único e o eixo do fio binado ou ângulo de hélice de binagem.

Essas fórmulas, além de fazerem boa previsão do valor da resistência, podem avaliar como a torção afeta a resistência do fio. Por exemplo, dos conceitos desenvolvidos até aqui, nota-se uma propriedade da binagem pode-se reduzir o ângulo da hélice nos fios; e isso significa um aumento de resistência. O máximo valor de resistência é atingido quando A é igual a zero. Para um fio ideal, com (A) igual a zero, todos os filamentos seriam tracionados igualmente e, portanto, eles contribuiriam ao máximo para a resistência da estrutura, ou seja, o fio será mais forte quando tiver com balanço de torção.



EXPERIMENTAL DATA USED FOR FIG.
Effect of Twist on Strength of Ply Yarns

Denier	Ply Turns Per Inch	Grams Tensile
3095	0	9,500
1950	3.14 Z	7,000
3505	3.07 S	11,050
3520	3.24 S	11,500
3510	5.15 S	12,300
3537	6.10 Z	12,400
3530	7.25 S	12,100
3630	8.07 S	12,770
3650	8.93 S	12,750
3690	9.79 S	12,500
3700	10.75 Z	12,200
3820	11.80 S	11,910

F. 9.6- Efeito da torção sobre a resistência dos fios binados (obs.: os fios foram torcidos com 11.3SZ t.p.i, antes de binados e tinham tenacidade de 3.4 g/dn)

A figura 9.6 acompanhada da tabela de dados mostra os resultados obtidos quando foi feito o teste de resistência.

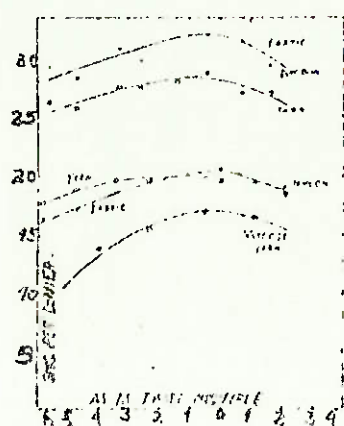
Obs.: Considerou-se: positiva a torção na direção (Z) e negativa na direção (S).

A curva mostra que a resistência dos fios binados varia com o ângulo entre os filamentos e o eixo do fio binado (na figura 9.5 como (A)); mostrando também que a máxima resistência é atingida num ponto muito perto do zero-torção.

9.5- Resistência do Tecido

Quando um tecido é formado por fios torcidos, a resistência desse tecido depende da torção aplicada no fio.

A máxima resistência do tecido é encontrada quando a torção, nos fios que a formam, é um pouco menor que a torção-ótima do fio (torção que confere maior resistência ao fio). Isso é explicado pelo fato de que a ação de ligação do tecido, reduz a necessidade da ação de ligação dada pelo torcimento. Entretanto, na maioria dos tecidos comerciais verificamos que a máxima resistência à tração é obtida aplicando-se, aproximadamente a torção-ótima.



Yarn Size	Single L.P.I.	DACRON		
		Ply P.P.I.	Des. Yarn	Strength (Lb./sq. in.)
15 1/2	10	2.5	1.03	158
16 8/2	10	3.2	1.19	158
16 0/2	10	3.1	1.21	158
16 2/2	10	11.0	1.03	168
15 1/2	10	11.2	1.20	162
16 0/2	10	15.1	1.04	161
11 6/2	10	19.3	1.01	159
15 1/2	10	22.1	1.00	162

*A one-inch strip revolved to 36 ends

F. 9.7- Efeito da torção de binagem sobre a resistência dos fios sintéticos e dos tecidos formados por eles

Usando-se fios binados (ou com maior número de associações, pois o princípio continua valendo), é possível obter uma ação de ligação razoável sem usar altas torções, pois isso acarretaria filamentos com tensões desiguais.

Obs.:

- 1) "AS-IS" é o valor final de torção (torção na direção Z menos a torção na direção S).
- 2) Quando os fios são feitos com um grande número de associações percebe-se que a resistência do fio fica insensível às mudanças de torção. Por essa razão, essas condições e os testes desses fios requerem maior cuidado.

9.6- Resistência das Cordas

Quando os fios são torcidos para formar uma estrutura de corda, o efeito da torção na resistência torna-se de difícil compreensão.

Um fator que complica os resultados dos testes, é que certos níveis de torção impedem o livre deslizamento dos filamentos, impedindo-os de se realinharem na última operação de torção.

Na prática, costuma-se fazer uma bateria de testes para conhecer qual a melhor torção, e em qual ordem ela deve ser aplicada.

Na tabela 9.1 pode ser visto um exemplo de uma corda construída com torção (ZZS). Nota-se que a máxima tenacidade foi obtida para aquela que teve menor soma de fatores de torção.

Test	A	B	C
Single T.P.L.	10.33 Z	12.43 Z	18.45 Z
Single T.M.	2.83	3.05	5.04
Ply T.P.L.	19.18 Z	19.11 Z	19.95 Z
Ply T.M.	9.29	9.19	9.57
Cord T.P.L.	10.39 S	10.25 S	10.51 S
Cord T.M.	-8.66	-8.51	-8.76
Cum. T.M.	3.41	4.14	5.85
Brans Denier	1.86	4.83	1.60

TAB. 9.1- Exemplo de corda construída com torção ZZS

O mesmo conceito é usado para cabos onde se deseja obter um produto com a maior resistência à tração possível, nesses casos, a construção usada é geralmente (Cable Twist) (ZSZ). Examinando-se os cabos de boa qualidade, verifica-se que os feitos de nylon, abaca, ou aço, têm todos os filamentos ou fios paralelos ao eixo do cabo, indicando ângulo de torção nulo. Sabe-se também que quando outras características são requeridas, por exemplo: resistência à abrasão, usa-se a torção (ZZS) (hawser twist), e para esse tipo de cabo, a soma dos fatores de torção a zero não é utilizada.

Quando se deseja obter a máxima resistência deve-se minimizar qualquer distorção como flambagem de alguns componentes. Isso

geralmente é superado construindo-se cabos de fios trizados. Quando um grande número de fios é usado recorre-se à utilização de um núcleo que serve de referência e apoio para os outros fios. Outra técnica bastante usada é a aplicação de lubrificantes.

9.7- Espaçamento dos Fios no Tecido e sua Relação com Torção

Quando os fios torcidos são arranjados em forma de tecido, as condições de manufatura, principalmente no tear, afetam a resistência final do tecido.

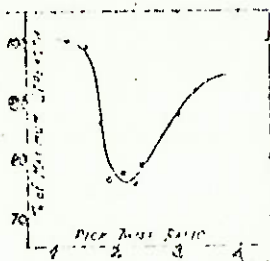
A torção anteriormente dada aos fios tem uma significativa influência sobre isso. O fenômeno é tanto mais grave quanto menor for o espaçamento dos fios trama.

O valor crítico para o espaçamento é calculado da seguinte forma:

$$\text{Espaçamento crítico} = \frac{P}{T(1+C)} \quad (9.5)$$

onde $\left\{ \begin{array}{l} P = \text{espaçamento por unidade de comprimento;} \\ T = \text{torções de associação por unidade de comprimento; e} \\ C = \text{encrespamento dos fios urdume} \end{array} \right.$

Os estudos desse fenômeno foram realizados por L.F. Pickyp, e indicam que quando o espaçamento tem valor 2 (dois), observa-se que há um decréscimo de 20% na resistência do fio trama, como pode ser conferido pela fig. 9.8.



F. 9.8- Efeito dos "espaçamentos" sobre a resistência do fio

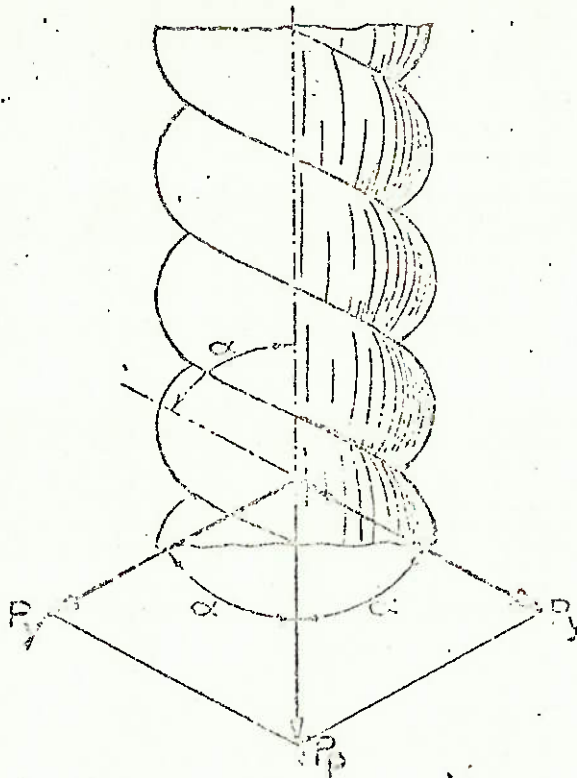
9.8- Perda à Cablagem

A resistência de quebra ou simplesmente resistência de uma corda ou fio binado é sempre menor do que a soma das resistências dos fios constituintes (ou fios únicos). Essa perda é chamada perda à cablagem e é definida por:

$$L = \left(\frac{n \cdot S_y - S_p}{n \cdot S_y} \right) * 100\%$$

onde { L = perda à cablagem
 n = número de fios únicos
 S_y = resistência dos fios únicos
 S_p = resistência da corda

Numa primeira aproximação podemos concluir que aplicando uma carga P_p na corda estaremos carregando os fios únicos com uma carga P_y , como na figura



F. 9.9- Diagrama de forças que se estabelece no fio P_y ; quando aplicamos uma carga P_p no fio binado

$$P_y = \frac{P_p}{2 \cos Q} \quad (9.7)$$

Onde Q é o ângulo de torção

Tomando-se agora P_p por S_p , P_y por S_y , e Q_b (ângulo de torção na quebra) por Q, teremos:

$$L = (1 - \cos Q_b) * 100\% \quad (9.8)$$

Assim notamos mais uma vez que aumentando-se o ângulo de torção, e portanto a torção, teremos uma maior perda à cablagem. Além disso, um material com uma alta elongação na quebra, sob outro aspecto dará em circunstâncias iguais, um menor Q_b e assim uma menor perda à cablagem.

Basicamente podemos considerar duas causas para essa perda de tenacidade:

1) A causa geométrica

Cada fio na "corda" está inclinado em relação ao eixo da corda e portanto sua contribuição para a resistência no eixo da corda é diminuída (efeito da torção).

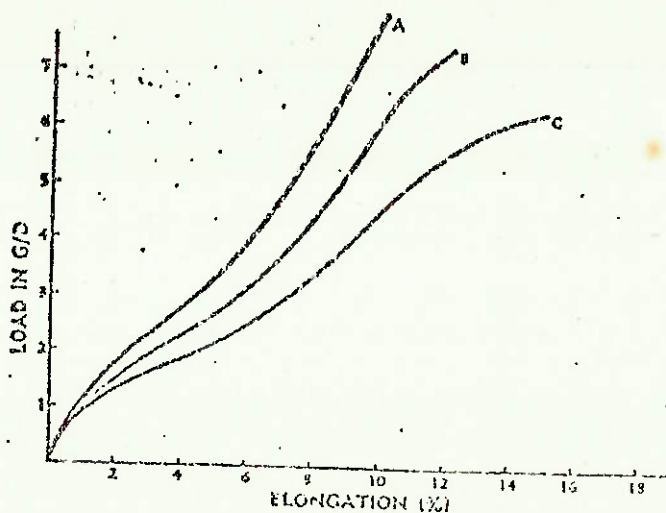
2) As propriedades do material

- a) a configuração da curva tensão-elongação. Uma curva com um patamar longo será preferido para minimizar as perdas (módulo final);
- b) a elongação na quebra;
- c) a deformabilidade dos filamentos na direção radial.

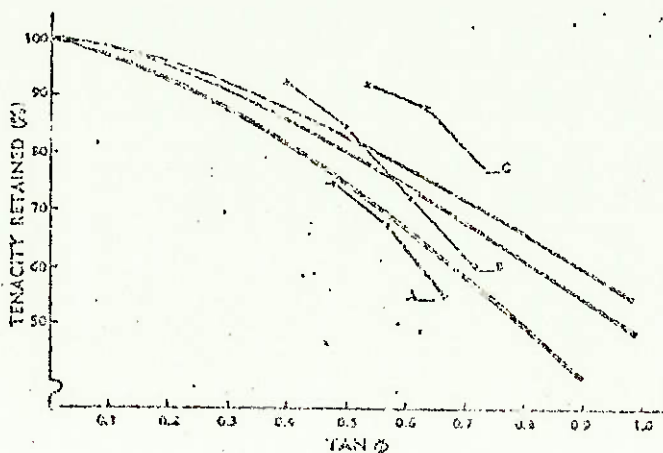
Conhece-se muito pouco sobre isso ainda, teoricamente a única aproximação aparentemente válida é o efeito da razão de Poisson.

d) atrito entre os filamentos

Sabe-se que o atrito entre os filamentos afeta muito a resistência da corda, mas ainda se busca melhores dados.



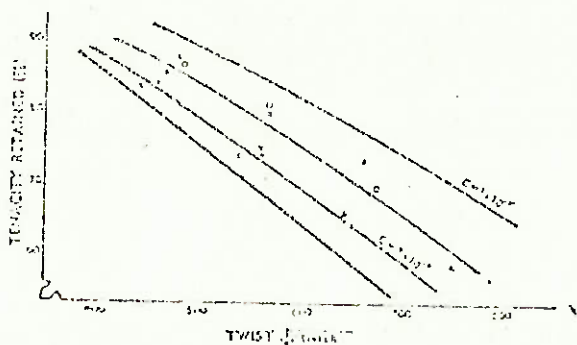
F. 9.10- Curvas carga-elongação para 3 tipos de fio poliéster



F. 9.11- Tenacidade retida versus torção para os 3 tipos de poliéster da fig. 9.10

As figuras 9.10 e 9.11 acima, mostram o efeito do "módulo final".

A figura 9.12 mostra melhor esse efeito, nessa figura porcentagem de resistência retida é plotado versus fator de torção.



F. 9.12- Tenacidade retida (da corda) versus fator de torção (geometria da corda), com variação de "tipo" ou seja do módulo final

Uma equação empírica mostra o efeito da geometria da corda e da constante C.

$$\text{Porcentagem de resistência retida} = \frac{1}{1+C(\text{torção}^2 \times \text{denier})^{3/2}} \quad (9.9)$$

$$\text{Obs.: } (\text{torção}^2 \cdot \text{denier})^{3/2} = \bar{\zeta}^3$$

onde $\bar{\zeta}$ = fator de torção (definido anteriormente)

O valor da constante C é determinado assim:

$$C = (900 + 15 S) \times 10^{-12} \quad (9.10)$$

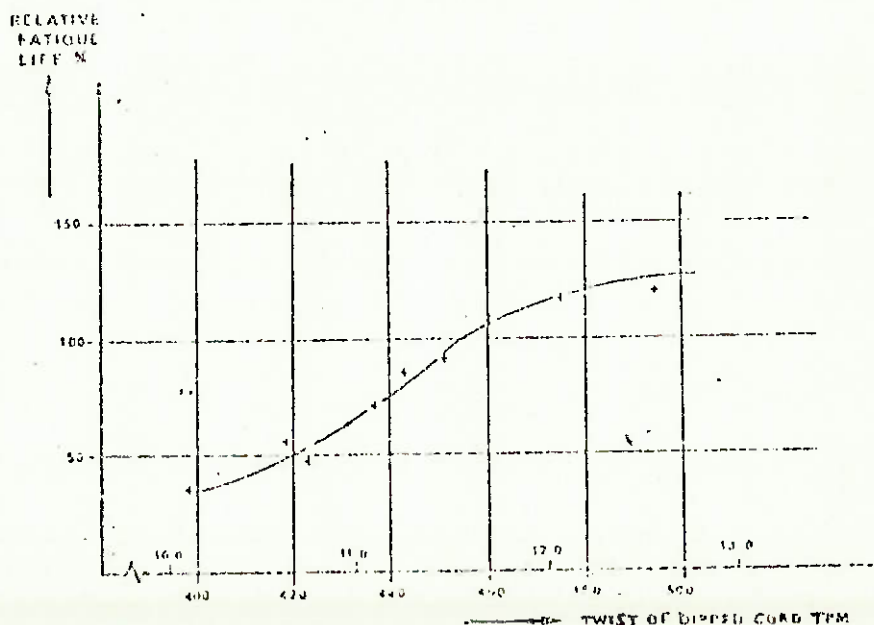
onde: S = módulo final da curva tensão-elongação dos filamentos.

Essas equações têm encontrado razoáveis resultados.

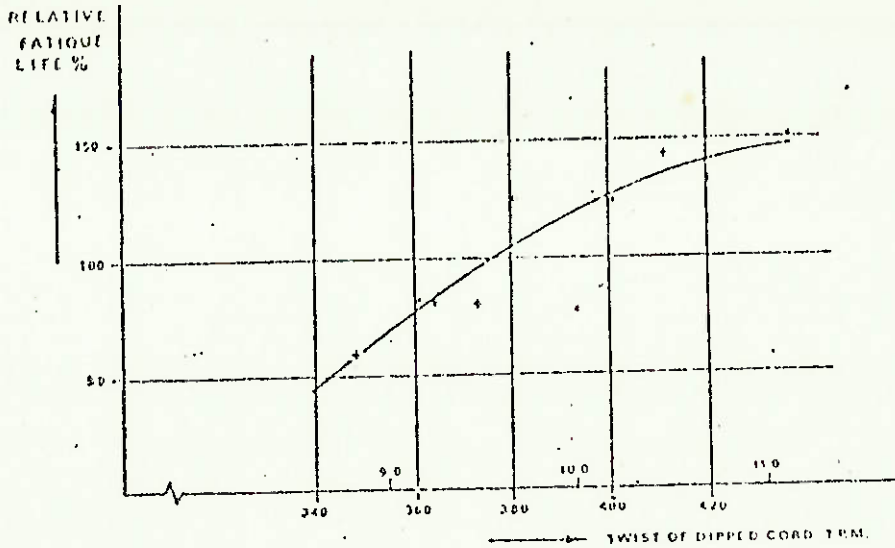
9.9- Efeito da Torção na Resistência à Fadiga

Uma das mais importantes propriedades dos fios-pneus é a resistência à fadiga. A construção das cordas nesse caso, é muito importante. Portanto o efeito da torção sobre a resistência à fadiga deve ser investigado.

Os resultados para o ENKALON 200 (nylon 6) está apresentado na figura 9.13 e 9.14 respectivamente para a construção 840 x 2 e 1260 x 2. Como podemos verificar através desses gráficos, a torção influencia muito a resistência à fadiga. O nível da torção para a corda "greige" é aproximadamente 15-20 t.p.m. maior que a corda "dipped".

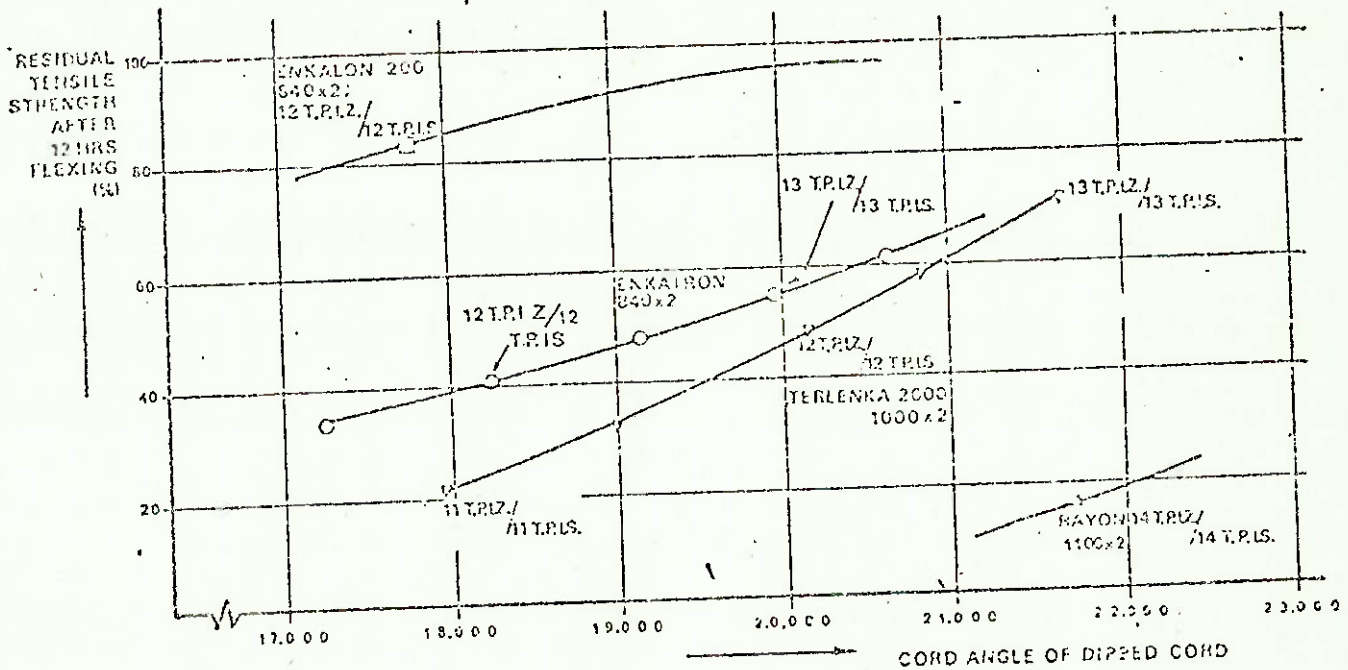


F. 9.13- Influência da torção na resistência à fadiga Enkalon 200 (nylon 6) com construção 840 x 2



F. 9.14- Influência da torção na resistência à fadiga Enkalon 200 (nylon 6), construção 1260 x 2

Na figura 9.15 comparou-se vários materiais pela sua resistência à fadiga de uma outra maneira e comparando a resistência à tração restante após 12 horas de flexões versus fator de torção.



