

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
Dissertação será disponibilizado
somente a partir
de 06/09/2025



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

EDUARDO PIRES BONHIN

**Estudo do processo de produção e de furação do laminado metal fibra de titânio
6Al4V/fibra de carbono/PAEK**

Guaratinguetá, SP

2023

Eduardo Pires Bonhin

**Estudo do processo de produção e de furação do laminado metal fibra de titânio
6Al4V/fibra de carbono/PAEK**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia e Ciências do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica na área de Materiais.

Orientador (a): Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro

Coorientador (a): Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho

Guaratinguetá
2023

B714e	Bonhin, Eduardo Pires Estudo do processo de produção e de furação do laminado metal fibra de titânio 6A14V/fibra de carbono/PAEK / Eduardo Pires Bonhin - Guaratinguetá, 2023. 121 f : il. Bibliografia: f. 108-121 Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023. Orientador: Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro Coorientador: Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho 1. Ligas de titânio. 2. Materiais compostos. 3. Fibras de carbono. 4. Resistência ao cisalhamento. I. Título. CDU 620.1(043)
-------	--

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Este estudo destaca a viabilidade de um compósito inovador com camadas de liga de titânio (Ti-6Al-4V) e compósito polimérico termoplástico reforçado com fibra de carbono, superando laminados convencionais em resistência. Essa descoberta promete impactar positivamente a indústria aeroespacial, impulsionando o desenvolvimento de veículos mais avançados e resistentes.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

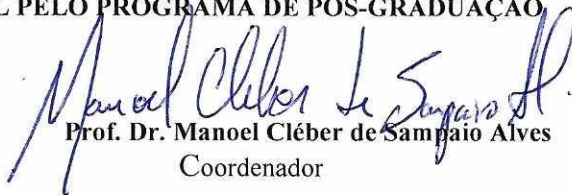
This study highlights the feasibility of an innovative composite with layers of titanium alloy (Ti-6Al-4V) and thermoplastic polymer composite reinforced with carbon fiber, surpassing conventional laminates in strength. This discovery promises to have a positive impact on the aerospace industry, driving the development of more advanced and resilient vehicles.

EDUARDO PIRES BONHIN

**ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

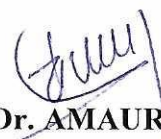
**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO: DOUTORADO**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

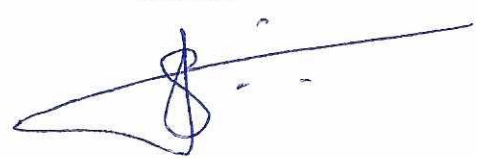

Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. MARCOS VALERIO RIBEIRO
Orientador – UNESP


Prof. Dr. AMAURI HASSUI
UNICAMP


Prof. Dr. FÁBIO ROBERTO PASSADOR
UNIFESP


Prof. Dr. SERGIO FRANCISCO DOS SANTOS
UNESP


Prof. Dr. MANOEL CLÉBER DE SAMPAIO ALVES
UNESP

SETEMBRO de 2023

DADOS CURRICULARES

EDUARDO PIRES BONHIN

NASCIMENTO	01.08.1991 – CAMPINAS/ SP
FILIAÇÃO	Jane Raquel Pires Bonhin João Fernando Bonhin Junior
2011/2016	Curso de Graduação Engenharia de Materiais, na Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.
2017/2019	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.
2019/2023	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Doutorado, na Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Doutores Marcos Valério Ribeiro e Edson Cocchieri Botelho por aceitarem mais uma vez a serem meu orientador e co-orientador respectivamente, bem como por estarem sempre dispostos a me ajudar e aconselhar em mais uma etapa da minha formação acadêmica.

A todos os técnicos da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Campus de Guaratinguetá que de alguma maneira me auxiliaram nas mais diferentes etapas do trabalho. Especialmente aos técnicos do Departamento de Materiais e Tecnologia (DMT) que foram parte integral da realização desse trabalho.

Aos demais professores que auxiliaram na realização dos ensaios e disponibilizaram seu tempo para ajudar a concretizar esse trabalho.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Campus de Guaratinguetá por disponibilizar toda a infraestrutura necessária para realização desta tese.

Às empresas Seco Tools e Toray pela doação de parte dos materiais utilizados para realização desse trabalho.

E à amiga e esposa Sarah David Müzel que me ajudou incentivando, conversando e discutindo os resultados e me orientando sempre de maneira positiva e incentivadora.

Por fim agradeço a todos aqueles que de alguma maneira direta ou indiretamente contribuíram para realização dessa tese.

O presente trabalho foi realizado com apoio da:

- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - código de financiamento 001;
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)- projeto nº 2017/16970-0;
- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)- projeto nº303224/2016-9.

“As circunstâncias do nascimento de alguém são irrelevantes; é o que você faz com o dom da vida que determina quem você é.”

Takeshi Shudō

RESUMO

A utilização e desenvolvimento de materiais compósitos em componentes do setor aeronáutico vem crescendo muito nos últimos anos. Isso se deve ao fato destes materiais apresentarem boas propriedades mecânicas, aliadas à sua baixa massa específica. Uma das classes de materiais compósitos que tem apresentado destaque no setor aeronáutico são os compósitos laminados híbridos de titânio. Portanto, o objetivo desta pesquisa é estudar o processo de produção de um novo laminado metal fibra constituído por camadas titânio 6Al4V intercaladas com camadas de LMPAEK (Low-Melt Poly-aryl-ether-ketone) com fibras de carbono, bem como estudar o processo de furação desse laminado. Para tal, foram produzidos laminados constituídos por três camadas de titânio e quatro camadas de compósito. Após isso, os laminados foram avaliados a partir de ensaios de cisalhamento interlaminar (ILSS), cisalhamento por compressão (CST), Iosipescu, tração e excitação por impulso. Para o processo de furação foram utilizadas duas brocas, ambas com revestimento de diamante, porém geometrias diferentes, sendo uma com geometria simples e ângulo de ponta de 90°, e a outra multifacetada com ângulos de ponta de 60° e 130°. Para ambas as brocas foram avaliadas três rotações (2000, 4000 e 6000 rpm) e três avanços (0,025; 0,05 e 0,10 mm/rpm), sendo que durante o processo foram coletados dados de potência, vibração e força de avanço. Posterior aos processos de furação, foram avaliadas a qualidade dos furos, danos nas brocas e realizados novos ensaios de excitação por impulso, os quais tiveram intuito de correlacionar a variação do módulo de elasticidade dinâmico com o surgimento de danos causados pelo processo. Com relação aos resultados dos ensaios mecânicos, após análise pode-se concluir que o laminado produzido apresentou propriedades próximas a de outros laminados encontrados na literatura no caso da tração (74,10 GPa), e superiores nas resistências em todos os ensaios de cisalhamento (ILSS - 75,40MPa, Iosipescu - 292,47MPa e CST - 28,02MPa), o que torna o material um bom candidato a HTCL do futuro. Quanto ao processo de usinagem, identificou-se que a broca que resultou na melhor qualidade nos furos, foi a broca com geometria simples e ângulo de ponta de 90°, sendo que essa também foi a que gerou menor força de avanço (123,912N). Por fim, no caso da utilização do ensaio de excitação por impulso, não se identificou uma correlação direta da variação do módulo de elasticidade dinâmico com o dano causado pela variação dos parâmetros do processo de furação.

PALAVRAS-CHAVE: HTCL; PAEK; Excitação por Impulso; Cisalhamento Interlaminar; Iosipescu; Cisalhamento por Compressão; Ensaio de Tração; Força de Avanço.

