



AS IMPLICAÇÕES DA INDÚSTRIA 4.0 NOS PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO POR FORJAMENTO

BEATRIZ LANDGRAF GOMES – beatriz.landgraf.gomes@usp.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP – SÃO CARLOS - EESC

FERNANDA DE CAMARGO COSTA – fernanda.camargo.costa@usp.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP – SÃO CARLOS - EESC

ISA BENATTI - isa.benatti@usp.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP – SÃO CARLOS - EESC

MIRELLA AKEMI YAMADA IGLESIAS – mirella.iglesias@usp.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP – SÃO CARLOS – EESC

IRIS BENTO DA SILVA – ibs@sc.usp.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP – SÃO CARLOS – EESC

Área: CONFORMAÇÃO DE METAIS
Sub-Área: CONFORMAÇÃO POR FORJAMENTO

RESUMO: O CONCEITO DA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL, OU INDÚSTRIA 4.0, SURTIU NA ALEMANHA NO SÉCULO XXI COM O OBJETIVO DE AUTOMATIZAR OS PROCESSOS PRODUTIVOS E TRANSFORMAR SUA CADEIA, DIGITALIZANDO-A. DENTRO DESSE CONTEXTO, O INTUITO DESTES ARTIGOS É ANALISAR, POR MEIO DE REVISÕES SISTEMÁTICAS, A APLICAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 EM PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO POR FORJAMENTO E, BASEANDO-SE NOS PILARES TECNOLÓGICOS, EXPLORAR SUA IMPLEMENTAÇÃO NESSE PROCESSO. O RESULTADO DESTES ESTUDOS MOSTRA QUE OS CONCEITOS INCORPORADOS PELA INDÚSTRIA 4.0 SÃO PROMISSORES NA FORMA DE PLANEJAR, ORGANIZAR E CONTROLAR A CADEIA PRODUTIVA, PORÉM NEM SEMPRE É POSSÍVEL CONCRETIZAR SUA TOTAL IMPLEMENTAÇÃO E SUBSTITUIÇÃO DEVIDO, PRINCIPALMENTE, A QUESTÕES ECONÔMICAS. COMO RESULTADO, CONSTATA-SE QUE A INDÚSTRIA 4.0 PODE TRAZER INÚMEROS BENEFÍCIOS AO LONGO DA PRODUÇÃO A FIM DE TORNAR O FORJAMENTO MAIS EFICIENTE.

Palavras-chaves: INDÚSTRIA 4.0; CONFORMAÇÃO; FORJAMENTO.

THE IMPLICATIONS OF THE INDUSTRY 4.0 IN THE FORGING PROCESS

Abstract: THE CONCEPT OF THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION, OR INDUSTRY 4.0, ORIGINATED IN GERMANY IN THE 21TH CENTURY AND AIMS TO AUTOMATE THE PRODUCTION PROCESS AND TRANSFORM ITS SUPPLY CHAIN, BY INFORMATIZING IT. IN THIS CONTEXT, THE INTENT OF THIS ARTICLE IS TO ANALYZE THE APPLICATION OF THE INDUSTRY 4.0 IN FORGING PROCESS BY BIBLIOGRAPHIC REFERENCES AND TO EXPLORE ITS IMPLEMENTATION IN THE FORGING PROCESS BASING ON TECHNOLOGICAL PILLARS. THE RESULTS OF THIS ARTICLE SHOW THAT THE CONCEPTS INCORPORATED BY INDUSTRY 4.0 ARE PROMISING TO PLANNING, ORGANIZING AND CONTROLLING THE PRODUCTIVE CHAIN. HOWEVER, IT IS NOT ALWAYS POSSIBLE TO CONCRETIZE ITS FULL CAPACITY MAINLY BECAUSE OF THE ECONOMIC ISSUE. AS A RESULT, IT IS BEING CONSIDERED THAT INDUSTRY 4.0 CAN BRING NUMBER OF BENEFITS THROUGH PRODUCTION IN ORDER TO MAKE MORE EFFICIENT FORGING.