F. 9.15- Resistência à tração restante após 12 horas de flexão (resistência à fadiga) versus fator de torção

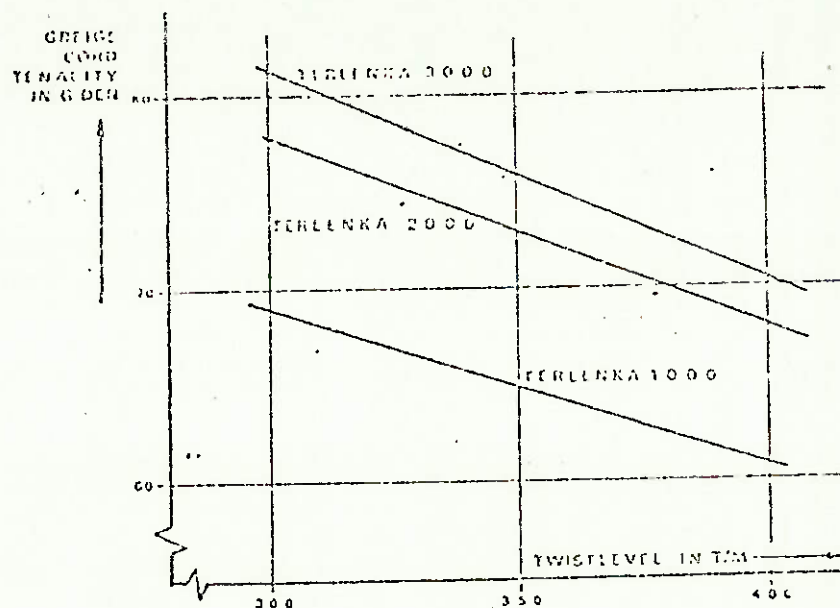
Obs.: 1) ENKATRON é um tipo de nylon e poliéster misturado e TERLENKA um tipo de poliéster.

2) A torção "standard" para o poliéster é 12 t.p.i.o que corresponde a 472 t.p.m.

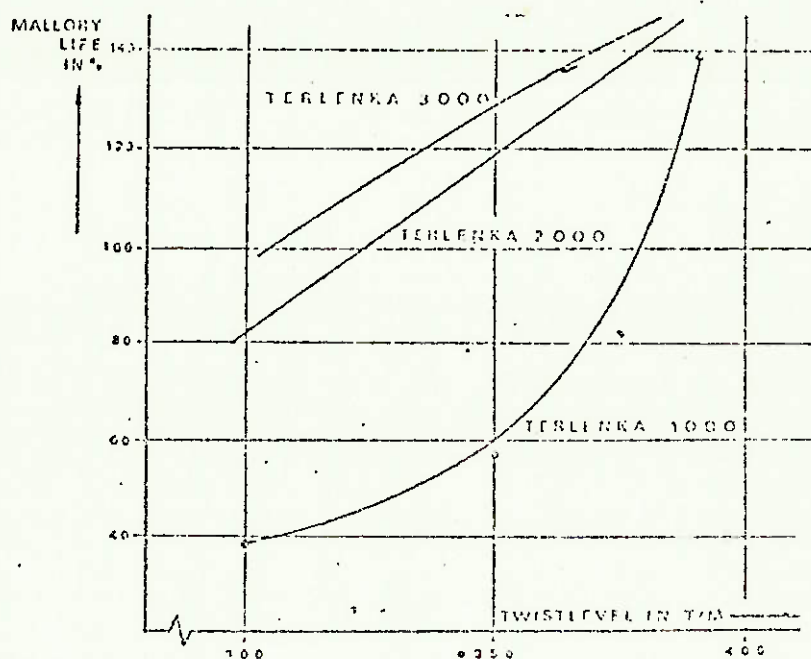
9.9.1- Efeito de Alterações de Propriedades sobre as Curvas Tenacidade x Torção e Resistência à Fadiga x Torção

O grupo AKU verificou esse efeito para os seus fios poliéster Terlenka, tipo 3000; tipo 2000 e tipo 1000, os resultados estão resumidos nas figuras 9.16 e 9.17.

Desses resultados podemos concluir que a corda tipo 3000 tem uma tenacidade superior bem como uma resistência à fadiga superior que dependem, porém, do nível de torção.



F. 9.16- Resistência à tração de três tipos de poliéster (1000, 2000 e 3000 dtex)



F. 9.17- Resistência à fadiga versus torção para o fio único de 1000dtex, 2000dtex, 3000dtex

Os valores das resistências são maiores, porém proporcionalmente a resistência à fadiga da corda tipo 3000 "cresce menos" do que a corda tipo 1000.

O tipo 1000 - é o terlenka antigo, o tipo 2000 o recente e o tipo 3000 o tipo futuro. A tabela seguinte apresenta as características do tipo 2000.

Trademark	TERLENKA 2000		
Type	polyester		
Available deniers	1000		1300
Number of filaments	192		192
YARN			
Denier	1015		1310
Cond. strength (kg-lbs)	9.5-20.9		12.2-26.6
Cond. tenacity (g/100 den)	935		930
Cond. elongation at break (%)	10.5		10.0
Twist (t.p.m. - t.p.i.)	0-0		0-0
Finish content (%)	0.5		0.5
GRILLE CORD			
Standard cord construction	1000 x 2	1000 x 3	1300 x 3
Standard twist (Z S t.p.m. - t.p.i.)	472-472-12-12	354-354-9-9	316-316-8-8
Twisting machine used	AC	Platt	Platt
Denier	2235	3350	4335
Cond. strength (kg-lbs)	16.5-36.3	25.7-56.1	32.0-70.4
Cond. elongation at 10 lbs (%)	6.0	4.3	3.5
LASE at 10% (kg-lbs)	9.4-20.7	11.3-29.3	--
Cond. elongation at break (%)	10.2	17.2	16.0
DIPPED CORD			
Dip machine	Litzler Compu-dip		
Dip solution	TD 50, 20%		
Drying	125° C - 255° F, 120 sec		
tension (g-lbs)	450-0.99		600-1.32
Stretching	235° C - 455° F		
tension	450-0.99		600-1.32
Cond. strength (kg-lbs)	15.5-34.1		23.8-52.4
Cond. elongation at 10 lbs (%)	4.0		2.9
LASE at 10% (kg-lbs)	8.3-18.7		11.5-25.5
Cond. elongation at break (%)	16.4		10.9
Hot shrinkage (45-160° C) (%)	2.6		1.8
Heat resistance (glass 45-150° C) (%)	81		81
Adhesion (0.1 t.p.m.) (g-lbs)	17.2-28.7		14.0-30.7
Military Tests (t.p.m.) (%)	110		110
Characteristics determined according to BISE norms.			
Tensile tester used: SCOTT 1164 distance between clamps: 50 cm for single cord			
SCOTT 1164 distance between clamps: 25 cm for 1000 - 2, 1000 - 3			
Zwick CRE distance between clamps: 50 cm for 1300 - 3			

TAB. 9.2- Propriedades do Terlenka 2000

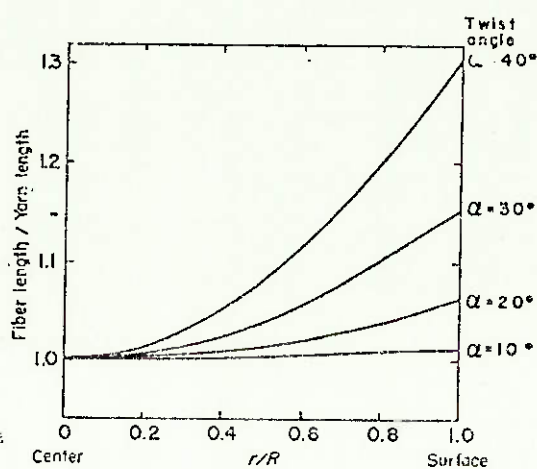
10- FORMA E DISPOSIÇÃO DA FIBRA EM FIOS TORCIDOS

10.1- Migração da Fibra

10.1.1- Introdução

A geometria helicoidal idealizada do fio é difícil de se obter na prática, e essa dificuldade de formação é devida às diferenças dos comprimentos de trajetórias das fibras, nas diferentes posições radiais.

Alguns valores típicos da variação dos comprimentos das trajetórias ao longo da posição radial, são mostrados na fig.10.1.



F. 10.1- Razão de comprimento das fibras nas diferentes posições radiais do fio

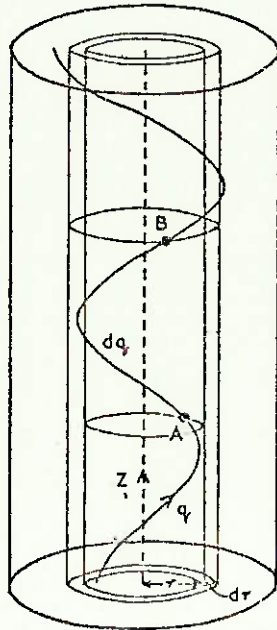
Se uma geometria idealizada é mantida sem flambagem das fibras centrais, a diferença entre os comprimentos devem ser acomodadas ou pela diferença de taxa de fornecimento da fibra de acordo com sua posição no fio, ou sujeitando algumas fibras a altas deformações. Essa última alternativa pode causar um indesejável dano à fibra.

Morton, propõe a existência de uma migração regular de cada fibra, devido a diferenças de comprimento de trajetória. Fibras sobre a superfície seguem trajetórias mais longas, desenvolvem maiores tensões e tendem a deslocar as fibras centrais que seguem trajetórias curtas sob baixas tensões. Devemos notar que o termo migração é utilizado para denotar a mudança da posição da fibra ao longo do comprimento do fio.

10.1.2- Migração Ideal

A geometria helicoidal ideal pode ser modificada, considerando a migração discutida por Hearle, Gupta e Merchant.

O modelo de migração ideal é definido como aquele em que a fibra migra regularmente e uniformemente de fora para dentro do fio e retorna para fora, de tal modo que a densidade de empacotamento das fibras é constante em todo o fio.



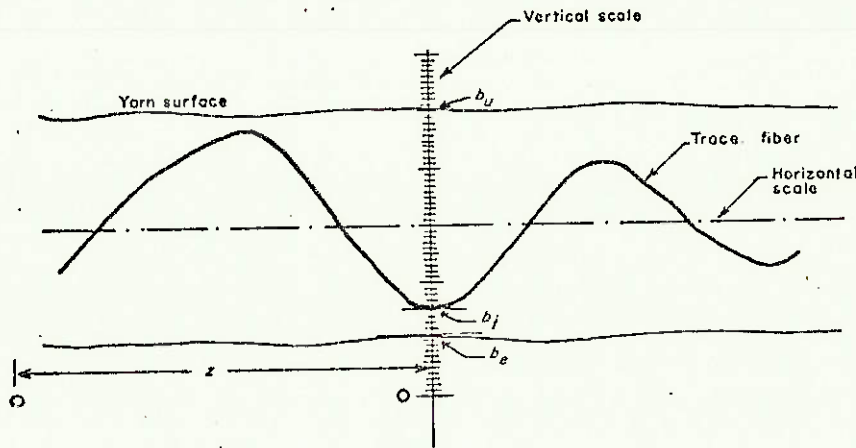
F. 10.2- Migração da fibra entre a zona dr

10.1.3- Observação da Trajetória Individual das Fibras

Para o estudo da migração, é necessário uma técnica para acompanhar a trajetória individual dos filamentos. Morton e Yen desenvolveram uma técnica de tingimento para as fibras de algodão, rayon e nylon. Riding aplicou a técnica para fios contínuos contendo um filamento colorido.

Observação qualitativa em ambos fios (contínuos e de fibras) demonstram que a migração ocorre de maneira irregular não se obtendo o modelo de migração ideal. Para um comprimento razoavelmente curto de fio, cada filamento segue uma trajetória helicoidal de período aproximadamente constante, havendo alguma irregularidade de empacotamento das fibras.

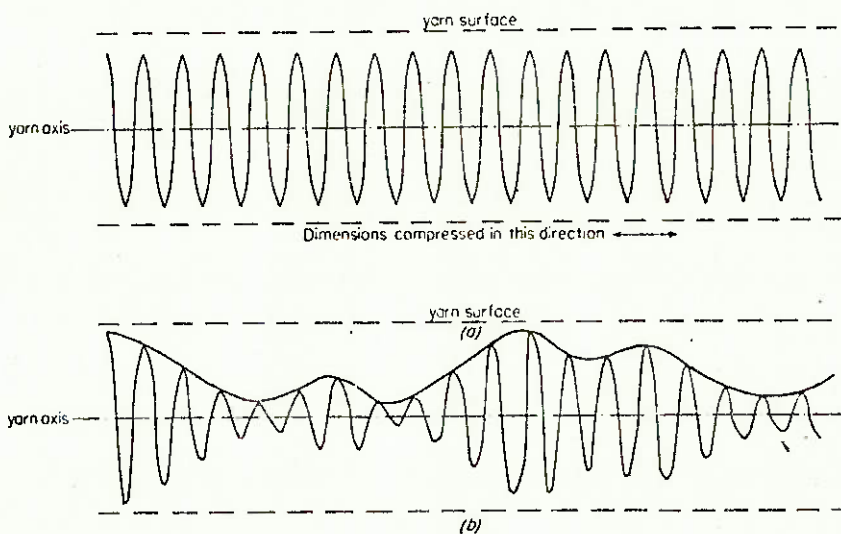
Se assumirmos que o arranjo das fibras é simétrico em torno do eixo do fio, a posição radial da fibra no fio pode ser caracterizada pela medida da fig. 10.3a.



F. 10.3a- Medidor de trajetória do microprojctor

$$\frac{r}{R} = \frac{[(b_u - b_e)/2] - b_t}{(b_u - b_e)/2}$$

O gráfico de r/R com o comprimento do fio mostra a envolvente cilíndrica de raio variando em torno do qual a fibra segue trajetória helicoidal. A envolvente pode ser imaginada como aquela formada por uma distorção periódica do cilindro uniforme, o qual define a posição da fibra na geometria helicoidal idealizada. Essa distorção é ilustrada na fig. 10.3b.



F. 10.3b- (a) Projecção da trajetória da fibra de um fio idealizado
(b) Projecção da trajetória da migração da fibra

10.1.4- Caracterização da Migração

A construção de envolventes helicoidais proporcionam uma expressão gráfica de migração. Foram introduzidos vários parâmetros para designar numericamente a migração.

Adotaremos para a envolvente helicoidal, uma analogia com a corrente elétrica. São três os principais parâmetros:

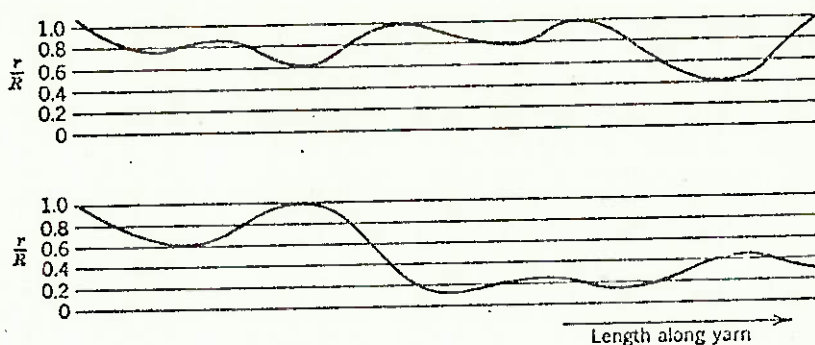
- . a posição média da fibra
- . a amplitude de migração
- . a taxa ou frequência de migração

Existem fórmulas para esses três parâmetros, pois eles expressam as características mais importantes da migração.

10.1.5- Experiência de Morton e Yen

Morton e Yen demonstraram que a migração ocorre em rápida velocidade, mas com considerável irregularidade. A irregularidade da migração é mostrada numa típica envolvente helicoidal mostrada na fig. 10.4, e por causa disso, há uma dificuldade na obtenção da medida direta do período de migração.

Um método realizado por Morton é a divisão da secção transversal do fio em cinco zonas concêntricas, com mesmo espaçamento radial. A média do número de vezes que a envolvente helicoidal corta essas regiões, por unidade de comprimento, fornece a intensidade de migração (frequência e amplitude). A intensidade de migração aumenta devido aos efeitos de torcimento.



F. 10.4- Exemplo da envolvente helicoidal nas diversas regiões

A fig. 10.4 mostra a distribuição de um particular filamento entre as cinco zonas do fio, considerando a correção para as diferenças do ângulo de hélice, para as diferentes zonas.

Morton pesquisou os possíveis efeitos de mistura na migração. Se por exemplo, fibras de diferentes módulos são misturadas, aquelas com módulos menores irão desenvolver menores tensões e, portanto, são mais prováveis de serem empurradas para fora.

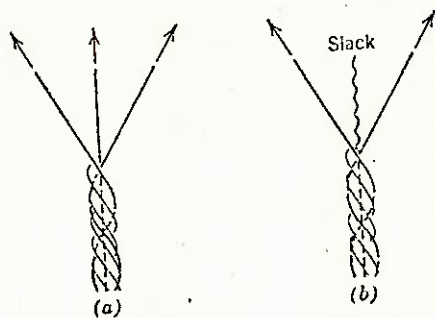
10.2- Variação da Tensão como um Mecanismo de Migração

10.2.1- Critério para Mudança de Posição

A idéia da migração das fibras foi proposta por Morton pois ele imaginou que os filamentos torcidos ao longo de trajetórias externas do fio deveriam sofrer maiores tensões, enquanto que as fibras centrais deveriam seguir trajetórias curtas e retas, desenvolvendo menores tensões. Essas diferenças poderiam causar a mudança de posição do filamento entre a maior e a menor tensão.

Como a tensão influencia no movimento do filamento de uma camada para a outra?

Existem muitas possibilidades de responder essa questão. Num fio irregular, o filamento pode ser facilmente empurrado de uma camada para um espaço na próxima camada. Em um fio mais juntamente empacotado, isso será mais difícil. É pressuposto que os filamentos somente irão mover-se para fora de uma dada camada, quando eles se tornarem frouxos. Essa situação é mostrada na fig.10.5.



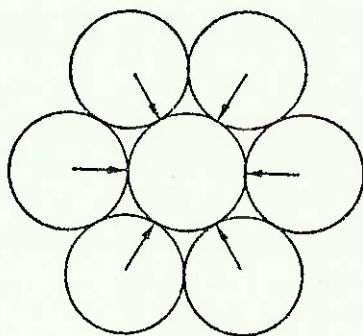
F. 10.5 - (a) filamento central sob tensão

(b) filamento central frouxo, permitindo a migração

Quando a fibra permanece esticada sob alguma tensão, conforme a fig. 10.5 ; ela irá manter essa posição; mas quando ela se torna frouxa, conforme a fig. 10.5, então ela poderá ser deslocada.

As condições necessárias para deslocar a fibra da posição central são:

1. Superar a própria tensão do filamento que o mantém na sua posição central.
2. Superar a pressão dos filamentos vizinhos, que tendem a manter sua posição conforme a fig.10.6.



F. 10.6- Pressão dos filamentos vizinhos prevenindo a migração

Uma vez que o filamento se torna frouxo, um posterior curvamento da estrutura vai permitir um fácil deslocamento do filamento, ocorrendo migração.

Esse mecanismo tem sido estudado teoricamente e experimentalmente em uma estrutura associada com sete filamentos, realizada por Hearle e Merchant, pois essa estrutura é conveniente para se examinar, pois forma um arranjo no qual um filamento é o central e outros seis seguem trajetórias helicoidais na camada externa.

10.2.2- Teoria da Migração

Assume-se que haverá migração quando a tensão no filamento central for nula e houver algum afrouxamento acumulado.

Se a tensão de torcimento for alta suficiente, o filamento central irá estar sempre sob tensão e a migração não ocorrerá, mas se a tensão de torcimento for menor que um certo valor, então haverá migração.

Supondo que T_y' é a tensão de torcimento tal que o filamento central fica acomodado dentro do fio sem nenhuma alteração de comprimento.

Se a tensão de torcimento for maior que T'_y , todos os componentes do fio deverão ser alongados ainda mais. Consequentemente, o fio central estará sob tensão e a migração não ocorrerá. Se a tensão de torcimento for menor que T'_y , os filamentos externos estarão sob uma tensão pequena, e o comprimento do fio associado formado deverá ser menor do que o comprimento inicial do fio único. Esse excesso de comprimento é suprido para o centro, e as condições para haver migração são satisfeitas.

