

AÇOS FUNDIDOS OU FORJADOS: QUAL A MELHOR ESCOLHA PARA A FABRICAÇÃO DE COMPONENTES DE VÁLVULAS INDUSTRIAIS?

Diógenes Barbosa Teles

André João de Souza

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC)

Rua Sarmento Leite nº 425, Centro Histórico, Porto Alegre, RS, CEP 90050-170

dbteles.eng@gmail.com; ajsouza@ufrgs.br

José Francisco Mariano

Micromazza Indústria de Válvulas Ltda.

Rodovia BR 470, Km 168, Vila Flores, RS, CEP 95330-000

mariano@micromazza.com

Resumo: As válvulas industriais são equipamentos mecânicos utilizados no gerenciamento de fluidos em uma planta industrial. São utilizados em diversos segmentos, com destaque para o setor de petróleo & gás, onde estes dispositivos desempenham papel fundamental na produção e segurança dos processos. Os componentes das válvulas são fabricados em aços especiais designados por normas de fabricação de produtos em ligas como aço carbono e aços inoxidáveis martensíticos, austeníticos, duplex e superduplex. Os métodos de fabricação mais utilizados para a obtenção da pré-forma das peças são o forjamento e a fundição, sendo este último dividido em processos como a fundição em areia e a microfundição. Após a geração da peça por essas estratégias, as mesmas passam pelo processo de usinagem para obtenção da geometria e acabamento superficial final, conforme a aplicação. Neste contexto, existem discussões por parte dos usuários e fabricantes de válvulas quanto a preferência por materiais forjados ao invés de fundidos com o intuito de eliminar a probabilidade de defeitos internos nas peças como, por exemplo, a porosidade oriunda dos métodos de fundição. Por outro lado, uma corrente defende a utilização de materiais fundidos, pois normalmente é possível se aproximar muito da geometria final da peça, diminuindo o processo de usinagem empregado e podendo obter componentes mais leves. Argumenta-se também que as peças fundidas podem ser aprovadas por meio de técnicas adequadas de ensaios não-destrutivos, garantindo a segurança nas aplicações. Portanto, este artigo oferece uma breve revisão da literatura sobre a fabricação de peças para válvulas industriais pelos processos de forjamento e fundição, mostrando as vantagens e desvantagens de cada um deles a partir da análise de um estudo de caso. Assim, o trabalho visa apresentar-se como uma referência auxiliadora na tomada de decisão quanto à escolha e à elaboração da especificação de válvulas por parte de usuários da indústria, setor acadêmico e fabricantes destes equipamentos.

Palavras-chave: Componentes de válvulas; Fundição; Forjamento, Ensaios não destrutivos, Revisão da literatura.

1. INTRODUÇÃO

As válvulas são dispositivos mecânicos projetados especificamente para exercer funções como: direcionar, iniciar, bloquear, misturar, regular pressão, vazão ou temperatura de fluidos em processos industriais. Podem ser aplicadas para o gerenciamento de líquidos, gases ou mistura de ambos. Pelo conceito de funcionalidade, função e aplicação, as válvulas, possuem ampla variedade de tipos de projetos, tamanhos e classes de pressão. As menores, como, por exemplo, de diâmetro nominal de passagem do fluido (NPS – Nominal Pipe Size) ½”, classe de pressão 800, podem pesar apenas 0,85 kg, enquanto em tamanhos maiores, como, por exemplo, NPS 16”, classe de pressão 300, podem pesar cerca de 850 kg (Skousen, 2011; Micromazza, 2020).

As válvulas são equipamentos aplicados em diversos segmentos industriais, tais como: petróleo & gás, papel & celulose, nuclear, alimentícia, química, farmacêutica, entre outras. Dentre os segmentos industriais citados, o primeiro se destaca por ser um dos maiores utilizadores de válvulas, tanto em quantidade como variedade de tipos. Neste setor, as válvulas desempenham papel fundamental no gerenciamento dos derivados de petróleo, e exercem função primordial quanto a segurança dos processos produtivos (Silva, 2010).

Os materiais metálicos utilizados para a construção de componentes acumuladores de pressão, como o corpo e tampa da válvula e os que controlam a pressão (componentes internos) como: sede e obturador, devem ser selecionados conforme o tipo do fluido, temperatura, pressão, velocidade de escoamento, grau de corrosividade e abrasividade de partículas no fluido. Geralmente os componentes internos estão sujeitos a maiores interações com a variação do escoamento, quanto a velocidade e corrosividade do fluido, portanto para estes componentes são selecionados aços inoxidáveis. Para o corpo e tampa, pode-se utilizar tanto o aço carbono como inoxidável, conforme a necessidade da aplicação (Mathias, 2014).

A seleção de materiais é baseada normalmente no escopo de ligas especiais presentes na norma ASME 16.34 (2020), sendo as mais utilizadas: carbono (C-Si), martensítico (13Cr), austeníticos (18Cr-8Ni) e (16Cr-12Ni-2Mo), duplex (22Cr-5Ni-3Mo-N) e super duplex (25Cr-7,5Ni-3,5Mo-W-N) e (25Cr-7,5Ni-3,5Mo-N-Cu-W) (Teles et al. 2022; ASME B16.34, 2020). Os componentes de válvulas fabricados nestas ligas são normalmente oriundos de processos, como: fundição em areia, microfusão e forjamento. Após a obtenção da peça bruta de fundição, as mesmas passam por processos de usinagem tais como torneamento, fresamento, furação e retificação, nas regiões de encaixe de acoplamentos e em superfícies de vedação (Teles et al., 2022).