ABSTRACT

The use and development of composite materials in aerospace components have been growing significantly in recent years. This is due to the fact that these materials offer good mechanical properties, combined with their low specific mass. One of the classes of composite materials that has gained prominence in the aerospace sector is hybrid laminated titanium composites. Therefore, the aim of this research is to study the production process of a new metal-fiber laminate consisting of layers of titanium 6Al4V interleaved with layers of LMPAEK (Low-Melt Poly-aryl-ether-ketone) with carbon fibers, as well as to study the drilling process of this laminate. For this purpose, laminates were produced consisting of three layers of titanium and four layers of composite. Subsequently, the laminates were evaluated through interlaminar shear tests (ILSS), compression shear tests (CST), Iosipescu tests, tensile tests, and impulse excitation tests. For the drilling process, two drills were used, both with diamond coatings but different geometries, one with a simple geometry and a 90° point angle, and the other multifaceted with point angles of 60° and 130°. For both drills, three rotations (2000, 4000, and 6000 rpm) and three feed rates (0.025, 0.05, and 0.10 mm/rpm) were evaluated, and data on power, vibration, and feed force were collected during the process. After the drilling processes, the hole quality and drill damage were evaluated, and new impulse excitation tests were conducted to correlate the variation in dynamic modulus of elasticity with damage caused by the drilling process. Regarding the results of the mechanical tests, it can be concluded that the produced laminate exhibited properties close to those of other laminates found in the literature in the case of tensile tests (74.10 GPa) and superior strengths in all shear tests (ILSS - 75.40 MPa, Iosipescu - 292.47 MPa, and CST - 28.02 MPa), making the material a good candidate for future HTCL applications. As for the machining process, it was identified that the drill resulting in the best hole quality was the one with a simple geometry and a 90° point angle, which also generated the lowest feed force (123.912 N). Finally, in the case of the impulse excitation test, no direct correlation was identified between the variation in dynamic modulus of elasticity and the damage caused by the variation in drilling process parameters.

KEYWORDS: HTCL; PAEK; Impulse Excitation Test; Intelaminar Shear Strength; Iosipescu; Compression Shear Test; Tensile Test; Thrust force.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	15
2.1	GERAIS	15
2.2	ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	LAMINADOS METAL FIBRA	18
3.1.1	Hybrid Titanium Composite Laminates	23
3.2	TERMOPLÁSTICOS	27
3.2.1	Poli(aril-éter-cetonas) (PAEK)	27
3.3	FURAÇÃO	31
3.3.1	Furação em FML	32
3.3.1.1	Delaminação na furação	34
3.3.1.2	Cálculo da delaminação no processo de furação	38
4	MATERIAL E MÉTODOS	42
4.1	PROCESSAMENTO DO HTCL	42
4.2	CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA	49
4.3	FURAÇÃO	54
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	58
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.1	ANÁLISE DOS TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIES DA LIGA DE TITÂNIO	59
5.2	PRODUÇÃO DOS LAMINADOS	60
5.3	ENSAIOS MECÂNICOS	63
5.3.1	Cisalhamento Interlaminar – ILSS	64
5.3.2	Cisalhamento Translaminar – Iosipescu	69
5.3.3	Compression Shear Test (CST)	75
5.3.4	Tração	78
5.3.5	Módulo de Elasticidade Dinâmico - (IET)	82
5.4	ENSAIOS DE FURAÇÃO	82
5.4.1	Qualidade dos Furos	83
5.4.2	Desgastes e Danos nas Brocas	89
5.4.3	Força de Avanço	91
5.4.3.1	Broca multifacetada	91
5.4.3.2	Broca convencional	95

5.4.3.3	Multifacetada vs Convencional	100
5.4.4	Módulo de Elasticidade Dinâmico após Furação	104
6	CONCLUSÃO	107
	REFERÊNCIAS	108

1 INTRODUÇÃO

A utilização dos materiais compósitos pelo homem coincide com grande parte de sua própria existência. As primeiras ferramentas que se tem registro da idade da pedra foram construídas com compósitos naturais como madeira e ossos. Outra evidência que demonstra o uso de materiais compósitos pelo homem, de um período um pouco mais recente (2000 A.C), são os tijolos obtidos a partir de argila reforçada com palha com os quais a cidade de Arg-e-Bam (Irã) foi construída. Porém, foi somente em meados do século passado que esses materiais tiveram seu desenvolvimento impulsionado, mais especificamente durante a segunda guerra mundial, onde registrou-se o surgimento dos primeiros materiais classificados como materiais compósitos sintéticos, bem como na década de 60 com as primeiras aplicações em aeronaves militares (VARVANI-FARAHANI, 2010).

O grande interesse por parte de pesquisadores e de setores industriais, em especial o aeronáutico e o espacial, no desenvolvimento e aplicações dos materiais compósitos, estava relacionado com o conjunto de interessantes propriedades mecânicas, químicas e físicas que essa nova classe de materiais apresentava. Dentre as principais considerações que contribuíram para esse interesse pode-se citar a relação resistência/peso, tornando-os substitutos promissores de materiais metálicos monolíticos e suas ligas, o que resultava na redução de massa de forma expressiva de componentes e estruturas (TYCZYŃSKI *et al.*, 2014).

Desde então uma gama muito extensa de materiais compósitos foi desenvolvida e aplicada em componentes/estruturas nos mais variados segmentos, tais como: militar, aeronáutico, naval, automotivo, civil, medico, esportivo, entre outros. Dentre os diversos tipos de materiais compósitos, existe um tipo denominado de Laminados Metal Fibra ou “*Fiber Metal Laminate (FML)*”.

Esses compósitos são materiais híbridos e tem suas estruturas constituídas por camadas de materiais metálicos, sendo normalmente ligas aeronáuticas de aço, magnésio, alumínio ou titânio, intercaladas com camadas de polímeros reforçados com fibras de alto desempenho como vidro, carbono ou aramida (BONHIN *et al.*, 2021; BOTELHO *et al.*, 2006). Devido a essa combinação de materiais, esses compósitos apresentam características únicas que os tornam muito atrativos para o setor aeronáutico, como por exemplo resistência à propagação de trincas por fadiga, a danos por impacto, a corrosão, a propagação de chamas, entre outras,

associadas à baixa massa específica quando comparado a materiais metálicos monolíticos e suas ligas (BONHIN *et al.*, 2021; GIASIN, K.; AYVAR-SOBERANIS; HODZIC, 2015).

Em se tratando de FML, há três principais variações desses compósitos que apresentam destaque, sendo esses o ARALL[®] (*Aramid Reinforced Aluminum Laminates*), o CARAL[®] (*Carbon Reinforced Aluminum Laminates*) e o GLARE[®] (*Glass Laminate Aluminum Reinforced Epoxy*), os quais são todos constituídos por respectivas ligas de alumínio 7075 ou 2024-T3, intercaladas com resina epóxi reforçada com as devidas fibras (aramida, carbono e vidro) (BOTELHO *et al.*, 2006).

De acordo com Shanmugan *et al.* (2020) e Giasin e Avyar-Soberanis (2017) as principais aplicações dos FML são em sistemas de fuselagem de aeronaves, bem como recobrimento de *flaps*, pisos de compartimento de carga e contêineres aéreos, como por exemplo no caso do Airbus A380, o qual tem praticamente todo o seu revestimento externo feito de GLARE[®]. Ainda, segundo estes, nessa aplicação cada um dos materiais que constituem o FML tem um papel importante para o desempenho da fuselagem e segurança da aeronave. O material polimérico (epóxi) atua como uma barreira contra a umidade, reduzindo a incidência e a intensidade de corrosões na camada metálica. Já as fibras contínuas e a camada metálica são responsáveis pela resistência mecânica, bem como por absorver a energia incidente de carregamentos por impacto.