Para o fio associado de sete filamentos:

$$T'_y = 6 \delta (1 - \cos \alpha) \quad \text{onde} \quad \delta = \frac{\text{Tensão do fio}}{\text{Fração de alongação do fio}}$$

A frequência da migração é dependente de vários fatores que são colocados a seguir:

- α ... ângulo de torção do fio associado
- T_y ... tensão de torcimento
- L ... o comprimento livre da zona de torção
- δ ... a tensão resultante da alongação do fio
- x ... grau de curvamento necessário para se iniciar a migração

10.2.3- Conclusões Experimentais

Comparando resultados experimentais com as previsões teóricas, as conclusões obtidas foram:

1. A taxa de migração decresce com o aumento da tensão e com aumento do comprimento livre da zona de torção
2. A confirmação de que a migração não ocorre se o componente central estiver sob tensão.

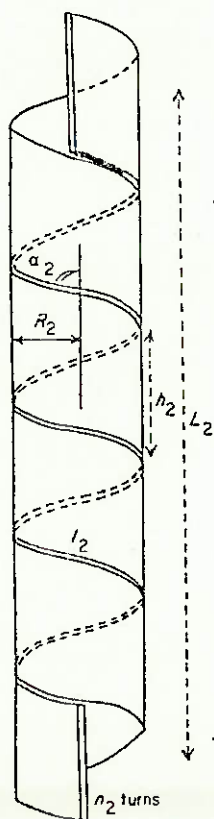
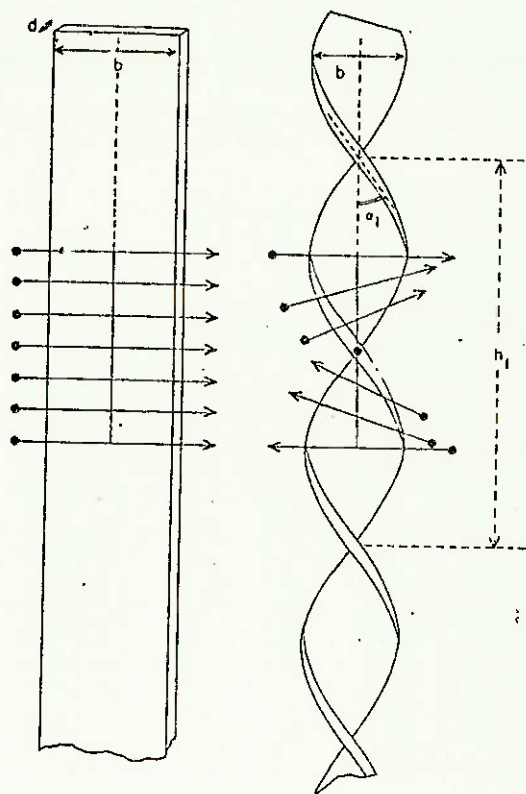
10.3- A Forma de Torcimento do Fio

10.3.1- Torcimento Cilíndrico e de Fita

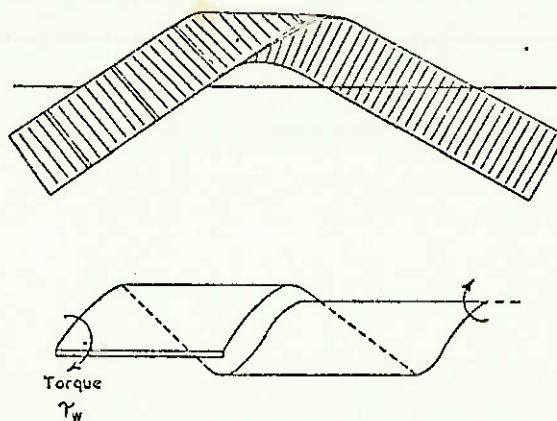
Devemos considerar três possíveis modos de torcimento no fio:

1. Torção da forma cilíndrica
2. Torção da forma fita (cuja figura é a fig. 10.7)
3. Forma fita enrolada (figuras 10.8 e 10.9)

F. 10.7- Geometria da torção da forma fita

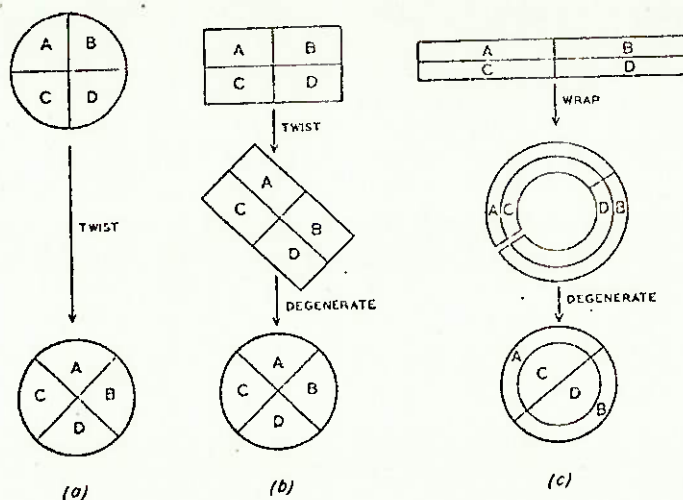


F. 10.8- Geometria da forma fita enrolada



F. 10.9- Formação da forma fita enrolada

Essas formas estão ilustradas esquematicamente na fig. 10.10. Os diagramas foram divididos em quadrante para mostrar a disposição relativa das diferentes regiões antes e depois do torcimento.



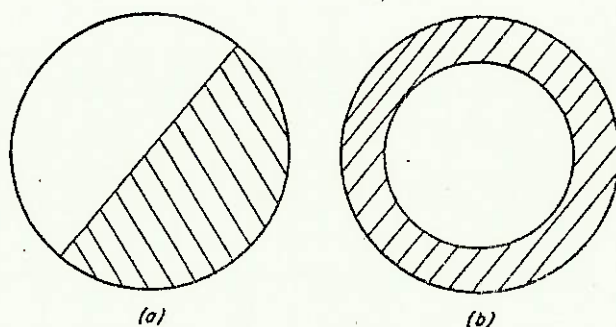
F. 10.10- (a) Torção cilíndrica (b) Torção da forma fita
(c) Forma fita enrolada

Podemos notar que as duas formas torcidas (1 e 2) se tornam idênticas após a torção. Portanto, na realidade, consideraremos apenas duas formas de estrutura: as torcidas e as enroladas.

Nas formas torcidas, o eixo do fio não muda e qualquer plano é inicialmente perpendicular ao eixo do fio, permanece perpendicular após o torcimento. Nas formas enroladas, o eixo da

fita original segue trajetória helicoidal na estrutura enrolada.

A fig. 10.11 mostra que filamentos que inicialmente estão em um lado do fio, permanecem nesse lado nas formas torcidas; mas constituem camadas completas internas ou externas nas formas enroladas.



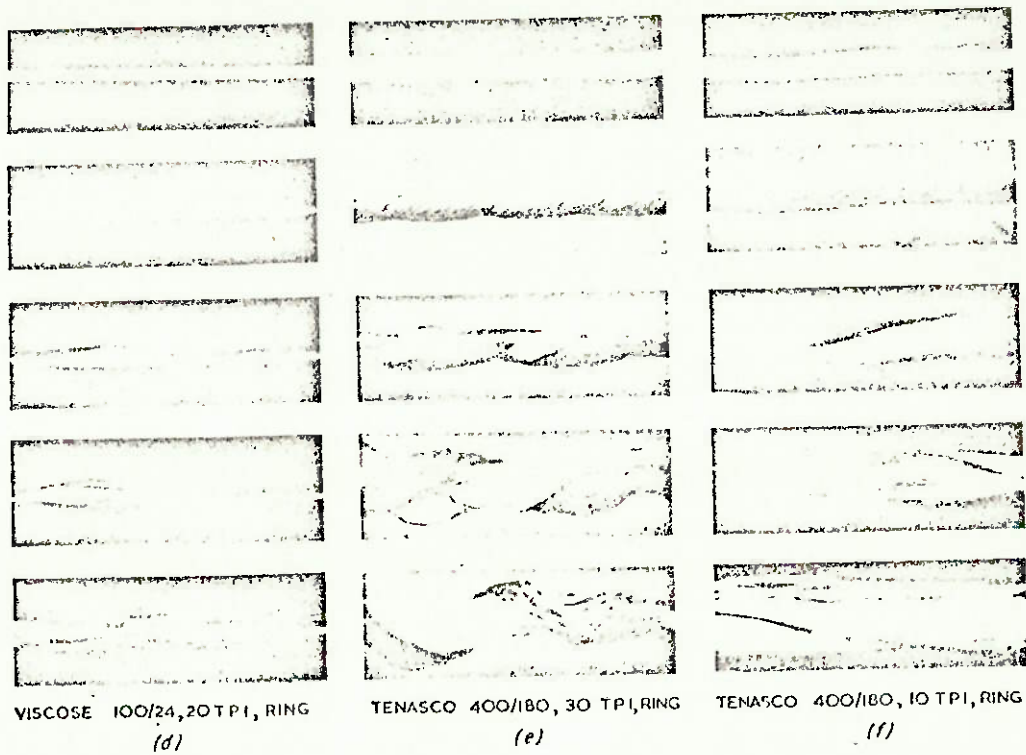
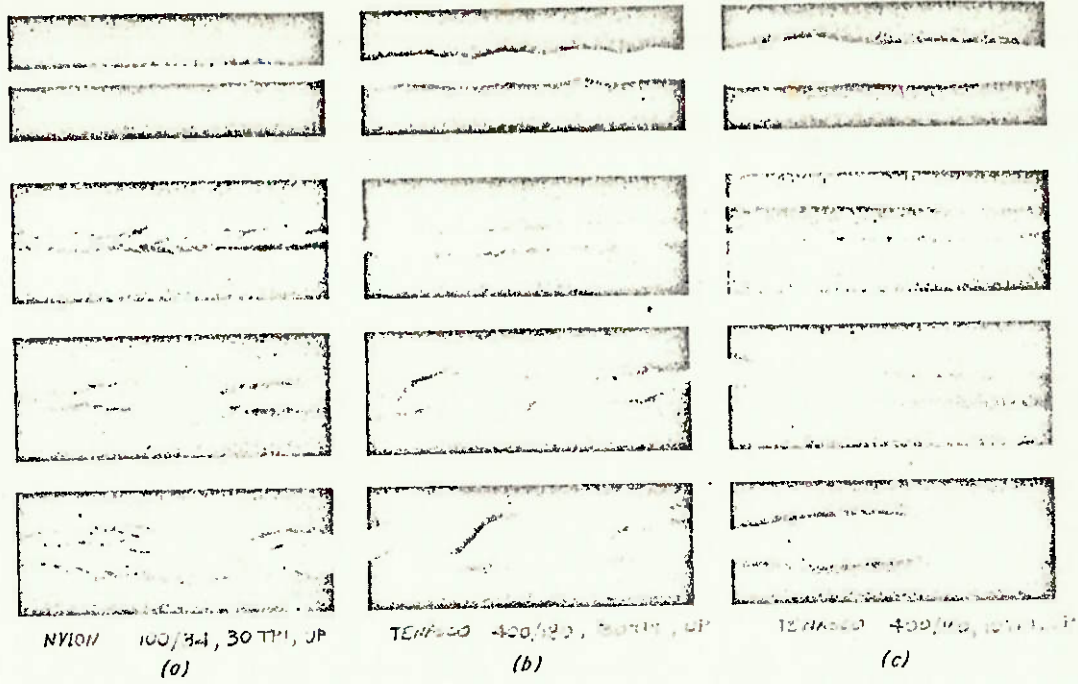
F. 10.11- Disposição dos filamentos após o torcimento
 (a) torção cilíndrica e forma de fita
 (b) forma de fita enrolada

10.3.2- Experiências com Fios Reais

Para a comprovação das formas de fita enrolada e cilíndrica, Hearle e Bose fizeram um fio especial de viscose rayon com componentes de duas cores.

Inicialmente, o fio de múltiplos filamentos foi forçado a desenvolver torção cilíndrica, por passar através de um pequeno buraco circular. Confirmou-se que para o fio de forma cilíndrica, os filamentos mantêm suas posições iniciais. Retirado o anteparo que continha o buraco circular, o fio de múltiplos filamentos desenvolveu torção em forma de fita enrolada, pois o fio era achatado em forma de fita na saída dos rolos. Obteve-se camada interna de uma cor e camada externa de outra cor, mas para isso, foi necessário assegurar que os filamentos coloridos passassem juntos, através dos rolos, um sobre o outro. Alguns fios contínuos, torcidos por métodos comerciais, foram, também, examinados por Hearle e Bose; muitos deles mostraram assimetria, especialmente aqueles com grande número de filamentos onde os efeitos de torção da forma fita são aparentemente maiores.

Um outro método de análise, é cobrir a superfície do fio com pasta colorida e observar o fio durante o destorcimento. Alguns exemplos estão na fig.10.12.



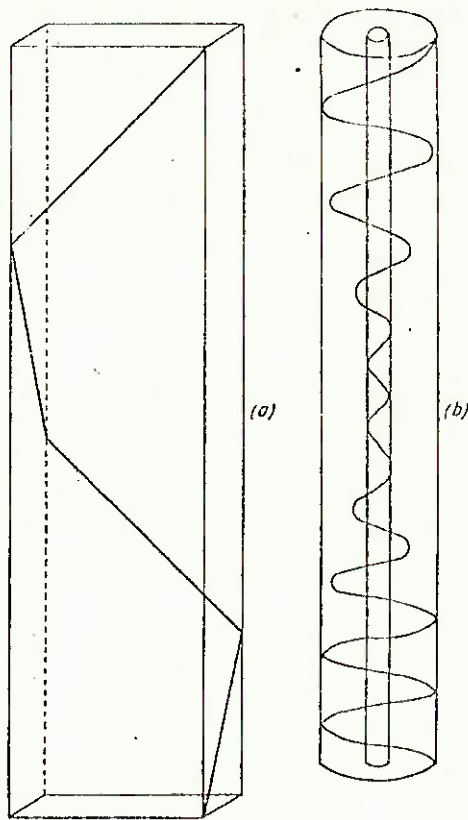
F. 10.12- Aparência de diversos fios durante o destorcimento

Todos esses estudos mostram que a estrutura do fio cuja forma é de fita enrolada é muito provável de aparecer em fios torcidos, mas onde o número de filamentos é pequeno e a densidade linear baixa, observa-se a torção cilíndrica.

10.3.3- Uma Explicação Geométrica da Migração do Filamento

Uma importante consequência do torcimento da forma de fita enrolada, é a explicação geométrica da migração da fibra, sugerido por Hearle e Bosc.

Um fio contínuo é achatado em forma de fita, conforme a fig. 10.13a, e consideremos que esse fio contenha uma pequena quantidade de torção devido ao processo, observe um filamento torcido em sua volta. Quando essa fita for torcida na forma enrolada, como na fig. 10.13b, os filamentos de um lado serão o centro, e os filamentos de outro lado da fita serão a superfície. Haverá, portanto, alguns filamentos que se moverão entre as camadas internas e externas, isto é, migrando.



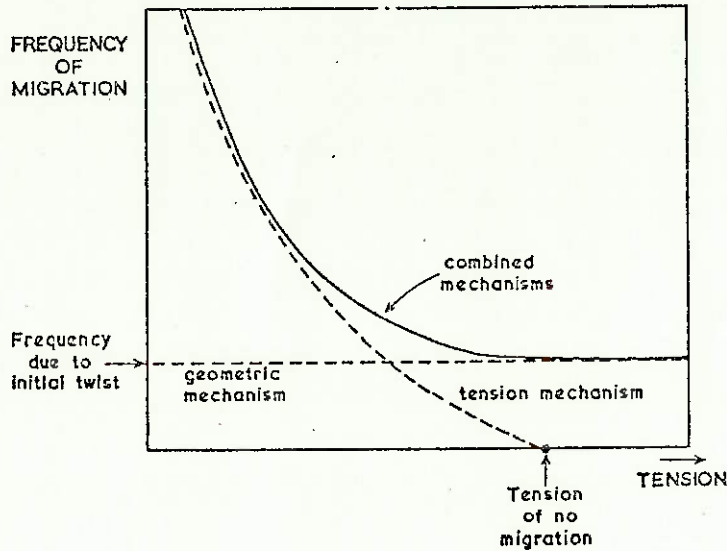
F. 10.13 -

- (a) representação esquemática da forma de fita, com pequena torção devida ao processo
- (b) o mesmo fio, torcido na forma fita enrolada, ocorrendo migração

10.4- Combinação de Mecanismos

Dois mecanismos de migração foram propostos, cada um sustentados por dados experimentais. O primeiro mecanismo é o da variação da tensão, e o outro mecanismo é o geométrico, dependente da torção da forma de fita enrolada.

Hearle, Gupta e Goswami, afirmaram que esses dois mecanismos não são mutuamente exclusivos, e quando ambos ocorrem, a variação da frequência de migração com a tensão de torcimento é ilustrada na fig.10.14.



F. 10.14- Combinação dos dois mecanismos propostos

11- INDUSTRIALIZAÇÃO DO FIO PNEU

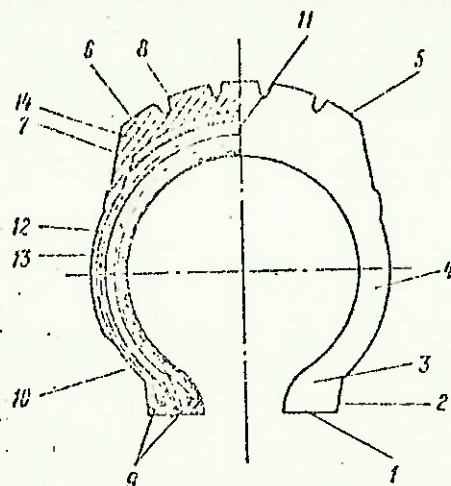
11.1- Uso do Fio Sintético para Fabricação de Bens Industriais

Fios e fibras sintéticas são utilizados em grande quantidade para a fabricação de: fio pneu, cintas de automóveis, correias transportadoras, redes, cordames, cordas e cabos, mangueiras, etc... devido às altas propriedades químicas e físico-mecânicas (alta resistência na quebra, alta resistência para deformações repetitivas durante o estiramento, curvamento e abrasão, resistência aos agentes químicos e exposição ambiente). A baixa hygroscopicidade das fibras sintéticas é um fator positivo para o caso de fio pneu, redes e cordames.

A vida útil de produtos industriais sintéticos é muito maior que os artigos produzidos de materiais naturais (algodão, lã, linho).

Uma tonelada de fibras sintéticas em bens industriais equivale de três a sete toneladas de algodão. Um exemplo é a utilização de fibras sintéticas para o fio pneu que aumenta a capacidade de carga e de velocidade dos automóveis. A substituição do algodão por fibras viscose, aumentou a vida útil dos pneus em 15-20%, reduziu o consumo de combustível em 15% e o consumo de borracha em 10%.

A fabricação de bens industriais a partir de fibras sintéticas tem se desenvolvido rapidamente. O torcimento é um dos principais processos para a produção do fio pneu e de vários artigos. O pneu do automóvel tem a função de proteger o tubo de borracha de estrago mecânico; ele consiste de cinco principais componentes: a carcaça, a manta para amortecimento, a banda de rodagem, as paredes laterais e a base. A fig. 11.1 ilustra a seção transversal de um pneu.



F. 11.1- Secção Transversal de um pneu

A carcaça 11 é a parte mais importante do pneu pois suporta toda carga. A carcaça consiste de mantas números 12,13,14.

A lona consiste em fios torcidos de densidade linear de 500tex ou mais, no urdume, e de fios de algodão comum com densidade de 16.6 - 25 tex no tramo pois sua função é somente juntar os fios do urdume.

Dependendo da sua posição na carcaça do pneu, as camadas de mantas são feitas de lonas com densidades diferentes. As camadas 7 e 8 absorvem impactos que a banda de rodagem 6 é sujeita, quando encontra um obstáculo, transmitindo esse impacto para a carcaça do pneu.

11.2- Requisitos das Propriedades dos Fios

Durante operação, o pneu é submetido a repetidas curtas e rápidas deformações por estiramento, compressão e curvamento e também a impactos. Para altas velocidades, devido ao atrito do pneu contra o solo e também do atrito interior dos fios da carcaça contra a borracha, a temperatura do pneu alcança 100°C e a resistência a repetida deformação é reduzida. Se assumirmos que a média para um pneu de um carro é 60.000 Km e que o diâmetro da roda me de 0,75m, cada ponto da roda será submetido a deformação cerca de 25 milhões de vezes.

Repetidos impactos e altas temperaturas fazem decrescer a resistência à fadiga, causando a quebra dos fios.

Os requisitos dos fios usados para a fabricação do fio pneu devem ser: alta resistência na quebra; alta elasticidades; boa resistência ao calor; baixa higroscopicidade; alta densidade da fibra e do fio; alta resistência para múltiplas deformações durante o estiramento, compressão, curvamento e atrito; uniformidade em todas as propriedades e estrutura; bem como uma boa adesão de corda com a borracha e excelente resistência à fadiga.

A tabela 11.1 mostra as fibras utilizadas para a fabricação do fio pneu.