Cada técnica de obtenção de peças apresenta suas vantagens e desvantagens. O processo de fundição em areia, por exemplo, possibilita a fabricação de peças de grande porte, utilizadas em válvulas de tamanho médio a grande; porém, apresentam maior variação dimensional e elevada rugosidade, sendo necessárias operações de usinagem posteriores. Entretanto, a técnica de microfusão permite que as peças sejam produzidas com dimensões e geometrias muito próximas às do componente final, com melhor acabamento e menor variação dimensional; entretanto, o processo é limitado para peças de pequeno porte. O forjamento apresenta a vantagem de maior compactação microestrutural, minimizando o surgimento de defeitos internos oriundos da fundição por gravidade; contudo, a geometria da peça obtida geralmente se difere da peça final desejada, requerendo a aplicação posterior de diversos processos de usinagem (Ashby, 2011).

As válvulas industriais para petróleo & gás são projetadas conforme ampla variedade de normas nacionais e internacionais como, por exemplo, a API 6D (2021), a ASME 16.34 (2020) e a ABNT NBR 15827 (2018), onde estão presentes as diretrizes para fabricação dos componentes e para a realização de ensaios não-destrutivos, com o intuito de assegurar a qualidade do equipamento em operação. Além das normas vigentes, atualmente verifica-se o surgimento de especificações complementares elaboradas pela Associação Internacional de Produtores de Petróleo & Gás (IOGP – *International Association of Oil & Gas Producers*), por meio do grupo (JIP-33 – *Joint Industry Programme*) fundado em 2016, com o apoio da iniciativa de complexidade de projetos de capital do Fórum Econômico Mundial. Esta organização conta com a participação de 12 grandes operadores: BP, Chevron, Conoco Phillips, ENI, Equinor, ExxonMobil, Petrobrás, Petronas, Saudi Aramco, Shell, Total Energies e Woodside. Atualmente foram publicadas mais de 40 especificações internacionais complementares, visando preencher lacunas nas normas vigentes, especificar o uso de novas tecnologias, padronização de produtos, gerar menor custo de produção, buscar maior vida útil de componentes e aumentar o grau de segurança e confiabilidade nas instalações de petróleo (IOGP, 2022).

Relacionado a materiais de válvulas, destaca-se a especificação IOGP S-563 (2021), apresentando folha de dados com requisitos mínimos para materiais empregados em componentes de válvula e de sistemas de tubulações. O escopo dessa especificação inclui ligas de aços carbono e inoxidáveis, ligas de níquel, ligas de cobre-níquel, entre outros.

Devido à grande diversidade de materiais e processos de fabricação disponíveis no mercado, verifica-se certa dificuldade dos usuários das válvulas em realizar a seleção correta, conforme a necessidade da sua aplicação. Também se verificam dificuldades até mesmo entre os fabricantes das válvulas quanto a seleção do processo de fabricação adequado para a obtenção dos componentes, e a escolha adequada de ensaios e requisitos de qualidade necessários para garantir a conformidade das peças. Neste contexto, o artigo apresenta uma breve revisão da literatura sobre processos relacionados à fabricação de componentes de válvulas para o segmento de petróleo & gás, como fundição em areia, microfusão e forjamento, apresentando também exemplo de duas válvulas de mesma bitola e classe de pressão: uma obtida por forjamento e outra por microfusão, mostrando detalhes do projeto, vantagens e desvantagens dos dois modelos utilizados.

2. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE COMPONENTES METÁLICOS DE VÁLVULAS

2.1. Ligas Metálicas Aplicáveis

Os materiais metálicos para a fabricação de componentes de válvula industriais são apresentados na norma ASME 16.34 (2020), sendo a fundição em areia, a microfusão e o forjamento os principais processos de fabricação empregados. A Tabela 1 apresenta a relação das principais ligas empregadas quanto ao tipo de componente da válvula. Os componentes denominados como corpo e tampa compõem o invólucro da válvula, são itens que contém a pressão, sendo considerados os mais pesados do conjunto. Os componentes internos da válvula, tais como esfera e sedes, são os itens que controlam a pressão do fluido e são menos representativos quanto ao peso total do equipamento. A Figura 1 apresenta um esboço de uma válvula do tipo esfera flutuante indicando a nomenclatura dos principais componentes (Teles et al. 2022).

O controle do peso do equipamento é um critério importante para reduzir o custo de fabricação, minimizar as despesas com transporte e diminuir o peso da tubulação onde a válvula é instalada. Portanto, dependendo do processo utilizado na fabricação dos componentes externos da válvula, como corpo e tampa, pode-se evidenciar uma mudança significativa do peso total do equipamento. No processo de fundição, geralmente é possível obter peças com geometrias complexas, com formato próximo da peça final, reduzindo o peso do componente quando comparado a peças forjadas. Por outro lado, peças fundidas são mais suscetíveis a defeitos internos, como microporosidades indesejadas em vasos de pressão. No processo de forjamento, esses defeitos são minimizados devido às etapas de conformação mecânicas por meio da aplicação de cargas compressivas no material aquecido (Sotoodeh, 2021).

Tabela 1. Grupos de materiais para componentes de válvulas (adaptado de ASME 16.34, 2020; Teles et al., 2022).

ASME 16.34 (2020)	Composição nominal	Especificação para material fundido	Especificação para material forjado	Tipo de componente	Classificação
1.1	C-Si	ASTM A216 WCB	ASTM A105	Corpo e tampa	Aço carbono
Nota 1	13Cr	ASTM A217 CA15	ASTM A182 F6A	Interno	Martensítico
2.1	18Cr-8Ni	ASTM A351 CF8	ASTM A182 F304	Corpo, tampa e interno	Austenítico
2.2	16Cr-12Ni-2Mo	ASTM A351 CF8M	ASTM A182 F316		Duplex
2.8	22Cr-5Ni-3Mo-N	ASTM A995 CD3MN	ASTM A182 F51		Super Duplex
2.8	25Cr-7,5Ni-3,5Mo-W-N	ASTM A995 CD3MWCuN	-		
2.8	25Cr-7,5Ni-3,5Mo-N-Cu-W	-	ASTM A182 F55		

Nota: material não utilizado para peças que contenham pressão, como corpo e tampa; não é apresentado nos grupos de materiais.

