

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO PROCESSO DE SOLDAGEM A EXPLOSÃO UTILIZANDO TITÂNIO PURO E A LIGA Ti – 6 Al – 4 V COMO “CLAD PLATE” (REVESTIMENTO)

André Ferreira de Oliveira, engmecandre@hotmail.com
Rafael Leandro Fernandes Melo, rafaellfm@outlook.com
João Dehon Rocha Júnior, joaodehonjunior@gmail.com
João Felipe Lima, joaofelipe_12@hotmail.com
Ramsés Cunha Lima, cunhalima@ufersa.edu.br

Universidade Federal Rural do Semi – árido, Av. Francisco Mota – Pintos, Mossoró – RN, CEP: 59.625-900.

Resumo: O processo de soldagem a explosão (EXW) consiste na união de duas ou mais peças (geralmente metais) através da deformação plástica superficial das mesmas. Essa deformação é provocada através da colisão em alta velocidade das peças devido à detonação de um explosivo. De maneira geral o EXW é realizado da seguinte maneira: A placa de espessura maior é posicionada primeira. Essa placa é feita do material base ou principal; Em seguida é colocada a placa de menor espessura chamada de “clad” ou revestimento. Distância entre a placa base e o clad é no máximo de 2,5 cm; É colocada uma camada amortecedora para proteger o revestimento; Por fim é colocada uma camada de explosivos. O tipo e a quantidade do explosivo dependem dos materiais envolvidos na soldagem. O objetivo do trabalho em questão é realizar uma simulação computacional do processo de soldagem a explosão fazendo uma comparação entre o titânio puro e a liga Ti – 6Al – 4V como revestimento, respectivamente. Os resultados obtidos serão comparados a estudos semelhantes realizados na mesma área. Serão avaliados os seguintes itens: Tensão; deformação total; pressão gerada pela explosão; deformação plástica e elástica. O modelo será simulado no software Ansys Workbench versão 17.1 com visualização dos resultados no próprio Ansys e também no software Autodyn. O modelo consiste em: placa base com as dimensões de 400×300×17 mm; revestimento com dimensões 400×300×4 mm A placa base será de aço inoxidável 304. O amortecedor será de poliuretano. O explosivo utilizado será o ANFO. Ressaltando que o estudo será feito computacionalmente utilizando o método dos elementos finitos.

Palavras – chaves: simulação computacional, soldagem a explosão, titânio.

1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem a explosão (EXW) consiste na união de duas ou mais peças (geralmente metais) com propriedades metalúrgicas semelhantes ou não, através da deformação plástica superficial das mesmas. Essa deformação é provocada através da colisão em alta velocidade das peças devido à detonação de um explosivo. A detonação gera um forte jato metálico que faz ação similar a decapagem, retirando óxidos e impurezas, consequentemente comprimindo as peças uma contra a outra, gerando a soldagem (Crossland, B. 1982).

EXW é considerado um processo de soldagem no estado sólido, pois os materiais envolvidos não atingem seus respectivos pontos de fusão e suas propriedades não são afetadas. A qualidade da solda depende do controle dos parâmetros do processo. Alguns desses parâmetros são: preparação das superfícies a ser soldada, distância entre as peças, quantidade de explosivo, energia de detonação do explosivo e velocidade da detonação (Mohammad, T., Mahmoudi, J., 2008).

A pressão de impacto devido a colisão entre as peças geralmente varia entre 0,5 e 6 GPa. A distância entre as peças têm maior influência na coesão da solda do que a quantidade de explosivo utilizado (V. da Costa e Silva, A. L., Mei, P. R., 2006).

Existem dois tipos de soldagem a explosão. Placas são colocadas paralelas entre si e quando as placas são colocadas obliquamente. Para soldagem de placas finas e pequenas geralmente é utilizado a configuração oblíqua e para placas grandes geralmente é utilizado a configuração paralela (Agarwal, A. et al, 2014).

O presente trabalho tem como objetivo traçar um comparativo do processo de soldagem a explosão, utilizando o titânio puro e a liga Ti – 6 Al – 4 V como revestimento (clad plate). O titânio puro (sem elementos de liga) tem fácil

fabricação e processamento, além de elevada resistência a corrosão. O titânio abaixo de 882° C tem estrutura hexagonal compacta (alfa). Acima dessa temperatura ocorre a variedade alotrópica beta, cúbica de corpo centrado (V. da Costa e Silva, A. L., Mei, P. R., 2006). Também o titânio puro tem baixa densidade (4500 kg/m³), alto ponto de fusão (1668°C) e módulo de elasticidade de 107 GPa (Callister, W.D, 2010). A liga Ti – 6 Al – 4 V contém 6% de alumínio e 4% de vanádio. Essa composição promove ao mesmo tempo altíssima resistência a corrosão (adição de alumínio) com elevada resistência mecânica e alta resistência a tenacidade (adição de vanádio)(V. da Costa e Silva, A. L., Mei, P. R., 2006).