Characteristics	Fibres		
	Cotton	Viscose	Capron
Linear density of single filaments, mtex	154	286	154
Breaking strength of fibre, kg/mm ²	5-10	7-10	25-30
Relative strength, gf/tex:			
dry	27-36	27-45	45-70
wet	30-40	16-30	40-65
Total elongation, %			
dry	7-9	10-16	20-25
wet	8-10	14-20	22-28
Fully recoverable elongation, %	1.5	1.5-1.7	6-8
Higroscopicity, %	6	12	3.8-4.0
Density, g/cm ³	1.52	1.52	1.14
Heat conductivity	high	high	low
Fatigue resistance	medium	medium or lower	high
Modulus of elasticity, kg/mio ²	1182	1612	967
Bending strength, cycles	2300	3000	5000-6000
Strength (%) retained after heating to 100°C for			
28 days	75	87	76
84 days	65	60	42

TAB. 11.1- Propriedades de fibras utilizadas para a fabricação do fio pneu

Da tabela podemos perceber que as características das fibras viscose e nylon (CAPRON) são superiores às do algodão. A principal desvantagem do fio viscose é a sua alta higroscopicidade e a grande perda da resistência quando molhado. Por essa razão, no caso de um furo no pneu, a umidade penetrará na carcaça, reduzindo a resistência do fio, podendo causar estragos prematuros no pneu.

A desvantagem do fio de nylon é a sua baixa estabilidade térmica e a sua alta elongação. Em altas temperaturas, a fibra de nylon pode ser facilmente deformada. As altas elongações fazem com

que o pneu perca sua forma, podendo os fios se atritarem uns contra os outros e contra a borracha, causando um desgaste na estrutura do pneu.

Estudos teóricos e experimentais mostram que um aumento da es pes sura do fio de múltiplos filamentos influencia positivamente as propriedades do fio. Por essa razão, os fios de múltiplos filamentos têm tornado mais grossos. Exemplo, é a mudança da densidade linear do fio de nylon para 197 tex comparado com os 29 e 93 tex utilizados anteriormente.

Foi descoberto que uma redução da densidade linear dos filamentos de 3.53 para 2.55-2.1 tex produz um favorável efeito na re sist ência à fadiga dos fios torcidos de viscose.

As propriedades do fio são melhoradas com um aumento do número de associações de fios (binagem, trinagem...).

Para produzir o fio torcido com a mesma espessura, fios com três ou quatro associações são mais confiáveis em operações do que o fio binado. Entretanto, devido aos fatores econômicos, não devemos aumentar o número de associações de fios. Portanto, devemos obter um fio binado com altas características de comportamento, e um dos principais fatores é a escolha do número ótimo de torção.

11.3- A corda (Fio Associado)

O fio associado é produzido em dois estágios. Primeiro, dependendo da sua espessura, os fios únicos são torcidos (S ou Z) com 300-500 tpm. Depois esses fios são agrupados e torcidos na direção oposta, com a torção sendo aproximadamente igual ou inferior.

A primeira torção tem grande efeito em todas propriedades mecânicas e físicas do fio. Experiências mostram que a máx ima resis tência na quebra do fio viscose com densidade linear de 184 tex é obtida a 100-250 tpm. Entretanto, experiências têm demonstra do um melhor comportamento no fio quando a primeira torção é consideravelmente maior que a torção crítica e isso pode ser ex plic ado pelo fato da resistência na quebra ser reduzida e a re sist ência à fadiga aumentar.

11.3.1- Torção em Dois Estágios

Primeiro, o fio único é torcido numa torcedeira tipo RING com número de torção e direção pré-fixada. Depois esses fios são agrupados e torcidos na direção oposta em uma retorcedeira tipo RING.

Durante a primeira torção, o comprimento dos fios únicos são encurtados de 15-22% devido a contração, e depois, durante a segunda torção, os fios são alongados de 5-7% como resultado do torcimento oposto da primeira torção, isto é, os fios ficarão praticamente sem torção.

As desvantagens desse processo são:

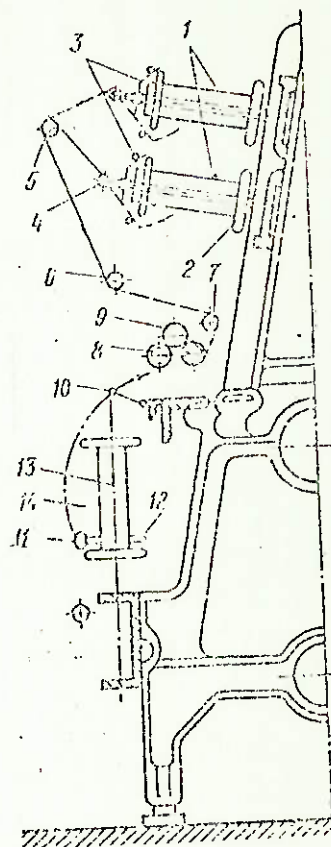
1. baixa produtividade e eficiência devido a baixa velocidade de trabalho e capacidade de pequenos pacotes;
2. insuficiente uniformidade do fio em torção na resistência e na alongação devido aos desvios de tensão na alimentação e zonas de torcimento.

11.3.2- Torção em um Único Estágio

A fig. 11.2 apresenta o diagrama da torcedeira KO-228 I destinada a produzir fios binados de nylon e viscose. O conjunto 1,2,3 e 4 da figura, formam a torcedeira sem anel, cuja função é dar a primeira torção nos fios que saem de cada pacote. Após os fios passarem pelo componente 5, eles sofrerão a segunda torção na torcedeira tipo RING, formada pelo conjunto 10,11,12,13 e 14.

O uso desse tipo de torcedeira permite alcançar alta eficiência em relação ao método de torção em dois estágios (visto anteriormente). Há um aumento de produtividade, uma diminuição da mão de obra e do consumo de corrente.

Atualmente, as torcedei ras de um único estágio, diferem em vários países, mas operam com o mesmo princípio da KO-228 I.



F.11.2- Diagrama da torcedeira KO-228 I (para produção de fios binados de nylon e viscose)

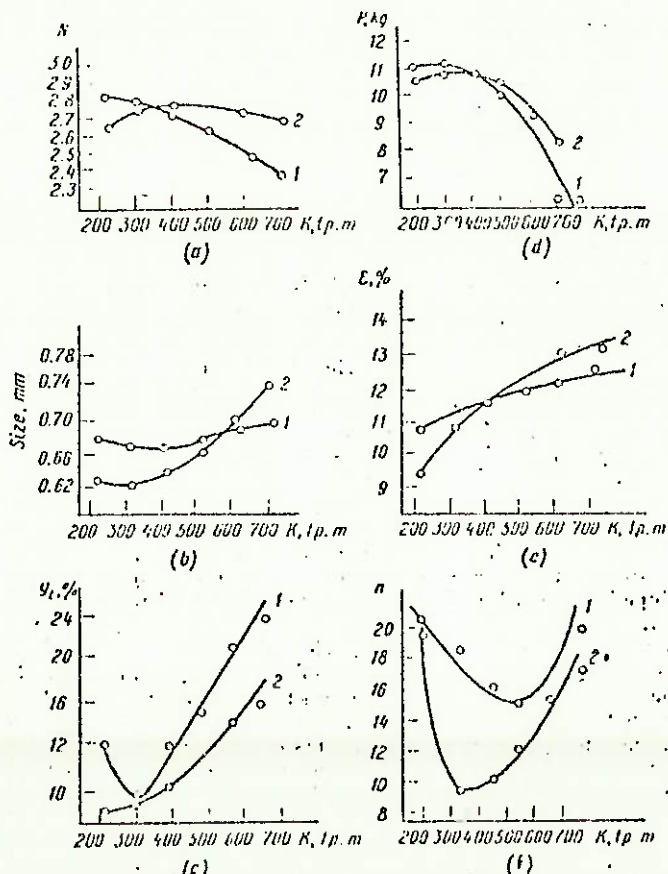
11.3.3- Efeito da Razão de Torção nas Propriedades do Fio

Fios são produzidos a partir do torcimento inicial de fios de múltiplo-filamentos, que sendo agrupados em duas ou mais associações (binagem, etc...), são torcidos em direção oposta. Por exemplo: O fio de viscosa com estrutura de 183,5tex X 1 X 2 e 183.5 tex X 1 X 3 são formados com torção 480 Z / 400 S e 520 Z/335 S, respectivamente.

A quantidade e razão da primeira e segunda torção tem um efeito considerável nas propriedades físicas e mecânicas do fio. D.I. Kalandorov determinou as propriedades do fio viscosa de 183.5 tex X 1 X 2 produzida com diferente razão de torção. Foram duas etapas:

1. os fios de múltiplos filamentos tiveram uma torção constante de 480 tpm, e o fio binado teve sua torção variando de 200 a 700 t.p.m. (200,300,400,480,600 e 700 tpm).
2. o fio binado teve torção constante de 400 tpm, e os fios de múltiplo-filamentos tiveram torção variando na mesma faixa do primeiro caso.

A fig. 11.3 ilustra as curvas mostrando as principais mudanças das propriedades físicas e mecânicas do fio, em função da quantidade de torção.



F. 11.3- Variação das principais propriedades físicas e mecânicas do fio em função da quantidade da torção

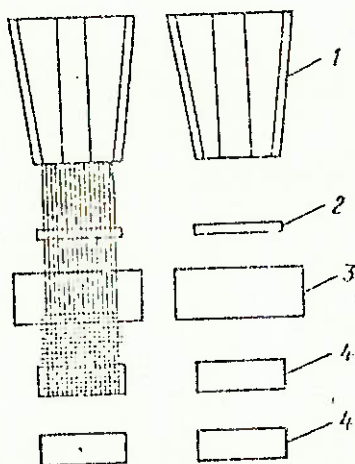
Uma análise das curvas mostra que o fio de viscose com estrutura 183.5 tex X 1 X 2 possui melhores propriedades quando a primeira e segunda torção são aproximadamente iguais, isto é, dentro dos limites de 400-500 tpm. Fios com torções iguais 480/480 tpm foram testados mostrando maior resistência à estiramentos e impactos repetitivos. Entretanto, a produção do fio padronizado 480/400 tpm é justificada economicamente, pois suas propriedades são levemente inferiores àsquelas do fio torcido com 480/480 tpm.

11.4- Fabricação da Lona

Na carcaça do pneu, toda carga é sustentada pelos fios urdume da lona, e os fios trama são requeridos somente para o entrelaçamento. Portanto os fios trama podem ser de algodão. Estão sendo desenvolvidos estudos e aplicações para as telas sem os fios trama.

A disposição básica das máquinas para a fabricação da lona é apresentada na figura 11.4.

O urdidor (1) é alimentado por cilindros de fios urdume, depois esses fios passam por um tabuleiro (2) com furinhos (geralmente 2200). A máquina (3) é um tear, a tela saindo do tear é enrolada num rolo (4).



F. 11.4- Disposição básica de máquinas para a fabricação da lona

O tabuleiro (2) tem furos de 5mm de diâmetro com ilhoses de porcelana. A função desse tabuleiro é reunir todos os fios urdume que saem desordenados do urdidor evitando perda de firmeza, contribuindo também para uniformizar as tensões que vêm de bobinas separadas no urdidor.

Sabe-se que uma grande distância entre o urdidor e o tear promove maior uniformidade entre os fios e diminui o perigo de abaulamento. A desvantagem da lona fabricada usando teares para fios urdume é a mudança de tensão no fio devido a diminuição do diâmetro e da massa da bobina de alimentação afetando a densidade e a forma da lona. O primeiro rolo de lona é formado com tensão mais alta do que os subsequentes, portanto, a elongação da lona nos rolos subsequentes é maior, o que pode causar uma lona de densidade mais baixa.

As desvantagens que o tear apresenta para fabricação da lona são: tensão irregular nos fios urdume, comprimento e massa insuficientes para produzir rolos de lona o que reduz o "fator tempo de operação" do tear e dos enroladores subsequentes consumindo mais trabalho e manutenção do tear.

11.5- Classificação, Embalagem e Marcação das Lonas

A examinação e classificação das telas é de responsabilidade do departamento de inspeção onde são inspecionadas e medidas por máquinas. Nessas máquinas a lona passa dos cilindros do tear para rolos comerciais enquanto o comprimento e a largura da lona são medidos instantaneamente. Sob a movimentação da lona existe um quadro negro que facilita a inspeção da lona e detecção de possíveis falhas. Somente 5% da lona produzida é sujeita à inspeção. Todos os defeitos exteriores são anotados num livro especial, depois através de uma tabela se especifica o rolo.

Os rolos da lona são depois envolvidos com papelão flexível e impermeável em três camadas e cobertas com tecido hermético para cobertura especial.

Cada rolo de tela é provido de um anel com o nome do fabricante; o comprimento e largura da tela; a data e o número; e finalmente o nome do fabricante.

11.6- Propriedades de Alguns Fios-Pneus e suas Lonas

Dependendo do tipo de carro e sua capacidade, diferentes tipos de pneus são produzidos usando lonas de diferentes qualidades. Os dados sobre fios torcidos e lonas de diferentes qualidades de viscose e capron (nylon) estão na tabela 11.2.

Type of cord	Structure	Twist direction	Thickness, mm	Minimum breaking load, kgf	Irregularity, %	Elongation, %		Twists per metre of yarn		Number of yarns per 100 mm of fabric		Wett linear density, tex	Fabric width, cm	Mass of one square metre of fabric, g
						At a load of 4.5 kg (viscose), at a load of 4.0 kg (capron)	At breakage	First Z twisting	Second S twisting	In warp	In wett			
<i>Viscose cord</i>														
} ZZS	184 tex/1x2 (5.45/1x2)		0.67±0.03	17	4	3.5±0.5	14±1.5	480±20	400±20	105±1	10±1	25	140±2	440±20
			0.67±0.03	17	4	3.5±0.5	14±1.5	480±20	400±20	85±1	12±1	25	140±2	357±16
	184 tex/1x3 (5.45/1x3)		0.67±0.03	17	4	3.5±0.5	14±1.5	480±20	400±20	50±1	5±1	25	140±2	242±10
			0.88±0.03	23	3.5	3.5±0.5	14±1.5	520±20	335±20	88±1	13±1	25	140±2	570±20
			0.88±0.03	23	3.5	3.5±0.5	14±1.5	520±20	335±20	70±1	12±1	25	140±2	455±20
			0.88±0.03	23	3.5	3.5±0.5	14±1.5	520±20	335±20	46±1	15±1	25	140±2	301±15
<i>Capron cord</i>														
} SZS	20 tex 4x2 (31.5 4x2)		0.55±0.03	14	3.0	10.5±1.5	26±2	510±20	415±20	128±1	11±1	16.6	140±2	360±20
			0.55±0.03	14	3.0	10.5±1.5	26±2	510±20	415±20	94±1	20±1	16.6	140±2	250±15
	157 tex 1x2 (535, 1x2)		0.55±0.03	14	3.0	10.5±1.5	26±2	510±20	415±20	60±1	20±1	16.6	140±2	170±10
			0.74±0.03	27	3.0	9±1.5	26±2	326±20	328±20	100±1	11±1	16.6	140±2	419±20
			0.74±0.03	27	3.0	9±1.5	26±2	326±20	328±20	80±1	20±1	16.6	140±2	358±15
			0.74±0.03	27	3.0	9±1.5	26±2	326±20	328±20	50±1	30±1	16.6	140±2	214±10

FAB. 11.2- Dados de cordas e lonas de diferentes qualidades de viscose e capron (nylon)

11.7- Novos Fios Sintéticos para Fabricação de Cordas

Viscose e nylon são os fios sintéticos básicos usados para a fabricação de cordas de pneus. Entretanto, eles não preenchem satisfatoriamente as propriedades requeridas para lonas usadas em pneus de caminhões pesados e aviões.

A fibra viscose tem uma alta tenacidade de quebra e resistência técnica melhor que o algodão, entretanto, apresenta sérias desvantagens: resistência à fadiga insuficiente e grande perda de alongamento no estado úmido.

O nylon tem uma alta tenacidade de quebra em condições secas e úmidas e boa resistência para deformações repetidas, exibindo uma resistência térmica baixa e alta alongação total.

Os estudos sobre as propriedades físicas e mecânicas do nylon mostram a possibilidade de fazer fibras sintéticas especiais de poliéster, polipropileno e outras.

Fios poliésteres são caracterizados por alta resistência térmica e ao calor, mas sua resistência à fadiga é insuficiente e sua adesão à borracha é baixa.

Existem indicações que essas desvantagens dos fios poliésteres podem ser eliminados e portanto serem usados extensivamente para aplicações automobilísticas.

Fibras polyvinil apresentam alta elongação em condições secas e suas propriedades elásticas são duas vezes maior que a viscose apesar de sua elongação total ser um pouco baixa. Entretanto, a resistência ao calor é inferior a da viscose e sua resistência à fadiga é mais baixa também.

Em alguns países a lona está sendo fabricada de fibra de vidro, que é tão dura quanto uma lona de metal, mas sua densidade é mais baixa e sua resistência à flexão é alta; porém tem uma baixa adesão na borracha.

11.8- Recuperação de Lonas e Fibras Usadas, Extraídas de Pneus Usados

Os custos de produção da lona corresponde a 30-50% do custo total da fabricação do pneu, apesar da massa da tela representar apenas 14-17% da massa total do pneu, como pode-se observar pela tabela 11.3

Main data	Kinds of cord		
	Cotton	Viscose	Capron
Content of materials, in mass %:			
rubber	80.9	80.3	78.7
incl. caoutchouc	46.5	46.1	40.3
cord fabric	14.6	15.2	16.7
strip fabric	1.3	1.2	1.2
metal	3.2	3.3	3.4
Cost of materials, %:			
rubber	60.7	64.3	47.9
incl. caoutchouc	51.3	54.0	40.3
cord fabric	35.4	31.7	48.6
strip fabric	3.0	3.1	2.8
metal	0.9	0.9	0.7

TAB. 11.3- Porcentagens em massa e custo dos principais componentes dos pneus, para três tipos de materiais do fio.

Milhões de toneladas de fibras são usadas para fabricação de pneus e por essa razão é necessário resolver o problema da lona de fibra recuperada de pneus usados.

Investigações têm mostrado que essas lonas possuem altas propriedades físicas e mecânicas e podem ser usadas com sucesso na indústria leve e têxtil.

A recuperação e uso de fibras de pneus usados podem dar alto efeito econômico, assim a fibra recuperada é duas ou três vezes mais barata que a fibra inicial.

12- FIOS CONTÍNUOS E MANTAS - MÉTODOS DE FIAÇÃO DA FIBRA

12.1- Introdução

Celulose combinada com outras substâncias químicas forma uma solução que é extrudada por bombas através de uma matriz com muitos capilres (fieira). Saindo dessa fieira passam por um banho contendo outras substâncias químicas devidamente preparadas para regenerar a celulose e torná-la finos filamentos contínuos.

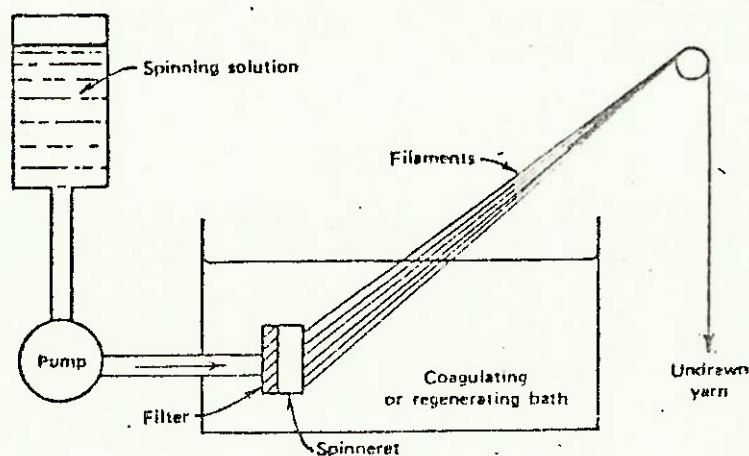
Processos de saída da fiação: úmido, seco e fundido. (Os nylons e os poliésteres se enquadram nesse último caso).

O processo global para fiação de polímeros fundidos inicia-se com pedaços de polímeros que são grãos ou flocos, que devem ser pequenos devido à sua característica de pouca condutividade. Do reservatório, esses pedaços caem sobre uma grelha quente e gotas do polímero fundido passam por um cone. Depois passam pela bomba, são filtrados e extrudados através da fieira, daí são estirados na presença de ar resfriado.

No caso nylon ou poliéster o processo é feito na presença de uma atmosfera de nitrogênio, pois o oxigênio, presente no ar, poderia causar descoloração. É essencial, também, que não haja bolhas de ar.