Contudo, no caso de carregamentos por impacto, mesmo que as fibras e as camadas metálicas consigam absorver parte da energia, matrizes termorrígidas, como por exemplo, a epóxi, podem sofrer danos severos devido ao seu comportamento frágil, o que pode levar o componente/estrutura à falha durante o serviço. Shanmugan *et al.* (2020) afirma que esse problema pode ser minimizado a partir da troca dos polímeros termorrígidos por termoplásticos, os quais são mais tenazes. Além desse benefício, a substituição por polímeros termoplásticos para produção de FML traz outras vantagens como reciclabilidade, termoformabilidade, soldabilidade e aumento da taxa de produção, devido a redução do tempo de consolidação do laminado (KAZEMI *et al.*, 2020).

Outro material que vem sendo foco de substituição nesses FMLs (ARALL[®], CARAL[®] e GLARE[®]) são as camadas metálicas, as quais são um fator limitante quando o ambiente de aplicação é muito agressivo (corrosivo) e/ou com temperaturas muito elevadas. Segundo Kazemi *et al.* (2020), a troca por ligas de titânio possibilita a aplicação desses compósitos em condições de temperaturas mais elevadas, bem como em ambientes mais agressivos.

Entretanto, a troca de um ou mais materiais destinados a produção de um FML pode afetar consideravelmente o desempenho deste material, visto que um dos aspectos mais importantes

e críticos para produção desse tipo de compósito é a adesão interfacial entre a matriz polimérica e as camadas metálicas. Segundo Park *et al.*(2010) e Gonzalez *et al.*(2018) é essencial conseguir uma boa adesão entre os materiais como forma de garantir uma transferência de cargas durante as solicitações mecânicas. Caso a adesão interfacial seja fraca ou deficiente, podem ocorrer problemas de delaminações (descolamentos) entre as camadas, os quais podem levar a falha prematura do material.

Outro ponto de estudo que deve ser considerado no desenvolvimento de novos FMLs é o método de aplicação nas estruturas das aeronaves. De acordo com Moura, Morais e Magalhães(2005) e Bonhin *et al.*(2021), o método mais comum de fixação desses compósitos em estruturas ocorre, em sua grande maioria, a partir de juntas mecânicas, ou seja, parafusos e rebites exigindo, portanto, a realização de processos de furação.

Entretanto, apesar de comumente empregado, o processo de furação em materiais compósitos é algo complexo, difícil de ser realizado e requer parâmetros específicos de usinagem. De acordo com Tsao (2012) e Bonhin *et al.* (2021), durante o processo de furação em materiais compósitos diversos danos podem ocorrer, tais como delaminações, fissuras interlaminares, danos de origem térmica, fibras não cortadas e descolamentos de fibra/matriz, os quais podem reduzir significativamente o desempenho desses materiais.

No caso dos FMLs a presença das camadas metálicas, além de alterar completamente a dinâmica do processo de furação, torna o material susceptível a ocorrência de outros danos. Bonhin *et al.* (2021) citam que em processos de furação de FMLs além dos danos convencionais associados às camadas de compósito polimérico, também podem ocorrer delaminações nas interfaces entre as camadas metálicas e poliméricas, as quais normalmente são mais severas e frequentes devido à baixa interação/ligação entre os dois tipos de materiais.

Independentemente de serem compósitos poliméricos ou FMLs, a ocorrência de delaminações resultantes da furação é inerente ao processo. Desse modo, além do desenvolvimento de novos e inéditos FMLs, faz-se necessário compreender e determinar os melhores parâmetros do processo de furação desses materiais, visando a obtenção de um produto final com o mínimo de delaminações possível, de modo a garantir o melhor desempenho quando esse estiver em trabalho.

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que foi viável o desenvolvimento de um HTCL inédito, constituído por três camadas da liga de Ti-6Al-4V com 0,4 mm de espessura, intercaladas com quatro camadas de compósito polimérico com matriz de LMPAEK e reforço de fibra de carbono com tramagem 5HS.

Além disso, pode-se afirmar que o HTCL apresenta grande potencial, visto que esse apresentou conjunto de propriedades superiores a outros laminados, tais como cisalhamento interlaminar, cisalhamento translaminar, cisalhamento por compressão e bem como módulo de elasticidade e resistência à tração.

Por fim, com relação ao processo de furação, pode-se concluir que apesar de ser viável, esse ainda demanda de maiores estudos, visto aos desafios e resultados encontrados no trabalho, sendo que tal fato decorre principalmente da dificuldade de usinar simultaneamente camadas de materiais com propriedades e comportamentos mecânicos completamente distintos.

REFERÊNCIAS

- ABISH, J.; SAMAL, P.; NARENTER, M. S.; KANNAN, C.; BALAN, A. S. S. Assessment of drilling-induced damage in CFRP under chilled air environment. **Materials and Manufacturing Processes**, [s.l.], v. 33, n. 12, p. 1361–1368, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10426914.2017.1415452>. Acesso em: 10 jun. 2019.
- ABRÃO, A. M.; FARIA, P. E.; RUBIO, J. C. C.; REIS, P.; DAVIM, J. P. Drilling of fiber reinforced plastics: a review. **Journal of Materials Processing Technology**, Amsterdam, v. 186, n. 1–3, p. 1–7, May 2007. DOI 10.1016/j.jmatprotec.2006.11.146. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092401360601137X>. Acesso em: 13 jul. 2020.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D2344/2344M**: Standard test method for short-beam strength of polymer matrix composite materials and their laminates. ASTM, 2016. Disponível em: https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CD2344_D2344M-16%7Cen-US. Acesso em: 17 nov. 2020.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D3039/D3039M**: Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials. ASTM, 2014. Disponível em: https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CD3039_D3039M-14%7Cen-US. Acesso em: 01 jan. 2019.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E1876**: Standard test method for dynamic young 's modulus , shear modulus , and poisson ' s ratio by sonic resonance. ASTM, 2022. Disponível em: <https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CE1876-21%7Cen-US>. Acesso em: 30 jun 2020.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D5379/D5379M**: Standard test method for shear properties of composite materials by the v-notched beam method. ASTM, 2019. Disponível em https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CD5379_D5379M-19%7Cen-US. Acesso em: 01 maio 2020.
- BAKER, A.; DUTTON, S.; KELLY, D. **Composite materials for aircraft structures**. Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2004.
- BANEA, M. D.; SOUSA, F. S. M.; SILVA, L. F. M.; CAMPILHO, R. D. S. G.; PEREIRA, A. M. B. Effects of temperature and loading rate on the mechanical properties of a high temperature epoxy adhesive. **Journal of Adhesion Science and Technology**, Utrecht, v. 25, n. 18, p. 2461–2474, 2 Jan. 2011. DOI 10.1163/016942411X580144. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1163/016942411X580144>. Acesso em: 11 mar. 2022.
- BANEA, M. D.; SILVA, L. F. M. da; CAMPILHO, R. D. S. G. Effect of temperature on tensile strength and mode i fracture toughness of a high temperature epoxy adhesive. **Journal of Adhesion Science and Technology**, Utrecht, v. 26, n. 7, p. 939–953, 1 Apr. 2012. DOI 10.1163/156856111X593649. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1163/156856111X593649>. Acesso em: 11 mar. 2022.

BAYRAKTAR, S.; TURGUT, Y. Investigation of the cutting forces and surface roughness in milling carbon-fiber-reinforced polymer composite material. **Materiali in Tehnologije**, [s.l.], v. 50, n. 4, p. 591–600, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.17222/mit.2015.199>. Acesso em: 04 abr 2022

BERNHARDT, S.; RAMULU, M.; KOBAYASHI, A. S. Low-velocity impact response characterization of a hybrid titanium composite laminate. **Journal of Engineering Materials and Technology**, New York, v. 129, n. 2, p. 220–226, 1 Apr. 2007. DOI 10.1115/1.2400272. Disponível em: <https://asmedigitalcollection.asme.org/materialstechnology/article/129/2/220/465287/LowVelocity-Impact-Response-Characterization-of-a>. Acesso em: 27 fev. 2022.

