

UMA EQUAÇÃO PREDITIVA GERAL PARA A CRIMPAGEM DE TERMINAIS ELÉTRICOS

Écio Naves DUARTE¹

Doutor em Engenharia Mecânica/UFU
Docente do IFSP/*Campus* Bragança Paulista

Frederico de Oliveira SIMÕES²

Tecnólogo em Eletrônica Industrial/IFSP-*Campus* Bragança Paulista
Discente do curso de Mestrado em Automação e Controle de Processos
IFSP/*Campus* São Paulo

RESUMO

O processo crimpagem é amplamente utilizado na indústria de conectores, sendo que o conhecimento de seus princípios mecânicos ainda é muito discutido. Este trabalho busca o desenvolvimento de uma Equação Preditiva Geral (EPG) que permita prever valores de ajuste dos parâmetros do processo que resulte em terminais crimpados que atendam aos requisitos de qualidade. O terminal estudado é conhecido como tipo B ou barril aberto. Os dados para desenvolvimento da EPG serão gerados por simulação em ambiente computacional via Método dos Elementos Finitos (MEF). O MEF mostra-se como alternativa à coleta de dados estritamente experimentais em virtude da complexidade do problema estudado. Em suma, almeja-se com esta EPG um avanço significativo na compreensão do processo de crimpagem de terminais elétricos.

Palavras-chave: Crimpagem. Terminais elétricos. Método dos Elementos Finitos (MEF). Análise dimensional e semelhança. Equação Preditiva Geral (EPG).

Introdução

O processo crimpagem é amplamente utilizado na indústria de conectores. Tem a finalidade de fixar um terminal à ponta de um condutor. Embora este processo seja muito utilizado, o conhecimento de seus princípios mecânicos ainda é muito discutido,

¹ Endereço eletrônico: ecionaves@gmail.com

² Endereço eletrônico: simoes.frd@gmail.com

principalmente devido à complexidade do problema (ETLINGER *et al*, 2011; ZHMURKIN, 2009).

Ainda que vários estudos tenham sido feitos deste processo, falta uma teoria unificadora sobre o assunto (ZHMURKIN, 2009). Em virtude do grande número de variáveis envolvidas, o MEF é um caminho para viabilizar e otimizar este estudo. Este método tem sido utilizado em outros trabalhos (ETLINGER *et al*, 2011; ZHMURKIN, 2009; ZHMURKIN *et al*, 2008; ABBAS, 2003; VILLENEUVE *et al*, 1996).

Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de uma Equação Preditiva Geral (EPG) para o processo de crimpagem de terminais elétricos. Na EPG, será quantificada a influência dos parâmetros para uma crimpagem que atenda aos requisitos de qualidade. Os parâmetros a serem estudados são divididos em parâmetros de processo, de materiais e de geometria. Para compor a EPG, serão elencados os parâmetros mais influentes no resultado final da crimpagem, devido ao grande número de parâmetros. Para tal, realizar-se-á uma análise de sensibilidade paramétrica.

O desenvolvimento da EPG utilizará os conceitos de análise dimensional e semelhança, também conhecidos como similitude. Mais especificamente, utilizar-se-á o teorema pi de Buckingham. Os dados para desenvolvimento da equação serão obtidos através de simulações em ambiente computacional pelo MEF. O tipo de terminal estudado será o tipo B. Este é também chamado de barril aberto por causa do formato “U” de sua garra. O processo de crimpagem será modelado em duas dimensões (2D) utilizando-se do programa de MEF Stampack® 7.1. Este é um programa de solução explícita voltado à simulação de processos de conformação de metais (QUANTECH ATZ, 2015; ZHMURKIN, 2009; ABBAS *et al*, 2003).

Busca-se, com essa EPG, um avanço na compreensão do processo de crimpagem de terminais elétricos. Esse maior conhecimento possibilitará redução de custo de desenvolvimento e produção de terminais crimpados, visto que a crimpagem é um problema complexo e com múltiplas variáveis, além de testes experimentais, tanto para desenvolvimento de novos produtos como para ajuste dos sistemas de produção, já que consomem grande quantidade de tempo e de recursos materiais.