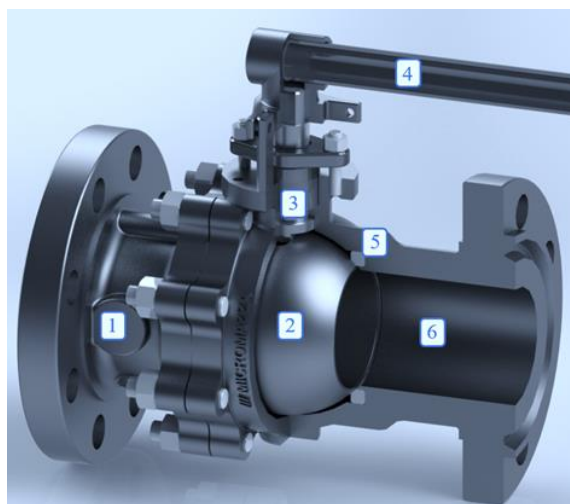


Figura 1. Partes da válvula tipo esfera flutuante: (1) tampa; (2) esfera; (3) haste; (4) alavanca; (5) sede; (6) corpo (Teles et al. 2022).

2.2. Obtenção das Peças Brutas: Fundição em Areia, Microfusão e Forjamento

O processo de fundição consiste basicamente em direcionar o material em estado líquido em um molde pela ação da gravidade ou por outra força, que se solidifica com o formato da cavidade deste dispositivo. O ato de transformar metais em líquido e despejá-lo em um molde é um dos processos mais antigos existentes, praticado por civilizações há mais de 6000 anos. Atualmente, os processos de fundição contam com a utilização de tecnologias modernas para garantir a qualidade das peças produzidas (Groover, 2014; Callister Jr. e Rethwisch, 2020). A Figura 2a e a Fig. 2b apresentam o esboço da seção transversal de um típico aparato utilizado na fundição em areia, indicando a nomenclatura utilizada para cada item (Groover, 2014). Para a fundição por microfusão, também denominada de fundição de precisão ou fundição de cera perdida, as etapas são apresentadas no esboço da Fig. 3 e especificadas a seguir.

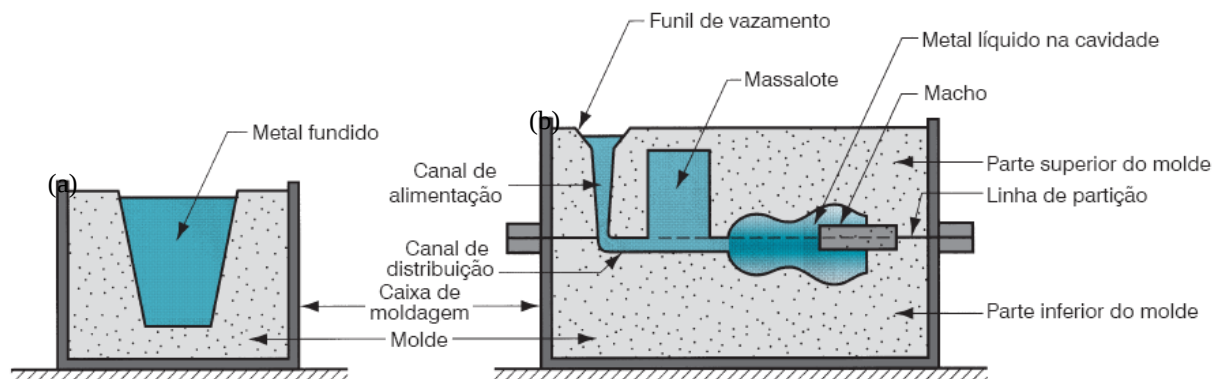


Figura 2. Fundição em areia: (a) molde aberto; (b) molde fechado (Groover, 2014).

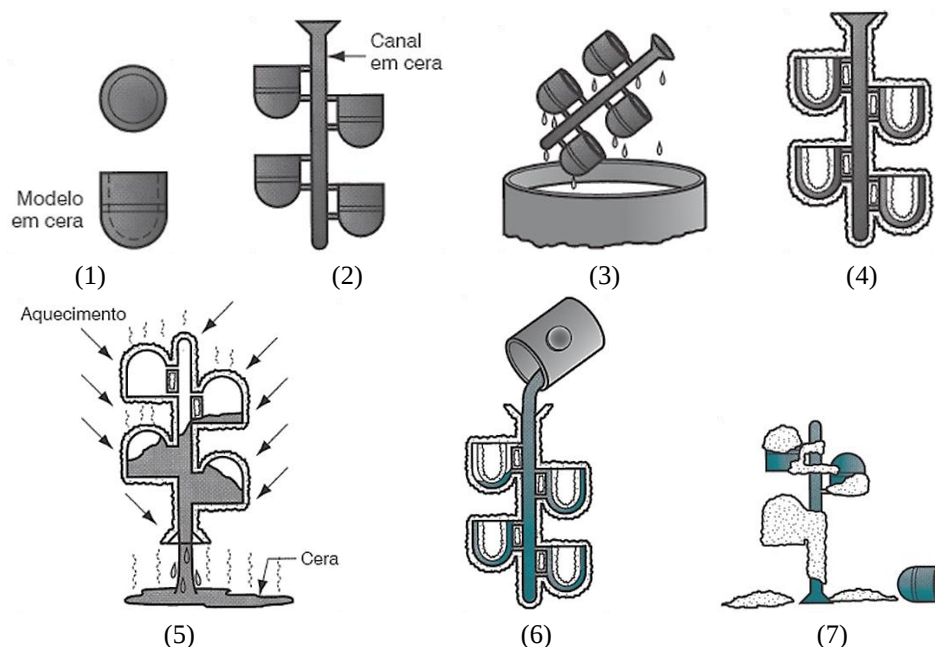


Figura 3. Etapas na fundição de precisão (Groover, 2014).