BONHIN, E. P.; BOTELHO, E. C.; RIBEIRO, M. V. Interlaminar shear of FML produced with surface treatment by mechanical abrasion. **Procedia CIRP**, [s.l.], v. 108, p. 555–559, 2022. DOI 10.1016/j.procir.2022.03.087. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.03.087>. Acesso em: 19 jun. 2022.

BONHIN, E. P.; DAVID-MÜZEL, S.; SAMPAIO ALVES, M. C.; BOTELHO, E. C.; RIBEIRO, M. V. A review of mechanical drilling on fiber metal laminates. **Journal of Composite Materials**, Lancaster, v. 55, n. 6, p. 843–869, 13 Mar. 2021. DOI 10.1177/0021998320957743. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0021998320957743>. Acesso em: 30 out 2022.

BONHIN, E. P.; DAVID-MÜZEL, S.; GUIDI, E. S.; BOTELHO, E. C.; RIBEIRO, M. V. Influence of drilling parameters on thrust force and burr on fiber metal laminate (Al 2024-T3/glass fiber reinforced epoxy). **Procedia CIRP**, [s.l.], v. 101, p. 338–341, 2021. DOI 10.1016/j.procir.2021.02.035. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.02.035>. Acesso em: 15 nov. 2022.

BOON, Y. D.; JOSHI, S. C. A review of methods for improving interlaminar interfaces and fracture toughness of laminated composites. **Materials Today Communications**, [s.l.], v. 22, n. February 2019, p. 100830, Mar. 2020. DOI 10.1016/j.mtcomm.2019.100830. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2019.100830>. Acesso em: 05 set. 2021.

BOTELHO, E. C.; SILVA, R. A.; PARDINI, L. C.; REZENDE, M. C. A review on the development and properties of continuous fiber / epoxy / aluminum hybrid composites for aircraft structures. **Materials Research**, São Carlos, v. 9, n. 3, p. 247–256, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mr/a/k4Hn8cZJFtVYrLd4Scc5btc/>. Acesso em: 04 jan. 2019.

BRINKSMEIER, E.; JANSSEN, R. Drilling of multi-layer composite materials consisting of carbon fiber reinforced plastics (CFRP), titanium and aluminum alloys. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, [s.l.], v. 51, n. 1, p. 87–90, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)61472-3](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)61472-3). Acesso em: 10 dez. 2019.

CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials science and engineering: an introduction**. 8th ed. Hoboken: John Wiley & Sons 2009. 992 p.

CAMPOS RUBIO, J.; ABRAO, A. M.; FARIA, P. E.; CORREIA, A. E.; DAVIM, J. P. Effects of high speed in the drilling of glass fibre reinforced plastic: evaluation of the delamination factor. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Oxford, v. 48, n. 6, p. 715–720, May 2008. DOI 10.1016/j.ijmachtools.2007.10.015. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0890695507002337>. Acesso em: 24 ago. 2019.

CHEN, Q.; GUAN, Z.; LI, Z.; JI, Z.; ZHUO, Y. Experimental investigation on impact performances of GLARE laminates. **Chinese Journal of Aeronautics**, [s.l.], v. 28, n. 6, p. 1784–1792, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2015.07.002>. Acesso em: 27 maio 2019.

CHEN, W. C. Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber-reinforced plastic (CFRP) composite laminates. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Oxford, v. 37, n. 8, p. 1097–1108, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(96\)00095-8](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(96)00095-8). Acesso em: 27 maio 2019.

CONSUL, P.; CHAPLIN, A.; TAGSCHERER, N.; ZAREMBA, S.; DRECHSLER, K. Interlaminar strength in large-scale additive manufacturing of slow crystallizing polyaryletherketone carbon composites. **Polymer International**, London, v. 70, n. 8, p. 1099–1108, 31 Aug. 2021. DOI 10.1002/pi.6168. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pi.6168>. Acesso em: 25 set. 2021.

CORTES, P.; CANTWELL, W. J. The tensile and fatigue properties of carbon fiber-reinforced peek-titanium fiber-metal laminates. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, Westport, v. 23, n. 15, p. 1615–1623, 18 Oct. 2004. DOI 10.1177/0731684404039796. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0731684404039796>. Acesso em: 07 ago. 2022.

CORTÉS, P.; CANTWELL, W. J. Structure properties relations in titanium based thermoplastic fiber metal laminates. **Polymer Composites**, Hoboken, v. 27, n. 3, p. 264–270, Jun. 2006. DOI 10.1002/pc.20189. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pc.20189>. Acesso em: 07 ago. 2022.

D’ORAZIO, A.; EL MEHTEDI, M.; FORCELESE, A.; NARDINOCCHI, A.; SIMONCINI, M. Tool wear and hole quality in drilling of CFRP/AA7075 stacks with DLC and nanocomposite TiAlN coated tools. **Journal of Manufacturing Processes**, Dearborn, v. 30, p. 582–592, Dec. 2017. DOI 10.1016/j.jmapro.2017.10.019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.10.019>. Acesso em: 04 fev 2023.

SILVA, L. F. M.; RODRIGUES, T. N. S. S.; FIGUEIREDO, M. A. V.; DE MOURA, M. F. S. F.; CHOUSAL, J. A. G. Effect of adhesive type and thickness on the lap shear strength. **Journal of Adhesion**, Philadelphia, v. 82, n. 11, p. 1091–1115, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00218460600948511>. Acesso em: 04 fev. 2023.

DAVID-MÜZEL, S. **Influência da adição de nanotubos de carbono no compósito de resina furfurilica/fibra de carbono no processo de furação**. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho,” 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/4c76e3c9-768a-4626-8bac-cc149c16e22e>. Acesso em: 20 out. 2022.

DAVID-MÜZEL, S.; BONHIN, E. P.; RIBEIRO, M. V.; BOTELHO, E. C.; ALVES, M. C. S. Furfuryl resin/CNT/carbon fiber drilling, using carbide drill coated with balinit-helica. **Materials and Manufacturing Processes**, [s.l.], v. 35, n. 10, p. 1096–1103, Jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10426914.2020.1765252>. Acesso em: 05 set. 2022.

DAVIM, J. P.; REIS, P. Drilling carbon fiber reinforced plastics manufactured by autoclave

experimental and statistical study. **Materials & Design**, Surrey, v. 24, n. 5, p. 315–324, Aug. 2003. DOI 10.1016/S0261-3069(03)00062-1. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261306903000621>. Acesso em: 05 set. 2020.

DAVIM, J. P.; REIS, P. Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments. **Composite Structures**, Oxford, v. 59, n. 4, p. 481–487, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(02\)00257-X](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(02)00257-X). Acesso em: 20 set 2019.

DAVIM, J.; RUBIO, J.; ABRAO, A. A novel approach based on digital image analysis to evaluate the delamination factor after drilling composite laminates. **Composites Science and Technology**, Barking, v. 67, n. 9, p. 1939–1945, Jul. 2007. DOI 10.1016/j.compscitech.2006.10.009. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0266353806003976>. Acesso em 20 set. 2019.

DU, D.; HU, Y.; LI, H.; LIU, C.; TAO, J. Open-hole tensile progressive damage and failure prediction of carbon fiber-reinforced PEEK-titanium laminates. **Composites Part B: Engineering**, [s.l.], v. 91, n. February, p. 65–74, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.12.049>. Acesso em: 14 out. 2019.

EBEWELE, R. O. **Polymer science and technology**. Boca Raton: CRC Press, 2000. [https://doi.org/10.1016/0261-3069\(95\)90127-2](https://doi.org/10.1016/0261-3069(95)90127-2). Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=en&lr=&id=jzc0CwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Polymer+science+and+technology&ots=etYv0q4ksg&sig=qycm00oxlhumi23GxR-7t9ghxJI#v=onepage&q=Polymer%20science%20and%20technology&f=false>. Acesso em: 11 set. 2019.