O explosivo utilizado será o ANFO. O mesmo consiste de pequenos grãos de nitrato de amônia misturados com óleo combustível, formando uma pasta sólida. O ANFO é um explosivo com média velocidade de detonação (3660 m/s) (Buckzkowski, D., Zigmunt B., 2011), moderada pressão de detonação (2700 MPa) e densidade de 0.9 g/cm³ (Meyer, R., Kohler, J., Homburg, A., 2007). O ANFO tem sido usado com sucesso em soldagem de grandes placas (Crossland, B. 1982).

O processo de soldagem a explosão será simulado através do software Ansys versão 17.1 com visualização dos resultados no Autodyn. O Ansys é um software CAE (computer aided engineering) com algoritmo baseado no método dos elementos finitos. Serão analisados os seguintes resultados: tensão, deformação total, deformação elástica e plástica e pressão gerada pela explosão.

2. METODOLOGIA

Como se trata de uma placa de grande espessura (17 mm) a configuração paralela é a recomendada (Agarwal, A. et al, 2014). A placa base é de aço inoxidável 304 (SS 304). O amortecedor utilizado é o poliuretano. Portanto a configuração completa foi a seguinte:

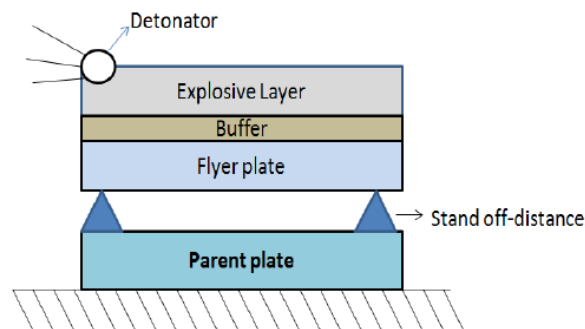


Figura 1: Configuração paralela (Agarwal, A. et al, 2014)

A figura acima exemplifica a configuração utilizada, na qual se tem de baixo para cima: “Parent plate” (placa base), “Stand off - distance” (distância vertical entre a placa base e o revestimento), “Flyer plate” (placa que representa o revestimento), “Buffer” (amortecedor) e o “Explosive Layer” (camada de explosivo).

No processo real, o revestimento é colocado a uma distância vertical da placa base e são colocados espaçadores entre os dois. Na simulação computacional, o ar foi modelado para representar a distância entre a placa base e o revestimento, servindo de “ligação” entre as mesmas. Usualmente a distância de stand – off varia entre 0,5 e 4 vezes a espessura da placa base (M. Prazmowski, H. Paul, 2012). A distância arbitrada para o stand – off foi de 3 mm (0,75) da espessura da placa base.

O processo de soldagem a explosão ocorre na ordem de milionésimos de segundos (Crossland, B. 1982). O tempo total da simulação foi configurado em 100µs. Como a placa base é fixa, foi configurado restrição de movimento na sua face inferior. A velocidade máxima de detonação do ANFO é de 3660 m/s (Buckzkowski, D., Zigmunt B., 2011). A velocidade foi aplicada na “face” do explosivo, coincidindo com o ponto de detonação. O ponto de detonação do explosivo foi representado através do recurso detonation point. Foi configurado o ponto de detonação na posição x=0.150 m, y = 0,0465 m, z=0,400 m, cuja figura segue abaixo:

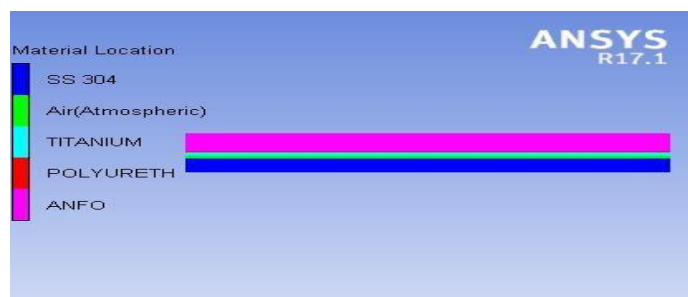


Figura 2: Representação da configuração paralela - software Audodyn

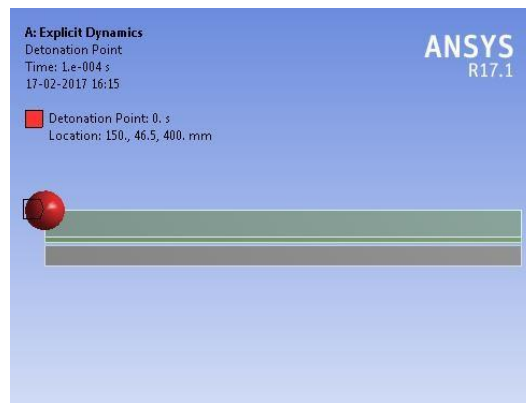


Figura 3: Ponto de detonação

A malha utilizada foi do tipo explícita por se tratar de uma simulação no módulo de dinâmica explícita do software Ansys. O módulo de dinâmica explícita é utilizado para simulação de processos, nos quais ocorre deformação plástica dos materiais. A função escolhida para a malha foi a adaptativa.

Este tipo de função é utilizado para simulações onde ocorrem grandes deformações, pois nestes casos pode ocorrer falta de acurácia nos resultados. Quando a função adaptativa é selecionada, a mesma refaz a malha durante a análise, corrigindo eventuais distorções nos elementos da mesma, garantindo assim sua integralidade.

Foi utilizado um refinamento fino da malha, objetivando maior acurácia nos valores obtidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As figuras 4, 5 e 6 apresentam respectivamente os resultados de tensão, deformação total, deformação elástica, plástica e pressão gerada pela explosão para o titânio puro e para liga Ti6%Al4%V.

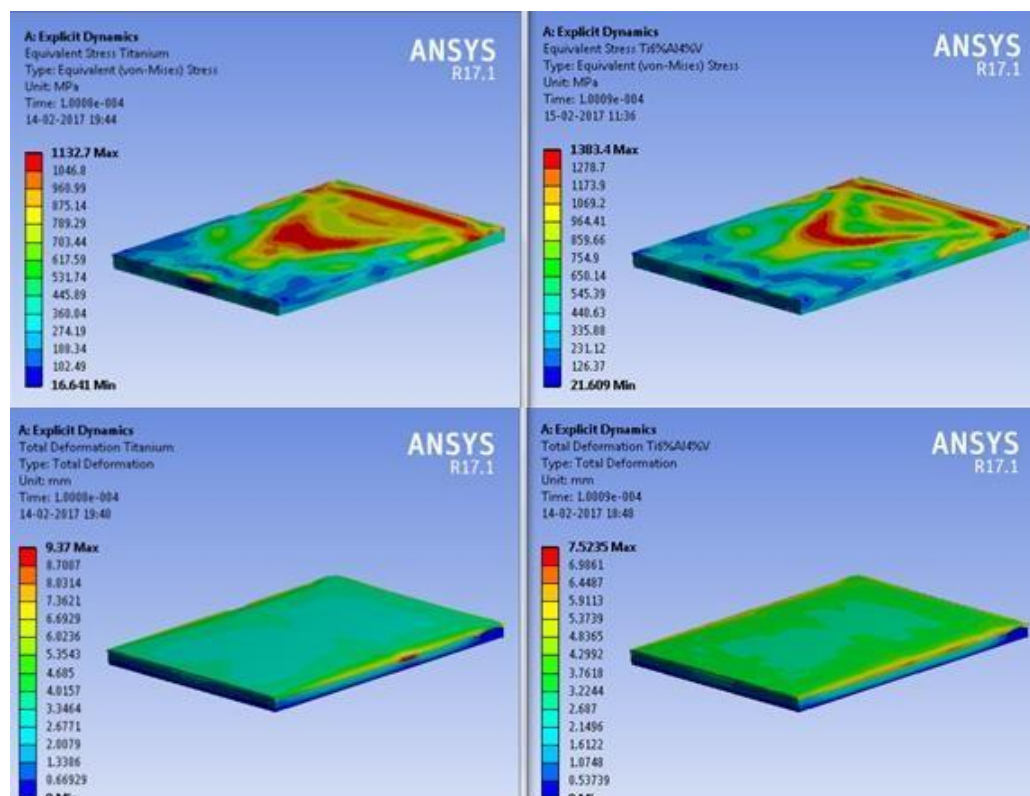


Figura 4: Tensão de Von-mises e deformação total (resultados da simulação de soldagem a explosão, sendo a esquerda para o titânio puro e a direita para a liga Ti 6%Al 4%V)