Keywords: INDUSTRY 4.0; FORMING; FORGING.

1. Introdução

O termo indústria 4.0 originou-se na Alemanha e foi utilizado pela primeira vez na feira Hannover Messe, e também é conhecido como Quarta Revolução Industrial (SANTOS, 2018). Esta quarta revolução caracteriza-se pela junção do mundo físico, digital e biológico. (ABDi, 2019).

Atualmente, um aspecto muito importante às empresas manufatureiras é a implementação da Indústria 4.0 em seus processos produtivos, para que essas continuem inseridas no mercado competitivo global. (ONYEIWU, 2017).

No Brasil, entretanto, esta tecnologia ainda não é muito empregada nas indústrias, ocupando a 69ª colocação no Índice Global de Inovação. Tal fato tira o país da competição mundial no ramo industrial uma vez que os países desenvolvidos ocupam as primeiras posições neste Índice de Inovação (Agência Brasileira do Desenvolvimento Industrial).

Um dos processos de conformação muito utilizado é o forjamento, que será analisado neste artigo. O forjamento consiste em conformar o material por meio de forças compressivas. A principal atividade deste tipo de processamento é da indústria automobilística (BRESCHIANI FILHO *et al.*, 2011).

A indústria 4.0 ainda é pouco aplicada ao processo de forjamento, porém, neste ramo, o controle de qualidade, assim como a automatização e eficiência dos processos são os focos principais para a implementação dessas novas tecnologias (ONYEIWU, 2017).

2. Revisão bibliográfica

O forjamento consiste no processo de conformação de metais por meio de esforços compressivos sobre um material, de modo que este assuma o contorno da cavidade na ferramenta de trabalho, denominada matriz ou estampo. Estas forças de compressão geralmente são efetuadas por dois equipamentos: martelos de forja, que aplicam sucessivos golpes na superfície do material; e prensas, que submetem o material a compressão gradual, com velocidade constante e relativamente baixa (FILHO *et al.*, 2011).

Existem os processos de forjamento em matrizes, que podem ser livre ou em matriz aberta, e forjamento em matriz fechada, ou apenas forjamento em matriz (Centro de Informação Metal Metalurgia). Há também os tipos de forjamento baseados na temperatura da peça durante o processo, que podem ser: forjamento a quente e forjamento a frio. (FILHO *et al.*, 2011)

No forjamento a quente, a temperatura de trabalho se encontra acima da temperatura de recristalização do material. É geralmente a etapa inicial do forjamento de muitos metais e ligas. Em função das altas temperaturas utilizadas, há diminuição na energia necessária para deformar o material e aumento na capacidade de escoamento sem ocorrência de trincas. A porosidade e pequenas trincas são eliminadas pelo caldeamento dessas cavidades, grãos grosseiros são refinados e homogeneidades químicas desaparecem. As desvantagens desse processo estão na necessidade de grandes tolerâncias dimensionais devido a contração e expansão térmica das peças e grande desgaste das ferramentas (DIETER, 1981).

O processo de forjamento a frio ocorre a temperaturas abaixo da temperatura de recristalização do metal, geralmente à temperatura ambiente. Permite a fabricação de peças com maior precisão dimensional, geometrias complexas e com acabamento próximo ao uso da peça (near net shape). Menor quantidade de matéria-prima é requerida, pois há pouca ou nenhuma perda de material e há melhora nas propriedades mecânicas pelo encruamento (limite de resistência, limite de escoamento e dureza aumentam), o que possibilita o uso de materiais mais baratos. Em contrapartida, há necessidade de prensas com maior capacidade e pressões elevadas nas ferramentas, o que demanda materiais especiais e de alto custo. Além disso, é preciso realizar recozimentos intermediários para se obter grandes deformações, sendo esse processo viável economicamente apenas para lotes grandes de peças (SCHAEFFER, 2001).

