LABORATÓRIO DE MÁQUINAS FERRAMENTAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

APLICAÇÕES DA TECNOLOGIA DE GRUPO

PARA

MAIOR PRODUTIVIDADE NA FABRICAÇÃO

DEDALUS - Acervo - EESC

DR. INYONG HAM

Tradução de: EDUARDO VILA GONÇALVES FILHO

SÃO CARLOS - 1987
Publicação 058/87

EESC-USP

APLICAÇÕES DA TECNOLOGIA DE GRUPO

PARA

MAIOR PRODUTIVIDADE NA FABRICAÇÃO

POR
DR. INYONG HAM
PROFESSOR OF INDUSTRIAL ENGINEERING
DEPT. OF INDUSTRIAL & MANAGEMENT SYSTEMS ENGINEERING
THE PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY
UNIVERSITY PARK, PA 16802
U.S.A.

TRADUZIDO POR EDUARDO V. GONÇALVES Fº
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPTO. DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE MÁQUINAS FERRAMENTAS

** UMA PARTE DESTE MANUAL FOI RETIRADA DO CAPÍTULO SOBRE "TECNOLOGIA DE GRUPO", ESCRITO POR I. HAM, DO INDUSTRIAL ENGINEERING HANDBOOK A SER PUBLICADO POR JOHN WILEY & SONS, INC. PUBLISHERS, COM A PERMISSÃO DELES.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO
   1.1 Conceito Básico
   1.2 Histórico
   1.3 Áreas Principais de Aplicação
   1.4 Tendências Atuais e Aspectos Futuros

2. FORMAÇÃO DE FAMÍLIAS DE PEÇAS E AGRUPAMENTO DE MÁQUINAS
   2.1 Métodos e Procedimentos
   2.2 Análise de Fluxo da Produção
   2.3 Sistemas de Classificação e Codificação
   2.4 Layout de Célula

3. SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO
   3.1 Tipos e Características
   3.2 Requisitos Básicos
   3.3 Avaliação Comparativa

4. RACIONALIZAÇÃO DO PROJETO
   4.1 Recuperação de Dados de Projeto
   4.2 Padronização

5. FERRAMENTAL DE GRUPO
   5.1 Componente Composto
   5.2 Projeto e Montagem do Ferramental de Grupo

6. PROGRAMAÇÃO DE GRUPO
   6.1 Conceito Básico
   6.2 Algorítmos para a Programação de Grupo
      6.2.1 Sequenciamento ótimo para uma única Família de Peças
      6.2.2 Sequenciamento ótimo para um Conjunto de Famílias de Peças
      6.2.3 Análise de Carga de Máquina
   6.3 Aplicações Integradas com MRP

7. A FABRICAÇÃO ASSISTIDA POR COMPUTADOR E A TECNOLOGIA DE GRUPO
   7.1 Fabricação Assistida por Computador
   7.2 Planejamento do Processo Assistido por Computador
   7.3 Programação CN-T.G.
   7.4 Sistemas de Fabricação Multi-Estações e Centros de Usinagem

8. ECONOMIAS DA TECNOLOGIA DE GRUPO
8.1 Justificativa e Benefícios Econômicos
8.2 Análise Comparativa de Custo
8.2.1 Custos de Ferramental de Grupo
8.2.2 Custos da Usinagem em Grupo
8.2.3 Custos de Preparação para um Grupo

9. PROBLEMAS ADMINISTRATIVOS
9.1 Problemas com Pessoal
9.2 Avaliação para a Implantação

REFERÊNCIAS

APÊNDICES

APLICAÇÕES DA TECNOLOGIA DE GRUPO PARA MAIOR PRODUTIVIDADE NA FABRICAÇÃO

por

INYONG HAM

Professor of Industrial Engineering
Department of Industrial & Management Systems Engineering
The Pennsylvania State University

1. INTRODUÇÃO

1.1. Conceito básico

Cada vez mais as indústrias mecânicas envolvidas com variedade de produtos e lotes de pequenas quantidades estão se interessando pela Tecnologia de Grupo, que é particularmente aplicável na área da manufatura à base de lotes. Também tem sido reconhecido que a Tecnologia de Grupo é um elemento básico e essencial para o desenvolvimento e implantação da fabricação assistida por computador (CAM) através da aplicação do conceito de família de peças.

