ISSN:2594-6153

Ensaio Swift Cup

Cesar Andrade Vieira

Unisanta - Universidade Santa Cecília, Santos-SP, Brasil
PUC-MG - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - Faculdade de Engenharia

E-mail: cv250644@alunos.unisanta.br

Resumo
No trabalho em questão, foi proposta uma revisão bibliográfica a fim de abordar o processo de embutimento de copos de aço, com o objetivo de realizar o "Swift Cup Test". Esse teste teve por finalidade levantar o LDR (limite máximo de embutimento), empregando os melhores meios para um excelente resultado final. O método de embutimento é seguramente o processo mais usado para a resolução da problemática de produção em série de peças metálicas. A utilização desse método se deve à crescente necessidade de peças padronizadas e seriadas, podendo ser aplicada em inúmeras áreas industriais. Para compreender o processo de embutimento, deve-se levar em consideração as diversas variáveis atuantes, como os processos de estampagem existentes, os tipos de prensa que podem ser utilizadas, os componentes de uma ferramenta, entre outros. Tal estudo foi feito por meio de consultas à literatura existente, especialmente no tocante à fundamentação teórica e ao desenvolvimento dos métodos.
Palavras-chave: Estampo; Embutimento; Conformação; swift cup test.

Swift Cup Test

Abstract In the work in question, a literature review was proposed in order to address the cup drawing process in steel, with the objective of performing the "Swift Cup Test." This test aimed to determine the LDR (Limiting Drawing Ratio), employing the best methods to achieve excellent final results. The drawing process is certainly the most widely used method for solving the challenges of mass production of metal parts. The use of this method is due to the growing need for standardized and serialized parts, which can be applied in numerous industrial areas. To understand the drawing process, it is necessary to consider the various variables involved, such as the existing stamping processes, the types of presses that can be used, the components of a tool, among others. This study was carried out through consultations with existing literature, especially regarding the theoretical foundation and the development of methods.
Keywords: Stamping; Inlay; Conformation; swift cup test.

Introdução

A indústria de estampagem demanda escalas de produção rigorosas, pois, devido à sua elevada produtividade, pode alcançar a fabricação de milhares de peças por hora. Trata-se de um dos principais processos de conformação mecânica de chapas, amplamente utilizado em diversos setores industriais.

O processo de estampagem consiste em conduzir um esboço para o interior da matriz, por meio da ação do punção, formando assim a geometria desejada. As ferramentas básicas utilizadas nesse processo são: matriz, punção e prensa-chapa. Neste estudo, foram realizados ensaios com chapas de aço SAE 304 para a verificação do seu LDR (Limite de Deep Drawing ou Limite Máximo de Embutimento).

Esse estudo abre possibilidades para o desenvolvimento de novas matrizes e ferramentas destinadas ao setor industrial. Durante o trabalho, foram analisadas matérias-primas que melhor se adaptam ao processo de embutimento, com o objetivo de minimizar fenômenos mecânicos indesejáveis e, assim, maximizar a capacidade produtiva.

Os testes realizados confirmaram que as geometrias das ferramentas propostas na literatura estão adequadas para a realização do Swift Cup Test e, posteriormente, para a obtenção do LDR do material utilizado [1].

O objetivo principal deste ensaio é determinar o Limite Máximo de Embutimento (LDR), que consiste em identificar a máxima resistência de um material à estampagem. Para isso, blanques de diferentes tamanhos são embutidos até o seu rompimento, sendo que o último embutimento realizado antes da falha define o LDR do material [2].

Materiais e Metodologia

Para a realização dos ensaios foi utilizado um conjunto de embutimeto de copos que consiste no seguinte componentes: Punção, matriz, prensa chapas e a placa de metal a ser embutida para o teste [1].O sistema de embutimento de copos para Swift cup teste possui os seguintes elementos a serem considerados: Força sobre o prensa-chapas, Espessura do blanck, Diâmetro do blanck, Diâmetro do punção, Força sobre o punção, Raio de canto da matriz, Raio de canto do copo, Prensa-chapas, Punção, Matriz, Flange, Corpo do copo, Base do copo. E esta mostrado na figura 1.