Etapas: (1) modelos de cera são produzidos; (2) vários modelos são fixados em um canal para formar uma árvore-modelo (cacho); (3) a árvore-modelo é recoberta com uma fina camada de material refratário; (4) o molde é formado pelo recobrimento do cacho com novas camadas de material refratário, suficientes para torná-lo rígido; (5) o molde é mantido em posição invertida e aquecido para fundir a cera e permitir que ela escorra da cavidade; (6) o molde é pré-aquecido a uma temperatura elevada para a eliminação de contaminantes e também para permitir que o metal líquido flua com maior facilidade, após o metal fundido é vazado e se solidifica; (7) o molde é separado da peça fundida e posteriormente as peças são separadas do canal (Groover, 2014).

Quanto ao processo de forjamento, este consiste na deformação de uma peça metálica, normalmente aquecida, por meio de trabalho mecânico (compressão contínua ou golpes sucessivos). É um importante processo industrial usado para fabricar uma variedade de componentes de alta resistência para diversas aplicações industriais (Groover, 2014; Callister Jr. e Rethwisch, 2020). A maioria das operações de forjamento é conduzida a quente, em razão do excesso de deformação requerida pelo processo, e a necessidade de reduzir a resistência e aumentar a ductilidade do metal durante o processamento (API 6D, 2021). A Figura 4 ilustra os três tipos básicos de forjamento.

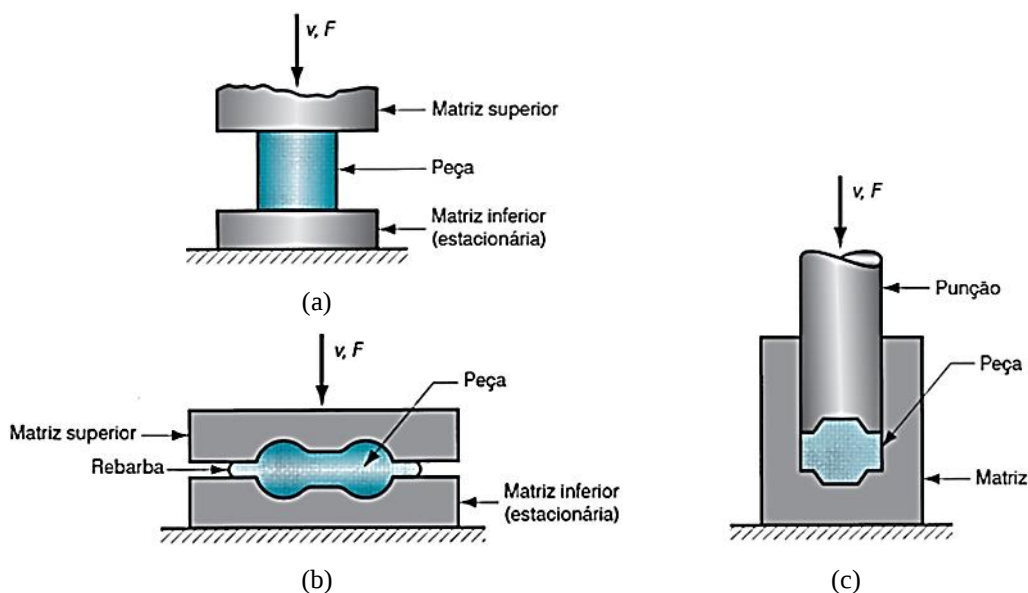


Figura 4. Tipos de processos de forjamento: (a) em matriz aberta ou forjamento livre; (b) em matriz fechada; (c) sem rebarba (Groover, 2014).

Ambos os processos de fabricação citados estão sujeitos a apresentarem defeitos. A Tabela 2 e a Tab. 3 apresentam a relação de alguns dos mais comuns que podem ocorrer.

Tabela 2. Defeitos que podem ocorrer em fundidos (Groover, 2014; Blair e Monroe, 2000).

Defeito	Descrição	Problema
Falta de preenchimento	Solidificação antes do preenchimento total do molde.	Peças com falhas inaceitáveis.
Porosidades	Rede de pequenos vazios distribuídos no fundido.	Aparência inaceitável e perda de resistência mecânica.
Trinca a quente	Restrição na contração do fundido.	Trincas inaceitáveis suscetíveis a fratura do componente.
Descontinuidade na peça	Deslocamento de molde ou macho.	Geometria inadequada na peça.
Trinca no molde	Falha no molde.	Geometria inadequada na peça.
Inclusões	Partículas não metálicas no fundido.	Concentradores de tensão e dificuldades na usinagem.
Rechupes	Falha no projeto de fundição ocasionando vazios no fundido.	Perda de resistência mecânica e falha na geometria da peça.
Junta fria	Fluidez insuficiente do material.	Perda de resistência mecânica e falha na geometria da peça.

Tabela 3. Defeitos que podem ocorrer em forjados (Groover, 2014; Blair e Monroe, 2000).