Existe também o processo de forjamento a morno, em que sua temperatura de trabalho fica em torno da temperatura de recristalização do metal. Seus limites são determinados pelo aumento excessivo de força quando a temperatura é muito baixa (limite inferior) e pela oxidação em temperaturas mais altas (limite superior) (SCHAEFFER, 2001).

O crescimento e desenvolvimento da Indústria 4.0 e da *internet* trouxeram novas oportunidades para a transição e avanço industrial dos processos tradicionais de manufatura, como a conformação. (ONYEIWU, 2017)

A quarta revolução industrial, denominada pelo governo alemão como “Indústria 4.0”, é uma nova era industrial, centralizada na utilização de recursos de informação e tecnologia da comunicação (ICT) para melhorar o processo de manufatura e negócio. A Indústria 4.0 cria o smart factory, uma fábrica inteligente com estrutura modular em que os sistemas ciberfísicos monitoram processos físicos e tomam decisões descentralizadas; fazem uso intenso da Internet das coisas e que se comunicam entre si e com humanos em tempo real. Os serviços que

compõem o ciclo são oferecidos e praticados no âmbito da cadeia de valor (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Ainda segundo Kagermann *et al.* (2013), sua implementação tem como objetivo otimizar essa cadeia de valor se beneficiando da questão tecnológica e o potencial econômico por meio de uma sistemática de inovação de processo, com foco nos seguintes aspectos fundamentais: integração horizontal através de redes de valores; integração digital da engenharia em toda a cadeia de valor; e integração vertical.

Pode-se citar alguns benefícios em incluir estas novas tecnologias no setor produtivo, como redução de custos, economia de energia, aumento de segurança, conservação ambiental, redução de erros, fim de desperdício, transparência nos negócios, aumento da qualidade de vida, personalização e escala sem precedentes, entre outros. (GILCHRIST, 2016; LASI *et al.*, 2014).

3. Análise do estado da arte

3.1 Método de pesquisa

A seleção do referencial bibliográfico foi realizada seguindo o método proposto e aplicado por Soliman e Saurin (2017), o qual consiste nas seguintes etapas: i) identificação (foi realizado o levantamento de periódicos considerando as palavras-chaves definidas: *Industry 4.0 AND Forging*). O levantamento de periódicos foi realizado por intermédio do Portal da Capes e das bases de pesquisa *Web of Science*), ii) triagem (consistiu no refinamento dos artigos identificados considerando os critérios: ano de publicação: apenas publicações a partir do ano 2000; idioma: inglês ou português) e iii) seleção por relevância (consistiu na seleção dos artigos aprovados na triagem considerando o critério de relevância com o assunto abordado na pesquisa).

3.2 Indústria 4.0 e conformação

O objetivo do artigo é identificar, por meio de uma revisão da literatura, como os conceitos da Indústria 4.0 são implementados no processo de conformação por forjamento.

A conformação é entendida como um processo que modifica um corpo metálico de estrutura definida para outra, e em relação ao seu processo podem ser classificadas em metalúrgicos ou mecânicos (BRESCIANI FILHO *et al.*, [2011]). Esse último engloba processos

de conformação plástica como o forjamento, analisado mais a fundo neste artigo (TCEPJM, 1999).

O processo produtivo dentro das indústrias, assim como muitos outros, segue a evolução tecnológica das mesmas, tornando-se cada vez mais mecanizado com o passar dos anos. Dessa forma, melhorias são continuamente efetuadas com o propósito de diminuir os custos e aumentar a produtividade.

A indústria 4.0 (I.4.0) surgiu pela necessidade de um maior controle autônomo da produção, para que assim ela fosse otimizada, com menores custos, melhor qualidade, maior rapidez e consequente aumento de produtividade. Além disso, as fábricas teriam, por exemplo, a capacidade de prever falhas e se adaptar a mudanças não planejadas (SANCHES, 2018).