A Tecnologia de Grupo é geralmente considerada ser uma técnica ou filosofia de fabricação que identifica e explora a semelhança ou similaridade de peças e operações de processos no projeto e fabricação. Na fabricação à base de lotes, tradicionalmente cada peça tem sido tratada como sendo única no projeto, no planejamento do processo, no controle da produção, ferramental, produção, etc. Entretanto, pelo agrupamento de peças similares dentro de famílias de peças, baseado em ambos, suas características geométricas ou operações, como mostrado na figura 1, e também se possível formando grupos de máquinas ou células que processam as famílias de peças designadas, é possível reduzir custos através: de uma racionalização de projeto mais efetiva e de uma recuperação de dados de projetos; menores estoques e compras ; planejamento de processo e controle da produção simplificados e melhorados; redução de ferramental e de tempos de preparação de máquinas; produção com semi-linha de produção através de grupos ou células de máquinas; menor inventário em processo; redução do tempo total de produção; redução de programação de CN; e utilização mais eficiente das caras máquinas de CN e centros de usinagem; etc.

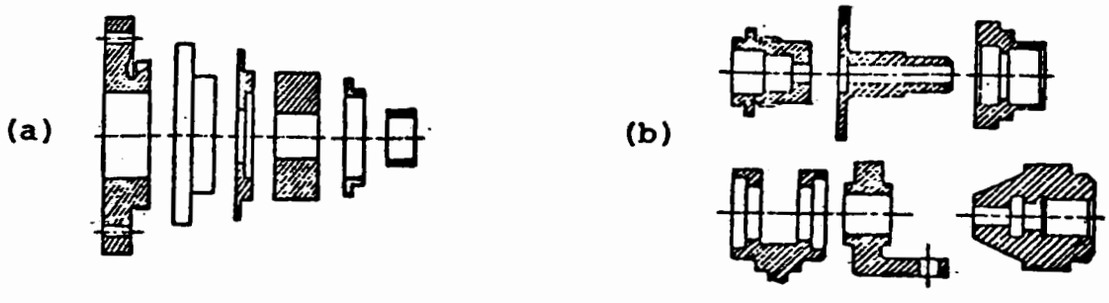


Fig. 1: Exemplos de famílias de peças: (a) similares na forma e geometria, e (b) similares nas operações de usinagem.

1.2. Histórico

O conceito básico da Tecnologia de Grupo tem sido praticado por muitos anos como parte de "BOA PRÁTICA EM ENGENHARIA" ou "ADMINISTRAÇÃO CIENTÍFICA". Por exemplo um sistema de classificação e codificação desenvolvido por F. W. TAYLOR (1) para a formação de famílias de peças foi usado na fabricação já no começo desse século. Através dos anos muitas companhias projetaram seus próprios sistemas de classificação e codificação e os tem usado em várias áreas tais como projeto, materiais, ferramentas, etc. Existem numerosos exemplos de grupos ou células de máquinas, ferramental em grupo, programação e agrupamento em famílias de peças, etc., que tem estado em prática por muitos anos em vários setores da indústria. Essas práticas e aplicações dos conceitos da Tecnologia de Grupo foram, em muitos casos, identificados sob diferentes nomes e em várias formas nas funções do projeto, fabricação e administração.

No mundo todo, a Tecnologia de Grupo tem sido praticada em várias formas e intensidades desde há muitos anos. Muitos países tomaram um interesse em Tecnologia de Grupo nos anos de 50 e 60. Naquele tempo vários sistemas de classificação e codificação foram desenvolvidos, conceitos de células de máquinas foram praticados e muitas práticas excelentes de ferramental em grupo foram relatadas. Até recentemente, a Tecnologia de Grupo não tinha recebido um reconhecimento formal e não tinha sido rigorosamente praticada como uma tecnologia científica sistemática. Recentemente, as indústrias manufatureiras avançadas parecem estar sofrendo uma revolução com relação a melhoria de sua produtividade de fabricação. Isto tem levado a um esforço intensificado em fabricação integrada a auxiliada por computador. Essas tendências atuais tem estimulado um forte e renovado interesse em Tecnologia de Grupo uma vez que ela proporciona os meios essenciais para maior produtividade de fabricação e para fabricação auxiliada por computador, por exemplo, planejamento do processo auxiliado por computador.