12.2- Propriedades para Projeto - O planejamento das Propriedades do Filamento

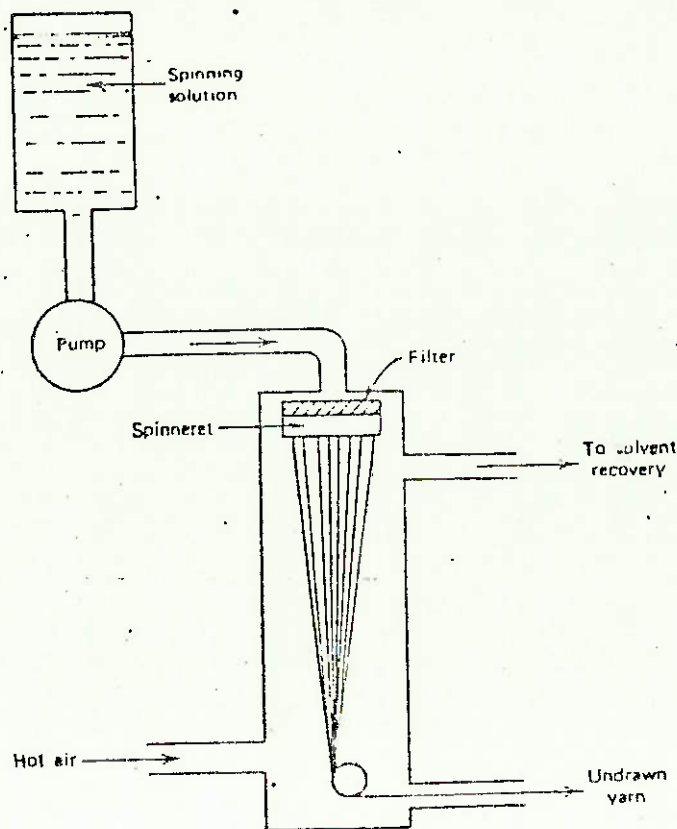
As propriedades de resistência são desenvolvidas pelo estiramento. Daí a importância dos métodos de saída, onde se dá o estiramento.



F. 12.1- Esquema do processo de saída da fiação úmido

As fibras devem ser estiradas para orientar suas moléculas (fenômeno da cristalização) e aumentar a sua tenacidade. A maioria dos filamentos devem ter um certo grau de estiramento para terem uma tenacidade adequada às suas aplicações comerciais.

Podemos controlar o grau de estiramento e obter, para um mesmo material, filamentos de diferentes tenacidades e atender a todos os propósitos requeridos para as muitas finalidades.

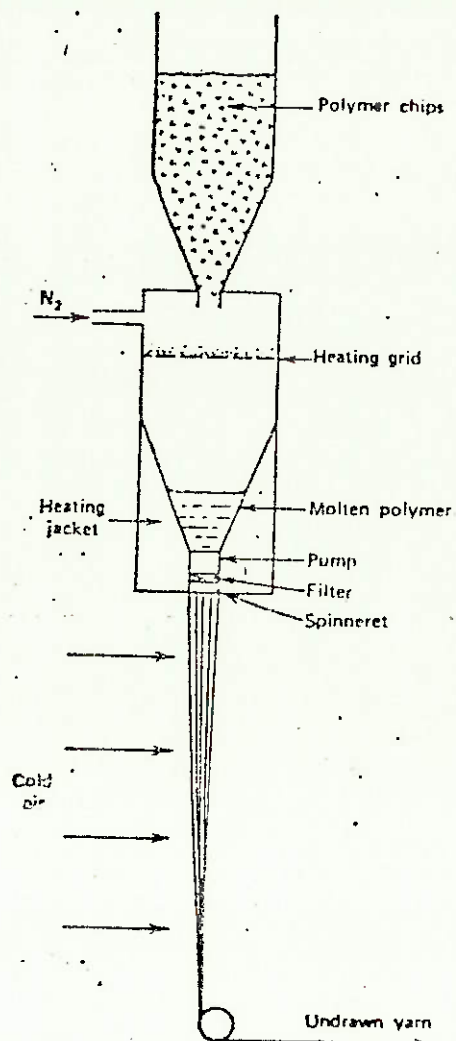


F. 12.2- Esquema do processo de saída da fiação seco

A tenacidade aumenta com o estiramento mas o alongamento cai. Isso quer dizer que o módulo de Young para o filamento cresce, tornando-o "duro", provocando um efeito sobre as propriedades estéticas do tecido, tais como: manuseio, fineza, caimento e propriedades de uso.

O comprimento das moléculas também afeta a tenacidade do filamento e o modo de variação das propriedades de resistência, muda de um material para outro.

No caso de fiação com polímeros fundidos, o estiramento pode ser feito a frio (caso dos nylons) ou a quente (caso dos poliésteres). Pode ainda, ser feito em um ou dois estágios. Esses fatores afetam muito a maneira e o grau de orientação das moléculas.



F. 12.3- Esquema do processo de saída da fiação para polímeros fundidos

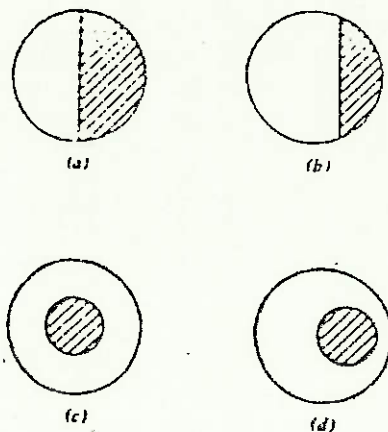
Muitas outras propriedades físicas podem ser modificadas para conferir propriedades desejáveis sobre fibras sintéticas. Podemos adicionar outras substâncias químicas para modificar a composição e as propriedades dos filamentos, tornando-os, por exemplo, mais acessíveis à água, ou alterar suas propriedades estéticas variando sua densidade linear.

O atrito superficial é muito importante; podemos controlar as condições de saída para obtermos filamentos finos com superfícies macias que proporcionam ao fio um aspecto fino e luxuoso. Podemos também variar a secção transversal com orifícios não

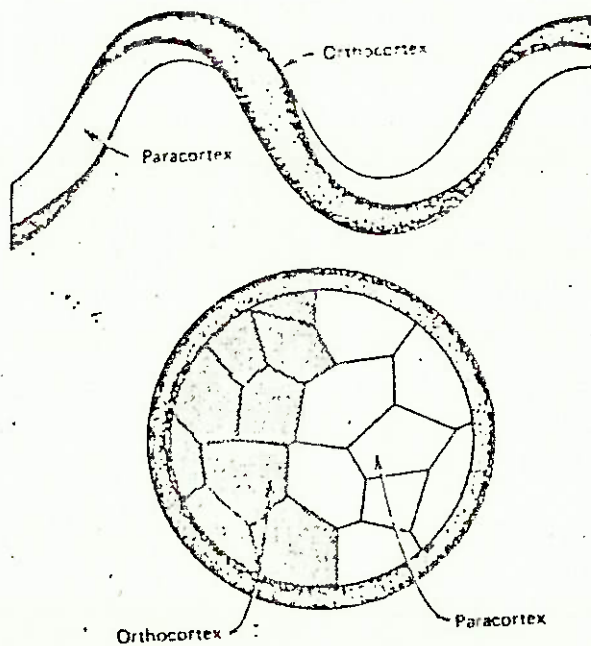
circulares na fieira e controlár a estabilidade térmica das fi
bras para os mais diferentes propósitos.

Existe um vasto campo de tecnologia envolvendo muitos fatores
de material, processos, métodos e propriedades dos filamentos
que podem ser modificados conforme sua finalidade.

11.3- Sistema de Bicomponentes



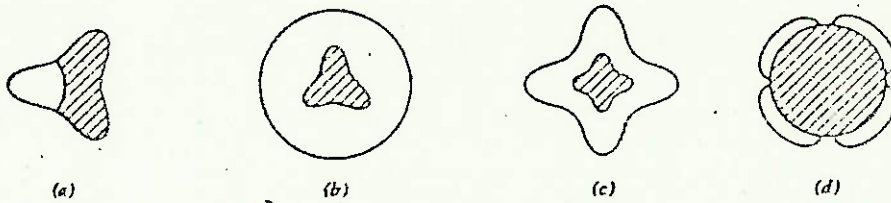
F. 12.4- Algumas possibilidades
para sistemas de bicom-
ponentes com secção cir-
cular



F. 12.5- Vista ampliada do sis-
tema de bicomponentes
(ORTHOCORTEX/PARACORTEX)

O sistema de bicomponentes é outra variação possível, além disso, dois componentes podem estar "um dentro do outro" ou "um ao lado do outro" (paracortex e orthocortex). Pode-se assim conseguir fibras encrespadas e com várias propriedades.

As figuras 12.4; 12.5 e 12.6 ilustram algumas das muitas possibilidades que existem para os sistemas de bicomponentes.



F. 12.6- Algumas possibilidades para sistemas de bicomponentes, com secções diferentes.

PARTE II

COMPARAÇÃO ENTRE PROCESSOS DE TORCIMENTOS

PARTE II

COMPARAÇÃO ENTRE PROCESSOS DE TORCIMENTO

1. Introdução
2. Princípios de Torcimento
 - 2.1- Princípios Básicos
 - 2.2- As Torcedei-ras que Utilizam esses Princípios
 - 2.3- Processos de Binagem
3. Torcedeira de Anel (RING-TWISTER)
 - 3.1- Aspectos Gerais
 - 3.2- Tensão no Fio Durante o Torcimento
 - 3.2.1- Forças agindo no viajante e a tensão no fio próximo dele
 - 3.2.2- Forças que atuam para manter o balão e a tensão resultante no fio
 - 3.3- Conclusões
4. Torcedeira sem Anel (UP-TWISTER)
5. Aspectos Técnicos
6. Proposição de Ensaio

1) INTRODUÇÃO:

A utilização de fios industriais na forma de fios binados tem sido cada vez maior, pois esse tipos de estrutura de fio , abrange um largo campo de Resistência e Fadiga .

Na formação do fio binado, pelo processo de torcimento, devemos assegurar uma geometria ótima para aquela estrutura de fio, que uniformiza as propriedades e utiliza ao máximo a resistência de cada elemento, minimizando, dessa forma, a perda a cablagem.

O processo de torcimento pode influenciar na forma de torção tipo fita ou forma cilíndrica e no comportamento migratório dos filamento. Essas mudanças impostas na estruturas do fio podem alterar as propriedades dos filamentos.

Geralmente os fios singelos são torcidos na direção Z e o fio binado é formado aplicando-se a mesma torção na direção S. Como resultado final, os filamentos devem estar paralelos ao eixo do fio binado, assegurando um alto nível de resistência.

2) PRINCÍPIOS DE TORCIMENTO

2.1- Princípios Básicos

Existem , basicamente, dois princípios de torcimento: o torcimento concêntrico e o torcimento rotativo.

O princípio do torcimento concêntrico é ilustrado na fig. 1 Tomando um fio na vertical, prendemos numa das pontas um peso com grande momento de inércia. Fixamos a outra ponta e notaremos que o peso tem uma tendência natural de esticar e torcer o fio a cada volta que o disco estiver girando, introduzindo, dessa forma, uma torção real no fio.

... /

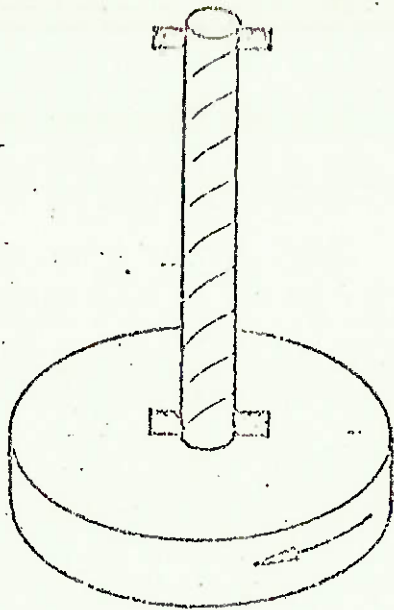


Fig. 1 - Princípio de Torcimen-
to Concêntrico

Uma das máquinas que utilizam esse princípio é apresentada figura 2. A bobina gira com velocidade distinta do "voador", e introduz uma torção no fio.

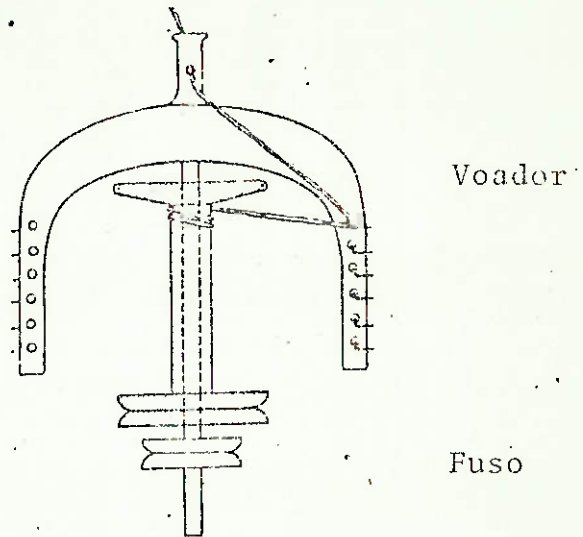


Fig. 2 - Fuso e voador

Esse tipo de máquina pode apresentar variação de torção se a medida que a bobina estiver ficando cheia, as velocidades (da bobina e do voador) permanecerem constantes. Assim, deve existir um ajuste através de uma correia de tra-
va com atrito, para que não haja variação de torção. A fig. 3 ilustra três maneiras de como fazer esse travamento.

.../

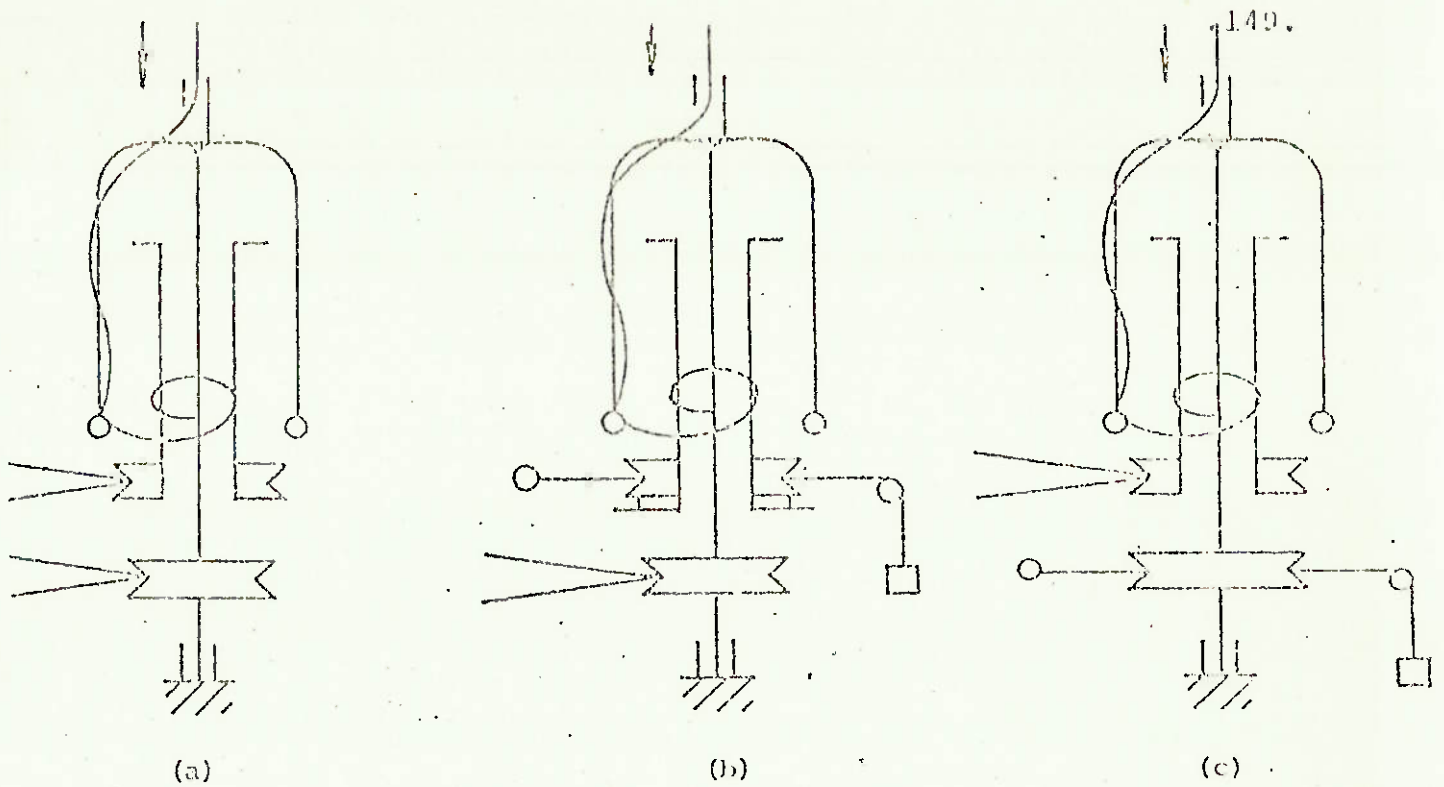


Fig. 3 - Métodos de Ajuste entre as velocidades da bobina e voador

O segundo princípio é o torcimento rotativo, onde a ponta do fio pode estar em qualquer ponta do disco, conforme a fig 4. Como a velocidade angular do disco é a mesma em qual quer ponto, cada volta do disco introduzimos uma torção / real no fio, da mesma maneira que no primeiro princípio.

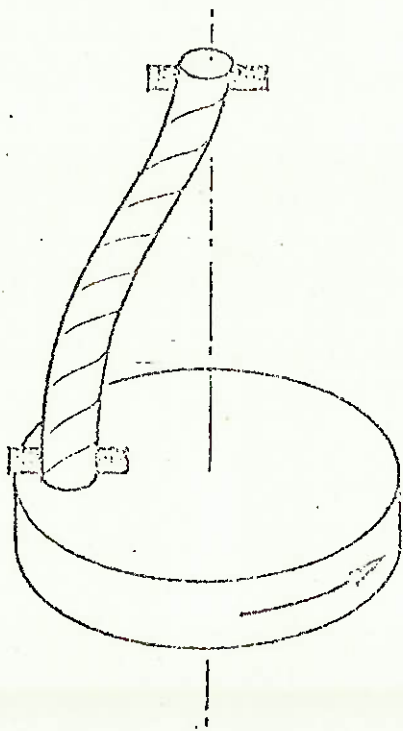


Fig. 4 - Princípio de Torcimento rotativo

Utilizando esse método, temos a formação do balão, que causa tensão no fio durante o processo, Daí a necessidade de se colocar um para-balão.

2.2 As torcedeiras que utilizam esses princípios

As máquinas que utilizam o princípio concêntricos são as mais antigas como por exemplo: Compton's Mule e Roving Frame que estão ilustradas na fig.5

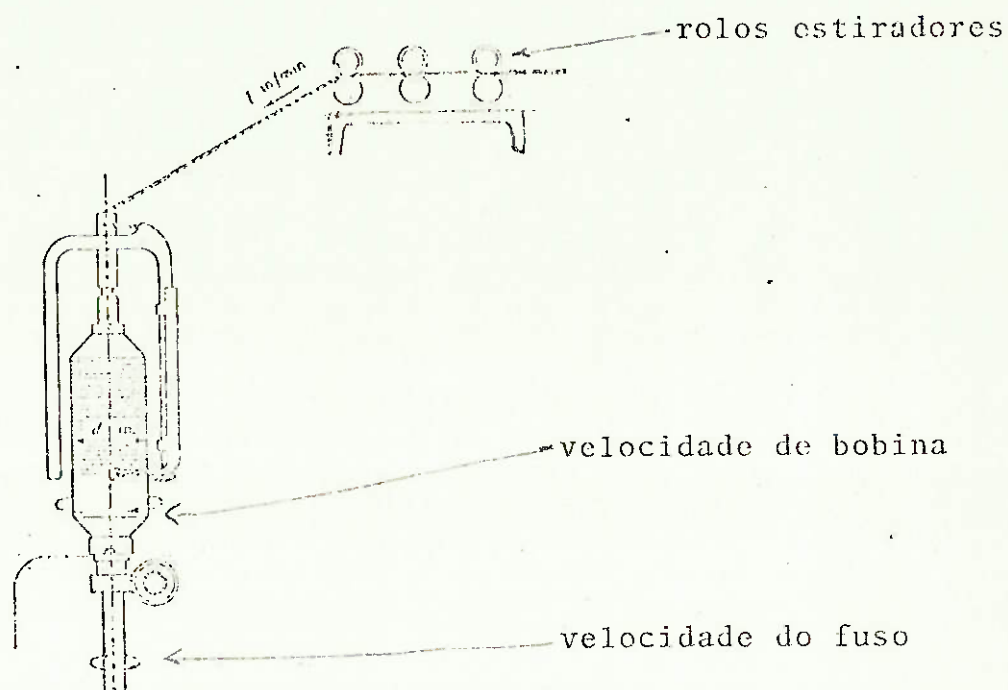


Fig. 5 - Roving Frame

As que utilizam o princípio rotativo são: Cap Spinning Frame, Ring Spinning Frame, Centrifugal ou Pot Spinner e a Open-End Spinning Frame.

Existem ainda máquinas baseadas em ambos os princípios que são as de Dupla-Torção conforme a fig. 7.