Crimpagem

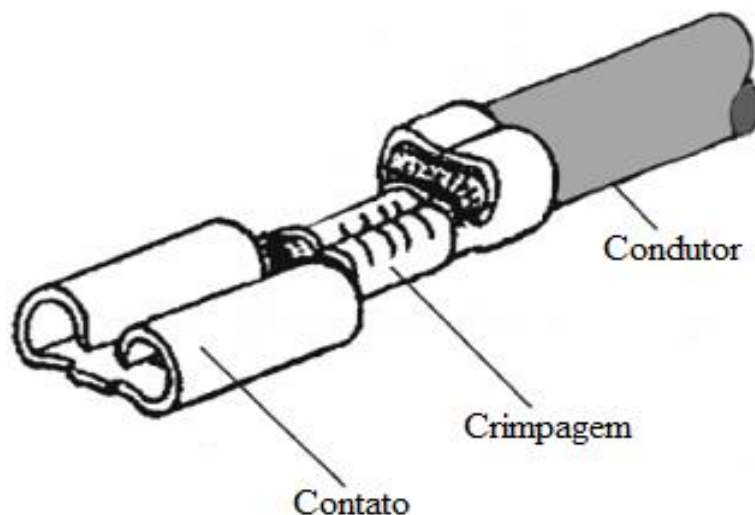
A crimpagem é o processo de unir duas peças metálicas ou não-metálicas pela deformação de uma ou de ambas as partes de forma a fixá-las. Esse método é largamente utilizado para unir um conector à ponta de um condutor elétrico. Isso propicia ganho de qualidade e economia de recursos e de tempo de execução em relação à sua soldagem (ETLINGER *et al*, 2011).

Até a década de 1940, todas as terminações eram soldadas. Com o desenvolvimento de conectores removíveis, a fim de facilitar e melhorar a execução de serviços em campo, estes passaram a ser crimpados nos condutores elétricos ao invés de soldados (DANIELS MANUFACTURING CORPORATION, 2017).

Atualmente, há diferentes modelos de conectores com variações de forma geométrica, dimensões e materiais. Isso pode ser constatado pela diversidade de produtos comercializados pelos fabricantes, por exemplo em TE Connectivity (2017).

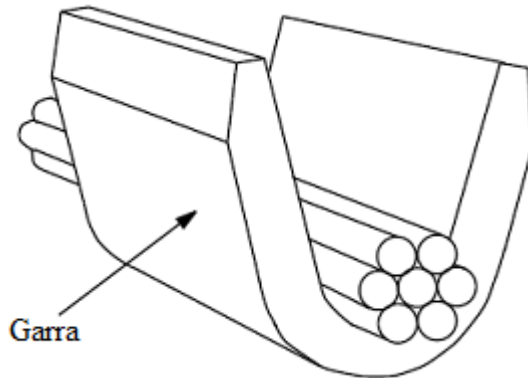
O conector com junção em forma “U” mostrado nas Figuras 1 e 2 é chamado de conector tipo B ou barril aberto (*open barrel*) (ZHMURKIN, 2009; ABBAS *et al*, 2003). Um modelo em 3 dimensões (3D) deste conector crimpado é mostrado na Figura 1 e detalhes da garra do conector antes da crimpagem na Figura 2.

Figura 1- Conector elétrico básico



Fonte: ABBAS *et al* (2003, p. 242) [tradução nossa]

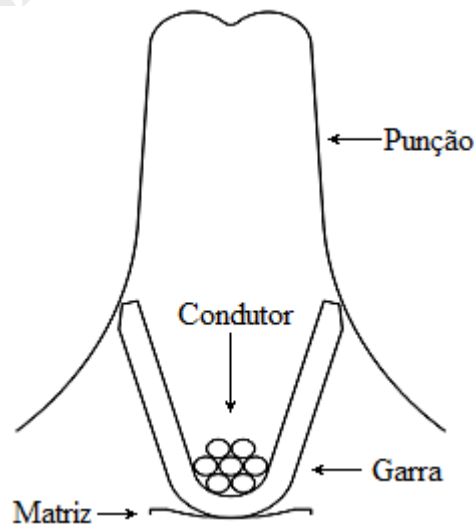
Figura 2- Modelo 3D da garra de crimpagem de um conector



