

Denise Yumi Uemura
Gustavo Garcia Santin César Melo

OTIMIZAÇÃO DE UM PROCESSO DE PRODUÇÃO

Relatório do trabalho de
formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade
de São Paulo para obtenção
da graduação em Engenharia

São Paulo
2002

Denise Yumi Uemura
Gustavo Garcia Santin César Melo

*Denise
Gustavo
17dez02
Edson*

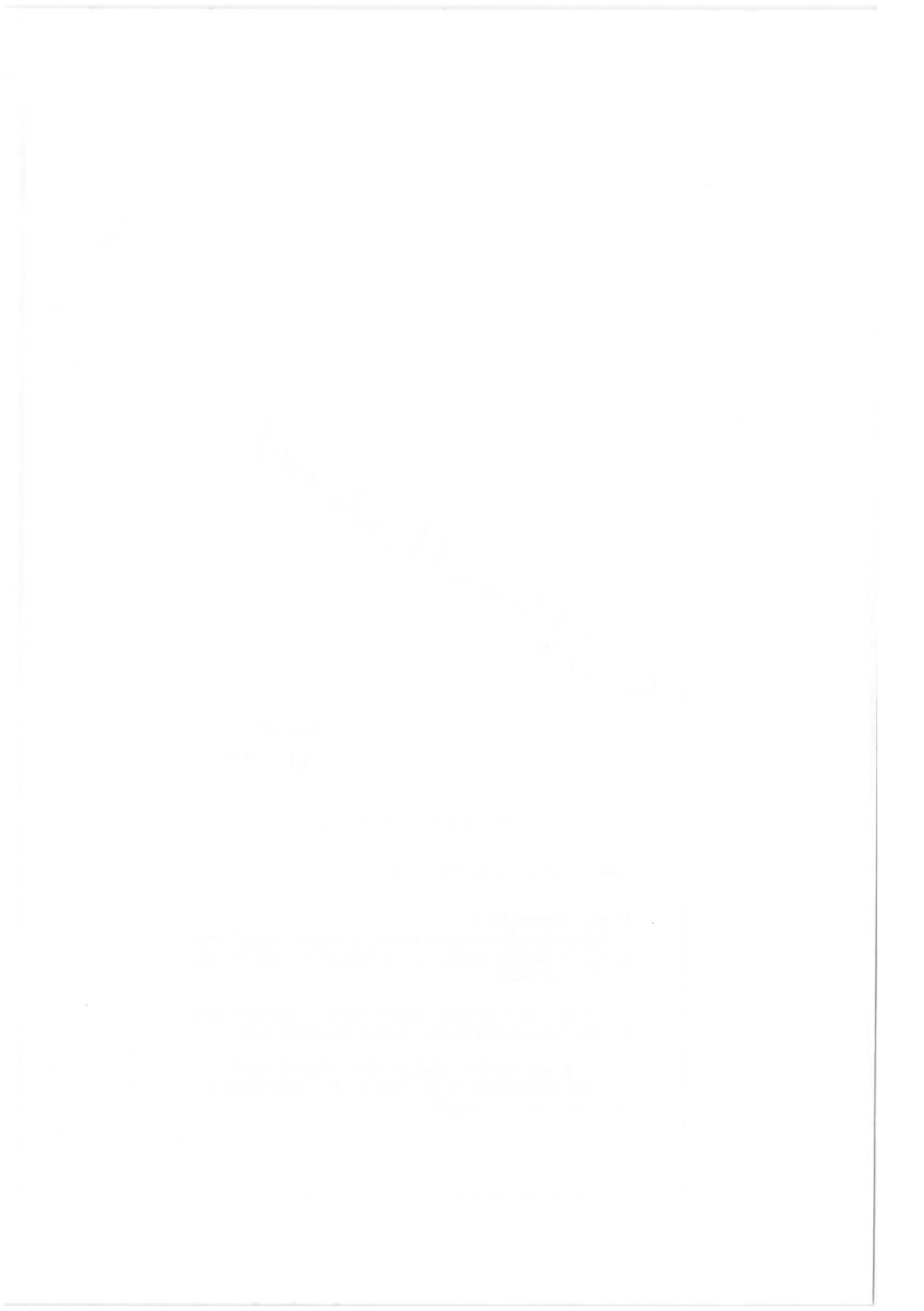
OTIMIZAÇÃO DE UM PROCESSO DE PRODUÇÃO

Relatório do trabalho de
formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade
de São Paulo para obtenção
da graduação em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

Orientador:
Prof. Dr. Edson Gomes

São Paulo
2002



RESUMO

Este trabalho tem como objetivo mostrar soluções para a melhoria da produtividade em geral de um processo de fabricação. Para isso, serão escolhidas algumas soluções, que posteriormente serão colocadas em uma matriz de decisão, onde, após a escolha será desenvolvida em detalhes.

Neste relatório parcial, descreveremos uma visão geral do problema e mostraremos uma bibliografia de referência, para futuras fundamentações teóricas. Além disso, usaremos os problemas do dia-a-dia encontrados em nossos estágios para desenvolvermos nossas teorias e sugerirmos novas soluções.

DEDICATÓRIAS

Aos nossos familiares e amigos, que nos incentivaram e apoiaram, durante toda a realização deste trabalho.

Ao Martim, pela compreensão e paciência nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todas as pessoas, que contribuíram com informações e sugestões para a realização deste projeto, em especial ao professor Edson Gomes e ao André Leal.

SUMÁRIO

RESUMO

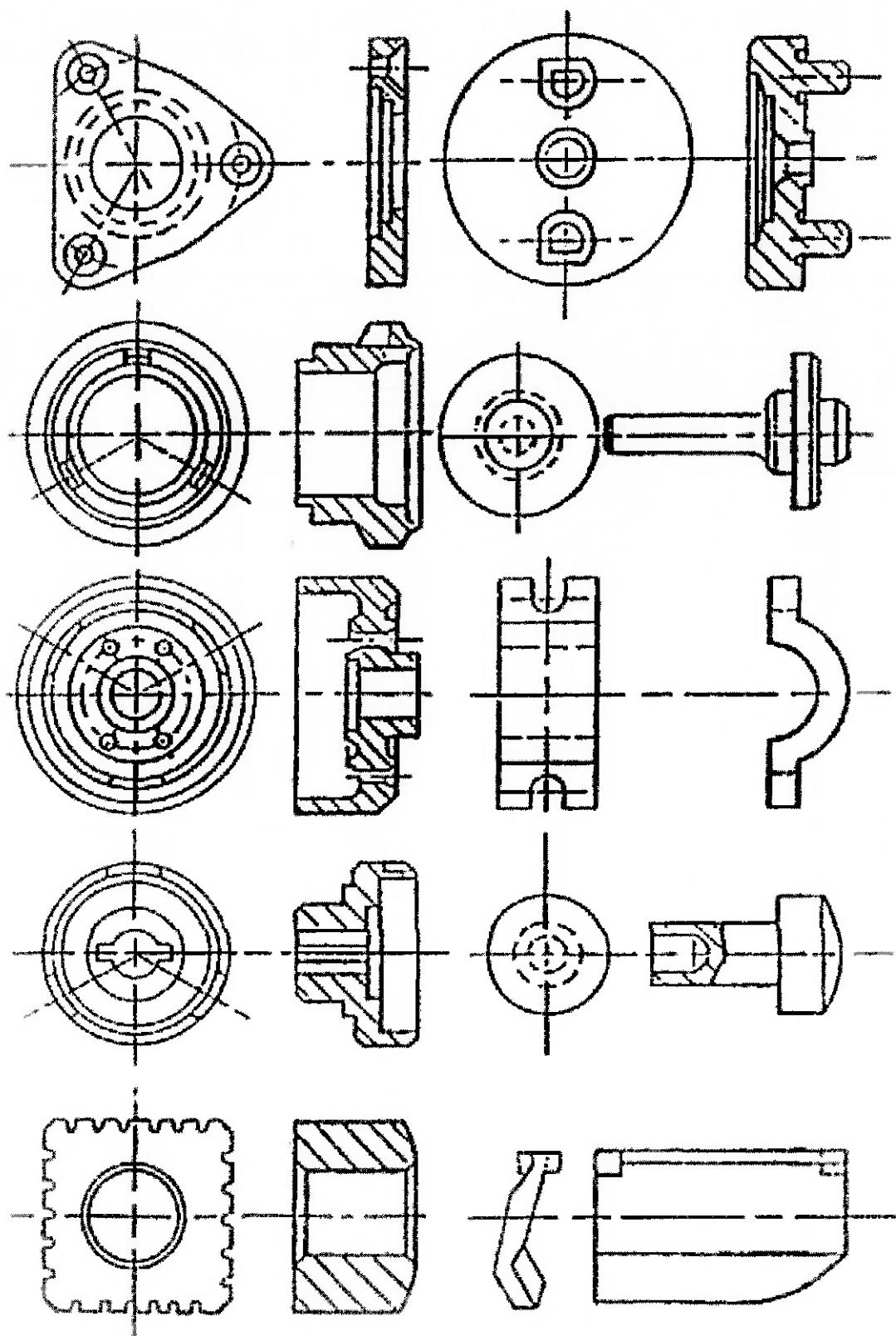
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. CRONOGRAMA.....	10
3. ESTUDO DE VIABILIDADE.....	11
4. BIBLIOGRAFIA.....	24
5. ANEXOS.....	26