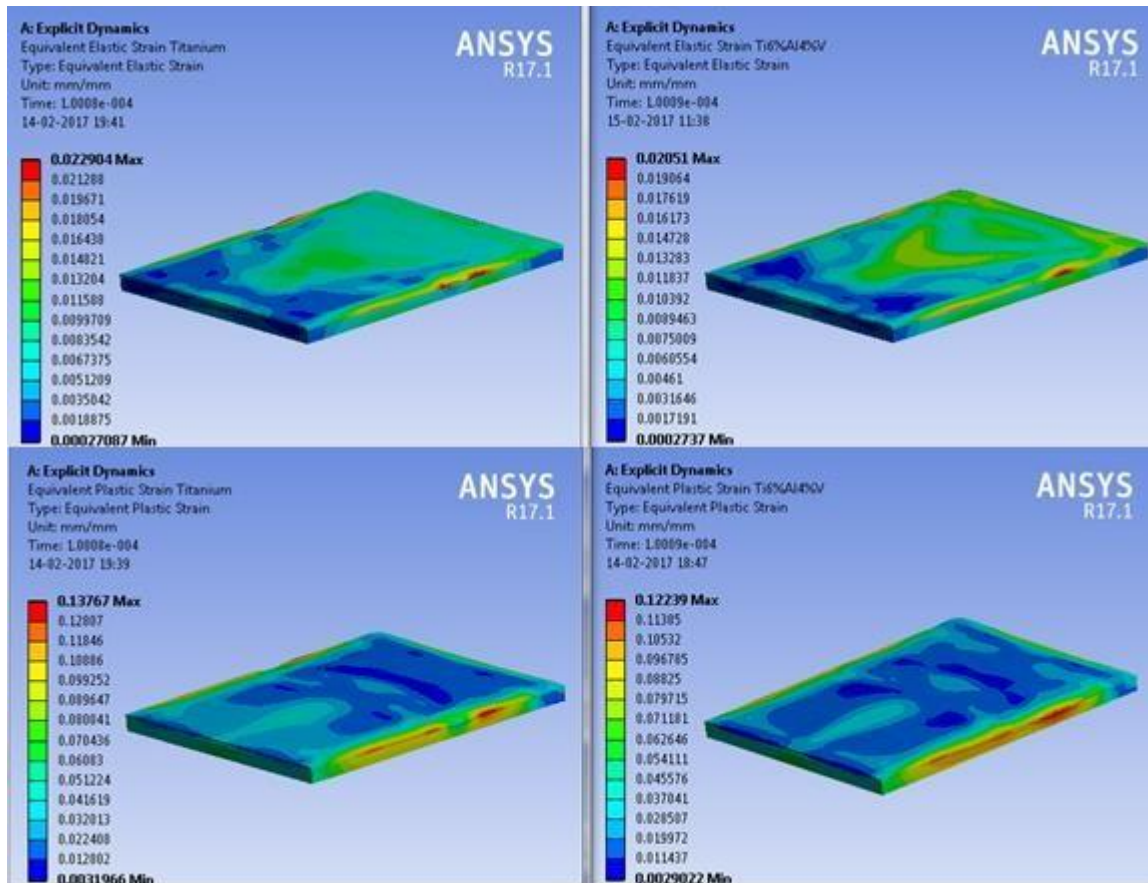


Figura 5: Deformação elástica e plástica (resultados da simulação de soldagem a explosão, sendo a esquerda para o titânio puro e a direita para a liga Ti 6% Al 4%V)