Fonte: ABBAS *et al* (2003, p. 242) [tradução nossa]

Para a crimpagem deste tipo de junção, utiliza-se um punção com a extremidade duplamente curvada e uma matriz curvada, como mostra a Figura 3. O punção move-se em direção à matriz, que permanece fixa. O movimento do punção conforma a garra do conector ao redor do condutor (ABBAS *et al*, 2003).

Figura 3- Modelo geométrico em duas dimensões (2D) utilizado na simulação



Fonte: Autores

Segundo Zhmurkin (2009), apesar de a crimpagem ser uma tecnologia muito utilizada, o conhecimento dos princípios mecânicos deste processo ainda é muito discutido. Tentando preencher esta lacuna teórica, foram realizados vários estudos, desde análises analíticas simplistas até abrangentes estudos com modelos em três dimensões (3D) via Método dos Elementos Finitos (MEF) considerando outros fatores, tais como a velocidade da ferramenta, além dos parâmetros geométricos. Porém, ainda há trabalho a ser feito para uma proposta teórica unificadora, em parte por causa da complexidade do problema (ZHMURKIN, 2009).

Segundo Zhmurkin (2009), os critérios para um crimpagem confiável ainda não estão consolidados. Para ele, o foco na capacidade em manter a baixa resistência elétrica da junção durante o ciclo de vida do terminal é o principal indicador de qualidade, uma vez que, durante seu tempo de trabalho, o terminal está sujeito a condições adversas, tais como: alterações de temperatura, esforços mecânicos e/ou ambientes agressivos. Esses fatores podem resultar em degradação do contato e em aumento da resistência elétrica. Como resultado, o desenvolvimento de novos terminais é um processo demorado e caro, o que justifica o sigilo das indústrias de conectores em relação a tal conhecimento.

Conforme TE Connectivity (2005), a crimpagem de conectores pode ser otimizada, a fim de atender simultaneamente às exigências mecânicas e elétricas da junção, já que um terminal crimpado frouxo resultará em má qualidade mecânica e elétrica. Quanto a um terminal muito apertado, resulta em melhoria das características elétricas, mas em perda das propriedades mecânicas principalmente a resistência à tração e à vibração do terminal.

É comum a medição da força de extração como critério de qualidade do terminal. Contudo, é um teste destrutivo utilizado para analisar o processo por amostragem. Outro critério empregado é a força de crimpagem que possibilita analisar 100% dos conectores crimpados, por ser um teste não destrutivo. Dessa forma, verificam-se os desvios da força durante os ciclos do processo, entretanto isso não valida o resultado da crimpagem em relação ao seu projeto original, mas apenas variações no processo.

A altura do terminal crimpado também é normalmente medida. Isso permite a verificação da forma crimpada em relação ao seu projeto original, sendo útil para se alcançar uma padronização no processo de fabricação. Todavia, é muito lento para a inspeção de toda a produção (TE CONNECTIVITY, 2005). De acordo com TE Connectivity (2005), o melhor método para se validar o processo de produção de conexões crimpadas é uma combinação das medições da força de crimpagem e da altura do terminal, o que permitiria validar a obtenção da forma final esperada para o terminal e verificar possíveis variações das propriedades do terminal e do cabo, as quais poderiam gerar junções de má qualidade.

Na visão de Abbas *et al* (2003), o critério mais frequentemente usado para definir a qualidade da crimpagem é a taxa de compressão, que é usualmente de 15%. A taxa de compressão t é definida pela Equação 1:

$$t = \frac{S_{cabo_crimpado} - S_{cabo_inicial}}{S_{cabo_crimpado}} \quad (1)$$

Onde $S_{cabo_inicial}$ é área inicial da seção transversal do cabo e $S_{cabo_crimpado}$ é a área seção transversal do cabo após a crimpagem (ABBAS *et al*, 2003).