Vale mencionar que a *internet* das coisas é a conexão lógica de todos os dispositivos e meios relacionados ao ambiente produtivo em questão, podendo conter todas as informações compartilhadas em bancos de dados, desde *marketing*, logística, vendas, produção, etc. Desse modo, a principal novidade para as empresas é a conectividade que a quarta revolução industrial promete e, a partir dela, através de análise de redução de custos e melhoria do processo produtivo, as próprias máquinas poderão tomar decisões, sendo, portanto, dispensáveis as programações (INDÚSTRIA 4.0, 2019).

Atualmente, para as empresas de manufatura permanecerem no mercado competitivo da era digital, o controle de qualidade se tornou uma exigência chave para estas. Por causa da complexidade e globalização dos processos de supply chain na manufatura, uma análise qualitativa do produto em tempo real tem se tornado cada vez mais importante na indústria manufatureira global (ONYEIWU, 2017).

Entretanto, na indústria de forjaria de metal, a realização eficiente de um controle de qualidade em tempo real encara diversas dificuldades. Essas dificuldades estão associadas com a necessidade de processos e ferramentas mais sofisticadas de modelamento e simulação, a falta de um processo robusto e eficiente de monitoramento e tecnologias de controle de qualidade para forjamento a quente (ONYEIWU, 2017).

No forjamento, todas as etapas de produção estão sujeitas a erros que causam defeitos no produto. Um processo de forjamento bem projetado e implementado, o qual permite a produção de repetidas séries de forjamento sem falhas, necessita da seleção de parâmetros tecnológicos ótimos, assim como um design adequado de ferramentas (HAWRYLUK, 2017).

As condições extremas em processos industriais de forjamento a quente (altas cargas mecânicas cíclicas e gradientes de temperatura na superfície das ferramentas) fazem com que equipamentos antigos, mas confiáveis, ainda sejam usados. As forjarias, embora estejam cientes da necessidade do controle de qualidade, geralmente por questões financeiras, não atribuem suficiente importância para instrumentos e métodos de medida (HAWRYLUK, 2017).

Os parâmetros e medidas são definidos em cada estágio da produção pela cadeia de operações, visando manter um sistema coerente de controle de qualidade de acordo com o sistema de normalização existente. As técnicas modernas de medida permitem um controle total do tamanho das peças com geometria complexa e das ferramentas de forjamento. Pode-se também observar novas tendências, que estão relacionadas à possibilidade de utilização de sistemas de medição portáteis, como scanners ópticos e scanners lineares montados em braços de medição portáteis (HAWRYLUK, 2017).

Essa tecnologia permite um controle de qualidade de forjados de tamanhos médio e grande, bem como ferramentas de forjamento de tamanhos muito grandes, cuja medição ocorre diretamente durante a produção. Atualmente, essas técnicas são comumente aplicadas para análise da produção de pequenos detalhes, bem como avaliação do estado técnico das máquinas e dispositivos de forjamento. A pesquisa realizada com o uso de um braço de medição, juntamente com um *scanner* a laser integrado para a análise do desgaste de enchimento do molde, com base nas medições das mudanças de forma de peças forjadas consecutivas, provou a validade da aplicação de novas tecnologias de medição a fim de analisar diretamente a qualidade e a mudança da forma da ferramenta (sem desmontar a instrumentação da unidade de forjamento). Tal análise foi feita durante o processo de produção (HAWRYLUK, 2017).

Além do controle de qualidade, uma automatização também é visada. Para um forjamento inteligente, durante o processo de produção, são utilizados *networks* interconectados e inteligência artificial para estabelecer uma plataforma inteligente de produção por forjamento, assim como realizar processos eficientes e otimização global de todo o processo de forjamento. Uma plataforma em nuvem pode ser utilizada para acompanhar a manutenção dos equipamentos de forjamento, assim como realizar uma operação eficiente e manutenção da linha de produção (HAWRYLUK, 2016).