1. Introdução

Neste trabalho iremos analisar um processo de fabricação da Schunk, empresa que trabalha com sinterizados e eletrografites. Para um rápido esclarecimento, sinterizados são peças produzidas a partir de pó (de ferro, de ligas, ou até mesmo outros materiais em pó), compactado, depois sinterizado (processo de “cozimento” da peça, onde o pó é aquecido a 1120°C, provocando uma ligação entre as partículas do pó e dando resistência mecânica a peça). Depois do processo de sinterização pode-se ainda re-compactar a peça (para aumentar densidade e dureza), dar tratamentos térmicos, químicos, antiferrugem, usiná-la e por fim dar um banho de óleo. Este processo é muito utilizado para peças de perfil complexo, ou que precisem de autolubrificação (como o pó deixa espaço entre suas partículas, o óleo se “agarra” com mais facilidade), podendo-se ter uma produção em grande escala, sem um maquinário extremamente sofisticado. Os eletrografites são peças produzidas a partir do carbono, amplamente utilizados por motores e equipamentos elétricos, devido as propriedades físicas do carbono. O processo é bem parecido com o do sinterizado.

Pra se ter uma idéia do mercado, em 1995, os automóveis utilizavam 7Kg de peças sinterizadas. Em 2000 esse número já pulou para 11 Kg e em 2002 já se utilizam 15 Kg. Isso só no mercado automobilístico.





Alguns tipos de peças tradicionalmente sinterizadas

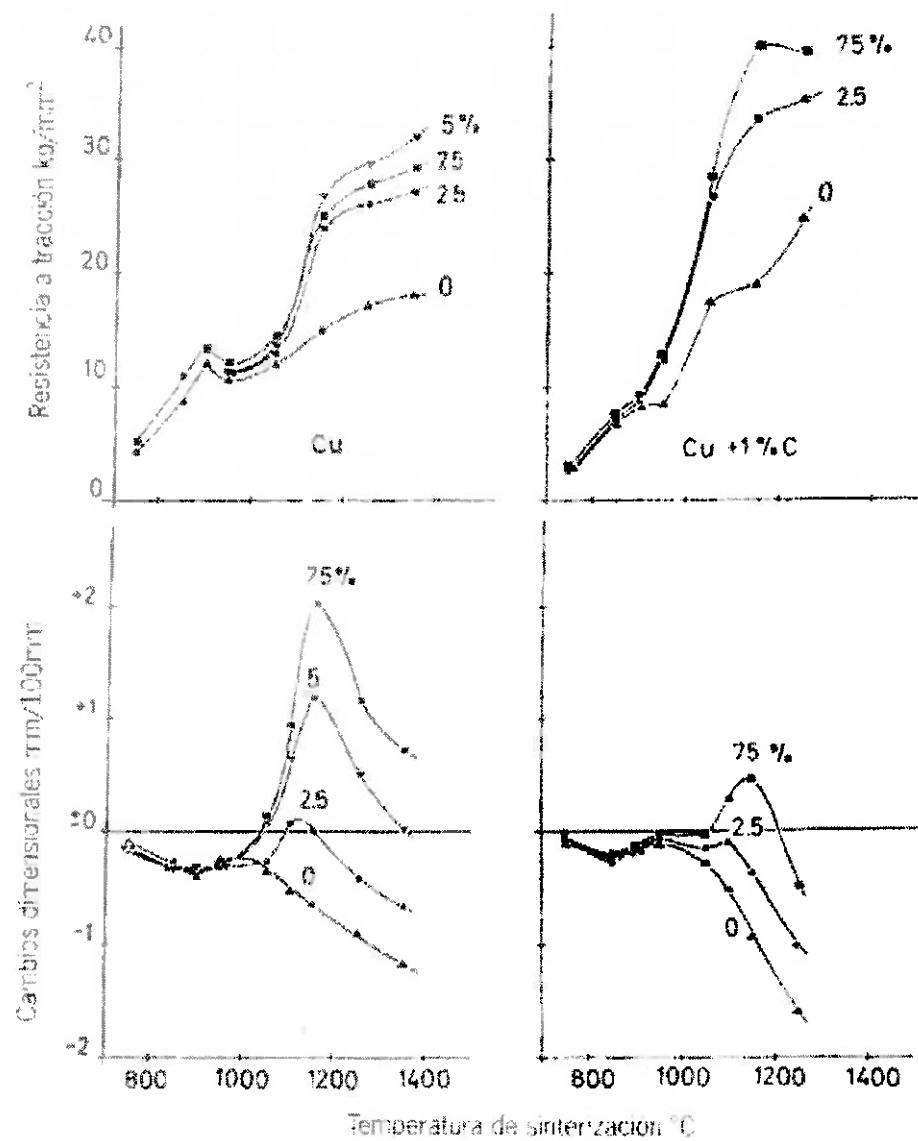
2. Cronograma

	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Definição do tema										
Pesquisa bibliográfica										
Estudo de viabilidade										
Matriz de decisão										
Projeto básico										

3. Estudo de Viabilidade

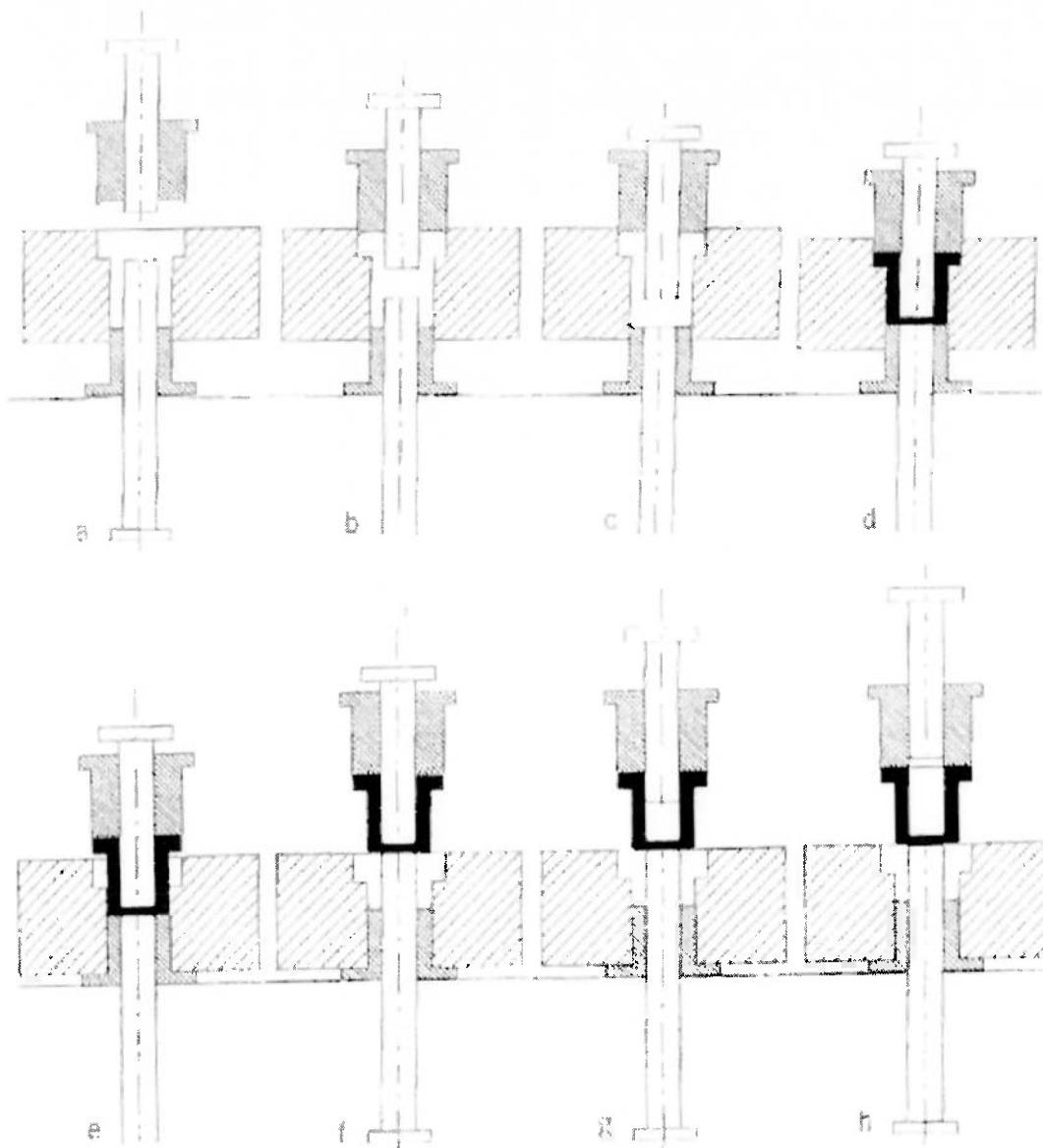
O nosso estudo se focará no processo do sinterizado e suas etapas. São elas:

- **Mistura:** aqui são feitas as misturas das ligas que irão compor as peças. Neste caso iremos estudar qual mistura utilizar, porém não veremos como é feita a mistura.



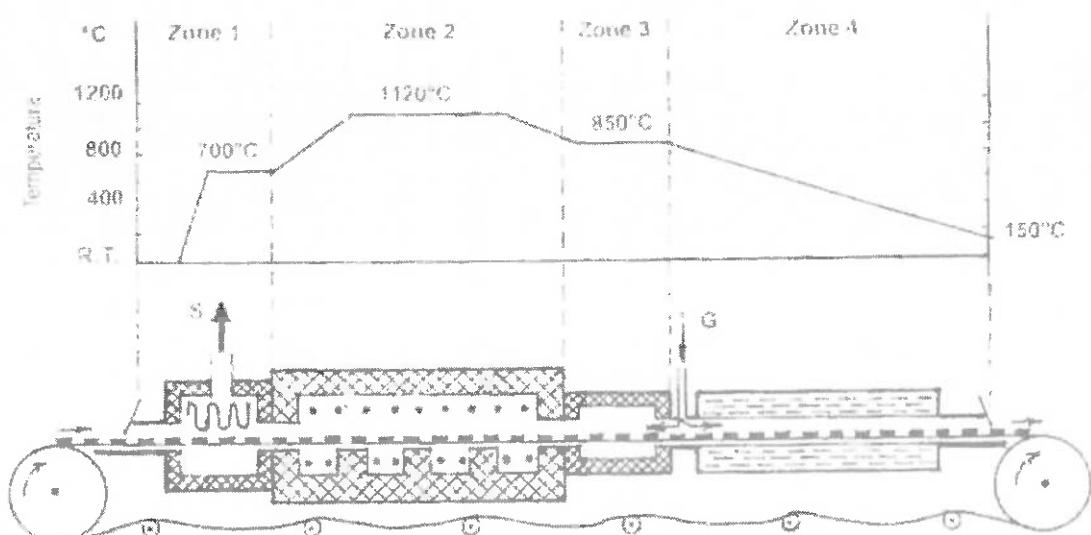
Influencia da adição de cobre e grafite e das diferentes temperaturas de sinterização, na resistência a tração e nas variações dimensionais

Compactação: o processo de compactação é o responsável por dar forma à peça, além de ser muito importante por influenciar as propriedades finais da mesma. Neste ponto é que fundamentalmente se define a dureza, o acabamento, densidade, peso, dimensões e etc, da peça. Alguns desses itens podem ser futuramente alterados com outros processos, porém isso agrega mais custos e tempo de trabalho. Aqui se pode explorar varias possibilidades e definir variáveis importantes para melhoria de todo o processo.



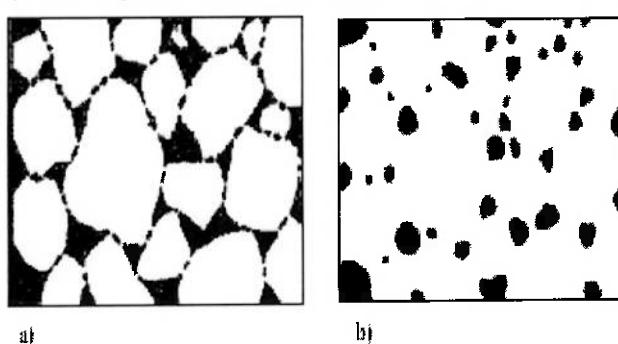
Ciclo de compactação. a) molde preenchido com pó; b) e c) inicio do movimento; d) compactação; e), f), g) e h) expulsão e ejeção da peça

Sinterização: Nesta etapa as peças compactadas (peças verdes) são passadas por um forno, a uma temperatura de 1120°C a fim de ganhar resistência mecânica. Após esta etapa as peças ganham uma dureza elevada e teoricamente estão prontas para seu uso final. Esta etapa também não será focada por nosso estudo.



Zona 1= Quemado de lubricante, 2= Sinterização, 3= Recarburação, 4= Enfriamiento
G= Entrada de gas, S= Sonda de fumos y gases

Representação esquemática de um forno de sinterização



Grãos de aço antes da sinterização (a) e depois (b)

Basicamente esses três processos compõem o processo de fabricação de um sinterizado. Contudo, a maior parte das peças sinterizadas passam por outros processos que influem muito na aplicação da peça final, tornando necessário um estudo direcionado também. Os processos extras são:

- **Re-compressão e calibragem:** Este processo pode alterar a dureza, densidade e dimensões da peça sinterizada. Ele consiste em passar a peça por outra prensa a fim de dar as propriedades desejadas, porém aqui se aplicam algumas limitações. Certos valores não podem ser alcançados na re-compressão, como aumentar um diâmetro, aumentar muito a densidade e dureza, diminuir muito uma dimensão, etc. As peças que passam por este processo sofrem de um efeito chamado “spring-back”, que consiste em uma volta da peça ao seu estado inicial. Isto ocorre porque a deformação neste processo é elasto-plástica. Este processo pode ser incluído no nosso estudo.
- **Ferrox:** Processo onde a peça recebe um tratamento antiferrugem. A peça é exposta a uma atmosfera de vapor e é oxidada de maneira controlada, ganhando uma camada superficial protetora. Este processo também aumenta a dureza da peça e pode ser incluído no nosso estudo.
- **Tratamento térmico:** Consiste em dar uma têmpera na peça já sinterizada, alterando sua dureza algumas outras propriedades. Não pode ser feito em todas as peças e alguns fornos já dão este tratamento no final da sinterização. Este processo não será estudado de maneira particular, porém pode ser utilizado para o estudo geral do processo.
- **Impregnação de óleo:** aqui a peça é banhada com óleo a fim de proteger e lubrificar. Algumas peças (como por exemplo, mancais lubrificantes) necessitam deste processo para sua utilização. Este processo não será objeto do nosso estudo.

Vários outros processos são utilizados, mas devido a complexidade que nosso estudo adquiriria e devido a utilização muito específica serão desprezados.

Síntese de Soluções

ETAPAS		A	B	C
forma de compactação	pressão	baixa	baixa	alta
	tipo de máquina	leve	leve	robusta
	quantidade de pó	normal	pouca	normal
	tipo de ferramenta	simples	simples	múltipla
peça	otimização da geometria	não	sim	não
recalibragem		sim	não	sim
usinagem		não	não	sim
forno	tempo	mínimo	médio	máximo
	tipo	com efeitos	com efeitos	sem efeitos
ferrox		não	sim	sim

Forma de compactação:

Utilizamos quatro variáveis para esta etapa, são elas:

- **Pressão** – a pressão utilizada influi diretamente na dureza final da peça e sua resistência em verde (resistência que a peça tem ao ser transportada da compactação até a sinterização). Quanto maior a pressão, maior a dureza, a resistência em verde da peça e a facilidade da peça sair do molde da máquina. Contudo, com o aumento da pressão, o desgaste da ferramenta e da máquina aumenta, o consumo elétrico também e a densidade da peça fica menos homogênea (a densidade da peça fica maior na parte externa, perto da área onde a ferramenta atua diretamente, e diminuiu no interior). Outro problema é que após um certo ponto, o aumento de pressão não aumenta mais a dureza da peça, só colabora com o desgaste geral da máquina e do ferramental.