Análise dimensional e semelhança

A análise dimensional é uma técnica de compactação utilizada para reduzir o número e a complexidade das variáveis experimentais que influenciam em um certo fenômeno físico. É uma técnica amplamente utilizada em todos os campos da engenharia e das ciências biológicas, físicas, médicas e sociais.

Sintaticamente, a análise dimensional permite que um fenômeno dependente de n variáveis dimensionais seja reduzido para k variáveis adimensionais. Onde $n-k$ é a quantidade de dimensões diferentes (também chamadas dimensões primárias ou básicas ou fundamentais) que governam o problema.

Esta técnica traz também outros benefícios. Primeiramente, permite a redução no número de experimentações, visto que se analisam grupos de variáveis ao invés de variáveis individualmente, reduzindo os custos de experimentações físicas ou

numéricas. Outro benefício é a maior facilidade no raciocínio e planejamento para um experimento ou uma teoria, por sugerir variáveis que podem ser descartadas e frequentemente fornece uma ótima visão da forma da relação física estudada.

Por último, a análise dimensional fornece as leis de escala. Esta permite a conversão de dados de um modelo pequeno e barato para obter dados de um protótipo maior e caro. Quando esta lei é válida, diz-se que existe uma relação de semelhança entre o modelo e o protótipo.

Há vários métodos para a análise dimensional. A técnica comentada no início desta seção é conhecida como Teorema Pi de Buckingham, por ter sido proposta por Buckingham, em 1914. Neste método, os grupos de variáveis adimensionais são produtos de potências representadas por Π termos ($\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$). Ele possibilita que os termos π sejam determinados em ordem sequencial sem necessitar de expoentes livres. O nome Pi de Buckingham também faz referência à notação matemática (WHITE, 2011).

A primeira parte do teorema explica que

se um processo físico satisfaz o PHD [(Princípio da Homogeneidade Dimensional)] e envolve n variáveis dimensionais, ele pode ser reduzido a uma relação entre apenas k variáveis adimensionais ou Π s. A redução $j = n - k$ é igual ao número máximo de variáveis que não formam um π entre elas e é sempre menor ou igual ao número de dimensões que descrevem as variáveis. (WHITE, 2011, p. 309)

O PHD pode ser enunciado da seguinte forma: “Se uma equação expressa realmente uma relação apropriada entre variáveis em um processo físico, ele será dimensionalmente homogênea; isto é, cada um de seus termos aditivos terá as mesmas dimensões” (WHITE, 2011, p. 303).

E a segunda parte do teorema especifica que:

Encontre a redução j , depois selecione j variáveis de escala que não formem um π entre elas mesmas. Cada grupo π desejado será um produto de potências dessas j variáveis mais uma variável adicional, à qual é atribuído qualquer expoente conveniente diferente de zero. Cada grupo π assim encontrado é independente. (WHITE, 2011, p. 309)

Esse método é também chamado de “método das variáveis repetidas” de análise dimensional. Por acrescentar-se uma variável às variáveis repetidas selecionadas e obter-se um grupo de pi. É um procedimento simples e revela todos os pi termos desejados. Entretanto, a repetição de variáveis pode gerar falta de variedade e de efetividade, além de também, com essa repetição, precisar-se verificar se essas variáveis não formam um pi entre elas.

E, para concluir, ressalta-se que a análise dimensional não é um processo simples. Ela possui muitas minúcias e nuances a ser dominadas com o tempo, a prática e a maturidade. Para usá-la com eficiência, é necessária muita arte e habilidade (WHITE, 2011).

Método dos elementos finitos

O método dos elementos finitos é uma técnica de análise numérica aplicado em problemas em que métodos analíticos e aproximações grosseiras não fornecem satisfatoriamente os resultados que atendam aos requisitos de desempenho e de otimização dos materiais. Problemas que anteriormente eram resolvidos utilizando modelos em escala reduzida ou experimentações custosas passam a ser resolvidos via análise numérica em ambiente computacional em virtude das limitações físicas e da busca pela otimização da solução.