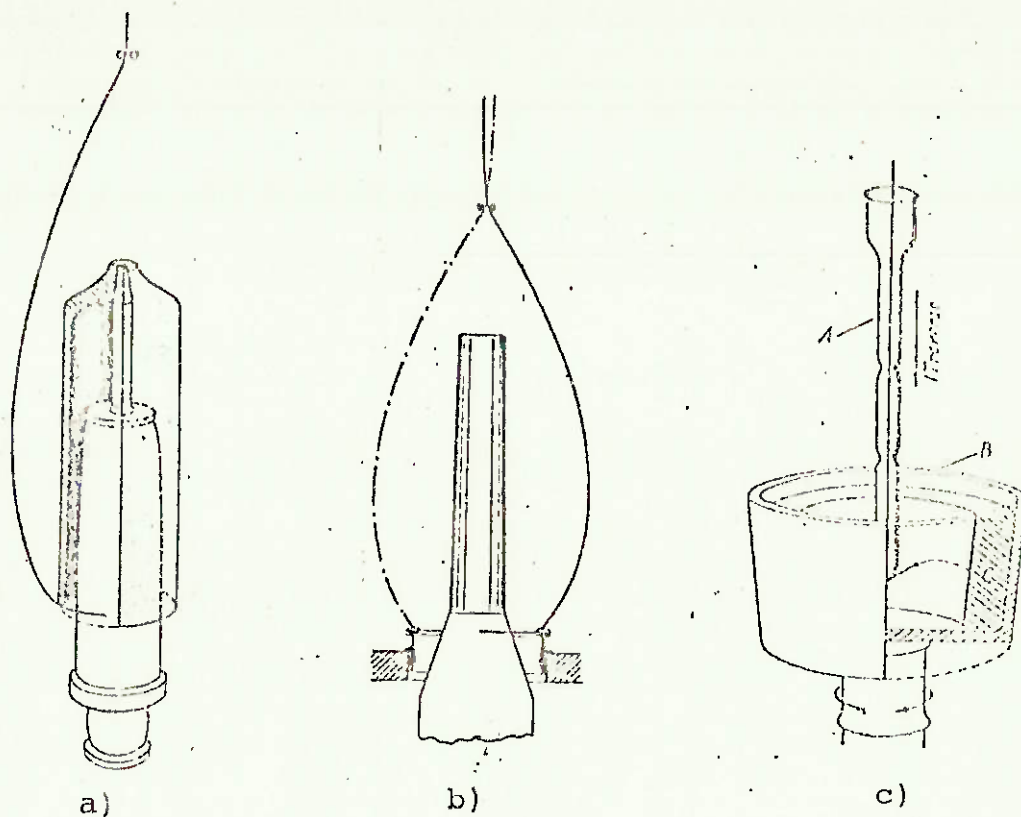


Fig. 6 - Máquinas que utilizam o princípio rotativo

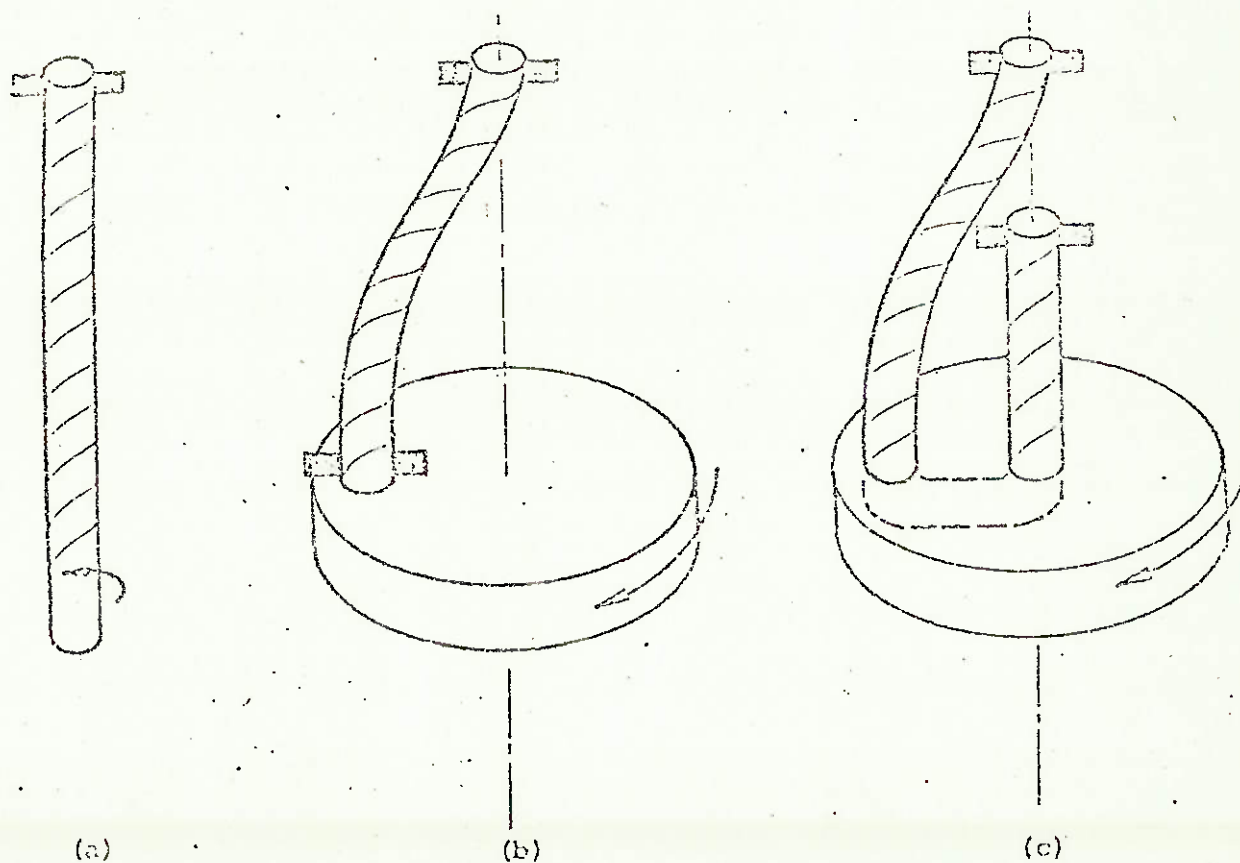


Fig. 7 - Princípio de Torcimento da Máquina de Dupla Torção

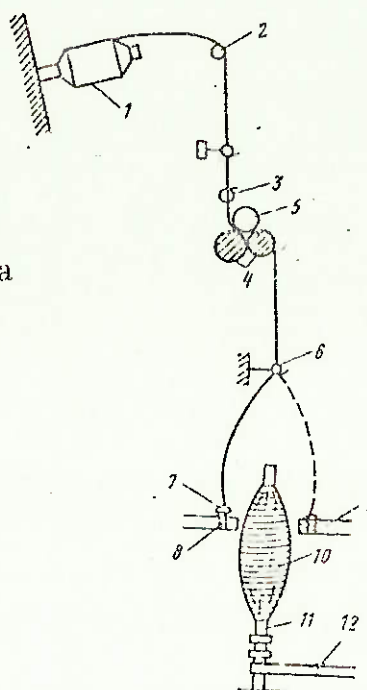
2.3.- Processos de Binagem

Para formar um fio binado, devemos torcer os fios singelos direção e biná-los em outra direção oposta a primeira. Geralmente as direções são Z e depois S .

O processos de binagem podem ser classificados como um estágio e dois estágios.

O processo em dois estágios tem o torcimento do fio singelo e do fio binado em etapas separadas; isto é, realiza-se primeiro o torcimento dos fios singelos numa máquina e depois bina-se esses fios. Geralmente , a máquina utilizada é a Ring-Twister.,

Fig. 8 - Diagrama de
uma Torcedeira
de anel



O processo em um estágio tem o torcimento do fio singelo se guido da operação de binagem, em uma mesma etapa. Pode-se combinar os torcedeiros UP-TWISTER e a RING-TWISTER confor me a fig. 9 ou através da Torcedeira AC (Americam Enka - Cor poration) apresentada na fig. 10

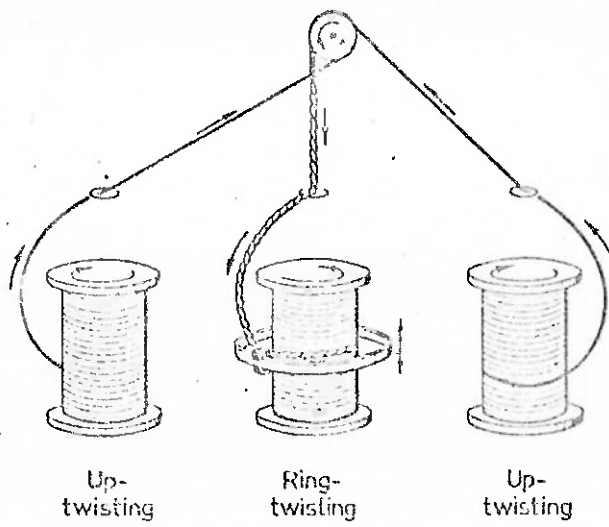


Fig. 9 - Processo de binagem em dois estágios

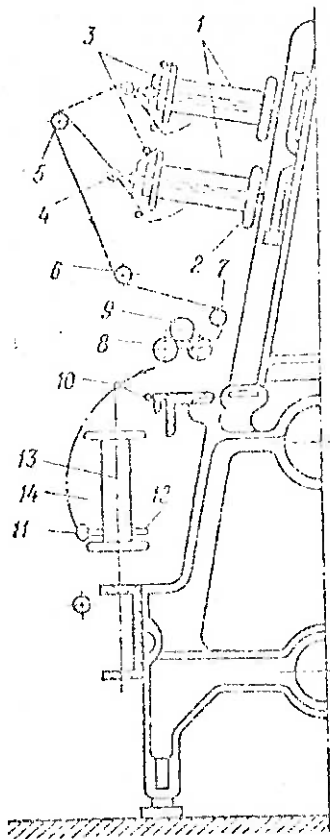


Fig. 10 - Processo de binagem em um estágio

Torção real no fio = $\frac{\text{velocidade do viajante (rpm)}}{\text{velocidade de entrega (m/min)}}$

ou
$$T = \frac{n_{\text{viajante}}}{V_{\text{entrega}}} \quad (1)$$

velocidade do viajante = velocidade do fuso - velocidade de enrolamento

ou
$$n_{\text{viajante}} = n_{\text{fuso}} - n_{\text{enrolamento}} \quad (2)$$

Os viajantes atualmente, têm diversas formas e são fabricados com diferentes materiais. Um dos problemas existentes é o da lubrificação do viajante sobre o anel; a lubrificação em excesso podem causar contato do lubrificante com o fio; a lubrificação deficiente causa a queima da parte interna do viajante e conseqüentemente quebra do viajante interrupção da produção.

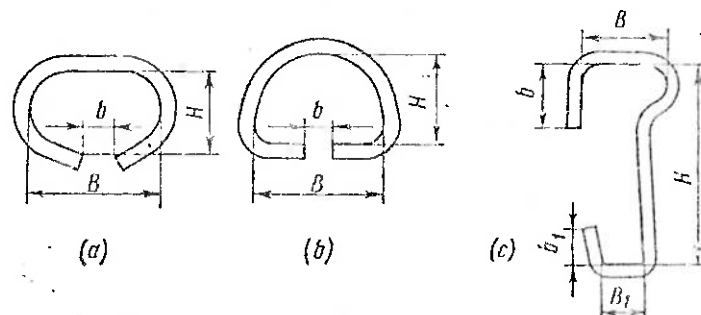


Fig. 12 - Algumas formas de viajantes

A lubrificação adequada é dificilmente obtida devido as altas velocidades envolvidas, a lubrificação ótima vem sendo elemento de pesquisa no mundo todo, existindo várias alternativas apresentadas, porém nenhuma totalmente satisfatória.

A variação da velocidade do viajante é de aproximadamente 1/3% para uma variação de diâmetro de bobina de 1" para 1 3/4". Dessa forma, notamos que a variação na torção devido o aumento de diâmetro de bobina ocorre, mais é bastante pequena.

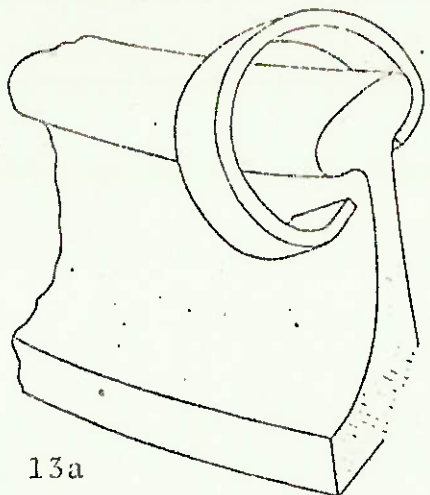


Fig. 13a

Posição do viajante durante o torcimento

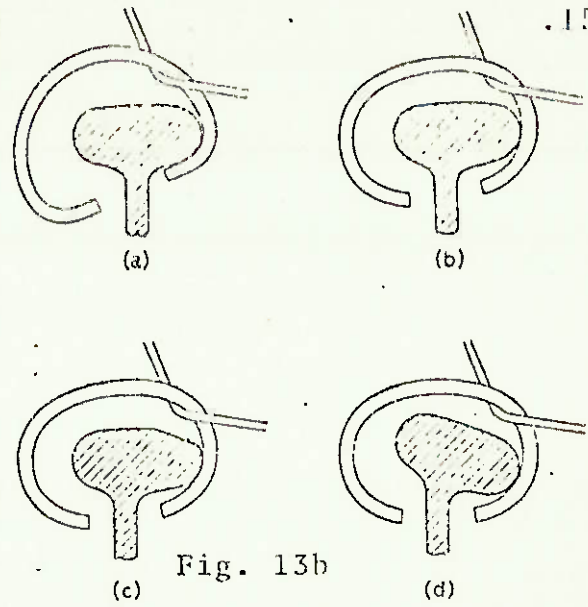


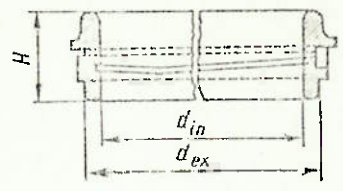
Fig. 13b

Formas de viajantes e anéis

O tamanho do anel é limitado devido a queima dos viajantes porém, deve-se maximizar o tamanho da bobina para evitar muitas mudanças.

Geralmente os anéis são feitos de aço de alta qualidade, cementado para reduzir o atrito com o viajante. Cabos alimentados por tanques de óleo, depositam lubrificantes em cada anel, através de sistemas baseado na capilaridade natural de certas fibras, geralmente isto é feito com um canal no próprio anel, mantendo um contato anel-viajante lubrificado.

Fig. 14 - Lubrificação do anel



A mesa de anel tem a finalidade de dar um movimento programado de sobe-desce (ver fig.) para dar a forma dos suporte que se deseja. Teoricamente qualquer forma de suporte é possível, mas as clássicas são: cilíndricas, cilíndricas com uma das pontas conificada e cilíndricas com as duas pontas conificadas.

O para-balão conforme explicaremos a seguir, exerce a importante função de reduzir a tensão no fio, dessa forma tem / suas dimensões rigorosamente calculadas, e material de alta dureza visando evitar quebras de filamentos por atrito.

3.2. Tensão no Fio durante o torcimento

A seção de fio entre o rabo de porco e o viajante está sob tensão. Sob a ação de forças centrífugas que agem perpendiculares ao eixo de rotação, o fio é lançado para fora tornando-se convexo e descrevendo um balão no espaço.

A tensão no fio depende de muitos fatores: da velocidade do fuso; do tipo das qualidades da densidade linear do fio ; do diâmetro do anel; da massa do viajante; da altura do balão; do diâmetro de enrolamento; das condições atmosféricas; etc..

3.2.1 Forças agindo no viajante e tensão no fio próximo dele

O viajante em movimento está sujeito as seguintes forças:

- a) força centrífuga C, que age no plano horizontal e direção radial

$$C = m \cdot w^2 \cdot R \quad (3)$$

onde M= massa do viajante;

w= velocidade angular do viajante
ao redor do fuso;

R= raio do anel.

- b) força tensora no fio P, entre o viajante e o suporte (ver fig) agindo em um ângulo α tangente ao suporte no plano horizontal.

- c) força tensora no fio Q_1 , que age no fim do balão comprimindo o viajante e o fio (ver fig13)

$$Q_1 = \frac{P}{e^{f/\beta}} \quad (4)$$

onde f, β são respectivamente coeficiente de atrito e ângulo de contato entre o fio e o viajante.

- d) A força F de atrito entre o viajante do anel.

- e) A força de reação do anel que depende do coeficiente μ de atrito entre o viajante e o anel.

3. TORCEDEIRA DE ANEL

3.1- Aspectos Gerais:

Uma das primeiras soluções, para operação de torcimento em produção industrial foram as Roving Frames (fig.11), porém com a necessidade de maior produtividade e, portanto, maior velocidade essas máquinas tornaram-se limitadas pela massa do voador (flyer.). A solução proposta para esse problema foi trocar o voador por uma pequena peça de metal em forma de "C" chamada viajante. Esse viajante desliza no interior de um anel (daí o nome Torcedeira de anel) e o atrito entre o viajante e o anel causa um atraso entre o fuso e o viajante. A diferença entre as velocidades do fuso e do viajante causa o enrolamento do fio da bobina com velocidade igual a diferença mencionada acima, obviamente essa velocidade pode ser ajustada.

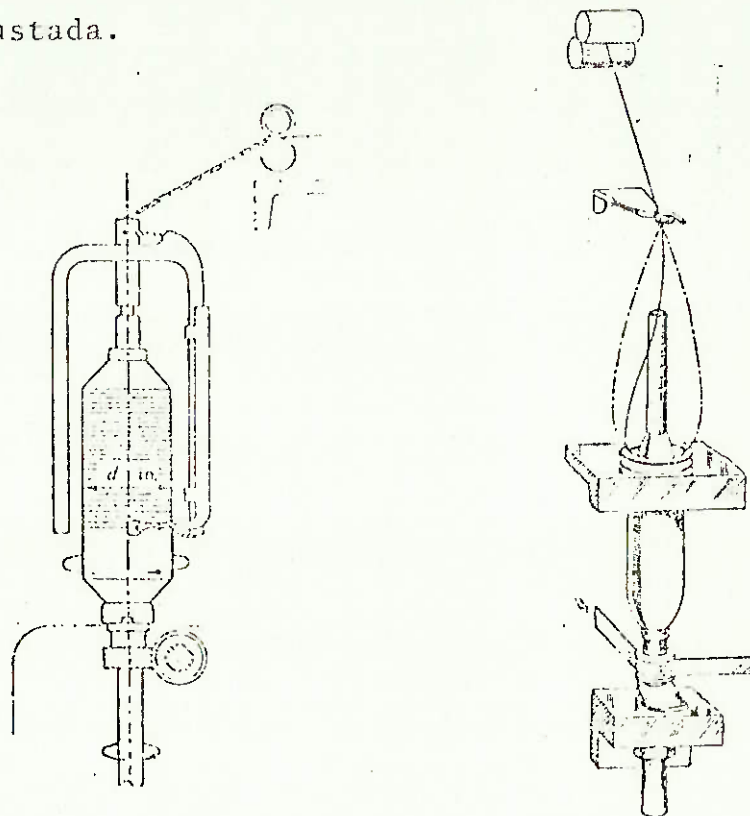


Fig. 11 -
 a) Roving
 Frames
 b) Ring
 Twisting

A torção real introduzida no fio pode ser facilmente calculada a partir da relação entre a velocidade do fuso e velocidade de alimentação (velocidade com que o fio é entregue na máquina) em metros por minutos. A velocidade máxima porém, continua sendo limitada pelo diâmetro do anel; pela Tensão no fio; pela massa e forma do viajante; etc...