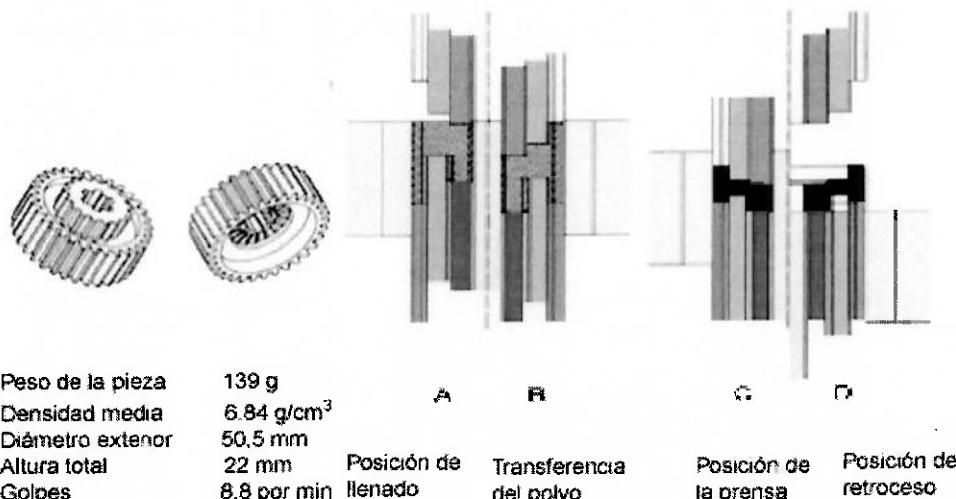
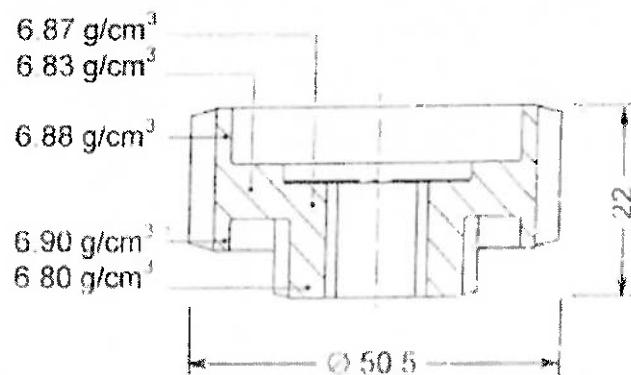


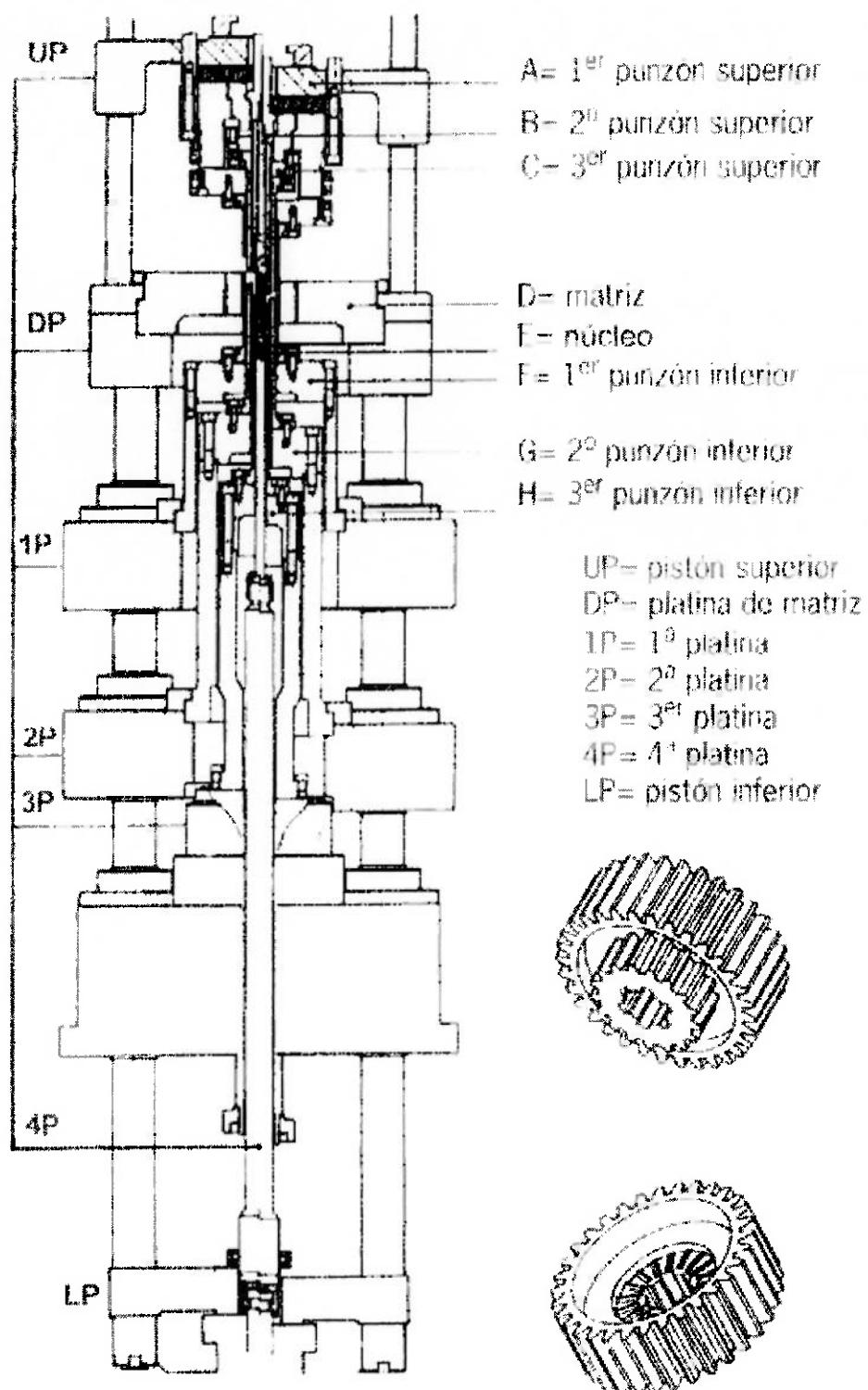
Figura 5.12 Cuatro etapas en la compactación de un doble engranaje con estriado interno en un adaptador multi-plato, tipo DORST MPA/H 140. [5.2]



Demonstração da variação (baixa) da densidade para uma ferramenta de sete estágios, a baixa pressão

- **Tipo de máquina** – o tipo de máquina é importante, pois dependendo da capacidade dela, o consumo vai ser maior ou menor, o tempo de compactação também e o custo do ferramental e da manutenção também (máquinas maiores têm que ter ferramentais maiores e, portanto mais caros).
- **Quantidade de pó** – a quantidade de pó influí na densidade da peça, que por sua vez influí na dureza, resistência e porosidade.
- **Tipo de ferramenta** – a ferramenta pode ser do tipo simples ou múltipla. A ferramenta simples executa apenas uma compactação em

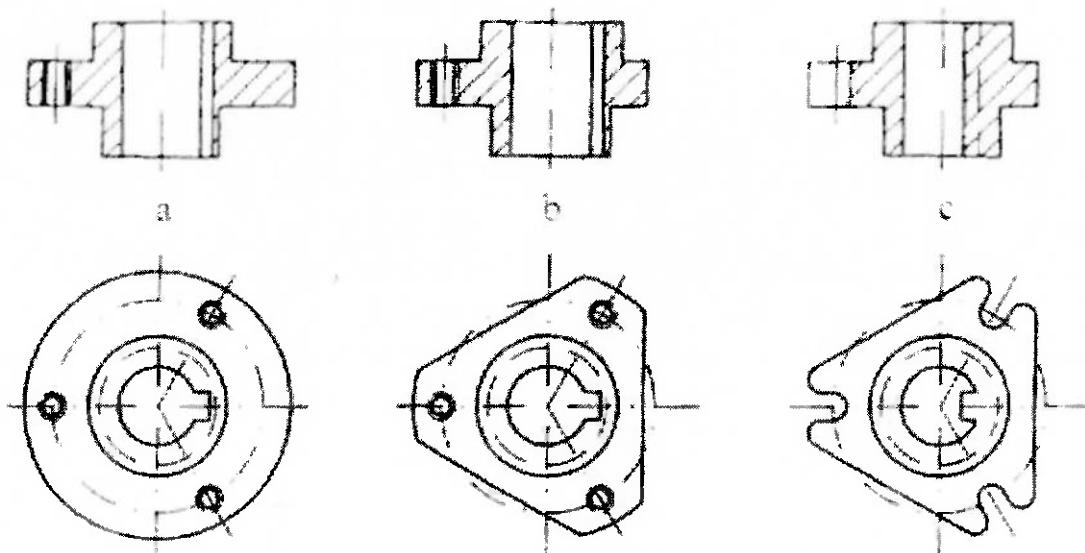
um ciclo da máquina. As ferramentas múltiplas executam de 2 a 4 (algumas até mais) compactações na mesma peça, em um ciclo da máquina, porém isso implica em várias ferramentas e porta ferramentas, além do aumento de tempo da compactação, do consumo de energia, do desgaste da máquina e da dificuldade de retirar a peça da máquina.