As primeiras aplicações do método dos elementos finitos foram na busca de soluções na área de resistência dos materiais, mais especificamente no cálculo de tensões em sistemas estruturais. Atualmente, é amplamente utilizado na indústria e no meio acadêmico acessível via códigos comerciais, tais como ABAQUS[®], ANSYS[®], NASTRAN[®] e STAMPACK[®] (DUARTE, 2016; DUARTE, 2007; SOBRINHO, 2006). Em nossa pesquisa, quando de sua execução, será utilizado o *software* STAMPACK[®] versão 7.1, que é um *software* de solução explícito quasi-estático.

A abordagem de problemas na forma analítica utiliza-se de variáveis em domínio contínuo. O MEF propõe a discretização deste domínio em elementos. Cada elemento possui pontos internos ou, em sua fronteira, denominados nós. E a análise

passa a ser feita sobre os pontos nodais, os quais são um conjunto finito, ao invés de infinito como na solução analítica.

Esta discretização permite a formulação matricial do problema, que facilita sua implementação computacional. A aplicação do problema em ambiente computacional é executada em três etapas: pré-processamento, processamento e pós-processamento.

No pré-processamento, realiza-se a construção do modelo como a geração dos nós e dos elementos. Esse processo pode ser realizado de forma automática pela ferramenta computacional ou diretamente pelo usuário e, também, nesta etapa, selecionam-se as funções de interpolação que descrevem as variáveis de campo, sejam escalares, vetoriais ou tensoriais.

Posteriormente, na etapa de processamento, o modelo gerado que é representado por um conjunto de equações em cada nó será determinado pela resolução dessas equações, utilizando os métodos numéricos mais apropriados a cada caso. Por fim, na etapa de pós-processamento, realiza-se a apresentação gráfica e/ou numérica dos resultados do modelo processado (DUARTE, 2016).

Há basicamente duas formas de resolução da mesma equação dinâmica que rege o processo para um modelo em MEF, são elas: solução implícita e solução explícita. A solução implícita costuma exigir menos tempo de processamento, dentro do contexto de custo computacional e cargas dinâmicas. Porém, para se resolver as equações explicitamente, costuma-se obter soluções mais realistas, em relação à visualização da qualidade de conformação de chapas (NAFEMS, 1992 citado por DUARTE, 2007).

Segundo Zhmurkin (2008), vários estudos têm mostrado que a solução explícita é mais adequada à análise de problemas de conformação incremental multi-contato complexa, como é o caso do processo de crimpagem de terminais elétricos.

Sensibilidade Paramétrica

Em linhas gerais, análise de sensibilidade (AS) calcula a taxa de variação dos parâmetros de saída do sistema resultante de pequenas alterações nos seus parâmetros de entrada, sendo largamente aplicado em ciência e engenharia (PETZOLD *et al*, 2005). Essas utilizações podem ser agrupadas em quatro categorias: tomadas de decisões ou

confeção de recomendações para os responsáveis pelas tomadas de decisões, comunicação, aumentar o entendimento ou a quantificação do sistema, e desenvolvimento de modelos (PANNELL, 1997).

Em nossa pesquisa, pretendemos identificar a sensibilidade e as variáveis mais importantes no processo de crimpagem de terminais elétricos, a que Pannell (1997) enquadra na primeira categoria (tomadas de decisões ou confeção de recomendações para os responsáveis pelas tomadas de decisões).

A AS é possivelmente a mais útil e mais largamente usada técnica disponível a analistas para essa categoria de aplicação, por ser fácil de calcular, fácil de entender e fácil de explicar, possuindo diferentes abordagens que variam em complexidade (PANNELL, 1997). Para o autor, as abordagens mais simples talvez sejam absolutamente os melhores métodos para este propósito, dada sua fácil utilização e transparência, além de aplicabilidade a qualquer modelo. Como uma ajuda na decisão, essas abordagens são frequentemente suficientes apesar de suas imperfeições.