Uma outra forma de automatizar o processo de forjamento é utilizando prensas transfer. Para a produção de um grande lote de peças médias e grandes via forjamento, há três sistemas disponíveis, *press line*, prensa transfer com 3 eixos e prensa transfer com sistema de

transferência cruzado. A tecnologia, no entanto, é limitada à específicos tipos de prensa e certos tipos de peças forjadas (HAWRYLUK, 2016).

Estes sistemas usam um grande número de sensores, que promovem a possibilidade de monitoramento constante dos parâmetros do processo e das máquinas em uso (HAWRYLUK, 2016).

4. Resultados e discussão

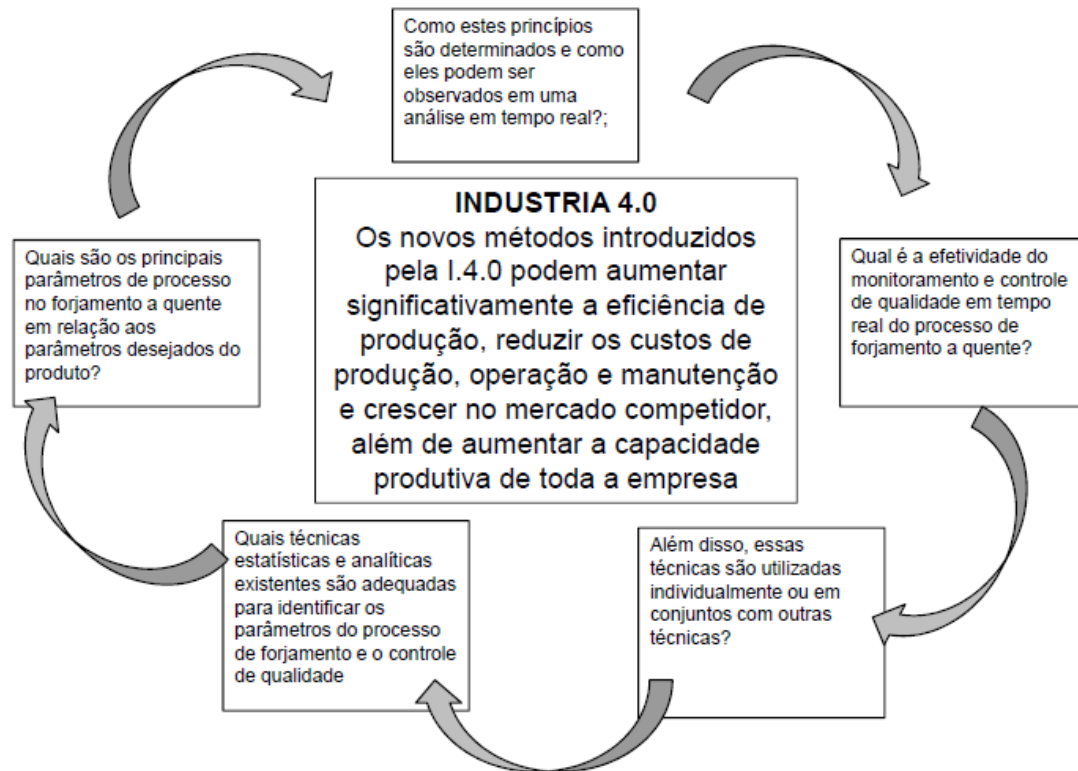
Pode-se notar que ano após ano, o nível de conscientização relacionado às medições e à qualidade do produto e das ferramentas de forjamento está aumentando constantemente - não apenas nas plantas modernas de forjamento - o que leva a um foco crescente no uso de produtos melhores e mais instrumentos de medição precisos, bem como a aplicação de novos métodos de medição. Tal abordagem estimula o desenvolvimento de técnicas de oficinas e metrologia, cujo uso estará ligado a novos campos de fora da indústria de forjamento (HAWRYLUK, 2017).