Exemplo de ferramenta de 7 fases

Peça

- **Otimização da geometria** – alguns tipos de peça permitem otimização da geometria, diminuindo o peso da peça (e consequentemente a quantidade de matéria prima). Para isso utilizam-se raios, furos e alívios em geral.



Exemplo de melhoria de geometria

Recalibragem

O ideal é eliminar esta etapa, o risco, porém, é a perda da precisão geométrica da peça (diâmetros, furos, etc). Uma vantagem da recalibragem é poder aumentar a dureza da peça mesmo depois de sinterizada. Para que se elimine esta etapa, é necessário usar uma mistura que varie pouco durante a sinterização, fazer estudos profundos para cada peça e sua mistura, com ênfase na variação dimensional e ter um controle rigoroso de todas as etapas.

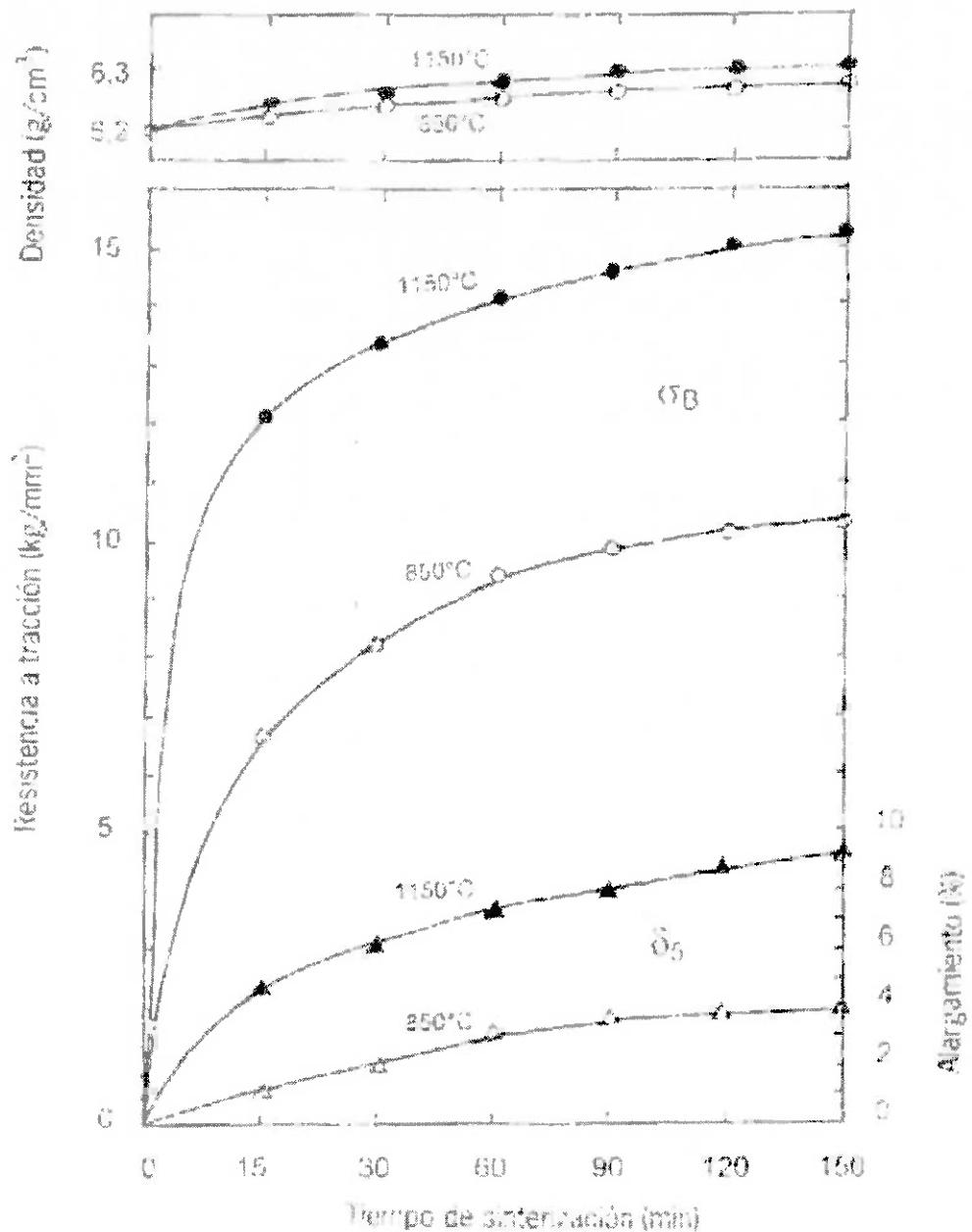
Usinagem

Esta etapa também teria que ser totalmente eliminada pois adiciona um custo desnecessário na peça, devendo-se alterar a ferramenta. Alguns casos, porém são inevitáveis, como peças com rosca.

Forno

- **Tempo** – o tempo de forno altera a dureza da peça e os custos.

Quanto menor o tempo de forno, menor é o gasto com eletricidade e o tempo geral do processo, porém a peça pode não sinterizar completamente ou uniformemente. Com isso pode-se até tornar um material muito duro em mais maleável.



Resistência a tração da peça, densidade e variação dimensional conforme o tempo de sinterização

- **Tipo de forno** – Dependendo do tipo de forno pode-se conseguir alguns tipos de efeitos (aumento extra de dureza, proteção corrosiva), variando-se a atmosfera do forno. Também existem alguns fornos que podem fazer têmpera na peça automaticamente. Quanto mais efeitos, mais caro o forno e mais caro o seu tempo de funcionamento.

Ferrox

O ferrox pode ser eliminado em alguns casos, porém normalmente é desejado. Ele aumenta a dureza superficial da peça, aumenta por volta de um centésimo de milímetro as medidas da peça e protege contra corrosão.

Matriz de Decisão

Atributo	Peso	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Nota	n x p	Nota	n x p	Nota	n x p
Dureza	0,10	5	0,5	6	0,6	10	1
Custo	0,15	5	0,75	9	1,35	2	0,3
Acabamento	0,05	7	0,35	4	0,2	10	0,5
Precisão	0,15	7	1,05	6	0,9	8	1,2
Mistura	0,05	8	0,4	2	0,1	3	0,15
Ferramental	0,15	8	1,2	10	1,5	1	0,15
Tempo	0,10	7	0,7	9	0,9	1	0,1
Manutenção	0,05	8	0,4	10	0,5	1	0,05
Segurança/Durabilidade	0,20	8	1,6	7	1,4	7	1,4
Soma	1,00	-	6,95	-	7,45	-	4,85

Através da matriz de decisão pudemos ver que a melhor alternativa é a B. A alternativa B representa uma escolha mais racional, equilibrando todos os fatores, de forma a otimizar o processo, utilizando apenas os recursos imprescindíveis. Na alternativa C, utiliza-se todos os recursos disponíveis, conseguindo-se uma boa qualidade, porém a custos excessivos. Finalmente na alternativa A foi tentado combinar melhor todas as etapas do processo, porém o resultado obtido não foi satisfatório, deixando um pouco a desejar em comparação a alternativa B.