Defeito	Descrição	Problema
Segregação	Distribuição não uniforme de elementos no metal.	Dureza heterogênea.
Inclusões	Partículas não metálicas no fundido.	Concentradores de tensão e dificuldades na usinagem.
Trincas	Descontinuidades internas/externa.	Trincas inaceitáveis suscetíveis a fratura do componente.
Dobras	Descontinuidades nas peças.	Concentradores de tensão e falha na geometria da peça.
Falta de redução	Penetração incompleta do metal na cavidade da ferramenta.	Geometria inadequada da peça.

3. RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS E ENSAIOS APLICÁVEIS PARA COMPONENTES DE VÁLVULAS

A norma brasileira ABNT NBR 15827 (2018) é aplicada a válvulas industriais para a instalações de exploração, produção, refino e transporte de produtos de petróleo. Para a válvula do tipo esfera, esta norma indica a utilização dos processos de forjamento e fundição para a fabricação de componentes acumuladores de pressão (corpo e tampa) conforme a bitola da válvula, classe de pressão e tipo de extremidade de conexão com a tubulação. A Tabela 4 apresenta um resumo dessa especificação.

Tabela 4. Padrões construtivos das válvulas industriais do tipo esfera (ABNT NBR 15827, 2018).

Parâmetros	Material do Corpo / Extremidades da Válvula						
	Utilizar aço fundido ou forjado				Utilizar aço forjado		
	Extremidades: flanges ou solda de topo				Roscado ou encaixe para solda		
Bitola (NPS)	2 a 36	2 a 24	2 a 16	2 a 12	0,5 a 1,5		
Classe de pressão	150 a 600	900	1500	2500	150	800	1500 e 2500
Norma construtiva	API 6D e NBR 15827, Anexo C.				ISO 17292	ISO 17292 e NBR 15827, Anexo C.	ASME 16.34 e NBR 15827, Anexo C.

O padrão mais utilizado mundialmente quanto a parâmetros construtivos de válvulas industriais do tipo esfera é a API 6D (2021). Conforme o nível de qualidade requerido e especificado (QSL – *Quality Specification Level*), para aplicação da válvula, indica-se a realização de ensaios não destrutivos em componentes fabricados por fundição e forjamento. Os ensaios especificados, a aplicação, o método e o critério de aceitação são apresentados na Tab. 5 e Tab. 6, relacionando os componentes de válvulas (corpo/tampa) que representam o maior percentual em peso do produto, em que: MT = teste de partículas magnéticas; PT = teste de líquido penetrante; RT = teste de radiografia; UT = teste de ultrassom; VT = teste visual. A norma também especifica ensaios não-destrutivos para os outros componentes de válvulas (ex. controladores de pressão).

Tabela 5. Ensaaios não-destrutíveis previstos para componentes fundidos e forjados conforme o QSL (API 6D, 2021).

Componentes de válvula	QSL2		QSL3		QSL4/4G	
	Fundido	Forjado	Fundido	Forjado	Fundido	Forjado
Corpo e tampa	VT1	VT2	VT1	VT2	VT1	VT2
	MT2 ou PT2	MT1 ou PT1	MT2 ou PT2	MT1 ou PT1	MT2 ou PT2	MT1 ou PT1
	-	-	RT1 ^(a)	UT2	RT3 ou UT4	UT2

Nota: ^(a) Pode ser trocado por UT4 conforme acordo entre fabricante e usuário.

Tabela 6. Detalhamento dos requisitos dos ensaios (API 6D, 2021).

Ensaio	Aplicação	Método (ASME BPVC, Seção V)	Critério de Aceitação
RT1	Áreas críticas conforme ASME 16.34 ou definido pelo fabricante	Artigo 2	ASME BPVC, Seção VIII, Divisão 1, Apêndice 7
RT2	100% quando praticável	Artigo 2	ASME BPVC, Seção VIII, Divisão 1, UW-51 para indicações lineares
RT3	100%	Artigo 2	ASME BPVC, Seção VIII, Divisão 1, Apêndice 7
UT1	Áreas restantes não cobertas por RT1	Artigo 5	ASTM A609/A609M, Tabela 2, Nível de Qualidade 2
UT2	Todas as superfícies	Artigo 5	Forjados: ASME E BPVC, Seção VIII, Divisão 1, UF-55
UT4	100%	Artigo 5	ASTM A609/A609M, Tabela 2, Nível de Qualidade 1
MT1	Todas as superfícies	Artigo 7	ASME BPVC, Seção VIII, Divisão 1, Apêndice 6
MT2	Todas as superfícies	Artigo 7	ASME BPVC, Seção VIII, Divisão 1, Apêndice 7
PT1	Todas as superfícies	Artigo 6	ASME BPVC, Seção VIII, Divisão 1, Apêndice 8
PT2	Todas as superfícies	Artigo 6	ASME BPVC, Seção VIII, Divisão 1, Apêndice 7

Demais requisitos presentes na norma API 6D (2021) para fundidos e forjados:

- No mínimo, a inspeção visual de todos os forjados de aço contendo pressão e controle de pressão deve ser conforme ASME BPVC Seção VIII, Divisão 1, UF-45 e UF-46. Critérios de aceitação: nenhum defeito visível.
- O reparo por solda em peças forjadas e chapas deve limitar-se a ser executado apenas para corrigir erros de usinagem.
- Todo material forjado deve ser formado usando uma prática de trabalho a quente e tratamento térmico que produza um forjado (sem elementos dendríticos fundidos) na estrutura de todo o material.
- Todo material forjado para acumulador de pressão deve ter uma taxa mínima de redução de forjamento de 3:1, conforme especificado por API 20B ou API 20C.
- No mínimo, a inspeção visual de todos os fundidos, componentes (acumuladores/controladores) de pressão devem ser realizados conforme a norma MSS SP-55.

4. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso aborda uma comparação de dois projetos de válvulas do tipo esfera flutuante, padrão construtivo API 6D (2021). Estas válvulas possuem classe de pressão 150 conforme a norma ASME 16.34 (2020), bitola ½”, extremidades com flanges conforme ASME 16.5 (2020). Os componentes que contém pressão, como corpo e tampa, são fabricados em aço inoxidável austenítico 16Cr-12Ni-2Mo pelos processos de forjamento de acordo com a norma ASTM A182 F316 (Fig. 5a) e por microfusão pela norma ASTM A 351 CF8M (Fig. 5b). O primeiro aspecto a ser observado é a aparência robusta da válvula com componentes forjados devido à geometria das peças brutas obtidas. No caso da válvula em que seus componentes foram obtidos por microfusão, nota-se uma geometria mais complexa. Esse fato confere uma massa de 2,77 kg para a primeira e 1,90 kg para a segunda, diferença de 31,4% em peso.

A Figura 6 e a Fig. 7 apresenta o formato de corpo e tampa das válvulas obtidos pelos processos de forjamento e microfusão, respectivamente, apresentando em tópicos os detalhes de cada etapa. Nota-se que as peças fundidas apresentam vantagens na fabricação quanto à redução de custos e peso. Contudo, os ensaios não destrutivos aplicáveis aos fundidos são mais rigorosos (Tab. 5 e Tab. 6), elevando custos de realização dos mesmos.

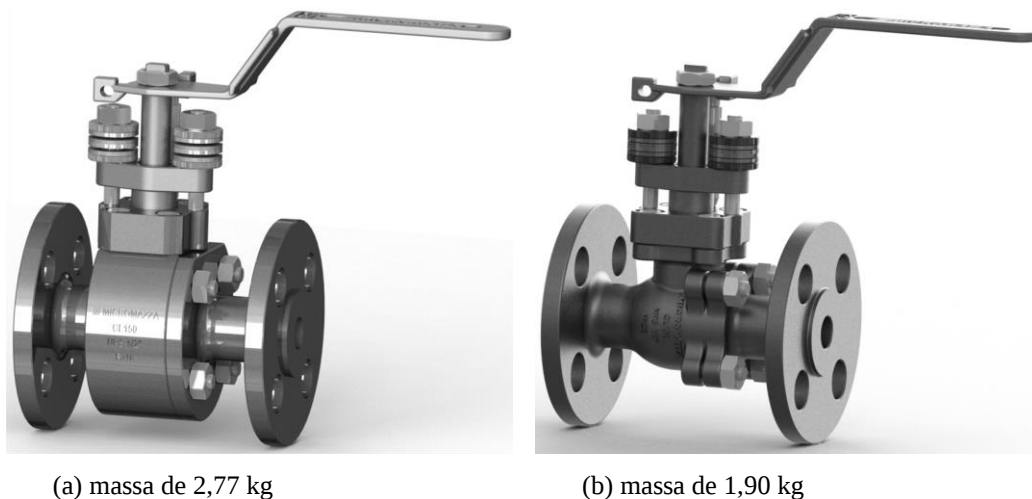


Figura 5. Válvula esfera, NPS 1/2", classe 150 obtida por: (a) forjamento; (b) microfusão (Micromazza, 2022).

	Peça bruta forjada	Peça após usinagem	Indicação das áreas usinadas
Corpo	 (a)	 (b)	 (c)
Tampa	 (d)	 (e)	 (f)

Figura 6. Etapas de fabricação dos componentes corpo e tampa forjados da válvula (Micromazza, 2022).

Na Fig. 6 tem-se:

- **Corpo:** (a) peça bruta forjada no material ASTM A182 F316 com massa de 2,86 kg; (b) peça após a usinagem, sendo removido 1,46 kg de material para obtenção da geometria final do corpo com massa de 1,40 kg; (c) nas áreas externas e internas do corpo são empregados processos de usinagem como torneamento, fresamento e furação.
- **Tampa:** (d) peça bruta forjada no material ASTM A182 F316 com massa de 2,65 kg; (e) peça após a usinagem, com remoção de 1,96 kg de material para obtenção da geometria final da tampa com massa de 0,69 kg; nas áreas externas e internas da tampa são empregados processos de usinagem como torneamento, fresamento e furação.