EGBO, M. K. A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering. **Journal of King Saud University - Engineering Sciences**, [s.l.], v. 33, n. 8, p. 557–568, Dec. 2021. DOI 10.1016/j.jksues.2020.07.007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.07.007>. Acesso em: 05 ago. 2023

FARAZ, A.; BIERMANN, D.; WEINERT, K. Cutting edge rounding: an innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Oxford, v. 49, n. 15, p. 1185–1196, Dec. 2009. DOI 10.1016/j.ijmachtools.2009.08.002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2009.08.002>. Acesso em: 01 ago. 2021.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. 12th ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2006.

FRIED, J. R. **Polymer science & technology**: third edition. 3rd ed. Massachusetts: Prentice Hall, 2014.

GAN, D.; LU, S.; SONG, C.; WANG, Z. Physical properties of poly(ether ketone ketone)/mica composites: effect of filler content. **Materials Letters**, Amsterdam, v. 48, n. 5, p. 299–302, Apr. 2001. DOI 10.1016/S0167-577X(00)00318-9. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167577X00003189>. Acesso em: 01 ago. 2021.

GARDINER, G. PEEK vs. PEKK vs. PAEK and continuous compression colding. **CompositesWorld**, p. 1–14, 2018. Disponível em: <https://www.compositesworld.com/blog/post/peek-vs-pekk-vs-paek-and-continuous->

compression-molding. Acesso em: 20 ago. 2019.

GAUGEL, S.; SRIPATHY, P.; HAEGER, A.; MEINHARD, D.; BERNTHALER, T.; LISSEK, F.; KAUFELD, M.; KNOBLAUCH, V.; SCHNEIDER, G. A comparative study on tool wear and laminate damage in drilling of carbon-fiber reinforced polymers (CFRP). **Composite Structures**, Oxford, v. 155, p. 173–183, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.08.004>. Acesso em 21 out. 2022.

GAY, D.; HOA, S. V.; TSAI, S. W. **Composite materials: design and applications**. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2003.

GENG, D.; LIU, Y.; SHAO, Z.; LU, Z.; CAI, J.; LI, X.; JIANG, X.; ZHANG, D. Delamination formation, evaluation and suppression during drilling of composite laminates: a review. **Composite Structures**, Oxford, v. 216, n. January, p. 168–186, 2019. DOI 10.1016/j.compstruct.2019.02.099. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.02.099>. Acesso em: 21 out. 2022.

GIASIN, K. The effect of drilling parameters, cooling technology, and fiber orientation on hole perpendicularity error in fiber metal laminates. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, London, v. 97, n. 9–12, p. 4081–4099, 6 Aug. 2018. DOI 10.1007/s00170-018-2241-1. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00170-018-2241-1>. Acesso em: 15 nov. 2019.

GIASIN, K.; AYVAR-SOBERANIS, S. An investigation of burrs, chip formation, hole size, circularity and delamination during drilling operation of GLARE using ANOVA. **Composite Structures**, Oxford, v. 159, p. 745–760, Jan. 2017. DOI 10.1016/j.compstruct.2016.10.015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S026382231630767X>. Acesso em: 15 nov. 2019.

GIASIN, K.; AYVAR-SOBERANIS, S.; HODZIC, A. An experimental study on drilling of unidirectional GLARE fibre metal laminates. **Composite Structures**, Oxford, v. 133, p. 794–808, Dec. 2015. DOI 10.1016/j.compstruct.2015.08.007. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263822315006844>. Acesso em: 15 nov. 2019.

GIASIN, K.; AYVAR-SOBERANIS, S.; HODZIC, A. The effects of minimum quantity lubrication and cryogenic liquid nitrogen cooling on drilled hole quality in GLARE fibre metal laminates. **Materials & Design**, Surrey, v. 89, p. 996–1006, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.10.049>. Acesso em: 15 nov. 2019.

GIASIN, K.; GOREY, G.; BYRNE, C.; SINKE, J.; BROUSSEAU, E. Effect of machining parameters and cutting tool coating on hole quality in dry drilling of fibre metal laminates. **Composite Structures**, Oxford, v. 212, n. November 2018, p. 159–174, Mar. 2019. DOI 10.1016/j.compstruct.2019.01.023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263822318334846>. Acesso em: 15 nov. 2019.

GIASIN, K.; HAWXWELL, J.; SINKE, J.; DHAKAL, H.; KÖKLÜ, U.; BROUSSEAU, E. The effect of cutting tool coating on the form and dimensional errors of machined holes in GLARE® fibre metal laminates. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, London, v. 107, n. 5–6, p. 2817–2832, 27 Mar. 2020. DOI 10.1007/s00170-020-05211-2. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00170-020-05211-2>. Acesso em: 17 ago. 2021.

GIROT, F.; DAU, F.; GUTIÉRREZ-ORRANTIA, M. E. New analytical model for delamination of CFRP during drilling. **Journal of Materials Processing Technology**, Amsterdam, v. 240, p. 332–343, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.10.007>. Acesso em: 06 jan. 2023.

GONZALEZ-CANCHE, N. G.; FLORES-JOHNSON, E. A.; CORTES, P.; CARRILLO, J. G. Evaluation of surface treatments on 5052-H32 aluminum alloy for enhancing the interfacial adhesion of thermoplastic-based fiber metal laminates. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, Guildford, v. 82, n. January, p. 90–99, Apr. 2018. DOI 10.1016/j.ijadhadh.2018.01.003. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2018.01.003>. Acesso em: 06 jan. 2023.

HAEGER, A.; SCHOEN, G.; LISSEK, F.; MEINHARD, D.; KAUFELD, M.; SCHNEIDER, G.; SCHUHMACHER, S.; KNOBLAUCH, V. Non-destructive detection of drilling-induced delamination in CFRP and its effect on mechanical properties. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 149, n. June, p. 130–142, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.647>. Acesso em: 25 set. 2020.

HALLETT, S. R.; GREEN, B. G.; JIANG, W. G.; WISNOM, M. R. An experimental and numerical investigation into the damage mechanisms in notched composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, Kidlington, v. 40, n. 5, p. 613–624, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2009.02.021>. Acesso em: 14 out. 2019.

HE, W.; WANG, L.; LIU, H.; WANG, C.; YAO, L.; LI, Q.; SUN, G. On impact behavior of fiber metal laminate (FML) structures: a state-of-the-art review. **Thin-Walled Structures**, Essex, v. 167, n. May, p. 108026, 2021. DOI 10.1016/j.tws.2021.108026. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.108026>. Acesso em: 28 maio 2022.

HIGGINS, A. Adhesive bonding of aircraft structures. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, Guildford, v. 20, n. 5, p. 367–376, Jan. 2000. DOI 10.1016/S0143-7496(00)00006-3. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0143749600000063>. Acesso em: 10 jun 2021.

HOCHENG, H.; TSAO, C. C. Computerized tomography and c-scan for measuring drilling-induced delamination in composite material using twist drill and core drill. **Key Engineering Materials**, [s.l.], v. 339, p. 16–20, May 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.339.16>. Acesso em: 14 out. 2019.

HOCHENG, H.; TSAO, C. C. Effects of special drill bits on drilling-induced delamination of composite materials. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Oxford, v. 46, n. 12–13, p. 1403–1416, Oct. 2006. DOI 10.1016/j.ijmachtools.2005.10.004. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0890695505002750>. Acesso em: 14 out. 2019.

ISBILIR, O.; GHASSEMIEH, E. Comparative study of tool life and hole quality in drilling of CFRP/titanium stack using coated carbide drill. **Machining Science and Technology**, [s.l.], v. 17, n. 3, p. 380–409, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10910344.2013.806098>. Acesso em: 20 maio 2023.