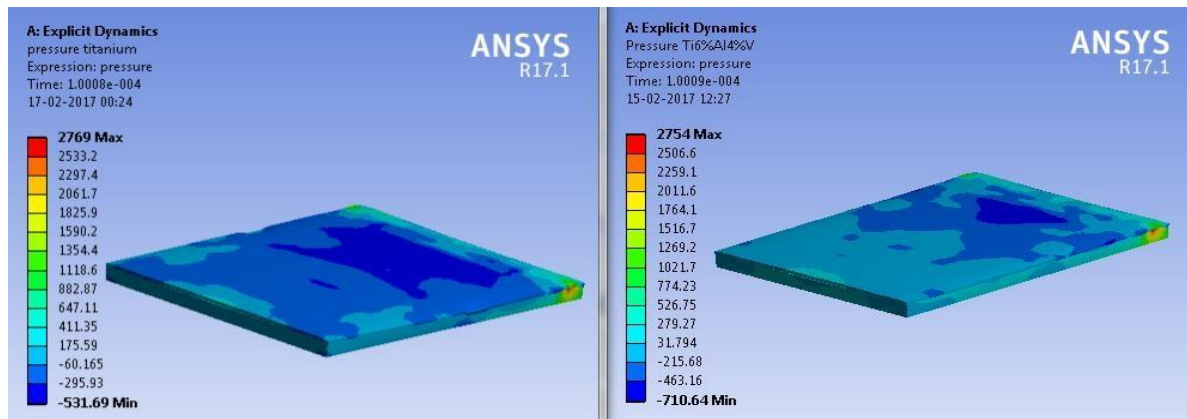


Figura 6: Pressão (resultado da simulação de soldagem a explosão, sendo a esquerda para o titânio puro e a direita para a liga Ti 6% Al 4%V)

As figuras 7 a 9 apresentam a dissipação do ar durante simulação do processo de soldagem a explosão:

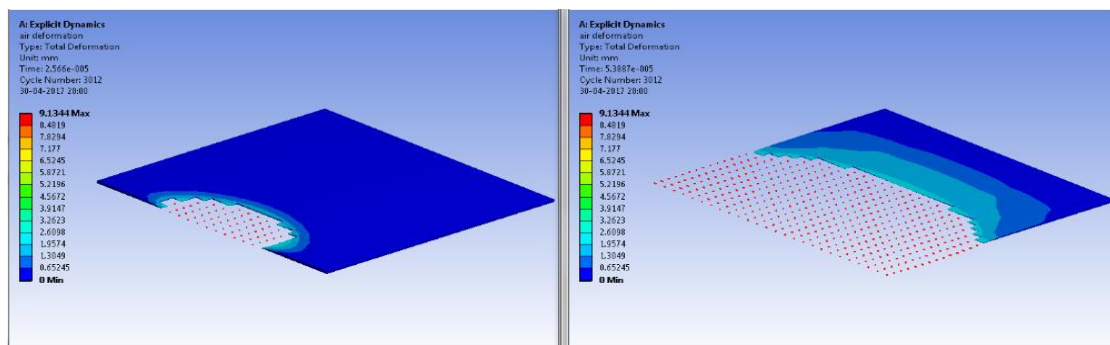


Figura 7: Dissipação do ar (instantes 25,660µs e 53,887µs)

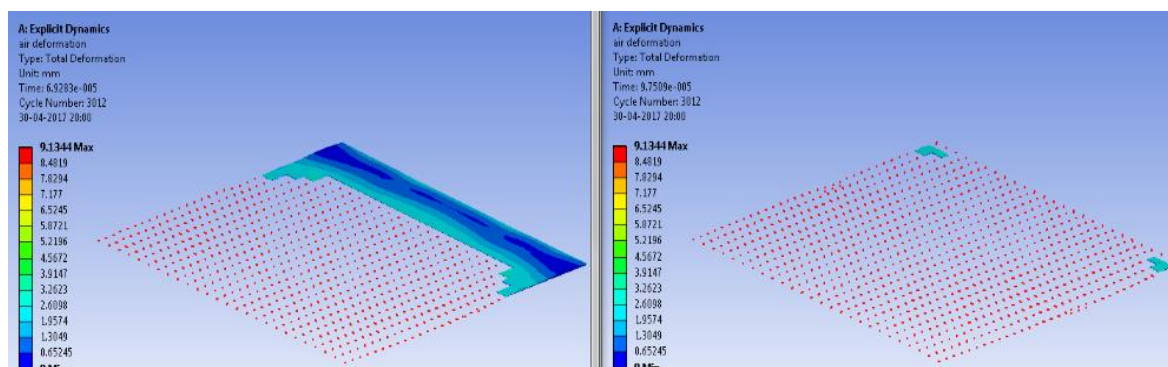


Figura 8: Dissipação do ar (instantes 69,283µs e 97,509µs)