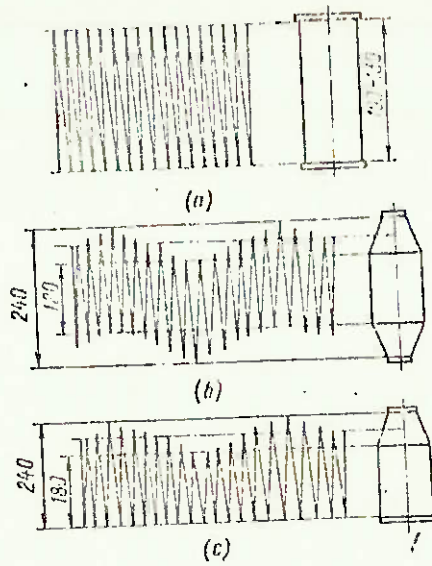


Fig. 15 - Diagramas de movimento da mesa de anéis dependendo da forma desejada de suporte

Fig. 16 - Torcedeira de anel com o para-balão

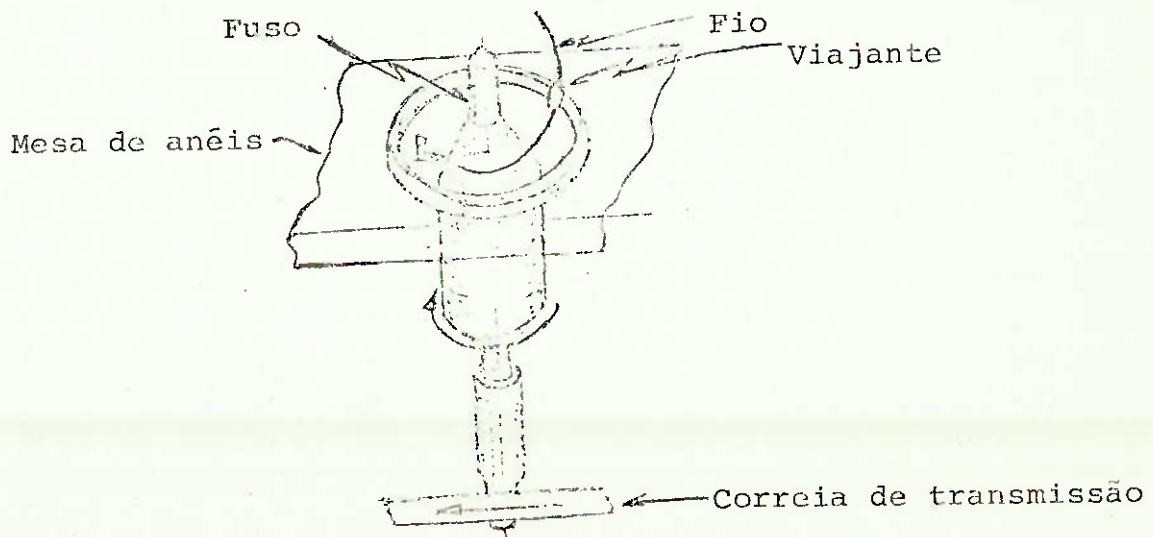


Fig. 17 - Elementos de uma torcedeira de anel

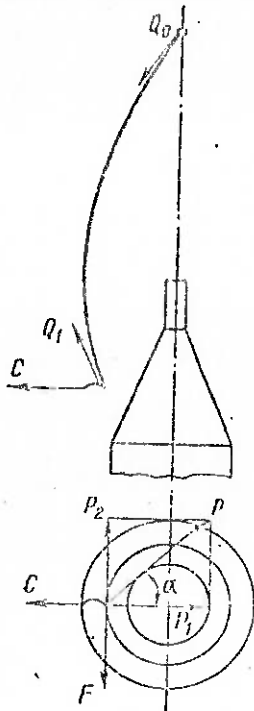


Fig. 18 - Forças agindo no viajante

Obs.: não estamos considerando o peso próprio do viajante pois isso é desprezível face as outras forças envolvidas.

Compatibilizando as forças envolvidas, chegamos ao valor força tensora no fio Q_1 (ou simplesmente tensão no fio) próximo ao viajante.

$$Q_1 = \frac{m w^2 R}{e^{\frac{fR}{r} \frac{\sin \alpha}{\mu} + \cos \alpha} - 1} \quad (5)$$

Como podemos ver pela expressão 5, a tensão no fio é proporcional ao quadrado da velocidade angular do viajante, seu raio e sua massa. Notamos também que a tensão no fio aumenta com o coeficiente de atrito entre o viajante e o anel e depende também da razão entre o raio de enrolamento e o raio do anel (ângulo α).

3.2.2 Forças que atuam para manter o balão e a tensão resultante no fio

Assumiremos que o balão pertence ao plano vertical, desprezando portanto, a resistência do ar que cria uma curvatura do balão e a massa de fio que forma o balão, já que isso é bastante insignificante em face às outras forças.

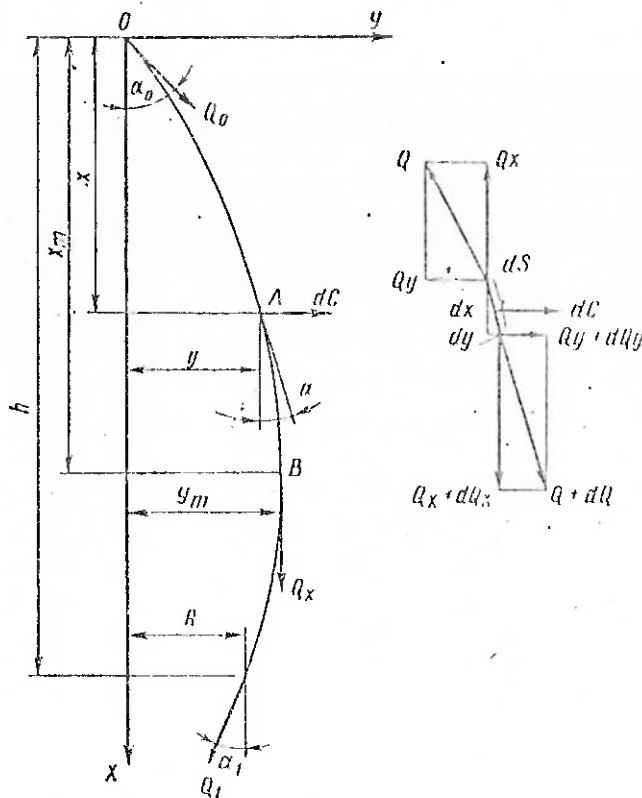


Fig. 19 - Forças agindo sobre o fio no balão

Através de uma série de considerações sobre o equilíbrio, chegamos a equação que apresenta o valor da tensão no fio, Q_x :

$$\boxed{\operatorname{tg} \alpha_1 = w R \sqrt{\frac{m}{Q_x}} \cdot \operatorname{cotg} \left(w h \sqrt{\frac{m}{Q_x}} \right)} \quad (6)$$

Da análise das equações (5) e (6), podemos concluir que um aumento da distância h do rabo de porco ao viajante, aumenta a tensão no fio. Essa relação implica na necessidade de se usar os para-balões ou anéis para controle do balão.

A análise da tensão do fio durante o torcimento permite a determinação de parâmetros de operação de torcedeira como velocidade de rotação do fuso, massa do viajante, forma e dimensões do balão e outras de grande importância prática. Essa análise porém, só pode ser feita conhecendo-se os valores dos ângulos envolvidos, dos coeficientes de atrito (μ , f , α , β); esses valores, no entanto, mudam de acordo com o diâmetro do anel, o movimento da mesa de anéis, densidade e massa do fio; dependemos portanto, de análises experimentais.

Essas análises podem ser feitas através de tensiômetros que avaliam a tensão ponto a ponto, ou também por métodos fotográficos.

3.3 Conclusões

- 1) A tensão do fio nas torcedeiras de anel aumenta com o aumento de: massa do viajante; raio do anel; e a velocidade do viajante.
- 2) A mínima tensão aplicada no fio está na seção de contato com o para-balão, e a máxima no rabo de porco. A tensão no fio entre o rabo de porco e o viajante pode atingir altos valores, daí, para melhorar as condições nessa seção recomenda-se reduzir o atrito entre o viajante e o anel, fabricando-os com aço de alta qualidade e de ótimo acabamento.
- 3) A regularidade do fio depende da relação entre o diâmetro do anel e o de enrolamento: uma grande relação implica numa grande tensão. Portanto as bobinas ou tubos de diâmetros excessivamente pequenos não devem ser usados.
- 4) A tensão no fio varia com a altura do balão, devemos portanto, para reduzir essa tensão e sua variação, usar para-balões com movimento sincronizado com a mesa de anéis.
- 5) Para evitar o aumento excessivo do balão e interferência entre fios de fusos adjacentes, devemos usar placas separadoras.
- 6) Para preservar os fios de danos, devemos dar especial atenção para as partes de contato, como flanges de bobinas, guias, viajantes, para-balão, usando de preferência materiais que não desenvolva eletricidade estática.

4) TORCEDEIRA SEM ANEL (UP-TWISTER)

A torcedeira "Up-twister" tem esse nome, pois o fio passa verticalmente do suporte alimentador (de baixo) para o suporte receptor (de cima). O suporte alimentador é um carretel resistente e balanceado, o qual é preso a um fuso movido por correia.

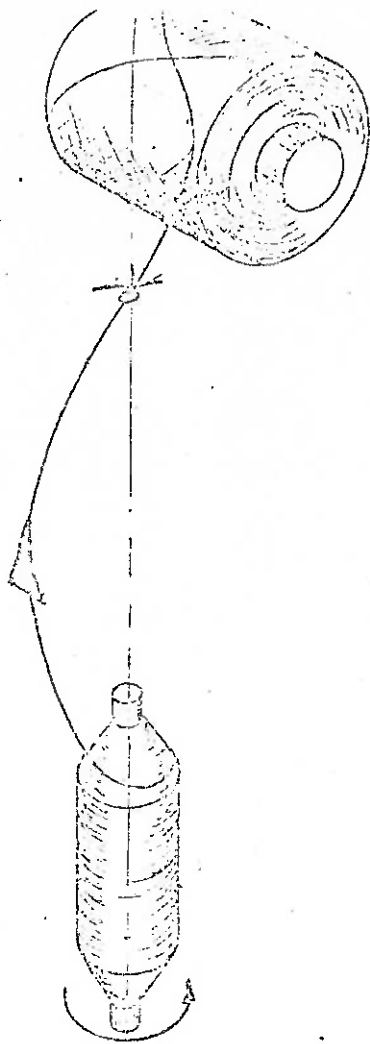


Fig. 20 - Diagrama de uma torcedeira sem anel

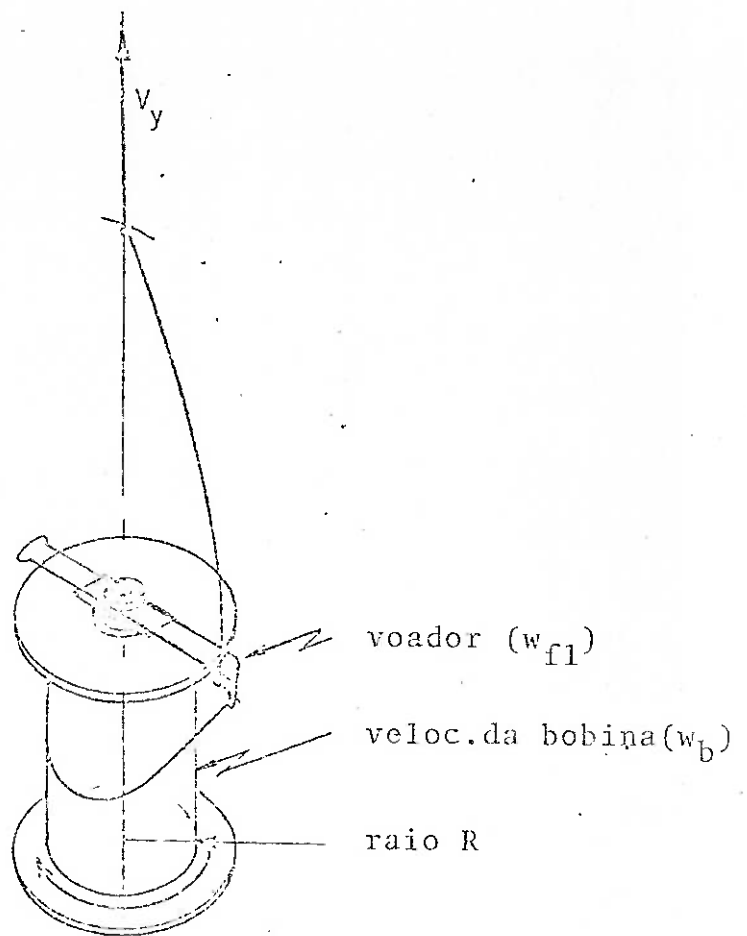


Fig. 21 - Torcedeira sem anel (Up-Twister)

O fio que deixa o suporte alimentador passa através do "voador", o qual gira livremente e é um aparelho leve, utilizado para controle do balão formado pelo fio, tornando fácil e uniforme a retirada. Daí, após o "voador", o fio passa por um guia "rabo de porco" e então é bobinado no suporte receptor com velocidade constante.

A velocidade de operação é geralmente maior que a velocidade da torcedeira Ring-Twister, alcançando cerca de 8000 rpm. Esse valor se atribui, principalmente, ao balanceamento dos suportes alimentadores. A expressão matemática que relaciona a velocidade de desenrolamento é:

$$V_y = (w_b - w_{f1}) \cdot R \quad (7)$$

onde

- V_y = velocidade de desenrolamento
- w_b = rotação da bobina
- w_{f1} = rotação do voador
- R = raio da bobina

O princípio da torcedeira Up-Twister é simples. A medida em que a bobina gira, o fio é retirado "por cima" da bobina, a uma taxa constante e é enrolado no carretel receptor. Cada revolução feita pela bobina, insere uma torção no fio e cada volta de fio retirada da bobina alimentadora insere uma torção no fio (retirada "por cima"). Ambas as torções produzidas podem ser de mesma direção, e o resultado é uma operação aditiva. Quase toda torção é produzida pela rotação da bobina, e a torção produzida pela retirada por cima é variável uniformemente. A torção por unidade de comprimento pode ser mudada pela variação da velocidade do fuso ou da velocidade de enrolamento do suporte receptor.

5) ASPECTOS TÉCNICOS

Baseado no conceito de que quanto mais uniforme for o fio binado, melhor será sua qualidade, colocaremos aqui alguns aspectos sobre o processo de torcimento:

- a) O estado intermediário de torção do fio singelo é necessário, porém deve ser evitado, se possível, pois a posição dos filamentos em um fio torcido não é a mesma nas diferentes posições da secção transversal do fio. Daí, as propriedades tensão-elongação se tornam diferentes de filamento para filamento e isso é desfavorável para a resistência do fio como um todo, no seu estado após

a binagem onde seus filamentos estarão destorcidos. Esse decréscimo de resistência pode ser reduzido pela aplicação de uma baixa tensão de torcimento no fio singelo e de um período de tempo reduzido entre a torção do fio singelo e a binagem. O processo de torcimento de um estágio tem esse período de tempo reduzido e portanto, apresenta-se como favorável sob esse aspecto.

b) A tensão de binagem, se for alta, tem um efeito equalizador tanto na posição dos filamentos do fio singelo, como na posição dos fios singelos como componentes do fio binado. Uma consequência dessa alta tensão de cablagem será um fio binado com menores título e alongação, e também uma grande compactação; e apesar do fio conter a mesma torção, o ângulo de torção será menor e consequentemente maior a resistência.

c) A maioria com que o fio singelo se junta no ponto onde ocorre a formação do fio binado, é importante.

No torcimento "RING" e "UP" esse ponto é definido e em ambos os casos os fios singelos não estão em posições favoráveis para a formação fácil e rápida do fio binado.

A American Enka desenvolveu um pino chamado Parker utilizado na torcedeira de anel conforme a fig. 22, obtendo melhor resultado na qualidade do fio binado.

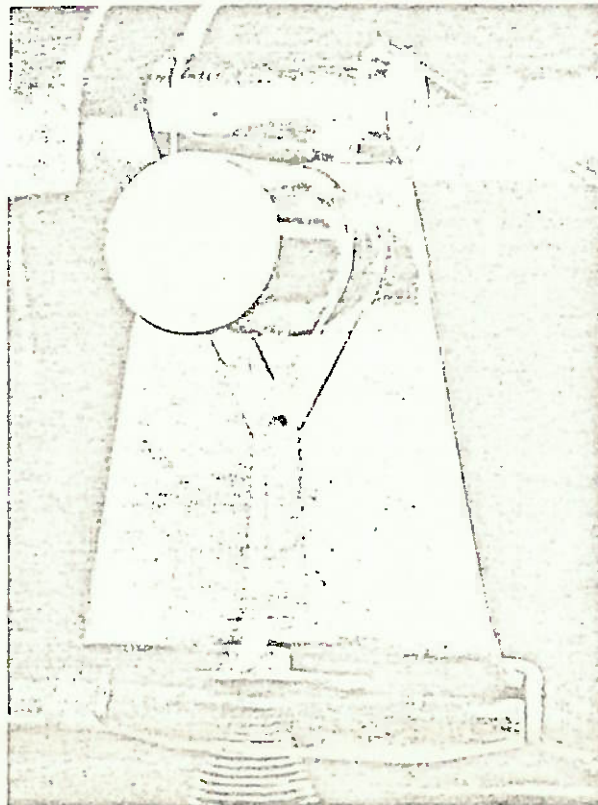


Fig. 22
Pino Parker

d) Durante o processo de torcimento, deve-se considerar as forças de atrito entre os filamentos dos fios singelos e entre os fios singelos. Para reduzi-las necessita-se de uma boa ensimagem, que por sua vez tornará o fio binado mais uniforme e portanto de melhor qualidade. A escolha do tipo de ensimagem é limitada pois altera outras propriedades do fio tais como estabilidade térmica, adesão e fadiga. Em geral, uma boa ensimagem aumenta o nível de resistência, mas é desfavorável para as propriedades de adesão e fadiga.

6) PROPOSIÇÃO DE ENSAIOS

Baseado nos estudos anteriores, vimos que algumas propriedades do fio torcido são influenciadas pela torção, que por sua vez, depende de alguns parâmetros das torcedadeiras. A proposição de ensaios tem por objetivo verificar a influência do tipo de torcedeira nas principais propriedades do fio.

a) Ensaio para verificar a variação de torção ao longo do comprimento do fio.

Ensaio de dez ceps; cinco de cada processo (1 e 2 estágios) e fazendo a análise conforme o procedimento proposto na terceira parte desse trabalho, verificando a dispersão dos valores das torções nos fios singelos e nos fios binados.

b) Ensaio para verificar resistência à tração.

Tomar dez ceps; cinco de cada processo, e ensaiar a resistência à tração dos fios, conforme norma ASTM.

c) Ensaio para verificar resistência à abrasão.

Tomar dez ceps; cinco de cada processo, e ensaiar a resistência à abrasão dos fios conforme norma ASTM.

d) Ensaio para verificar resistência à fadiga, em flexão, dos fios.

Tomar dez ceps; cinco de cada processo, e ensaiar a resistência à fadiga dos fios conforme norma ASTM.

e) Ensaio para verificar função do pino Parker (ver no item: Aspectos Técnicos).

Colocar um pino Parker em dez fusos; cinco em cada processo, e

proceder as análises (a), (b), (c) e (d) para comparação dos resultados.

f) Ensaio para verificar a influência da tensão de torcimento.

Tomar dez cops; cinco de cada processo, com uma tensão de binagem constante A_1 (mínima possível), variar a tensão de torcimento dos fios singelos em cinco níveis (B_1), (B_2), (B_3), (B_4) e (B_5) e proceder as análises (a), (b), (c) e (d). Variar a tensão de binagem nos níveis de tensão (A_2), (A_3), (A_4) e (A_5) (máxima possível) sendo que em cada nível de tensão repete-se o ensaio realizado para A_1 . Fazer análises e comparações.

g) Ensaio para a influência de torção nas propriedades.

Com a melhor combinação de tensões de torcimento e binagem constatada no item anterior; tomar dez cops; cinco de cada processo, com torção de binagem C_1 (mínima); variar a torção de torcimento dos fios singelos em cinco níveis de torção D_1 , D_2 , D_3 , D_4 , D_5 (máxima) e proceder as análises (a), (b), (c) e (d).

Variar a torção de binagem nos níveis de torção C_2 , C_3 , C_4 , C_5 (máxima), sendo que em cada nível de torção repete-se o ensaio realizado para C_1 . Fazer análises e comparações.

Após obter resultados experimentais, teremos condições de analisar, comparar e portanto estabelecer valores e condições que certamente contribuirão para uma melhor qualidade de fio; verificando, também, se os dados encontrados estão de acordo com catálogos comerciais e literatura especializada.

PARTE III

MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DE TORÇÃO DE FIOS

PARTE IIIMÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DA TORÇÃO DE FIOS

1. Princípio
2. Dispositivo
3. Definições
4. Condicionamento
5. Número de Amostras
6. Seleção de Amostras
7. Método de Remoção do fio suporte
8. Cuidados de Manuseio
9. Pré-tensão
10. Procedimento
 - 10.1- Direção de torção e comprimento
 - 10.2- Fio Singelo
 - 10.2.1- Determinação da torção do fio singelo
 - 10.3- Fio Binado
 - 10.3.1- Determinação da torção do fio binado
 - 10.3.2- Determinação da torção original do fio singelo componente
 - 10.3.3- Determinação da torção final do fio singelo componente
11. Quadro comparativo do ensaio de torção das principais normas:
 - Esse quadro apresenta alguns tópicos fundamentais das normas estudadas para que se possa facilmente comparar as diversas normas.

* PROCEDIMENTO PROPOSTO

1. Princípio: Remoção da torção pela rotação de uma ponta da amostra enquanto outra ponta permanece fixa, até os filamentos ou componentes do fio ficarem paralelos entre si.
2. Dispositivo: Torsiômetro, que consiste em um par de garras, sendo uma delas rotativa em ambas direções e conectada a um contador de voltas. O teste pode ser manual ou acionado eletricamente podendo ser equipado com um indicador da direção de torção e deve permitir medida de mudança de comprimento da amostra durante a destorção.
3. Definições:
 - 3.1. Amostra : fio a ser testado.
 - 3.2. Torção: número de voltas por unidade de comprimento.
 - 3.3. Torção original: Torção original do fio singelo é a torção que o fio singelo contém antes da binagem.
 - 3.4. Torção final: Torção final do fio singelo é a torção que o fio singelo contém após a binagem
4. Condicionamento: Recomenda-se colocar o material em equilíbrio com a atmosfera padrão conforme as normas ISO, AFNOR, BISFA, ASTM que estabelecem em linhas gerais, uma umidade relativa de $65 \pm 2\%$ e uma temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$. A norma ASTM (D-885), específica para fios pneus e industriais, recomenda a umidade relativa de $55 \pm 2\%$ e temperatura de $24 \pm 1^{\circ}\text{C}$. A necessidade de fixar um valor padrão de atmosfera provém da possível influência da umidade relativa e temperatura, no comprimento do fio a ser testado, conseqüentemente afetará o número de voltas por unidade de comprimento. Essa influência dependerá do material do fio que no caso dos fios nylon e poliéster para essas pequenas variações de umidade relativa e temperatura, se torna baixa.