ISBILIR, O.; GHASSEMIEH, E. Comparative study of tool life and hole quality in drilling of CFRP/titanium stack using coated carbide drill. **Machining Science and Technology**, [s.l.],

v. 17, n. 3, p. 380–409, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10910344.2013.806098>. Acesso em: 20 maio 2023.

JAKUBCZAK, P. The impact behaviour of hybrid titanium glass laminates experimental and numerical approach. **International Journal of Mechanical Sciences**, Oxford, v. 159, n. May, p. 58–73, Aug. 2019. DOI 10.1016/j.ijmecsci.2019.05.035. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.05.035>. Acesso em: 09 set. 2021.

JIN, K.; WANG, H.; TAO, J.; ZHANG, X. Interface strengthening mechanisms of Ti/CFRP fiber metal laminate after adding MWCNTs to resin matrix. **Composites Part B: Engineering**, [s.l.], v. 171, n. May, p. 254–263, Aug. 2019. DOI 10.1016/j.compositesb.2019.05.005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.05.005>. Acesso em: 23 nov. 2020.

KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. **Manufacturing, engineering and technology**. 6th ed. Massachusetts: Prentice Hall, 2009.

KARATAŞ, M. A.; GÖKKAYA, H. A review on machinability of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) and glass fiber reinforced polymer (GFRP) composite materials. **Defence Technology**, [s.l.], v. 14, n. 4, p. 318–326, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2018.02.001>. Acesso em: 04 jun. 2019.

KAW, A. K. **Mechanics of composite materials**. 2nd ed. Abingdon: Taylor & Francis, 2006.

KAZEMI, M. E.; SHANMUGAM, L.; CHEN, S.; YANG, L.; YANG, J. Novel thermoplastic fiber metal laminates manufactured with an innovative acrylic resin at room temperature. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, Kidlington, v. 138, n. July, p. 106043, Nov. 2020. DOI 10.1016/j.compositesa.2020.106043. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.106043>. Acesso em: 12 fev. 2021.

KAZEMI, M. E.; SHANMUGAM, L.; YANG, L.; YANG, J. A review on the hybrid titanium composite laminates (HTCLs) with focuses on surface treatments, fabrications, and mechanical properties. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, Kidlington, v. 128, n. July 2019, p. 105679, Jan. 2020. DOI 10.1016/j.compositesa.2019.105679. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.105679>. Acesso em: 12 fev. 2021.

KHASHABA, U. A. Delamination in drilling GFR-thermoset composites. **Composite Structures**, Oxford, v. 63, n. 3–4, p. 313–327, Feb. 2004. DOI 10.1016/S0263-8223(03)00180-6. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263822303001806>. Acesso em: 28 fev. 2021.

KHASHABA, U. A. Drilling of polymer matrix composites: a review. **Journal of Composite Materials**, Lancaster, v. 47, n. 15, p. 1817–1832, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0021998312451609>. Acesso em: 28 fev. 2021.

KHASHABA, U. A.; EL-SONBATY, I. A.; SELMY, A. I.; MEGAHED, A. A. Machinability analysis in drilling woven GFR/epoxy composites: part II – effect of drill wear. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, Kidlington, v. 41, n. 9, p. 1130–1137, Sep. 2010. DOI 10.1016/j.compositesa.2010.04.011. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.04.011>. Acesso em: 28 fev. 2021.

KOLESNIKOV, B.; HERBECK, L.; FINK, A. CFRP/titanium hybrid material for improving

composite bolted joints. **Composite Structures**, Oxford, v. 83, n. 4, p. 368–380, Jun. 2008. DOI 10.1016/j.compstruct.2007.05.010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263822307001341>. Acesso em: 30 ago. 2022.

KRISHNARAJ, V.; ZITOUNE, R.; DAVIM, J. P. **Drilling of polymer-matrix composites**. Heidelberg: Springer, 2013.

LE BOURLEGAT, L.; DAMATO, C.; SILVA, D.; BOTELHO, E.; PARDINI, L. Processing and mechanical characterization of titanium-graphite hybrid laminates. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, Westport, v. 29, n. 22, p. 3392–3400, 19 Nov. 2010. DOI 10.1177/0731684410377541. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0731684410377541>. Acesso em: 24 fev. 2021.

LI, N.; LI, Y.; ZHOU, J.; HE, Y.; HAO, X. Drilling delamination and thermal damage of carbon nanotube/carbon fiber reinforced epoxy composites processed by microwave curing. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Oxford, v. 97, p. 11–17, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2015.06.005>. Acesso em: 28 fev. 2023

LI, X.; ZHANG, X.; GUO, Y.; SHIM, V. P. ; YANG, J.; CHAI, G. B. Influence of fiber type on the impact response of titanium-based fiber-metal laminates. **International Journal of Impact Engineering**, Oxford, v. 114, n. December 2017, p. 32–42, Apr. 2018. DOI 10.1016/j.ijimpeng.2017.12.011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2017.12.011>. Acesso em: 21 fev. 2021.

LISSEK, F.; TEGAS, J.; KAUFELD, M. Damage quantification for the machining of CFRP: an introduction about characteristic values considering shape and orientation of drilling-induced delamination. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 149, n. June, p. 2–16, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.632>. Acesso em: 14 abr. 2021.

LIU, D. F.; TANG, Y. J.; CONG, W. L. A review of mechanical drilling for composite laminates. **Composite Structures**, Oxford, v. 94, n. 4, p. 1265–1279, 2012. DOI 10.1016/j.compstruct.2011.11.024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2011.11.024>. Acesso em: 28 fev. 2023.

MACIEL, M. M. Á. D.; SHIINO, M. Y.; VOORWALD, H. J. C.; CIOFFI, M. O. H. Residual modulus degradation model for woven fabric composite determined by impulse excitation technique. **International Journal of Fatigue**, Guildford, v. 133, n. December 2019, p. 105456, Apr. 2020. DOI 10.1016/j.ijfatigue.2019.105456. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0142112319305602>. Acesso em: 04 ago. 2023.

MARATHE, U.; PADHAN, M.; BIJWE, J. Graphite fabric reinforced PAEK composites by novel impregnation-co-film technique. **IOP SciNotes**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 014001, 1 Jun. 2020. DOI 10.1088/2633-1357/ab8d1a. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2633-1357/ab8d1a>. Acesso em: 10 fev. 2021.

MCKEEN, L. W. **Permeability properties of plastics and elastomers**. 4th ed. Oxford: Elsevier, 2017.

MCKEEN, L. W. **The effect of creep and other time related factors on plastics and elastomers**. 3rd ed. Oxford: Elsevier, 2015.

MISASI, J. M.; DAO, B. N.; DELL'OLIO, C.; SWAN, S. R.; ISSADAZEH, S.; WIGGINS,

J. S.; VARLEY, R. J. Polyaryletherketone (PAEK) thermoplastic composites via in-situ ring opening polymerisation. **Composites Science and Technology**, Barking, v. 201, n. November 2020, p. 108534, Jan. 2021. DOI 10.1016/j.compscitech.2020.108534. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108534>. Acesso em: 19 dez. 2020.

MOHAN, N. S.; KULKARNI, S. M.; RAMACHANDRA, A. Delamination analysis in drilling process of glass fiber reinforced plastic (GFRP) composite materials. **Journal of Materials Processing Technology**, Amsterdam, v. 186, n. 1–3, p. 265–271, May 2007. DOI 10.1016/j.jmatprotec.2006.12.043. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924013606011836>. Acesso em: 13 jul. 2021.

MOURA, M. F. S. F.; MORAIS, A. B.; MAGALHÃES, A. G. **Materiais compósitos: materiais, fabrico e comportamento mecânico**. 2nd ed. Porto: Publindústria, 2005.

MOURITZ, A. P. **Introduction to aerospace materials**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2012.