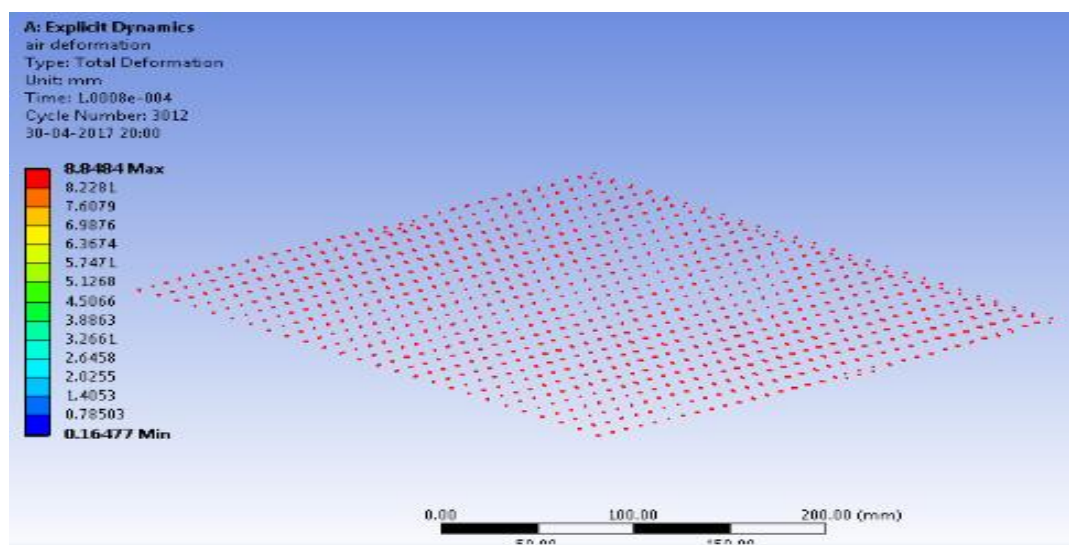


Figura 9: Dissipação total do ar (instante 100µs)

As figuras 10, 11 e 12 apresentam a união das placas (placa base e revestimento) durante simulação do processo de soldagem a explosão:

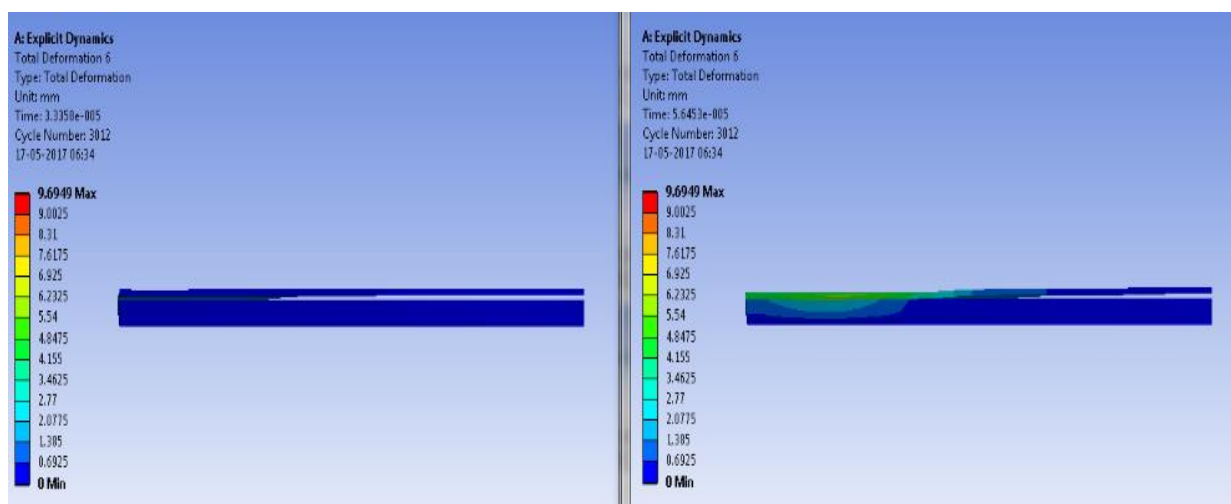


Figura 10: União das placas – placa base e revestimento (instantes 33,358 e 56,453µs)