1.3. Áreas Principais de Aplicação

Uma das razões mais importantes para o aumento da produtividade de fabricação é a econômica. A manufatura contribui com a maior parte do produto nacional bruto dos modernos países industrializados. Apesar disso, a fabricação, embora normalmente considerada uma atividade altamente produtiva e eficiente, geralmente pode ainda ser significantemente melhorada. Isso é verdade especialmente em um ambiente de fabricação à base de lotes. O potencial para melhorias econômicas da fabricação, pela Tecnologia de Grupo, é não só atualmente tremendo, como também crescerá com o tempo.

A racionalização de várias atividades de engenharia, tais como recuperação de dados de projeto, seleção do processo, planejamento do processo, etc., pode ser prontamente alcançada pela implantação do conceito da Tecnologia de Grupo. Tem-se reconhecido o fato de que, na fabricação à base de lotes, maiores esforços devem ser feitos para um contínuo melho

ramento no inventário em processo e carga efetiva de máquina com o objetivo de conseguir maior produtividade. Novamente, a Tecnologia de Grupo proporciona um elemento chave para esse esforço.

1.4. Tendências Atuais e Aspectos Futuros

Com o objetivo de se obter maior produtividade desde o projeto até a fabricação, muitas indústrias, que são principalmente relacionadas à fabricação à base de lotes tem se tornado, cada vez mais interessadas na implantação da Tecnologia de Grupo para satisfazer suas necessidades. Muitas companhias industriais tem estado aplicando os princípios da Tecnologia de Grupo a seu próprio modo, embora em alguns casos não tivesse identificado como Tecnologia de Grupo mas simplesmente como boa prática em engenharia e administração científica efetiva. A implantação da Tecnologia de Grupo, em muitos casos, tem sido limitada principalmente à fabricação em células. Entretanto, recentemente mais companhias estão interessadas na aplicação dos conceitos da Tecnologia de Grupo como uma parte do sistema total das operações gerais da companhia desde o projeto até a fabricação.

Uma previsão do futuro dos avanços da tecnologia da produção feita pela University of Michigan (2) e pelo International Institute for Production Engineering Research (CIRP) (3), previram que aproximadamente de 50% a 75% das indústrias usarão os conceitos da Tecnologia de Grupo no período 1980-90. Esta previsão também prevê que a fábrica automatizada (computarizada) será uma realidade em muitas indústrias bem antes do fim deste século. É evidente que recentes inovações tecnológicas, tais como DNC, CNC, Centros de usinagem, robôs industriais, microprocessadores, etc., conduzirão a sistemas de fabricação integrados por computador mais automatizados envolvendo CAM, assegurando assim aplicações de T.G. mais integradas para uma fabricação ótima resultando em maior produtividade. Esse esforço relacionado à fabricação integrada assistida por computador (ICAM) é um procedimento positivo para se atingir aquele objetivo (4).

Um sistema de classificação de peças que é uma parte integrante da Tecnologia de Grupo e que tem sido usado como uma ferramenta essencial das aplicações da Tecnologia de Grupo, pode também ser utilizado como um meio de descrição de peças em uma forma que possa ser integrada facilmente dentro de uma estrutura de base de dados com computador que ligará projeto e produção. Além disso à medida que a evolução do ICAM conduza ao projeto e planejamento do processo generativos certos sistemas de classificação e codificação de peças tornar-se-ão uma parte integrante do sistema total envolvido com o ICAM.

A Tecnologia de Grupo é um desenvolvimento dinâmico e evolutivo que continua a expandir sua influência sobre os sistemas de fabricação. É evidente que o papel da Tecnologia de Grupo será certamente ampliado com os avanços mais inovativos na teoria e aplicação, não somente para a melhoria na produtividade em sistemas de fabricação convencionais à base de lotes como também para uma adaptação apropriada de sistema

CAM.