NAGARAJAN, V. A.; SELWIN RAJADURAI, J.; ANNIL KUMAR, T. A digital image analysis to evaluate delamination factor for wind turbine composite laminate blade. **Composites Part B: Engineering**, [s.l.], v. 43, n. 8, p. 3153–3159, 2012. DOI 10.1016/j.compositesb.2012.04.013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.04.013>. Acesso em: 18 fev. 2022.

NAKATANI, H.; KOSAKA, T.; OSAKA, K.; SAWADA, Y. Damage characterization of titanium/GFRP hybrid laminates subjected to low-velocity impact. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, Kidlington, v. 42, n. 7, p. 772–781, Jul. 2011. DOI 10.1016/j.compositesa.2011.03.005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.03.005>. Acesso em: 12 fev. 2021.

OLABISI, O.; ADEWALE, K. **Handbook of thermoplastics**. 2nd ed. Abingdon: Taylor & Francis, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/b19190>. Acesso em: 15 set. 2022.

PAOLINO, D. S.; GENG, H.; SCATTINA, A.; TRIDELLO, A.; CAVATORTA, M. P.; BELINGARDI, G. Damaged composite laminates: assessment of residual Young's modulus through the impulse excitation technique. **Composites Part B: Engineering**, [s.l.], v. 128, p. 76–82, Nov. 2017. DOI 10.1016/j.compositesb.2017.07.008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.07.008>. Acesso em: 01 ago. 2023.

PARK, S. Y.; CHOI, W. J.; CHOI, C. H.; CHOI, H. S. Effect of drilling parameters on hole quality and delamination of hybrid GLARE laminate. **Composite Structures**, Oxford, v. 185, n. November 2017, p. 684–698, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.11.073>. Acesso em: 20 fev. 2021.

PARK, S. Y.; CHOI, W. J.; CHOI, H. S.; KWON, H. Effects of surface pre-treatment and void content on GLARE laminate process characteristics. **Journal of Materials Processing Technology**, Amsterdam, v. 210, n. 8, p. 1008–1016, Jun. 2010. DOI 10.1016/j.jmatprotec.2010.01.017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.01.017>. Acesso em: 09 abr. 2022.

PAWAR, O. A.; GAIKHE, Y. S.; TEWARI, A.; SUNDARAM, R.; JOSHI, S. S. Analysis of hole quality in drilling GLARE fiber metal laminates. **Composite Structures**, Oxford, v. 123, p. 350–365, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.12.056>. Acesso

em: 06 jul. 2019.

PAWAR, O. A.; GAIKHE, Y. S.; TEWARI, A.; SUNDARAM, R.; JOSHI, S. S. Analysis of hole quality in drilling GLARE fiber metal laminates. **Composite Structures**, Oxford, v. 123, p. 350–365, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.12.056>. Acesso em: 06 jul. 2019.

PHADNIS, V. A.; MAKHDUM, F.; ROY, A.; SILBERSCHMIDT, V. V. Drilling in carbon/epoxy composites: experimental investigations and finite element implementation. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, Kidlington, v. 47, n. 1, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2012.11.020>. Acesso em: 03 abr. 2019.

QI, Z.; ZHANG, K.; LI, Y.; LIU, S.; CHENG, H. Critical thrust force predicting modeling for delamination-free drilling of metal-FRP stacks. **Composite Structures**, Oxford, v. 107, p. 604–609, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2013.07.036>. Acesso em: 18 set. 2020.

RAMULU, M.; STICKLER, P. B.; MCDEVITT, N. S.; DATAR, I. P.; KIM, D.; JENKINS, M. G. Influence of processing methods on the tensile and flexure properties of high temperature composites. **Composites Science and Technology**, Barking, v. 64, n. 12, p. 1763–1772, Sep. 2004. DOI 10.1016/j.compscitech.2003.12.008. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0266353804000168>. Acesso em: 19 set. 2021.

RANA, S.; FANGUEIRO, R. **Advanced composite materials for aerospace engineering processing, properties and applications**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2016.

REZENDE, B.; SILVEIRA, M.; VIEIRA, L.; ABRÃO, A.; FARIA, P.; RUBIO, J. Investigation on the effect of drill geometry and pilot holes on thrust force and burr height when drilling an aluminium/PE sandwich material. **Materials**, [s.l.], v. 9, n. 9, p. 774, Sep. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma9090774>. Acesso em: 10 fev. 2019.

REZENDE, M. C.; COSTA, M. L.; BOTELHO, E. C. **Compósitos estruturais: tecnologia e prática**. São Paulo: Artliber, 2011.

SALVE, A.; KULKARNI, R.; MACHE, A. A review: fiber metal laminates (FML's) - manufacturing, test methods and numerical modeling. **International Journal of Engineering Technology and Sciences**, [s.l.], v. 3, n. 2, p. 71–84, 30 Dec. 2016. DOI 10.15282/ijets.6.2016.1.10.1060. Disponível em: <https://journal.ump.edu.my/ijets/article/view/6375>. Acesso em: 16 maio 2019.

SANTOS, A. L.; NAKAZATO, R. Z.; SCHMEER, S.; BOTELHO, E. C. Influence of anodization of aluminum 2024 T3 for application in aluminum/CF/epoxy laminate. **Composites Part B: Engineering**, [s.l.], v. 184, n. January 2020, p. 107718, 2020. DOI 10.1016/j.compositesb.2019.107718. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107718>. Acesso em: 07 jun. 2020.

SAOUDI, J.; ZITOUNE, R.; MEZLINI, S.; GURURAJA, S.; SEITIER, P. Critical thrust force predictions during drilling: analytical modeling and x-ray tomography quantification. **Composite Structures**, Oxford, v. 153, p. 886–894, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.07.015>. Acesso em: 05 jul. 2022.

SARASINI, F.; TIRILLÒ, J.; FERRANTE, L.; SERGI, C.; SBARDELLA, F.; RUSSO, P.;

SIMEOLI, G.; MELLIER, D.; CALZOLARI, A. Effect of temperature and fiber type on impact behavior of thermoplastic fiber metal laminates. **Composite Structures**, Oxford, v. 223, n. March, p. 110961, Sep. 2019. DOI 10.1016/j.compstruct.2019.110961. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.110961>. Acesso em: 11 dez. 2020.

SAUDER, C.; LAMON, J.; PAILLER, R. The tensile behavior of carbon fibers at high temperatures up to 2400 °C. **Carbon**, Elmsford, v. 42, n. 4, p. 715–725, 2004. DOI 10.1016/j.carbon.2003.11.020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0008622303006821>. Acesso em: 17 out. 2021.

SCHNEIDER, K.; LAUKE, B.; BECKERT, W. Compression shear test (CST) - a convenient apparatus for the estimation of apparent shear strength of composite materials. **Applied Composite Materials**, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 43–62, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1008919114960>. Acesso em: 20 out. 2021.

SCHULZE, V.; BECKE, C.; WEIDENMANN, K.; DIETRICH, S. Machining strategies for hole making in composites with minimal workpiece damage by directing the process forces inwards. **Journal of Materials Processing Technology**, Amsterdam, v. 211, n. 3, p. 329–338, 2011. DOI 10.1016/j.jmatprotec.2010.10.004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.10.004>. Acesso em: 14 out. 2020.

SHANMUGAM, L.; KAZEMI, M. E.; RAO, Z.; YANG, L.; YANG, J. On the metal thermoplastic composite interface of Ti alloy/UHMWPE-Elium® laminates. **Composites Part B: Engineering**, [s.l.], v. 181, n. August 2019, p. 107578, Jan. 2020. DOI 10.1016/j.compositesb.2019.107578. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107578>. Acesso em: 05 fev. 2021.

SHAW, M. C. **Metal cutting principles**. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, In, 2005.

SHETTY, N.; SHAHABAZ, S. M.; SHARMA, S. S.; DIVAKARA SHETTY, S. A review on finite element method for machining of composite materials. **Composite Structures**, Oxford, v. 176, p. 790–802, 2017. DOI 10.1016/j.compstruct.2017.06.012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.06.012>. Acesso em: 08 abr. 2019.