Essa busca por aperfeiçoamento de técnicas e resultados vem da necessidade das empresas se manterem no mercado competidor. Essa competitividade pode ser alcançada pela automatização dos processos. Os novos métodos introduzidos podem aumentar significativamente a eficiência de produção, reduzir os custos de produção, operação e manutenção e crescer no mercado competidor, além de aumentar a capacidade produtiva de toda a empresa (YONG, 2016).

Em relação a algumas dificuldades enfrentadas nesse processo, citadas anteriormente, responder às seguintes perguntas seria um caminho para superá-los (Figura 1):

- Quais são os principais parâmetros de processo no forjamento a quente em relação aos parâmetros desejados do produto? Como estes princípios são determinados e como eles podem ser observados em uma análise em tempo real?;
- Quais técnicas estatísticas e analíticas existentes são adequadas para identificar os parâmetros do processo de forjamento e o controle de qualidade? Além disso, essas técnicas são utilizadas individualmente ou em conjuntos com outras técnicas?;
- Qual é a efetividade do monitoramento e controle de qualidade em tempo real do processo de forjamento a quente? (ONYEIWU, 2017)

FIGURA 1 – Indústria 4.0 e oportunidades de melhoria Adaptado de Fonte: ONYEIWU (2017).



É esperado que um sistema de monitoramento *online* ajude a identificar alguns parâmetros no processo de forjamento a quente que afete certas características pré determinadas da peça forjada, assim como contribuir com a redução retrabalho (por conta de erros ou falhas), menos desperdício de material e menos rebarbas no processo de forjamento a quente. Uma implementação bem-sucedida dessas técnicas também diminuiria custos associados a partes defeituosas, tempo de processamento e melhoraria a performance geral do sistema (ONYEIWU, 2017)

5. Conclusão

Este estudo fundamenta-se em revisões da literatura acerca dos assuntos de conformação por forjamento e a indústria 4.0 com o intuito de filtrar e abordar referências que

possuam uma mescla desses temas para levantar os benefícios e possíveis aplicações das mesmas. Com essas revisões em mãos, tornou-se possível relacionar os impactos, dificuldades, benefícios, entre outras qualidades da indústria 4.0 em forjarias. Foi observado que os maiores impactos que a indústria 4.0 poderia acarretar nas indústrias de forjamento seriam medições mais precisas, maior controle de qualidade, menores gastos com desperdícios de material, aumentando a produtividade, a performance do processo, e diminuindo os custos totais.

Apesar dessa colaboração positiva (maior produtividade, maior controle e menores gastos), por se tratar de empresas tradicionais que trabalham com um processo antigo, a implementação dessa informatização se torna complexa por abranger fatores diversos que fazem parte da decisão de concretizar essa nova forma de indústria, como a modificação dos processos produtivos e, principalmente, os custos incorporados a esta escolha, os quais muitas vezes totalizam uma quantia acima da possível para pequenos e médios empresários.

Desse modo, constata-se que a indústria 4.0 pode trazer inúmeros benefícios ao longo da produção a fim de tornar o forjamento mais eficiente. Todavia, ainda há uma carência de aplicação da mesma nesse processo, sendo, portanto ainda pouco explorada, por conta dos custos envolvidos nessa mudança. Assim, pesquisas futuras podem apresentar uma implementação real ao longo de toda cadeia produtiva dentro das forjarias que, como solução, concebesssem uma modificação inicial na indústria com possibilidades maiores de serem concretizadas.