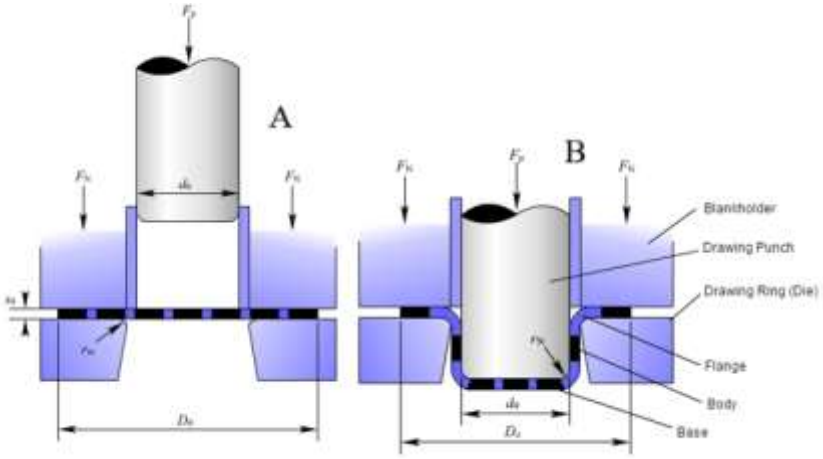

Figura 1. Sistema de embutimento de copos para Swift cup teste. Imagem 1A: F_N = Força sobre o prensa-chapas; S_0 = Espessura da blanck; D_0 = Diâmetro do blanck; d_0 = Diâmetro do punção; F_p= Força sobre o punção; r_m = Raio de canto da matriz. Imagem 1B: Rs_i = Raio de canto do copo; Blankholder = Prensa-chapas; Drawing Punch = Punção; Drawing Punch = Punção; Drawing Ring (Die) = Matriz; Flange = Flange; Body = Corpo do copo; Base = Base do copo.

A fim de validar os resultados do projeto inicial optou-se por tentar levantar o limite de embutimento do aço SAE 1020 através do embutimento de blankes em diâmetros progressivos,

inicialmente manteve-se o diâmetro inicial de 90 mm e imaginou-se o máximo em 130 mm. A figura 2 mostra o blanke padrão utilizado, registra-se a marcação em grade espaçada em 5mm para a verificação de eventuais deformações[3].



Figura 2. Blank inicial para os testes.

Segue-se então etapa em que deve-se se centralizar os blanks na estrutura da matriz construída. Para isso deve-se considerar a seguinte formulação expressa pela equação $e = \frac{(D_{matriz} - D_{blanke})}{2}$, onde e representa a distância radial entre a matriz construída e o blank. Partindo desse ponto elaborou-se pelos valores da tabela mostrado na figura 3, que contém as distancias para garantir que a centralização.

Diâmetro do Blank (mm)	Medida de ajuste (mm)
80	27,475
85	24,975
90	22,475
95	19,975
100	17,475
105	14,975
110	12,975
115	9,975
120	7,475
125	4,975
130	2,475

Figura 3. Figura com a tabela com valores de ajustes de diâmetros dos blanks na matriz

Resultados

Após ajustado os parâmetros de pressão do prensa chapas e seguindo os paradigmas determinados na metodologia, realizou-se um teste com o aço SAE 304, cortou-se blanks em diâmetros de 80, 85, 90, 95 e 100. Observou-se, conforme mostrado na figura 4 que os corpos ensaiados obtiveram o embutimento desejado bem como um rompimento no diâmetro indicado pela literatura.

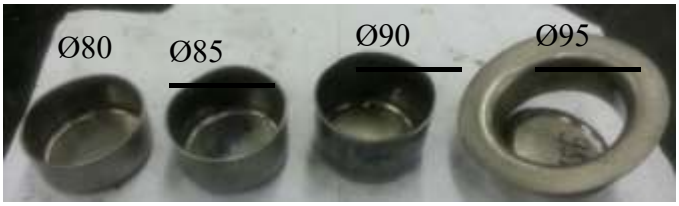

Figura 4. Sequência de testes obtidos.

Destaca-se que devido ao rompimento no diâmetro de 95 milímetros implica em não ser efetuado o teste como diâmetro seguinte. Analisando somente os “copos” formados durante o processo, todos se encontram dentro das especificações de geometria e não foram encontrados defeitos como orelhamento e enrugamento das superfícies.

A lubrificação recomendada para os testes foi feita com óleo de motor 30W40. Sua utilização segue os parâmetros determinados para o teste, atendendo a necessidade de lubrificar tanto a interface entre blank/matriz e blank/prensa chapas.

Após a devida lubrificação e centralização, o prensa chapas deve ser posicionado até que a carga seja de 30 $^{kgf}/_{cm^2}$. Esta carga foi obtida segundo experiências anteriores já que a carga do prensa chapas não pode ser baixa pra causar o enrugamento do material em, alta para restringir seu escoamento durante o embutimento.