A alternativa escolhida prioriza o custo, tipo de ferramental, o tempo e a manutenção. Tem um bom desempenho em dureza, precisão, segurança e durabilidade, deixando a desejar apenas no acabamento e na variedade de misturas que podem ser utilizadas.

No quesito custo, a nossa alternativa utiliza-se de máquinas menos robustas sempre que possível, minimizando o preço do ferramental e o da hora de produção. Também influencia na manutenção da máquina, pois este é mais baixo se comparado com a de máquinas mais robustas, alem de serem mais ágeis (produzem mais peças por hora). O único porem desta alternativa é o custo da matéria prima que não pode ser muito flexível, pois para atingirmos os resultados desejados é necessário o uso de uma matéria prima mais estável (menores variações dimensionais e dureza controlada). Esse fato pode ser compensado pela otimização da quantidade de pó utilizado, uma vez que a matéria prima utilizada irá garantir os índices de densidade e dureza desejados. Além disso, com a otimização da geometria e das tolerâncias, pode-se obter uma peça mais leve e com as mesmas qualidades funcionais. O custo do forno (neste caso utiliza-se um forno mais caro, com controle mais preciso de temperatura e que pode dar alguns tratamentos às peças) pode ser compensado pelo tempo otimizado de passagem das peças e a economia que se alcançará retirando-se varias etapas posteriores.

O tipo de ferramental nesta alternativa é menos robusto por se tratar de máquinas mais leves. Também, por ter sido escolhido um ferramental simples, (todas as operações são feitas juntas, em uma só etapa) implica em manutenções mais simples e baratas, além de um tempo menor na produção das peças (com um ferramental simples pode-se fazer peças em 2 a 5 segundos, enquanto com um ferramental múltiplo este tempo pode chegar a 40 segundos) e do setup da máquina.

Nesta configuração, a dureza alcançada é boa, porém fica limitada pelo tipo de prensa. Em compensação, por utilizarmos uma matéria prima de maior qualidade, esta garante a dureza necessária para um bom desempenho da peça. Também, com a ferro-oxidação, a dureza superficial da peça é aumentada, criando uma camada protetora.

A precisão alcançada é satisfatória, desde que não se precise de tolerâncias muito pequenas. Isto também é alcançado pelo uso da matéria prima que tem um spring-back pequeno e pelo forno que garante uma boa

sinterização (tem um bom controle e distribuição de temperatura) nas condições necessárias. Caso sejam necessárias tolerâncias muito pequenas, mesmo utilizando-se uma boa matéria prima, a etapa de calibragem torna-se indispensável para garantir estas tolerâncias. Esta etapa aumentaria muito os custos, pois seria necessário outras prensas para calibragem, alem do ferramental para elas. Em alguns casos, as peças também teriam que ser feitas com sobre-material, para que no processo de calibragem possam alcançar as medidas necessárias. Felizmente, essas tolerâncias só são necessárias numa minoria das peças, o que viabiliza a não utilização do processo de calibragem.

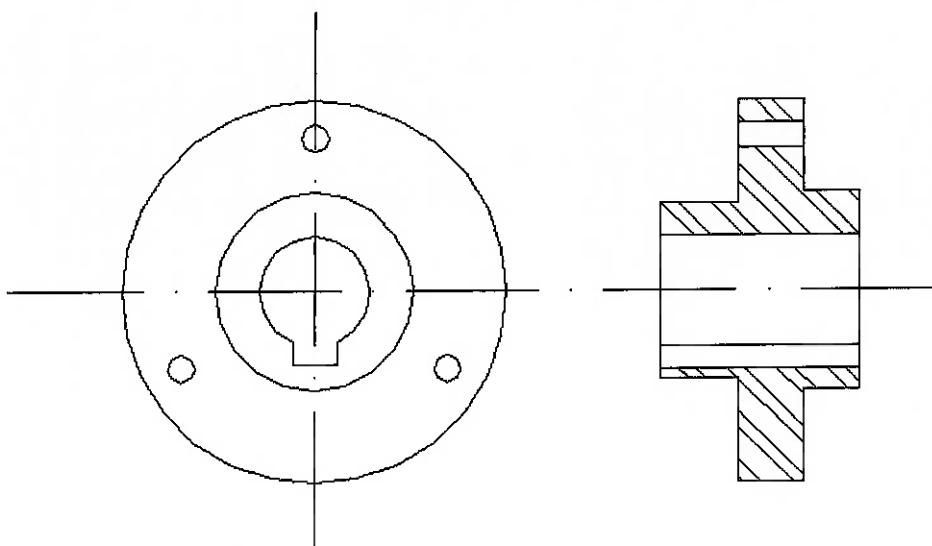
Quanto a sua durabilidade e segurança, esta alternativa tem um bom desempenho, atendendo as necessidades da maioria das aplicações.

O acabamento é aceitável, mas não pode ser comparado com os de peças que tenham passado por processos de calibragem, usinagem e tamboreamento. Contudo, esse fato é compensado pela economia alcançada.

Na próxima etapa deste projeto, iremos desenvolver uma peça da maneira tradicional e depois otimizá-la de acordo com estas etapas. Feito isso, analisaremos cada etapa e faremos uma comparação da peça antes e depois do processo de otimização.

PROJETO BÁSICO

Neste projeto básico iremos nos basear em um acoplamento tipo cubo de roda e desenvolveremos as otimizações em cima das características mais exigidas.

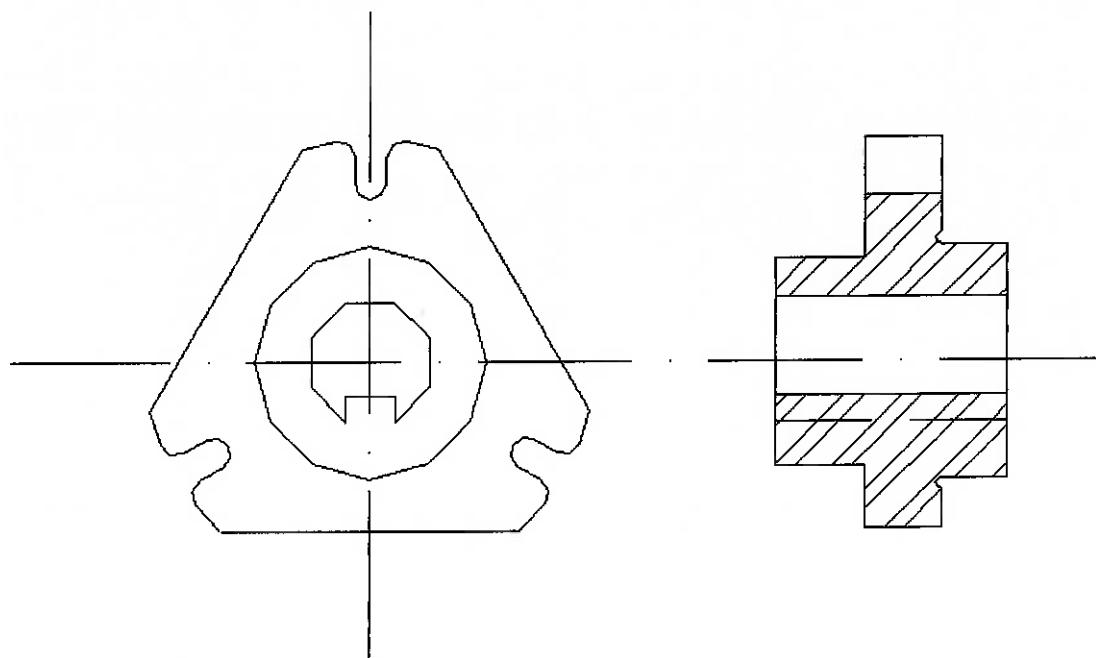


Em um acoplamento deste tipo, é importante o perfeito encaixe entre o cubo e o eixo (ou ponta de eixo), que a roda esteja perfeitamente assentada e que a flange resista aos esforços gerados pela transmissão de movimento do eixo para a roda.

A primeira otimização que fizemos foi geométrica, tirando o excesso de material da flange, embutindo a chaveta no cubo e trocando a posição do canal que garantia o perfeito assentamento da roda no cubo. Essa otimização permitiu que a chaveta (antes feita separadamente) fosse abolida e eliminou o processo de usinagem do canal, uma vez que o canal pode ser feito na ferramenta (anteriormente era impossível fazer este canal pelo processo de sinterização).

A mudança na flange pode ser feita seguramente pois as partes eliminadas não contribuem na resistência da peça e a área restante é suficiente para apoiar a roda.