Em princípio, AS é uma ideia simples, altera-se o modelo e observa-se o comportamento. Essa análise é uma combinação de parâmetros que serão variados de nível em relação aos seus valores fixos. O analista deve decidir se varia um parâmetro por vezes, deixando os outros em nível normal, ou se examina uma combinação de alterações (PANNELL, 1997). Na seleção desses níveis, um comum e normalmente adequado tratamento é especificar valores antecipadamente, usualmente com intervalos iguais entre eles (NORDBLOM *et al*, 1994 citados por PANNELL, 1997).

Após a experimentação, o analista deve processar e/ou resumir a informação, a fim de permitir fácil identificação dos pontos centrais; para isso, há diversos possíveis métodos, que variam dos muito simples até muito complexos.

Quando se necessita comparar a taxa de variação dos valores entre diferentes parâmetros de entrada, uma possibilidade é calcular a “elasticidade” que é a porcentagem de variação na variável dependente (saída do sistema) dividida pela porcentagem de variação na variável independente (parâmetros de entrada), calculada pela Equação 2 ou pela Equação 3:

$$e = \frac{\% \Delta Y}{\% \Delta X} \quad (2)$$

ou

$$e = \frac{\partial Y}{\partial X} \cdot \frac{X}{Y} \quad (3)$$

A comparação da elasticidade para diferentes parâmetros de entrada provê uma boa indicação dos parâmetros mais sensíveis para aquele sistema.

Um outro método correlato à “elasticidade” é o índice de sensibilidade (IS) onde um valor é calculado por um procedimento específico que gera informação sobre a sensibilidade relativa dos resultados para diferentes parâmetros do modelo (PANNELL, 1997). Pannell (1997) ressalta que, embora haja inúmeros procedimentos para cálculo do índice de sensibilidade, o utilizado por Hoffman e Gardner (1983) é simples e de ótimo resultado. Eles sugerem que o índice de sensibilidade seja obtido pelo seguinte cálculo (Equação 4):

$$IS = \frac{D_{máx} - D_{mín}}{D_{máx}} \quad (4)$$

Onde $D_{máx}$ é o resultado de saída quando o parâmetro em questão é colocado em seu valor máximo e o $D_{mín}$ é o seu resultado quando a entrada é colocada no valor mínimo (PANNELL, 1997).

Metodologia

A metodologia a ser utilizada na pesquisa consistirá primeiramente no desenvolvimento do modelo numérico 2D em MEF do processo de crimpagem de terminais elétricos no *software* STAMPACK® 7.1 e sua calibração com resultados experimentais apresentados por VILLENEUVE (1996).

Na segunda etapa, realizar-se-á a variação individual dos parâmetros do processo de crimpagem, a fim de verificar sua influência. Os parâmetros a serem alterados são

divididos em parâmetros de geometria, de materiais e de processo. A variável de saída principal a ser analisada será a força do punção. Inclui-se também uma inspeção visual da forma final da junção como mais um critério qualidade, junto com o índice compressibilidade.

Posteriormente, com os resultados das simulações, realizar-se-á a análise de sensibilidade paramétrica. Essa etapa tem por objetivo encontrar os parâmetros que mais influenciam na força do punção durante a crimpagem. Para isso, utilizar-se-ão os métodos “elasticidade” e índice de sensibilidade.

Com a análise de sensibilidade, serão selecionados os parâmetros mais influentes com vistas a simplificar a EPG. Esses parâmetros serão agrupados em π -termos. Em seguida, com a união dos π -termos, obter-se-á a EPG que descreverá o processo. Com o intuito de validar a equação obtida, esta será testada com novos dados experimentais obtidos na literatura.

Conclusão

Em suma, este trabalho almeja avanços significativos na compreensão do processo de crimpagem. Isso será viabilizado pela análise de sensibilidade paramétrica e pelo desenvolvimento de uma EPG para o processo de crimpagem, vista a lacuna teórica que ainda existe sobre o conhecimento do problema, principalmente devido a sua complexidade. Em consequência, vislumbra-se a redução de custo de produção e de desenvolvimento de terminais crimpados.