2. FORMAÇÃO DE FAMÍLIAS DE PEÇAS E AGRUPAMENTO DE MÁQUINAS

2.1. Métodos e Procedimentos

Uma família de peças pode ser definida como um grupo de peças que tem alguma semelhança e similaridades especificadas. Elas podem ter um formato geométrico similar ou elas podem repartir requisitos de processamento similares como mostrado na Figura 1. As peças podem ser dissimilares na forma, porém, podem ser agrupadas como uma família de peças por causa de algumas operações comuns de produção ou vice-versa. As peças são consideradas serem similares com relação às operações de produção quando as mesmas máquinas e processos são usados e o tipo, requisitos de sequência e ferramental são similares. No agrupamento das peças em famílias, o número de peças e sua frequência de fabricação deve ser levado em consideração. Quanto maior a similaridade de requisitos de fabricação e frequência do lote, mais efetivo é a formação da família de peças para aplicações práticas do conceito da Tecnologia de Grupo, na formação de grupos de máquinas ou células e na programação para sequenciamento e carregamento de máquina ótimo.

O agrupamento de peças similares dentro de famílias de peças é a chave da implantação da Tecnologia de Grupo. O problema que imediatamente se apresenta é como as peças podem ser eficientemente agrupadas dentro dessas famílias? Existem três métodos básicos usados para formar famílias:

a) Método visual

b) Análise do Fluxo da Produção

c) Sistemas de Classificação e Codificação

O primeiro método é obviamente muito simples, mas limitado em sua efetividade quando trabalhando com um número grande de peças. Em geral, os outros dois métodos são mais comumente usados na formação de famílias de peças e de grupos ou células de máquinas.

2.2. Análise do Fluxo da Produção

A Análise do Fluxo da Produção (5) é uma técnica para analisar a sequência de operações e o percurso da peça através das máquinas e estações de trabalho dentro da fábrica. As peças com rotas e operações comuns são agrupadas e identificadas como uma família de peças. Similarmente, as máquinas e estações de trabalho usadas para produzir as famílias de peças podem ser agrupadas para formar os grupos ou células de máquinas. Um exemplo de formação de famílias de peças através desse método é mostrado na Figura 2. Para um uso adequado desse método, deve-se assegurar que a indústria tenha uma fonte de dados confiável de folhas de rota e folhas de operações. Uma das desvantagens desse método é formar famílias de peças com ou sem o uso de um sistema de classificação e codificação, uma vez que ele forma as famílias de peças usando

os dados das folhas de operações ou de rotas. Existem algumas desvantagens na prática, devido à confiabilidade dos dados de produção e de processos existentes.

(a) Antes do agrupamento

MÁQUINA \ Nº PEÇA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T	x	x		x	x		x	x	x		x	x		x	x		x	x	x	x
FR_1	x	x	x		x	x	x		x		x		x	x		x				x
FR_2			x	x				x		x		x	x		x		x	x	x	
Fu	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x		x
R	x	x	x	x		x			x			x	x		x			x		x

(b) Após o agrupamento

MÁQUINA \ Nº PEÇA	1	2	20	7	11	14	9	5	4	18	12	8	17	15	19	3	13	6	16	10
T	x	x	x	x	x	x	x	x												
FR_1	x	x	x	x	x	x	x	x												
Fu	x	x	x	x	x	x														
R	x	x	x				x													
T									x	x	x	x	x	x	x					
FR_2									x	x	x	x	x	x	x					
Fu									x	x	x	x	x							
R									x	x	x			x						
FR_1																x	x	x	x	
FR_2																x	x			x
Fu																x	x	x	x	x
R																x	x	x		

T = Torno; FR = Fresadora; FU = Furadeira; R = Retificadora

Figura 2 - Famílias de peças e agrupamento de máquinas através da análise de fluxo da produção.

2.3. Sistemas de Classificação e Codificação

Um sistema de classificação e codificação proporciona um meio efetivo para a seleção de peças codificadas, na formação de famílias de peças, baseado nos parâmetros específicos do sistema, independentemente da origem ou uso das peças. Especialmente para aplicações de CAM, tal sistema se torna um requisito essencial para uma implantação efetiva dos conceitos da Tecnologia de Grupo.

"Classificação" implica no arranjo de itens dentro de grupos de acordo com algum sistema ou princípio pelo qual coisas parecidas são trazidas juntas em virtude de suas similaridades, e então separadas por uma diferença específica. Um "código" pode ser um sistema de símbolos usados no processamento da informação no qual números ou letras possuem um certo significado.