. atmosfera padrão:	. umidade relativa: $65 \pm 2\%$;
	. temperatura: $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

5. Número de amostras: O número de amostras deve ser tal, que o nível de confiabilidade seja de 95%. Utilizou-se a distribuição t de Student para infinitos graus de liberdade, segundo ASTM.

De acordo, também, com as outras normas, recomendamos retirar dez amostras de cada suporte.

retirar 10 amostras de cada suporte

6. Seleção de amostras: Retire a amostra de acordo com o método de remoção do fio do suporte, descarte os primeiros 25 m e retire as cinco primeiras amostras em intervalos aleatórios maiores que 1 m. Descasque o suporte cerca de 100 m e retire as cinco amostras restantes em intervalos aleatórios maiores que 1 m. Esse procedimento visa evitar os efeitos de variação cíclica do processo de fabricação, assim como evitar tirar as amostras do começo do suporte que podem estar com torção alterada.

- . Descartar os primeiros 25 m do suporte;
- . Retirar as cinco primeiras amostras com intervalos maiores que 1 m;
- . Descartar os próximos 100 m;
- . Retirar as cinco amostras restantes com intervalos maiores que 1 m.

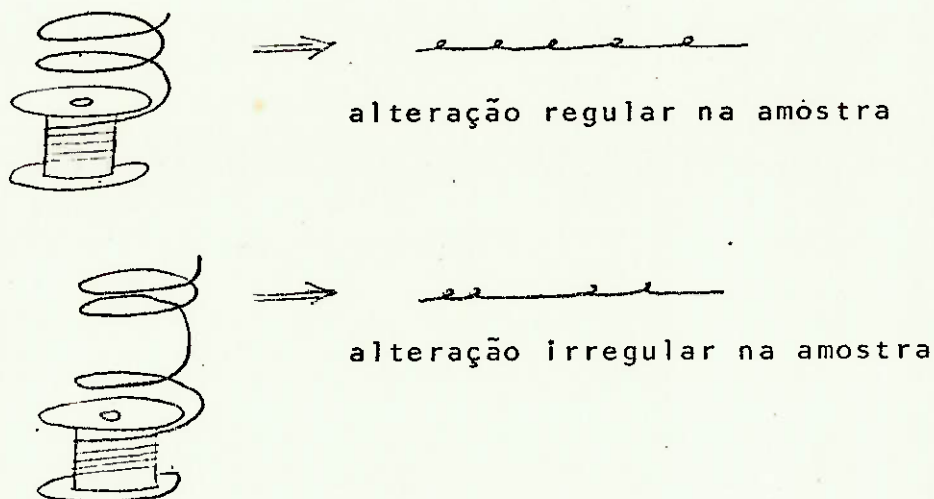
7. Método de remoção do fio do suporte: Existem duas formas de se retirar o fio do suporte que designaremos aqui de "por cima" e "pelo lado", facilmente visualizado a partir de um suporte colocado na vertical.

Se o fio for retirado "por cima", ocorrerá uma leve alteração (aumento ou decréscimo) da torção; dependendo de fatores como direção de torção do fio, direção de bobinamento do suporte e do diâmetro do suporte..

Se o fio for retirado "pelo lado", não haverá mudança na torção. A escolha de um ou outro método, dependerá de um acordo entre as partes interessadas no ensaio.

Entretanto, recomenda-se a remoção do fio suporte "pelo lado", pois dessa maneira consegue-se evitar que a amostra tenha a alteração em sua torção causada pelo método de retirada manual "por cima", que pode ser irregular ao longo do comprimento da mesma.

Figura ilustrando o problema do método de retirada manual "por cima".



Além disso a amostra deve ser retirada do suporte com a mínima tensão possível, sempre abaixo da pré-tensão especificada para o ensaio, pois essa tensão pode alongar o fio. Quando possível retire a amostra da região do centro do suporte.

- . Retirar o fio do suporte "pelo lado", com a mínima tensão possível (abaixo da pré-tensão);
- . Se possível, retirar a amostra da região do centro do suporte;
- . Observar os cuidados de manuseio.

8. Cuidados de manuseio: A transferência do fio no suporte ao torsiômetro deve ser realizada com muito cuidado, evitando-se tocar ou segurar o fio desnecessariamente, pois ao passar o fio entre os dedos, é possível perturbar a distribuição da torção, isto é, a torção pode deslizar ao longo do fio e talvez ser removida ou colocada no comprimento a ser testado. Mesmo fenômeno pode ocorrer se o fio for deslizado por entre as garras do torsiômetro,

a medida em que se coloca o fio no aparelho para ajustar o comprimento da amostra ou até quando o fio passa sobre guias. Portanto, recomenda-se manusear o fio, se possível, fora do comprimento de teste.

- . Evitar deslizar o fio entre os dedos;
- . Evitar deslizar ou puxar o fio entre as garras do torsiômetro;
- . Manusear o fio, se possível fora do comprimento de teste.

9. Pré-tensão:

O fio retirado do suporte deverá ser colocado entre as garras do torsiômetro sob uma pré-tensão baseada na densidade linear inicial do fio. Segundo as normas ASTM, BISFA, ISO, BS, AFNOR, a pré-tensão deve ser de $(0,05 \pm 0,01)$ gf/dtex. Por exemplo: para fio singelo de aproximadamente 1400 dtex, utilizaremos uma massa de 70 g e para fio binado de aproximadamente 3000 dtex, utilizaremos uma massa de 150 g.

A pré-tensão é um fator que pode alterar a quantidade de torção pois, influencia no comprimento da amostra (singelo ou binado). Daí a necessidade de se estabelecer um valor normalizado, para os diferentes títulos de fios.

- . Utilizar pré-tensão de $(0,05 \pm 0,01)$ gf/dtex.
- Ex.: - fio singelo = 1400 dtex, massa de 70 g
- fio binado = 3000 dtex, massa de 150 g

10. Procedimento:

10.1. Direção de torção e comprimento

A determinação da direção de torção pode ser realizada pela simples observação visual do fio, conforme a anotação S ou Z, da figura a seguir.

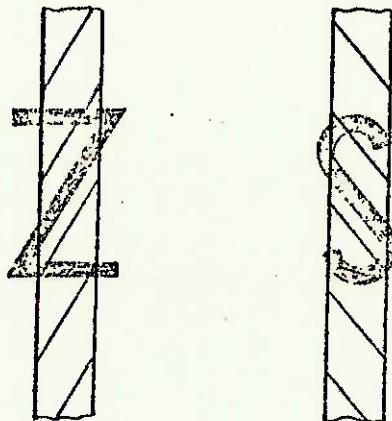


fig.: Direções de torção

O comprimento entre as garras do torsiômetro é recomendado pelas normas ASTM, BISFA, AFNOR, BS, ISO, como sendo maior que $(250 \pm 0,5)$ mm. Adotaremos o valor de $(500 \pm 0,5)$ mm, pois quanto maior o comprimento, qualitativamente melhor será o resultado obtido.

- . determinar direção de torção conforme notação S ou Z;
- . O comprimento entre as garras deve ser de $(500 \pm 0,5)$ mm.

10.2. Fio singelo

10.2.1. Determinação da torção do fio singelo

- a) Zere o contador do torsiômetro;
- b) Coloque o fio no torsiômetro, segundo os cuidados de manuseio;
- c) Coloque a amostra sob pré-tensão de $(0,05 \pm 0,01)$ gf/dtex;
- d) Remova a torção pela rotação da garra rotativa, até os elementos ficarem paralelos, com auxílio da agulha;
- e) Anote a direção de torção; o número inteiro de voltas. (considera-se apenas as voltas inteiras para fios industriais);
- f) Calcule a torção dividindo o número de voltas pelo comprimento inicial em metros (tpm).

10.3. Fio Binado

10.3.1. Determinação da torção do fio binado

- a) Coloque o fio binado no torsiômetro, segundo os cuidados de manuseio;
- b) Coloque a amostra sob pré-tensão de $(0,05 \pm 0,01)$ gf/dtex;
- c) Remova a torção pela rotação da garra rotativa, até os elementos ficarem paralelos, com auxílio da agulha;
- d) Anote a direção de binagem; o comprimento inicial; o número inteiro de voltas. Calcule a torção de binagem, dividindo o número de voltas pelo comprimento inicial em metros (tpm).

10.3.2. Determinação da torção original do fio singelo componente

10.3.2.1. Fios singelos componentes são iguais

- e) Com a torção de binagem removida, retire um dos elementos, cortando-o próximo as garras;
- f) Mantenha a mesma massa utilizada no fio binado, ainda que a tensão no fio singelo fique maior que a tensão do fio binado;
- g) Remova a torção;
- h) Anote a direção de torção, o comprimento inicial, o número inteiro de voltas e calcule a torção original do fio singelo componente.

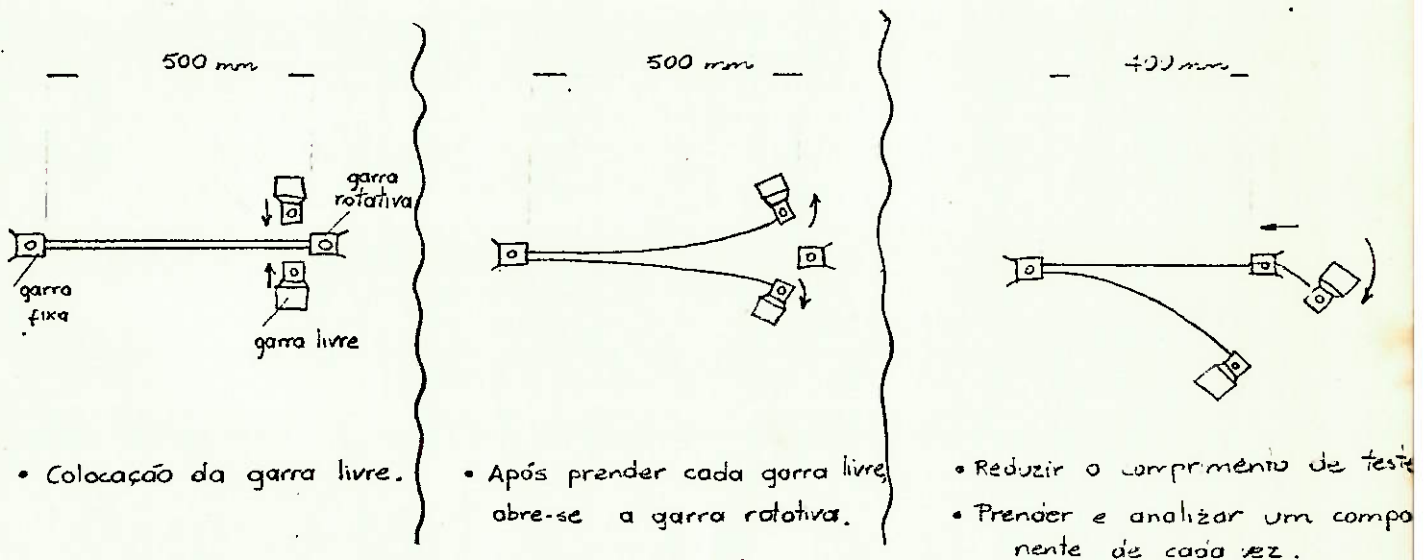
10.3.2.2. Fios singelos componentes são diferentes

- e.1.) Com a torção de binagem removida, cada componente do fio deverá ser testado separadamente;
- f.1.) Mantenha a mesma massa utilizada no fio, ainda que a tensão no fio singelo fique maior que a tensão do fio binado;
- g.1.) Coloca-se um dos fios singelos componentes no torsiômetro ;(ver obs.: 1 e Obs.: 2)
- h.1.) Remova a torção desse elemento;
- i.1.) Anote a direção de torção; o número inteiro de voltas; o comprimento inicial dessa amostra e calcule a torção original desse fio singelo componente;
- j.1.) Repete-se o mesmo procedimento para outro elemento.

Obs.: 1 A norma BISFA recomenda utilizar inicialmente um fio binado de comprimento maior que 500 mm para se ter disponibilidade de manuseio para se separar os fios singelos componentes, cujas pontas devem ficar presas de forma que não haja nenhuma mudança na torção devido a essa operação. Não sendo possível utilizaremos inicialmente um comprimento adotado de 500 mm.

Obs.: 2 A operação de separação dos fios singelos componentes de um mesmo fio binado, pode ficar sujeita a erros, se utilizarmos fita adesiva para prender as pontas e houver escorregamento. Nesse caso, propõe-se a utilização de um par de garras livres, em vez de fita adesiva. As garras livres têm a mesma forma que as garras do torsiômetro. Prende-se cada fio singelo componente em cada garra livre, próximo da garra rotativa do torsiômetro. Abre-se essa garra rotativa de forma a separar os fios singelos componentes.

Certifica-se, se cada fio singelo não tem torção alterada. Coloca-se um dos elementos novamente no torsiômetro, reduzindo o comprimento de teste para $(400 \pm 0,5)$ mm.



10.3.3. Determinação da torção final do fio singelo componente

- Coloque uma amostra do fio binado entre as garras do torsiômetro, sem tensão;
- Retire um componente, cortando próximo às garras e desenrole-o cuidadosamente do outro componente;

- c) Coloque a amostra sob pré-tensão de $(0,05 \pm 0,01)$ gf/dtex;
- d) Remova a torção pela rotação da garra rotativa; até os elementos ficarem paralelos com auxílio da agulha;
- e) Anote a direção de torção; o comprimento inicial do elemento; o número inteiro de voltas. Calcule a torção dividindo o número de voltas pelo comprimento inicial em metros (tpm).

Obs.: 3 Note que na determinação da torção final do fio singelo componente, só se possível examinarmos apenas um dos elementos do fio binado.

QUADRO COMPARATIVO DO ENSAIO DE TORÇÃO DAS PRINCIPAIS NORMAS

NORMA	DATA	PRÉ-TENSÃO RECOMENDADA	COMPRIMENTO DA AMOSTRA	RETIRADA DO FIO DO SUPORTE	ATMOSFERA PADRÃO
NT 462	1969	0,045 \pm 0,009 gf/dtex	250 \pm 1,25 mm ou 500 \pm 2,5 mm	"pelo lado", com a mínima tensão possível	T=24 \pm 2°C e UR=55 \pm 2%
ITM 885M 885	1979 1978	0,05 \pm 0,01 gf/dtex	250 \pm 0,5 mm ou 500 \pm 0,5 mm	"pelo lado" com a mínima tensão possível	T=24 \pm 2°C e UR=55 \pm 2%
1423 1776	1976 1979	0,025 \pm 0,005 gf/dtex	250 \pm 0,5 mm ou 500 \pm 0,5 mm	"pelo lado" ou "por cima" dependendo do próximo estágio de processo	T= 20 \pm 2°C ou 27 \pm 2°C e UR= 65 \pm 2%
FNOR -00-003 -00-005 -07-078	1970 1974 1972	0,05 \pm 0,01 gf/dtex	250 mm ou 500 mm	"pelo lado" ou "por cima" com tensão menor que a pré-tensão	T= 20 \pm 2°C ou 27 \pm 2°C UR=65 \pm 2%
ISFA nº 24 (no catálogo CD)	1981	0,05 \pm 0,005 gf/dtex	se \geq 1250 tpm \Rightarrow 250 mm \pm 0,5 se $<$ 1250 tpm \Rightarrow 500 mm \pm 0,5	"pelo lado", com tensão menor que a pré-tensão	T= 20 \pm 2°C e UR= 65 \pm 2%
S S 2085 S 1051 S 946	1973	0,05 \pm 0,01 gf/dtex	maior que 250 mm	"pelo lado" ou "por cima" dependendo do próximo estágio de processo.	T=20 \pm 2°C e UR= 65 \pm 2%
SO SO/R 2061 SO/R 2 SO/R 139	1972 (E) 1973 (E) 1973 (E)	0,05 \pm 0,01 gf/dtex	250 \pm 1 mm ou 500 \pm 1 mm	"pelo lado", com mínima tensão	T=20 \pm 2°C ou 27 \pm 2°C e UR= 65 \pm 2%
OPANT 6/nº 7 6/nº 12	1962 1963	0,05 \pm 0,01 gf/dtex	250 mm ou 500 mm	"pelo lado", com mínima tensão	T=20 \pm 2°C ou 27 \pm 2°C e UR= 65 \pm 2%
FEDERAL IT 191 1452,1 1454,1	July 1970 July 1970	$<$ 82,5 dtex \Rightarrow 10 gf 82,5 a 165 dtex \Rightarrow 20 gf $>$ 165 dtex \Rightarrow 30 gf	10 polegadas	"pelo lado" com mínima tensão	T= 20 \pm 2°C e UR= 65 \pm 2%

BIBLIOGRAFIA UTILIZADA

BIBLIOGRAFIA UTILIZADAI . LIVROS

- * "Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics"
(Hearle, Grosberg, Backer)
- * "Textile Yarns Technology, Structure and Applications"
(Goswami, Martindale, Scardino)
- * "Processing of Man-made Fibers"
(V.A. Usenko)
- * "Handbook of Twisting"
(N.A. Truslow)
- * "Spinning: conversion of fiber to yarn"
(P.R. Lord) Part 1
- * "Principles of Textile Testing"
(J.E. Booth)
- * "Textile Testing"
(James Lomax)
- * "American Cotton Handbook"
(Merril, Macormac, Maversberger)
- * "The Principles and Theory of Ring Spinning"
(A.E. Barr, H. Catling)

II. TRABALHOS

- * "Design and Evaluation of High-Speed,
Two-for-one Dow twist Spindle and Balloon Limiter"
(Carlos C.C. Tu)

III. ARTIGOS

- * "AKU TIRE YARNS"
(American Enka Corporation)
- * "Recent Developments in tire yarns"
(American Enka Corporation)
- * "An Experimental Study of Tire cord Fadigue"
(W.G. Klein, M.M.Platt, W.J. Hamburger)

- * "Introduction to Study of Yarn Structure with a Twist Tester"
(E.R. Schwarz - Textile Research Journal - 1933)
- * "Twist Structure of Plied Yarns"
(E.R. Schwarz - Textile Research Journal - 1950)
- * "Twist in Tire Cord and Some Physical Effects"
(Guernsey and Davis - Textile world - 1925)
- * "Introduction to the Micro-Analyses of yarn Twist"
(Journal Text. Inst. - 1933)
- * "The Relationship between Abrasion Resistance and Twist of Yarns"
(MeJliand Textilher vol 24 - 1953)
- * "Twisting of Industrial Yarns"
(K. Ackermann and Chemiefasern - Textil Industrie - 1982)
- * "Tyre Cord Fadigue"
(J. Zimmerman - Textile Manufacturer - 1974)
- * "Twist Geometry and Twist Limits in Yarns and Cords"
(P.S. Gracie - Journal Text. Inst. - 1960)
- * "Twist Insertion in Ring Spinning and Doubling"
(S.E. de Barr, H. Catling - Journal Text. Inst. - 1959)
- * "The Geometry of Multi-Ply Yarns"
(L.R.G. Treloar - Journal Text. Inst. - 1960)
- * "An Experimental Study of the Geometrical Structure of Single Yarns"
(G. Riding - Journal Text. Inst. - 1959)

IV. NORMAS

* ABNT:

17: 03.01.004 - Set 1982

Condicionamento de materiais têxteis para ensaio

MB - 462 - 1968

Fios contínuos de Raion Viscose, poliamida e poliéster para pneumáticos.

* ISO:

139-1973 (E)

Textile - Standard atmospheres for conditioning and testing.

2-1973 (E)

Textiles - Designation of the direction of twist in yarns and related products

2061 - 1972 (E)

Textiles - Determination of twist in yarns-direct counting method

* AFNOR

G-00-005 - (dez. 1974)

Vocabulaire - relatif aux fibres, filaments et fils

G-00-003 - (out 1970)

Atmosphère normale de référence et atmosphère normale de conditionnement d'essais des textiles

G-07-078 (jul - 1972)

Méthode de détermination de la torsion par simple détorsin

* ASTM

D-885-78 e D-885M-79 (M = METRIC)

Standard methods of testing

Tire cords, tire cord fabrics, and industrial filament yarns made from man-made organic-base fibers

D 1776 - 79

Standard practice conditioning textiles for testing

D 123 - 79a

Standard definitions of terms relating to testiles

D - 1923 - 76

Standard test method for twist in yarns by the direct-counting method

* BISFA

BISFA 24-A (de 1981)

Internationally agreed methods for testing nylon filament yarns

* FEDERAL

Std n° 191 - method 4052.1 (jul 1970)

Twist in single yarns; turns per inch

Std n° 191 - method 4054.1 (jul 1970)

Twist and twist contraction, ply yarns

* COPANT

COPANT/C6 n° 7 (nov 1962)

Indication del sentido de la torsion de los hilos textiles

COPANT/C6 n° 12 (abr 1963)

Metodo de ensayo para la torsion de los hilos