Referências bibliográficas

ABBAS, Mickaël *et al.* Advanced numerical simulation of the crimping process of electric connectors. In *Recent Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering*. Springer Netherlands, 2003. p. 241-250.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5410*: 2004, versão corrigida: 2008. Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2008.

Daniels Manufacturing Corporation. *Crimping Facts*. Disponível em: <http://www.dmctools.com/Products/crimping_facts.html>. Acessado em: 27 mai.2017.

DUARTE, Écio Naves. *Estudo analítico-numérico de freios de estampagem em chapas metálicas*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil. 2007.

DUARTE, Écio Naves. *Mecânica do Contato entre corpos revestidos*. São Paulo: Blucher, 2016.

ETLINGER, Gabriel *et al.* Estudo de Caso do Processo de Crimpagem em Terminais Eletromecânicos. *Sinergia*, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 190-198, 2011.

PANNELL, David J. Sensitivity analysis: strategies, methods, concepts, examples. *Agric Econ*, v. 16, p. 139-152, 1997.

PETZOLD, Linda *et al.* Sensitivity analysis of differential-algebraic equations and partial differential equations. *Computers & chemical engineering*, v. 30, n. 10, p. 1553-1559, 2006.

QUANTECH ATZ. *Stampack Simulation Guide V.7.1*. Espanha, 2015.

SOBRINHO, Antonio da Silva Castro. *Introdução ao Método dos Elementos Finitos*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2006.

TE Connectivity. *Terminals & Splices Products*. Disponível em: <<http://www.te.com/usaen/plp/terminalssplices/Y30Ax.html>>. Acessado em: 2 de jun.2017.

TE CONNECTIVITY. *Crimp Height - Employing the Most Effective Crimp Quality Metric for Meeting Contemporary Quality Standards*. 2005. Disponível em: <<http://www.te.com/content/dam/te-com/documents/application-tooling/global/at-wp-crimp-height-meeting-contemporary-quality-standards.pdf>>. Acessado em: 31 mar.2017.

VILLENEUVE, Gary *et al.* Dynamic finite element analysis simulation of the terminal crimping process. In: *Electrical Contacts, 1996. Proceedings of the Forty-Second IEEE Holm Conference on. Joint with the 18th International Conference on Electrical Contacts*. IEEE, 1996. p. 156-172.

WHITE, Frank M. *Mecânica dos fluidos*. Tradução de Mario Moro Fecchio, Nesol Manzanares Filho e José Carlos Cesar Amorim. 6ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

ZHMURKIN, Dmitry V. *et al.* 3-dimensional numerical simulation of open-barrel crimping process. In *Electrical Contacts, 2008. Proceedings of the 54th IEEE Holm Conference on. IEEE*, 2008. p. 178-184.

ZHMURKIN, Dmitry V. 3-dimensional numerical simulation of open-barrel crimping process - Study of the Effect of Serrations. In: Electrical Contacts, 2009. *Proceedings of the 55th IEEE Holm Conference on. IEEE*, 2009. p. 114-120.

A GENERAL PREDICTIVE EQUATION TO THE CRIMPING PROCESS

ABSTRACT

The crimping process is largely used in the connector industry, but the knowledge of its mechanical principles still is much debated. This work aims the development of a General Predictive Equation (GPE) that makes enable forecast adjustment values of process variables that results in crimped terminals within quality requirements. The grip studied is knowledge as type B or open barrel. The data for development da GPE will be generated via simulation in computer environment by Finite Element Method (FEM). The FEM demonstrated as alternative to the collect strictly experimental data due the complexity of problem studied. In resume, desired with this EPG a significant advance of understanding of crimping process.

Keywords: Crimping. Terminal. Finite Elements Method. Dimensional analysis and similarity. General Predictive Equation.

Envio: junho/2017

Aceito para publicação: julho/2017