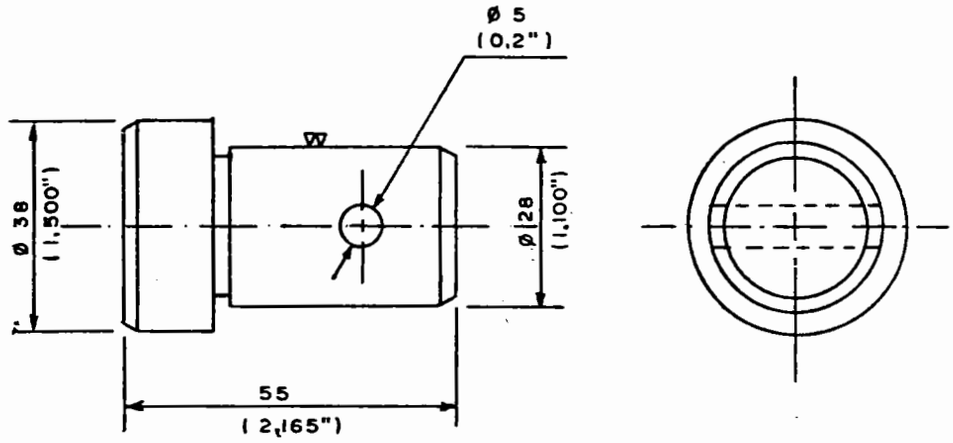
Muitas variedades de sistemas de classificação e codificação estão sendo desenvolvidos e usados pelo mundo. Um exemplo de uma peça codificada usando um sistema comercialmente disponível (6) é mostrado na Figura 3. A classificação e codificação para aplicações da Tecnologia de Grupo é um problema muito complexo, e embora muitos sistemas tenham sido desenvolvidos e incontáveis esforços tenham sido feitos para melhorá-los não existe ainda um sistema universalmente aceito. Uma vez que cada indústria tem suas condições e necessidades específicas, é necessário pesquisar por um sistema adequado que possa ser adaptado para as necessidades e requerimentos específicos da indústria. É essencial que um sistema adaptado seja usável por todos os departamentos interessados da indústria, incluindo projeto, planejamento e controle, fabricação assim como a administração.

Para aplicações da Tecnologia de Grupo um sistema de classificação e codificação bem projetado, baseado em parâmetros específicos, pode ser adequadopara agrupar as peças em famílias como necessitado. Um exemplo de tal agrupamento em família de peças, das peças mostradas na Figura 1(a) (usando um sistema de codificação adequado junto com os dados necessitados para a codificação), está mostrado na Figura 4.

2.4. Layout de Célula

Em geral, existem tres tipos básicos de layout de fábrica, a saber: (a) layout de linha, para produção em massa, (b) layout funcional e (c) layout de grupo. Na prática da Tecnologia de Grupo, um grupo de máquinas para a produção de uma ou mais famílias de peças, pode ser formado tal que ele possa realizar todas as operações requeridas pela família ou famílias de peças. As máquinas são arranjadas em uma semi linha para minimizar distâncias de transportes e problemas de espera. O resultado é muito similar a um moderno centro de usinagem com C.N. . Se as condições justificarem, pode ser usado um centro de usinagem em vez de um grupo de máquinas de uso específico. Um exemplo de um layout de grupo de máquinas ferramentas, baseado no conceito da Tecnologia de Grupo, comparado com o layout funcional convencional, está mostrado na Figura 5. Isto ilustra as características de um layout de grupo/célula.

NOME DA PEÇA: PINO
MATERIAL: BARRA DE AÇO AISI 1020
TRATAMENTO: CEMENTAÇÃO E TÊMPERA/FINO ACABAMENTO
OPERAÇÕES: TORNEAMENTO DO DIÂMETRO EXTERNO E FURAÇÃO