Em termos de custos, essa alteração permitiu uma redução no peso da peça, diminuindo o consumo de matéria-prima. Também diminuiu uma etapa do processo da peça (usinagem), retirando um custo agregado desnecessário e reduziu o tempo de montagem, pois a chaveta já se encontra embutida no cubo.



Com a escolha do pó correto, por exemplo, um Distaloy DC-1 ou uma liga com propriedades similares, podemos garantir uma densidade, resistência e precisão adequadas para este tipo de peça, mesmo com uma só operação de compactação utilizando máquinas mais leves e operando a pressões mais baixas. Para este perfil de peça podemos escolher uma ferramenta simples, com extração sem mola (para não haver riscos de danificar a flange). A quantidade de pó também foi ajustada para evitar que as diferentes seções da peça tenham densidades muito destoantes, evitando assim áreas de maior fragilidade.

Outra etapa que pode ser eliminada é a calibragem, pois pela liga que esta sendo usada podemos obter uma variação dimensional muito pequena, suficiente para a tolerância da maioria dos casos (exceto talvez para a indústria automobilística).

O tempo de forno também pode ser otimizado, através de testes de diferentes lotes passados a diferentes velocidades. Com isso pode se verificar como as propriedades (dureza e dimensões) da peça variam de acordo com o tempo de forno e deixá-las somente o tempo necessário. O forno também pode fazer a tempera da peça caso precise de uma dureza mais elevada, tudo isso na mesma operação.

Por fim, é dado um tratamento de ferrox, visando a proteção da peça e o aumento da dureza superficial.

De acordo com os teste feitos em outras peças, pudemos concluir que essas operações são possíveis e que os resultados são alcançáveis, sem comprometer a funcionalidade da peça. Estes testes foram feitos em diferentes tipos de peças e agrupados segundo perfis, material e tipo de maquinário de forma que se possa ter uma noção do comportamento da peça, porem os resultados definitivos só podem ser averiguados com a própria peça. Isso ocorre porque por menor que seja a mudança na geometria da peça o resultado obtido será comprometido, sendo assim, o lote piloto é utilizado para definir estes parâmetros, a capacidade e a qualidade alcançada.

Basicamente, os testes que são feitos nas peças são a densidade, dureza, homogeneidade da compactação e pontos críticos, definidos pelo cliente. Esses testes são feitos após cada etapa para se ter uma noção de como cada uma delas afeta o resultado final. Ao final, é montado um relatório com o progresso da peça que é utilizado para comparar ao resultado de outras peças, podendo-se definir os parâmetros finais de produção.

Baseado nesses estudos e nos gráficos dos materiais, levantamos os possíveis resultados, para o material Distaloy DC-1:

	Tempo de Forno (min)					
	15	30	60	90	120	150
Corpo de Prova						
Densidade (g/cm ³)	6,24	6,25	6,27	6,29	6,3	6,3
Springback (%)	0,25	0,55	0,75	1	1,5	2
Resistência (kg/mm ²)	12	13	14	14,5	14,9	15,2
Bucha						
Densidade	6,24	6,25	6,27	6,29	6,3	6,3
Springback	0,3	0,55	0,9	1,1	1,65	2,1
Resistência	8	9	10	10,5	10,9	11,2
Cubo						
Densidade	6,24	6,25	6,27	6,29	6,3	6,3
Springback	0,3	0,55	0,9	1,1	1,65	2,1
Resistência	8	9	10	10,5	10,9	11,2
Flange						
Densidade	6,27	6,28	6,3	6,31	6,33	6,33
Springback	0,25	0,55	0,75	1	1,5	2
Resistência	-	-	-	-	-	-

Material: Distaloy DC-1

Diâmetro (corpo de prova, bucha e cubo): 25 mm

Diâmetro flange: 35mm

Para fazer a comparação, utilizamos os dados levantados para um corpo de prova (cilindro maciço) e uma bucha cilíndrica, para então correlacionar os resultados da bucha ao cubo e o da flange a uma arruela (nestes quesitos, a arruela tem um comportamento praticamente igual ao do corpo de prova). A flange apresentou uma maior densidade que o cubo, por experiência prática, pois as flanges estudadas sempre apresentam uma densidade levemente superior que o corpo. A resistência da flange não foi computada por não ser relevante neste estudo (seria mais interessante saber a resistência a torção ou a dureza, que só podem ser determinadas na prática ou por um software de simulação).

Algumas dificuldades foram encontradas para transferir os arquivos de simulação das peças de um programa para outro, porém este fato esta sendo contornado com a criação de um novo padrão de arquivo. Esse padrão, chamado ISO, irá unificar os arquivos de transferência, tornando possível que um arquivo criado em um programa qualquer possa ser aberto em outro, sem perdas ou necessidade de conversões demoradas. Com isso, ganha-se agilidade e maleabilidade no projeto, uma vez que não se ficará mais preso a programas específicos e não será mais necessário gastar horas em treinamento ou desenvolvimento de ferramentas para transferência.

4. Bibliografia

Araújo, G. A. de. **Sistema de apoio à decisão na escolha de condições operacionais para processos de usinagem.** São Paulo, 1997

Ugulino, A. O. **Estudo para otimização de desempenho de plantas industriais automatizadas.** São Paulo, 1999.

Paiva, F S. **Sistema de planejamento de atividades de uma célula de montagem :pacem.** São Paulo : Sucesu/Abcpai/Sbi, 1992.

Bianchi, R A C. **Integração de um sistema de planejamento de atividades numa célula de montagem.** Curitiba : Cefet/Sba, 1995.

Costa, R P da. **Proposta de modelo e implementação de um sistema de apoio à decisão em pequenas indústrias.** São Paulo, 1998

Lahterman, S. **Repensando a gestão da linha de produtos manufaturados de uma empresa fabricante de cabos.** São Paulo, 1994

Harvard Bussines Review. **Reestruturação, Modelos e Estratégia.** Abril 2002 – Editora Abril

Courtney, H G; Kirkland, J and Viguerie, S P. **Strategy Under Uncertainty.** The McKinsey Quarterly, 2000 Number 3 Strategy

Johnston, Robert; Slack, Nigel; Chamber, Stuart; Harland, Christin; Harrison, Allen. **Administração da Produção.** 1^a Edição. Editora Atlas. São Paulo, 1995

Davis, M, Aquiliano, N., Chase, R. **Fundamentos da Administração da Produção.** Porto Alegre, 2001.

Moreira, Daniel A.O. **Dimensões do Desempenho em Manufatura e Serviços**

Kaminski, Paulo C. **Desenvolvendo Produtos com Planejamento, Criatividade e Qualidade**, Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000.

Manual Höganäs para componentes sinterizados, Höganäs International, 2000

5. Anexos

Anexo 1 – Tipos e misturas de pó de ferro

Existem vários tipos de pó de ferro, feitos de maneiras diferentes e com granulações diferentes. Essa diferenciação permite uma flexibilidade maior para atender as especificações do produto. Contudo, neste caso, iremos apresentar algumas apenas ligas comerciais (as ligas podem ser feitas na própria fábrica, caso a especificação desejada não seja encontrada normalmente no mercado) e suas diferentes propriedades. Uma informação interessante é que as misturas tem em sua composição pós lubrificantes, essenciais para o bom funcionamento da máquina e escoagem do pó no durante o preenchimento do molde.¹

Tipos de pó de ferro

NC100.24

É o tipo mais utilizado na fabricação de componentes sinterizados. Devido a sua superfície irregular e a sua estrutura esponjosa de suas partículas, tem uma elevada resistência verde e graças aos seus baixos teores de oxigênio e carbono possui uma boa compressibilidade.

SC100.26

É o pó de melhor compressibilidade. Sua resistência verde é ligeiramente inferior e sua densidade aparente ligeiramente superior ao do NC100.24. É muito útil quando se quer ter uma alta densidade com uma única operação de compressão.

MH80.23

Este pó foi especialmente desenhado para satisfazer os requisitos das buchas autolubrificantes. Os tamanhos das partículas são escolhidos para que se tenha uma estrutura porosa ótima para esta aplicação. Pode-se inclusive adicionar pequenas quantidades de outros pós para se melhorar a sua resistência verde.

¹ Especificações e tipos de pó retiradas do manual Höganäs, principal produtora de pó de ferro

ASC100.29

É um pó de ferro atomizado por água, que graças a sua alta pureza e estrutura de partícula compacta tem uma compressibilidade muito elevada. Este pó pode ser prensado em uma só operação e com uma pressão mediana atinge densidades de elevadas.