Referências

- ABDi (Agência Brasileira do Desenvolvimento Industrial). *Indústria 4.0*. 2017. Disponível em <<http://www.industria40.gov.br/>> Acesso: 28 março 2019.
- ALMEIDA C. M.. *Indústria 4.0: O plano Estratégico da Manufatura Avançada dos EUA*. 2019. <<https://www.industria40.ind.br/artigo/17594-industria-40-o-plano-estrategico-da-manufatura-avancada-nos-eua>> Acesso: 28 março 2019.
- CI - Centro de informática – EEL Sistemas. *Processo de forjamento*. Disponível em: <<https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840793/LOM3079/A2PIM.pdf>>. Acesso em: 03 maio de 2019.
- CIMM – Centro de Informação Metal Mecânica. *Tipos de Forjamento e Ferramentas*. Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6489-tipos-de-forjamento-e-ferramentas#01> Acesso em: 03 maio de 2019.
- DIETER, G. E. *Metalurgia Mecânica*. 2ª edição, 653 p. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois, 1981.
- DOH, S. W. *Indústria 4.0 e produção enxuta: análise de seus relacionamentos mediada pela estratégia de operações*. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, [S. l.], 2017. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=5971760. Acesso em: 4 maio 2019.
- BRESCIANI FILHO, E. *et al. Conformação plástica dos metais*. [S. l.: s. n.], [2011?]. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/CONFORMACAOPLASTICADOSMETAIS.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- HAWRYLUK, M.; SADOWSKI, P.; ZIEMBA, J. A Review of Current and New Measurement Techniques Used in Hot Die Forging Processes. *SAGE journals*, 29 Junho 2017. 74-86.
- HAWRYLUK, et al. Systems of supervision and analysis of industrial forging processes. *Eksploatacja i Niezawodność*, v. 18, n. 3, p. 315--324, Junho 2016.
- INDÚSTRIA 4.0 e a revolução digital. [S. l.: s. n.], Disponível em: <https://alvarovelho.net/attachments/article/114/ebook-a-industria-4.0-e-a-revolucao-digital.pdf>. Acesso em: 3 maio 2019.
- KAGERMANN, H. et al. *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. n. April, p. 4-7, 2013.
- KOPP, I. R. Industry 4.0 and its influence on metal forging industry. *Obróbka Plastyczna Metali*, Aachen, v. 25, n. 1, p. 12, 2014.
- ONYEIWU, C. et al. In-process Monitoring and Quality Control of Hot Forging Processes towards Industry 4.0. *University of Strathclyde Glasgow*, Glasgow, junho 2017. 1.

PRADO, R. *Simulação computacional por elementos finitos do processo de forjamento a frio*. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Taubaté, [S. l.], 2016. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/ITAU_2e27262e5975aec9cb1d44f03e8e67f. Acesso em: 4 maio 2019.

S. YONG, H. P. D. G. Y. L. A. G. B. S. A New Mode of Forging by Using Intelligent Manufacturing. *International Conference on Sustainable Energy, Environment and Information Engineering*, Beijing, 2016.

SANCHES, H. B. *Monitoramento da produção e da eficiência de processos de manufatura usando RFID e internet das coisas*. 2018. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", [S. l.], [2018?]. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/157236>. Acesso em: 4 maio 2019.

SCHAEFFER, L. *Forjamento – Introdução ao Processo*. 1ª edição, 202 p. Porto Alegre: Imprensa Livre Editora, 2001.

SILVA, D. G. *Indústria 4.0: conceito, tendências e desafios*. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Tecnólogo em automação industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [S. l.], 2017. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8508/1/PG_COAUT_2017_2_02.pdf. Acesso em: 3 maio 2019.

SOLIMAN, A.; SAURIN, T. A. *Lean production in complex socio-technical systems: A systematic literature review*. *Journal of Manufacturing Systems*. 2017.

TCEPJM - TÉCNICOS DO CENTRO DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL JERÔNIMO MONTEIRO. *CPM - programa de certificação de pessoal de manutenção*. Mecânica - outros processos. [S. l.]: Núcleo de Comunicação Empresarial, [1999].

VITALLI, R. *Os 10 pilares de indústria 4.0*. 22 de maio de 2018. Indústria 4.0 Manufatura avançada. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/16751-os-10-pilares-de-industria-40>. Acesso em: 04 maio de 2019.