SILVA, D.; PAMIES TEIXEIRA, J.; MACHADO, C. M. Methodology analysis for evaluation of drilling-induced damage in composites. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, London, v. 71, n. 9–12, p. 1919–1928, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5616-y>. Acesso em: 01 abr. 2021.

SINKE, J. Manufacturing of GLARE parts and structures. **Applied Composite Materials**, [s.l.], v. 10, n. 4–5, p. 293–305, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1025589230710>. Acesso em: 14 out. 2021.

SINMAZÇELİK, T.; AVCU, E.; BORA, M. Ö.; ÇOBAN, O. A review: fibre metal laminates, background, bonding types and applied test methods. **Materials and Design**, Surrey, v. 32, n. 7, p. 3671–3685, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.03.011>. Acesso em: 21 abr. 2019.

SOLVAY. AvaSpire® PAEK applications. 2022. Disponível em: <https://www.solvay.com/en/brands/avaspire-paek/applications>. Acesso em: 22 mar. 2022.

SORRENTINO, L.; TURCHETTA, S.; BELLINI, C. A new method to reduce delaminations

during drilling of FRP laminates by feed rate control. **Composite Structures**, Oxford, v. 186, n. September 2017, p. 154–164, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.12.005>. Acesso em: 11 ago. 2019.

STEFANIAK, D.; PRUSSAK, R. Chances and challenges in the application of fiber metal laminates. **Advanced Materials Letters**, [s.l.], v. 10, n. 2, p. 91–97, 1 Feb. 2019. DOI 10.5185/amlett.2019.2155. Disponível em: http://aml.iaamonline.org/article_13815.html. Acesso em: 18 out. 2020.

STEPHENSON, D. A.; AGAPIOU, J. S. **Metal cutting theory and practice**. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.

TARPANI, J. R.; MALUF, O.; GATTI, M. C. A. Charpy impact toughness of conventional and advanced composite laminates for aircraft construction. **Materials Research**, São Carlos, v. 12, n. 4, p. 395–403, 2009. DOI 10.1590/S1516-14392009000400004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392009000400004&lng=en&tlng=en. Acesso em: 08 set. 2019.

TSAO, C. .; HOCHENG, H. Taguchi analysis of delamination associated with various drill bits in drilling of composite material. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Oxford, v. 44, n. 10, p. 1085–1090, Aug. 2004. DOI 10.1016/j.ijmachtools.2004.02.019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0890695504000549>. Acesso em: 19 abr. 2019.

TSAO, C. C. Drilling process for composites. **Machining technology for composite materials: principles and practice**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2012. p. 17–64.

TSAO, C. C.; HOCHENG, H. Computerized tomography and C-Scan for measuring delamination in the drilling of composite materials using various drills. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Oxford, v. 45, n. 11, p. 1282–1287, Sep. 2005. DOI 10.1016/j.ijmachtools.2005.01.009. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0890695505000131>. Acesso em: 19 abr. 2019.

TYCZYŃSKI, P.; LEMAŃCZYK, J.; OSTROWSKI, R.; EWA S'LIWA, R. Drilling of CFRP, GFRP, glare type composites. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, [s.l.], v. 86, n. 4, p. 312–322, Jul. 2014. DOI 10.1108/AEAT-10-2012-0196. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/AEAT-10-2012-0196/full/html>. Acesso em: 22 fev. 2022.

VARVANI-FARAHANI, A. Composite materials: characterization, fabrication and application-research challenges and directions. **Applied Composite Materials**, [s.l.], v. 17, n. 2, p. 63–67, 6 Apr. 2010. DOI 10.1007/s10443-009-9107-5. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10443-009-9107-5>. Acesso em: 19 abr. 2019.

VIGNESHWARAN, S.; UTHAYAKUMAR, M.; ARUMUGAPRABU, V. Review on machinability of fiber reinforced polymers: a drilling approach. **Silicon**, [s.l.], v. 10, n. 5, p. 2295–2305, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12633-018-9764-9>. Acesso em: 09 abr. 2019.

VINSON, J. R.; SIERAKOWSKI, R. L. **The behavior of structures composed of composite materials**. 2nd ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2008. v. 105, .

VLOT, A.; GUNNINK, J. W. **Fibre metal laminates: an introduction**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.

VOGELESANG, L. B.; VLOT, A. Development of fibre metal laminates for advanced aerospace structures. **Journal of Materials Processing Technology**, Amsterdam, v. 103, n. 1, p. 1–5, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(00\)00411-8](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00411-8). Acesso em: 19 abr. 2019.

WANG, J.; ZHANG, D.; WU, B.; LUO, M.; TECHNOLOGY, I. M. Residual stresses analysis in ball end milling of nickel-based superalloy inconel 718. **Materials Research**, São Carlos, v. 20, n. 6, p. 1681–1689, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mr/a/yh5Hb8v7LwwhQpcvCzwNkQm/?lang=en>. Acesso em: 15 jan. 2021.

WANG, X.; KWON, P. Y.; STURTEVANT, C.; KIM, D. D. W.; LANTRIP, J. Comparative tool wear study based on drilling experiments on CFRP/Ti stack and its individual layers. **Wear**, Lausanne, v. 317, n. 1–2, p. 265–276, 2014. DOI 10.1016/j.wear.2014.05.007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2014.05.007>. Acesso em: 15 jan. 2021.

WYPYCH, G. **Handbook of polymers**. 2nd ed. Toronto: ChemTec Publishing, 2016.

XU, J.; AN, Q.; CAI, X.; CHEN, M. Drilling machinability evaluation on new developed high-strength T800S/250F CFRP laminates. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, [s.l.], v. 14, n. 10, p. 1687–1696, 5 Oct. 2013. DOI 10.1007/s12541-013-0252-2. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s12541-013-0252-2>. Acesso em: 13 jan. 2021.

XU, J.; LI, C.; MI, S.; AN, Q.; CHEN, M. Study of drilling-induced defects for CFRP composites using new criteria. **Composite Structures**, Oxford, v. 201, n. June, p. 1076–1087, Oct. 2018. DOI 10.1016/j.compstruct.2018.06.051. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.06.051>. Acesso em: 13 jan. 2021.

XU, J.; MKADDEM, A.; EL MANSORI, M. Recent advances in drilling hybrid FRP/Ti composite: a state-of-the-art review. **Composite Structures**, Oxford, v. 135, p. 316–338, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.09.028>. Acesso em: 13 jan. 2021.

YUDHANTO, A.; IWAHORI, Y.; WATANABE, N.; HOSHI, H. Open hole fatigue characteristics and damage growth of stitched plain weave carbon/epoxy laminates. **International Journal of Fatigue**, Guildford, v. 43, n. October, p. 12–22, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2012.02.002>. Acesso em: 15 jan. 2022.

ZARIF KARIMI, N.; HEIDARY, H.; FOTOUHI, M.; MINAK, G. Experimental analysis of GFRP laminates subjected to compression after drilling. **Composite Structures**, Oxford, v. 169, p. 144–152, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.01.017>. Acesso em: 12 jan. 2023.

ZIJIAN, L.; MENG, Z.; XIAOXING, L. Investigation into innovative fabrication of fiber metal laminated pipe and application. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [s.l.], v. 784, n. 1, p. 012002, 1 Mar. 2020. DOI 10.1088/1757-899X/784/1/012002. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/784/1/012002>. Acesso em: 13 jul. 2021.

ZITOUNE, R.; KRISHNARAJ, V.; COLLOMBET, F. Study of drilling of composite material and aluminium stack. **Composite Structures**, Oxford, v. 92, n. 5, p. 1246–1255, 2010. DOI 10.1016/j.compstruct.2009.10.010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2009.10.010>. Acesso em: 24 jan. 2022.