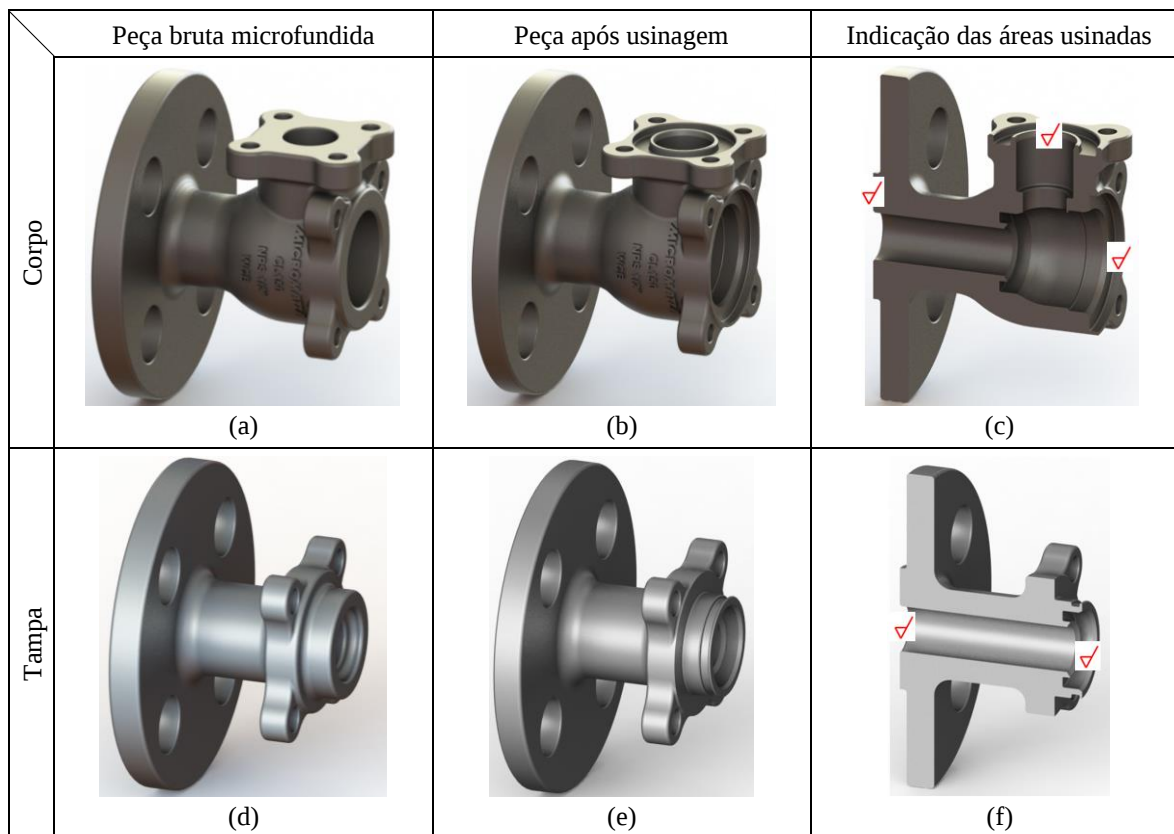


Figura 7. Etapas de fabricação dos componentes corpo e tampa microfundidos da válvula (Micromazza, 2022).

Na Fig. 7 tem-se:

- **Corpo:** (a) peça bruta microfundida no material ASTM A351 CF8M com massa de 0,76 kg; (b) peça após a usinagem, sendo removido 0,09 kg de material para obtenção da geometria final do corpo com massa de 0,67 kg; (c) nas áreas de encaixe e alojamento de vedações são empregados processos de usinagem como torneamento e fresamento.
- **Tampa:** (d) peça bruta microfundida no material ASTM A351 CF8M com massa de 0,61 kg; (e) peça após a usinagem, com remoção de 0,06 kg de material para obtenção da geometria final da tampa com massa de 0,55 kg; nas regiões de encaixe e vedações emprega-se o processo de torneamento interno.

A Tabela 7 apresenta uma comparação das propriedades mecânicas dos dois materiais, onde se verificam similaridades independentemente do processo de fabricação empregado. Observa-se maior resistência à tração da liga forjada (ASTM A182 F316). Porém, se tratando de componentes de válvulas que contém a pressão como corpo e tampa, as tensões admissíveis para dimensionamento do projeto são limitadas a um percentual da tensão mínima de escoamento (por exemplo, 67% para componentes acumuladores de pressão). Dessa forma, ambos os processos apresentam confiabilidades similares quanto à resistência mecânica (ABNT NBR 15827, 2018). Quanto a composição química (Tab. 8) também há similaridades, sendo ambas as ligas classificadas no mesmo grupo de materiais (2.2) para a fabricação de componentes acumuladores de pressão da ASME 16.34 (2020).

Tabela 7. Propriedades mecânicas dos materiais (ASTM A182, 2022; ASTM A351, 2018).

Material	Resistência a tração (MPa)	Tensão de escoamento (MPa)	Alongamento mínimo (%)
ASTM A182 F316	515	205	30
ASTM A351 CF8M	485	205	30

Tabela 8. Composição química dos materiais em % massa (ASTM A182, 2022; ASTM A351, 2018).

Material	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	C	P	S
A182 F316	16 - 18	10 - 14	2 - 3	2,0	1,0	0,08	0,045	0,03
A351 CF8M	18 - 21	9 - 12	2 - 3	1,5	1,5	0,08	0,040	0,04

5. CONCLUSÃO

Os componentes de válvulas podem ser fabricados por forjamento e fundição e apresentar níveis de qualidade e segurança satisfatórios, desde que os requisitos normativos de inspeção e ensaios sejam rigorosamente cumpridos. Elementos forjados tendem a gerar mais etapas de usinagem, posteriores para a obtenção da peça final, devido à limitação geométrica da peça bruta, intrínseca desse processo. Elementos microfundidos tendem a se aproximar mais da geometria da peça final, reduzindo a realização de operações de usinagem subsequentes. Porém, devido a maior possibilidade de apresentar defeitos, verifica-se maior rigor nos ensaios não-destrutíveis aplicáveis.

Peças microfundidas podem apresentar menor custo de produção e menor peso que as forjadas; porém, irá implicar em maiores custos com ensaios de qualidade. Portanto, para cada caso, torna-se necessário uma avaliação da viabilidade econômica, pois dependendo do tamanho do componente e sua geometria final, essas diferenças de custo e peso podem apresentar variações significativas, tornando mais vantajoso um ou o outro processo.