ABC100.30

É um pó de ferro atomizado por água de compressibilidade e pureza química excepcionais. É adequado pra produzir peças de altíssimas densidades com apenas uma operação de prensagem. Também é ideal em aplicações que requeiram propriedades magnéticas.

Ligas de ferro comerciais

Astaloy A

É um pó de aço atomizado com água e com 1,90% de Níquel, 0,5% Molibdênio e 0,25% de Manganês. É destinado para forjas, mas também é indicado para estruturas prensadas e sinterizadas. Tem uma ótima temperabilidade e pode ser usado tanto em peças que precisem ter sua superfície endurecida com em peças de tolerâncias críticas.

Astaloy Mo

É um pó de aço atomizado com água e ligado com 1,5% de Molibdênio. Possui uma elevada compressibilidade, possui uma microestrutura homogênea depois de sinterizado e tem uma temperabilidade ótima. Este fato faz com que seja a escolha certa caso se queira uma elevada dureza superficial e uma boa tenacidade no interior da peça.

Distaloy SA

Se baseia num pó de ferro SC100.26 que se une por difusão aos ligantes: 1,75% de Níquel, 1,5% de Cobre e 0,5% de Molibdênio. É recomendado para se alcançar densidades médias com apenas uma operação de prensagem. Se adicionar grafite pode-se ter boa resistência e peças que respondam bem a tratamentos térmicos.

Distaloy SE

Se baseia também no ferro SC100.26, porém contém 4% de Níquel, 1,5% de Cobre e 0,5% de Molibdênio. Devido a sua alta quantidade de Níquel, possui maior temperabilidade que o Distaloy SA e é especialmente projetado para grandes peças que necessitem de tratamentos térmicos.

Distaloy DC-1 (DC = Controle Dimensional)

Se baseia em Astaloy Mo, adicionado de 2% de Níquel. As peças compactadas com este pó, adicionando-se grafite, têm elevada resistência e uma variação dimensional muito pequena, independente da densidade de compactação. Além disso, responde bem a tratamentos térmicos.

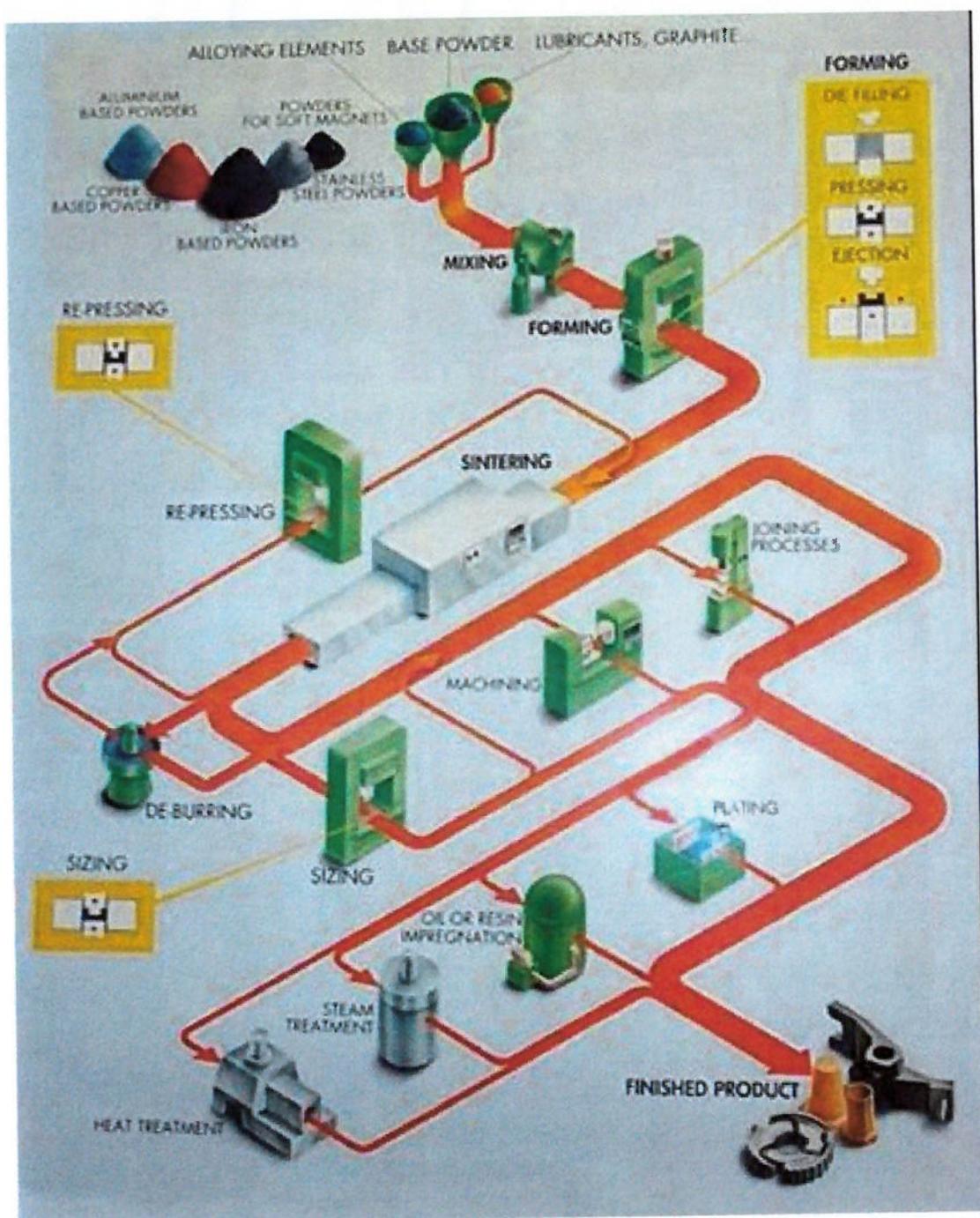
Distaloy DH-1 (DH = Temperabilidade Direta)

Também se baseia em Astaloy Mo, adicionado 2% de Cobre. As peças compactadas com este pó, adicionando-se grafite, podem ser temperadas diretamente da sinterização e apresentam uma pequena variação dimensional.

Distaloy HP-1 (HP = Pressões Elevadas)

Se baseia em Astaloy Mo, com 4% de Níquel e 2% de Cobre. As peças compactadas com este pó, adicionando-se grafite, apresentam variações dimensionais perto de zero e resistência muito elevada.

Anexo 2 – Esquema do processo de sinterização



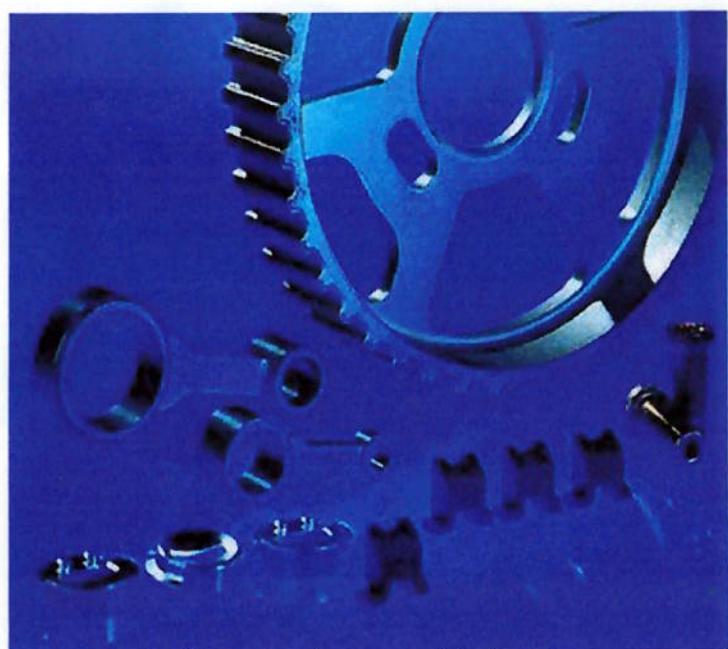
Anexo 3 – Exemplo de peças



Exemplo de peça sinterizada (3 vistas, pistão de amortecedor, feito com ferramenta simples)



Peça com tratamento de Ferrox (pistão de amortecedor)



Exemplos de peças sinterizadas



Exemplos de peças sinterizadas (MIM)