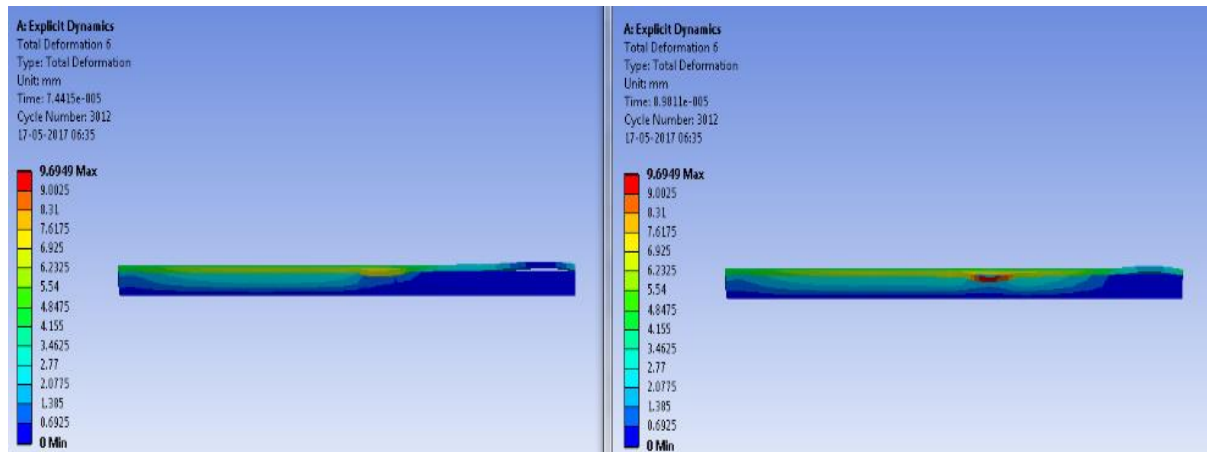


Figura 11: União das placas – placa base e revestimento (instantes 74,415µs e 89,011µs)

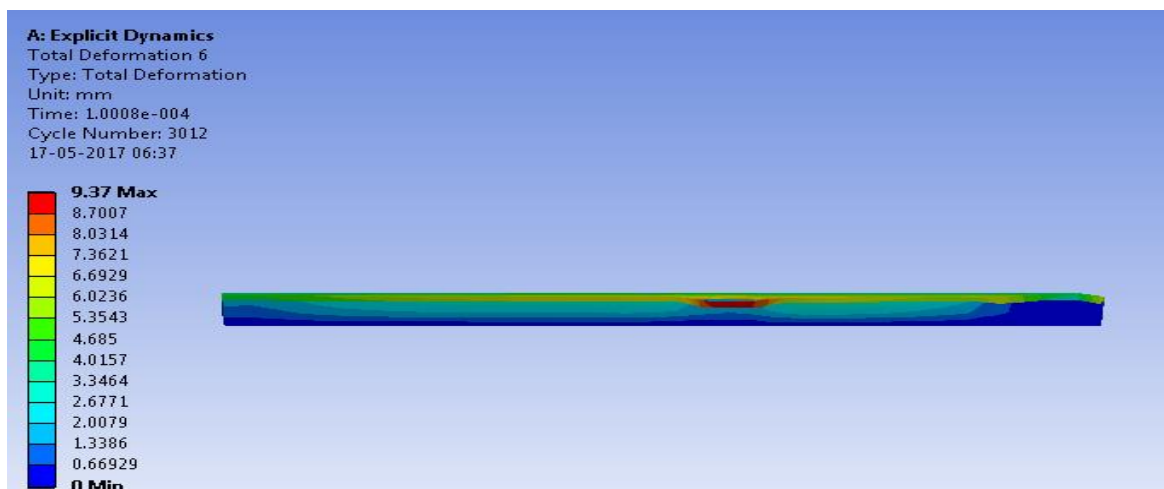


Figura 12: União completa das placas – placa base e revestimento (instante 100µs)

Foi observado que a tensão de Von – Mises para o titânio puro e para sua liga teve amplitude semelhante embora o limite superior e o inferior da liga de titânio apresentaram valores mais altos que o titânio puro. Como a liga de titânio é mais resistente que o titânio “puro”, ocorre o desenvolvimento de uma tensão maior no caso da liga. A tensão máxima gerada pela explosão é aproximadamente de 1000 MPa (Blazynski, T.Z., 1983). Desta forma os resultados obtidos pela simulação foram coerentes.

Como o material puro tem menor resistência mecânica que a liga, a deformação do titânio foi maior que a sua liga.

As deformações plástica e elástica tiveram valor semelhante para ambos os casos e ocorreram nas bordas das placas, que é perfeitamente esperado já que nesses locais ocorre concentração de tensões e maior atrito. De acordo com estudo semelhante realizado por (Mousavi, A.A, Joodaki, G., 2005), a deformação plástica variou de 0,0 a 0,40. Os resultados obtidos pela simulação estão dentro do intervalo.

De acordo com (Crossland, B. 1982), a pressão gerada na explosão varia de 0,5 a 3,0 GPa. Os maiores valores de pressão (2,754 GPa) foram encontrados no final do processo de soldagem (na extremidade das bordas). Os valores negativos de pressão devem-se a colisão entre as placas pela ação do explosivo.