Discussão

O ensaio Swift Cup Test comprovou a eficácia da metodologia proposta para determinar o Limite de Deformação Rápida (LDR) do aço SAE 304. A maioria dos corpos de prova apresentou conformação adequada, sem defeitos, alinhando-se com a literatura. A ruptura em blanks de 95 mm validou o dimensionamento da ferramenta e a metodologia, reforçando a importância do LDR para a conformabilidade do material.

A lubrificação com óleo 30W40 reduziu o atrito, facilitando o escoamento do material, conforme destacado na literatura. A progressão controlada dos diâmetros dos blanks permitiu uma determinação precisa do LDR, mostrando que pequenas variações dimensionais afetam diretamente a capacidade de embutimento.

O ensaio Swift Cup se mostrou uma ferramenta valiosa para controle de qualidade e seleção de materiais, contribuindo para a otimização de processos industriais, maior eficiência e redução de desperdícios.

Conclusão

Conclui-se que o teste Swift Cup se mostrou eficaz na determinação do Limite de Deformação Rápida (LDR) da chapa avaliada. Por meio da realização de sucessivos ensaios com aumento progressivo do diâmetro do esboço até a ocorrência de falha, foi possível analisar a capacidade do material em resistir às deformações impostas pelo processo de embutimento. Assim, o teste proporciona uma avaliação precisa do desempenho da chapa, sendo uma ferramenta fundamental para o controle de qualidade e a seleção de materiais em processos industriais que envolvam conformação mecânica. Além disso, a aplicação desse ensaio traz ganhos significativos para a indústria, uma vez que possibilita a escolha de materiais mais

adequados, a otimização dos processos de fabricação e a redução de desperdícios, resultando em aumento da eficiência produtiva e da competitividade no mercado.

Como trabalhos futuros, sugere-se a realização de testes complementares com diferentes tipos de chapas metálicas, incluindo aços e outros metais, a fim de ampliar a compreensão dos fatores que influenciam o LDR em diferentes materiais. Além disso, recomenda-se a investigação do efeito de variações nos parâmetros do processo e a utilização de simulações numéricas, visando prever falhas e otimizar o processo de embutimento, fortalecendo a integração entre experimentação prática e modelagem computacional.

Agradecimentos: Agradecemos ao Departamento de Conformação Mecânica da PUC Minas pelo apoio e pela disponibilização da infraestrutura necessária para a realização dos experimentos.

Bibliografia

1. MENDONÇA, P. T. R. et al. **Swift test 4.0: Automated defect detection using computer vision**. Materials Today Communications, v. 26, p. 102016, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.102016. Acesso em: 10 jul. 2024.
2. CARNEIRO, R. A. et al. **High-speed DIC measurement for forming limit curves in ultra-thin sheets**. Experimental Mechanics, v. 63, n. 1, p. 123-137, 2023.
3. ZHANG, Y. et al. **Graphene-enhanced lubricants for sustainable sheet metal forming.** Tribology International, v. 180, p. 108210, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.triboint.2023.108210. Acesso em: 10 jul. 2024.
4. SANTOS, A. D. et al. **Bio-based lubricants in stamping: Performance and environmental impact. Journal of Cleaner Production**, v. 370, p. 133501, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133501. Acesso em: 10 jul. 2024.
5. PEREIRA, M. P. et al. **Digital twin-assisted deep drawing process for defect prediction**. CIRP Annals, v. 70, n. 1, p. 265-268, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cirp.2021.04.009. Acesso em: 10 jul. 2024.
6. GÜNER, A. et al. **Real-time monitoring of wrinkling in deep drawing using IoT sensors**. Journal of Intelligent Manufacturing, v. 34, n. 2, p. 789-803, 2023.
7. SALES, R. C. et al. **Machine learning-assisted prediction of forming limit diagrams for advanced high-strength steels**. Journal of Materials Processing Technology, v. 302, p. 117492, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117492. Acesso em: 10 jul. 2024.
8. KIM, H.; LEE, J. **Anisotropy and formability optimization of AA6xxx aluminum alloys via thermomechanical processing**. International Journal of Plasticity, v. 160, p. 103489, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2022.103489. Acesso em: 10 jul. 2024.
9. WANG, L. et al. **Microstructure-controlled forming limits of third-generation automotive steels**. Materials & Design, v. 212, p. 110248, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.110248. Acesso em: 10 jul. 2024.