No estudo de caso apresentado, verifica-se que ambos os projetos podem ser utilizados. A decisão em utilizar um ou outro dependerá de fatores como: peso, custo de obtenção da peça bruta, custo de usinagem, custo de ensaios aplicáveis, quantidade de peças a serem produzidas, prazo de entrega e requisitos específicos quanto a aplicação da válvula no processo industrial.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 15827, 2018. Válvulas industriais para instalação de exploração, produção, refino e transporte de produtos de petróleo - Requisitos de projeto e ensaio de protótipo.
- API 6D, 2021. Specification for Pipeline Valves.
- API 20B, 2020. Open Die Shaped Forgings for Use in the Petroleum and Natural Gas Industry, 1st Edition.
- API 20C, 2020. Closed Die Forgings for Use in the Petroleum and Natural Gas Industry, 3rd Edition.
- Ashby, M. F., 2011. *Materials Selection in Mechanical Design*. Elsevier, 4^a edição.
- ASME B16.34, 2020. Valves Flanged, Threaded, and Welding End.
- ASME B16.5, 2020. Pipe Flanges and Flanged Fittings.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC), Section V: Nondestructive Examination.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC), Section VIII: Rules for Construction of Pressure Vessels; Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels.
- ASTM A105/A105M-21, 2021. Standard Specification for Carbon Steel Forgings for Piping Applications.
- ASTM A216/A216M-21, 2021. Standard Specification for Steel Castings, Carbon, Suitable for Fusion Welding, for High-Temperature Service.
- ASTM A182/A182M-21, 2021. Standard Specification for Forged or Rolled Alloy and Stainless-Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-Temperature Service.
- ASTM A351/A351M-18, 2018. Standard Specification for Castings, Austenitic, for Pressure-Containing Parts.
- ASTM A609/A609 M-18, 2018. Standard Practice for Castings, Carbon, Low-Alloy, and Martensitic Stainless Steel, Ultrasonic Examination Thereof.
- ASTM A995/A995M-20, 2020. Standard Specification for Castings, Austenitic-Ferritic (Duplex) Stainless Steel, for Pressure-Containing Parts.
- ASTM A217/A217M-20, 2020. Standard Specification for Steel Castings, Martensitic Stainless and Alloy, for Pressure-Containing Parts, Suitable for High-Temperature Service.
- Callister Jr., W.D.; Rethwisch, D.G., 2020. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. LTC, Rio de Janeiro, 10^a edição.
- Groover, M.P., 2014. *Introdução aos processos de fabricação*. LTC, Rio de Janeiro
- ISO 17292, 2015. Metal ball valves for petroleum, petrochemical and allied industries.
- IOPG S-563, 2021. Material Data Sheets for Piping and Valve Components.
- Mathias, A.C., 2014. *Válvulas: Industriais, segurança, controle: tipos, seleção, dimensionamento*. Artliber, São Paulo.
- Blair; M.; Monroe, R.W. 2000. *Castings or Forgings? A Realistic Evaluation*. SFSA. 21 Nov. 2022. 21 <<https://www.sfsa.org/subject-areas/education/castingsvforgings>>
- Micromazza, 2020. Catálogo de produtos. 21 Nov. 2022. <https://www.micromazza.com.br/images/downloads/Catalogo-Micromazzaok_2020.pdf>.
- Micromazza, 2022. Arquivos de projeto.
- MSS SP-55, 2011. Quality Standard for Steel Castings for Valves, Flanges and Fittings and Other Piping Components Visual Method for Evaluation of Surface irregularities.
- Skousen, P.L., 2011. *Valve Handbook*. McGraw Hill Professional, New York, 3^a edição.
- Silva, O.J.L., 2010. *Válvulas Industriais*. Qualitymark, Rio de Janeiro, 2^a edição.
- Sotoodeh, K., 2021. *A Practical Guide to Piping and Valves for the Oil and Gas Industry*. Elsevier.
- Teles, D.B.; Mariano, J.F.; Souza, A.J., 2022. Metallic materials for valves applied in Oil & Gas industry. *Proceedings of the Rio Oil & Gas Expo and Conference*. Rio de Janeiro, Brasil.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

CASTING OR FORGING STEELS: WHICH IS THE BEST CHOICE FOR MANUFACTURING INDUSTRIAL VALVE COMPONENTS?

Diógenes Barbosa Teles

André João de Souza

Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Mechanical Engineering Department (DEMEC)

Sarmiento Leite nº 425, Porto Alegre, RS, CEP 90050-170

dbteles.eng@gmail; ajsouza@ufrgs.br

José Francisco Mariano

Micromazza Valves Industry Ltda.

BR 470, Km 168, Vila Flores, RS, CEP 95330-000

mariano@micromazza.com

Abstract: Industrial valves are mechanical equipment used in fluid management in an industrial plant. They are used in several segments, highlighted in the oil & gas sector, where these devices play a fundamental role in the production and safety of processes. The valve components are manufactured in particular steel designated by product manufacturing standards in alloys like carbon steel and martensitic, austenitic, duplex, and super duplex stainless steels. The most used manufacturing methods for obtaining the pre-form of the parts are forging and casting, the latter being divided into processes such as sand casting and investment casting. After the piece generation by these strategies, they go through the machining process to obtain the geometry and final surface finish, according to the application. In this context, there are discussions on the part of users and valve manufacturers regarding the preference for forged materials instead of castings to eliminate the probability of internal defects in the parts, such as, for example, porosity arising from casting methods. On the other hand, one current defends the use of cast materials, as it is usually possible to get very close to the final geometry of the part, reducing the machining process used and being able to obtain lighter components. It is also argued that castings can be approved using appropriate nondestructive testing techniques, ensuring safety in applications. Therefore, this article offers a brief literature review on the manufacture of industrial-valve parts by forging and casting processes, showing the advantages and disadvantages of each one of them based on the analysis of a case study. Thus, the work aims to present itself as an assisted reference in decision-making regarding the choice and elaboration of the valve specification by users in industry, the academic sector, and manufacturers of this equipment.

Keywords: Valve components; Casting; Forging, Nondestructive testing, Literature review

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.