4. CONCLUSÃO

Foi observada a dissipação do ar, que existia entre a placa base e o revestimento (figuras 7 a 9), bem como a união das mesmas (figuras 10 a 12). Também pode ser observado que a liga de titânio teve um menor valor de deformação plástica em comparação com o titânio puro, evidenciando maior ductilidade da liga. Quanto aos valores obtidos, os mesmos poderiam ser mais bem comparados, se houvesse o experimento prático, mas, apesar disso, a simulação computacional do processo de soldagem a explosão foi satisfatória, pois os resultados obtidos foram coerentes (em comparação com estudos semelhantes) e a união das placas (placa base mais revestimento) foi alcançada.

5. REFERÊNCIAS

- Agarwal, A. et al, 2014, “Study of the Explosive Welding Process and Applications”, Advances in Applied Physical and Chemical Sciences-A Sustainable Approach, pp. 33 – 39.
- Blazynski, T.Z., 1983, “Explosive Welding, Forming and Compaction”. Applied Science Publishers LTD, London and New York.
- Buckzkowski, D., Zigmunt B., 2011, “Denotation Properties of Mixtures of Ammonium Nitrate Based Fertilizers and Fuels”, Central European Journal of Energetic Materials, pp. 99 – 106.
- Callister W. D., 2010, “Materials Science and Engineering: an Introduction, Eight Edition”.
- Crossland, B. 1982, “Explosive Welding of Metals and it’s Application”. Oxford Series on Advanced Manufacturing 2.
- M. Prazmowski, H. Paul, 2012, “The Effect of Stand-off Distance on the Structure and Properties of Zirconium – Carbon Steel Bimetal Produced by Explosion Welding”, V. 57, issue 4.
- Meyer, R., Kohler, J., Homburg, A., 2007, “Explosives”, Sixth Edition, Completely Revised.
- Mohammad, T., Mahmoudi, J., 2008, “Finite Element Simulation of Explosive Welding” Ist dep., HST School, MDH University.
- Mousavi, A.A, Joodaki, G., 2005, “Explosive Welding Simulation of Multilayer Tubes”, Dept. of Metallurgy and Material Science Engineering, Faculty of Engineering, University of Tehran.
- V. da Costa e Silva, A. L., Mei, P. R., 2006, “Aços e Ligas Especiais”, Villares Metals.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.

COMPUTATIONAL SIMULATION OF EXPLOSION WELDING PROCESS USING PURE TITANIUM AND THE Ti – 6 AL – 4 V ALLOY AS “CLAD PLATE” (COATING)

André Ferreira de Oliveira, engmecandre@hotmail.com
Rafael Leandro Fernandes Melo, rafaellfm@outlook.com
João Dehon Rocha Júnior, joaodehonjunior@gmail.com
João Felipe Lima, joaofelipe_12@hotmail.com
Ramsés Cunha Lima, cunhalima@ufersa.edu.br

Universidade Federal Rural do Semiárido, Av. Francisco Mota – Pintos, Mossoró – RN, CEP: 59.625-900.

Abstract: The explosion welding process (EXW) consists of the union of two or more pieces (usually metals) through the superficial plastic deformation of the same. This deformation is caused by the high-speed collision of the pieces due to the detonation of an explosive. In general, the EXW is performed as follows: The larger thickness plate is positioned first. This plate is made of the base material or main material; then the thinner plate called the clad or coating is placed. Distance between the base plate and the clad is a maximum of 2.5 cm; a buffer layer is provided to protect the clad plate; At last a layer of explosives is placed. The type and amount of the explosive depend on the materials involved in the welding. The objective of the work in question is to carry out a computational simulation of the blast welding process by making a comparison between the pure titanium and the Ti – 6AL – 4V alloy as clad plate, respectively. The results obtained will be compared to similar studies carried out in the same area. The following items will be evaluated: Stress; Total deformation; Pressure generated by the explosion; Plastic and elastic deformation. The model will be simulated in the Ansys Workbench software version 17.1 with visualization of the results in Ansys itself and also in the Autodyn software. The model consists of: base plate with the dimensions of 400×300×17 mm; clad plate with dimensions 400×300×4 mm. The base plate will be 304 stainless steel. The absorber will be polyurethane. The explosive used will be ANFO. Note that the study will be done computationally using the finite element method.

Key words: computational simulation, explosion welding, titanium