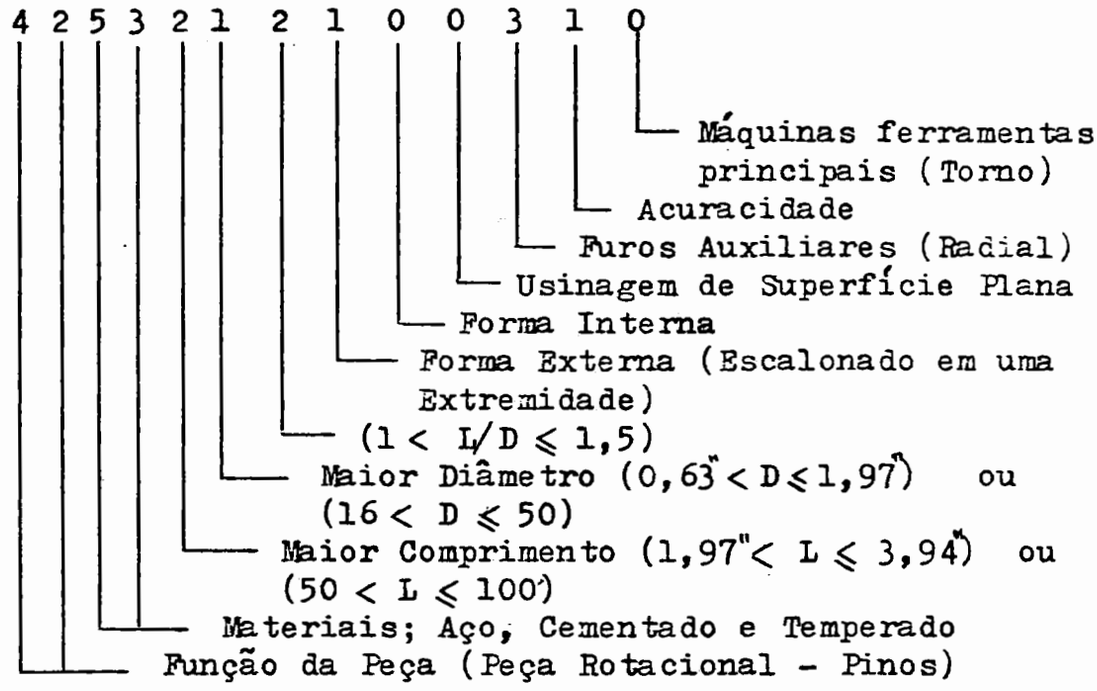
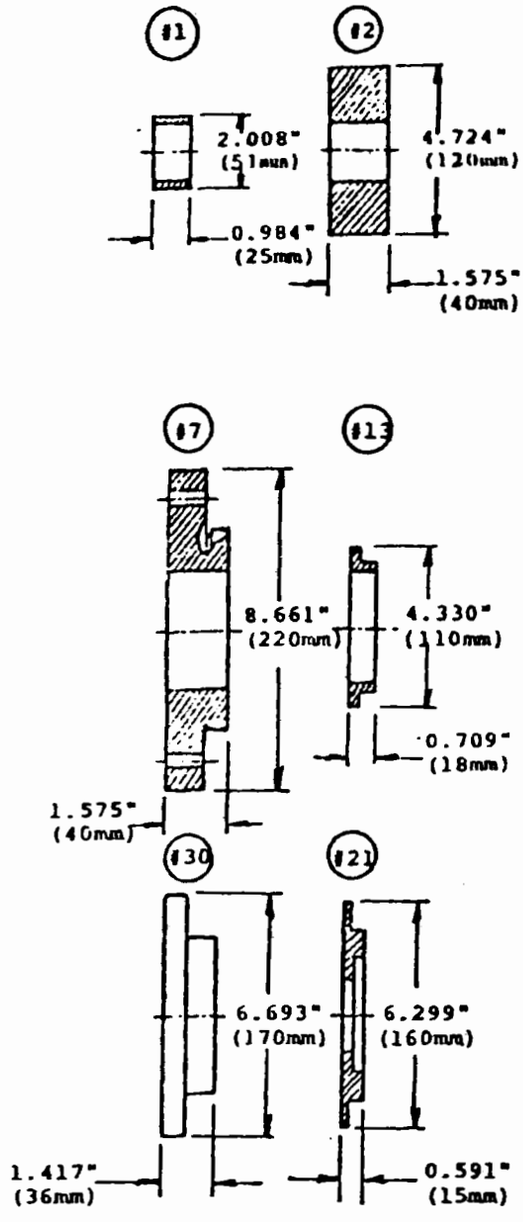


Figura 3 - Exemplo de codificação de uma peça usando um sistema de classificação e codificação (referir à figura 6-b).

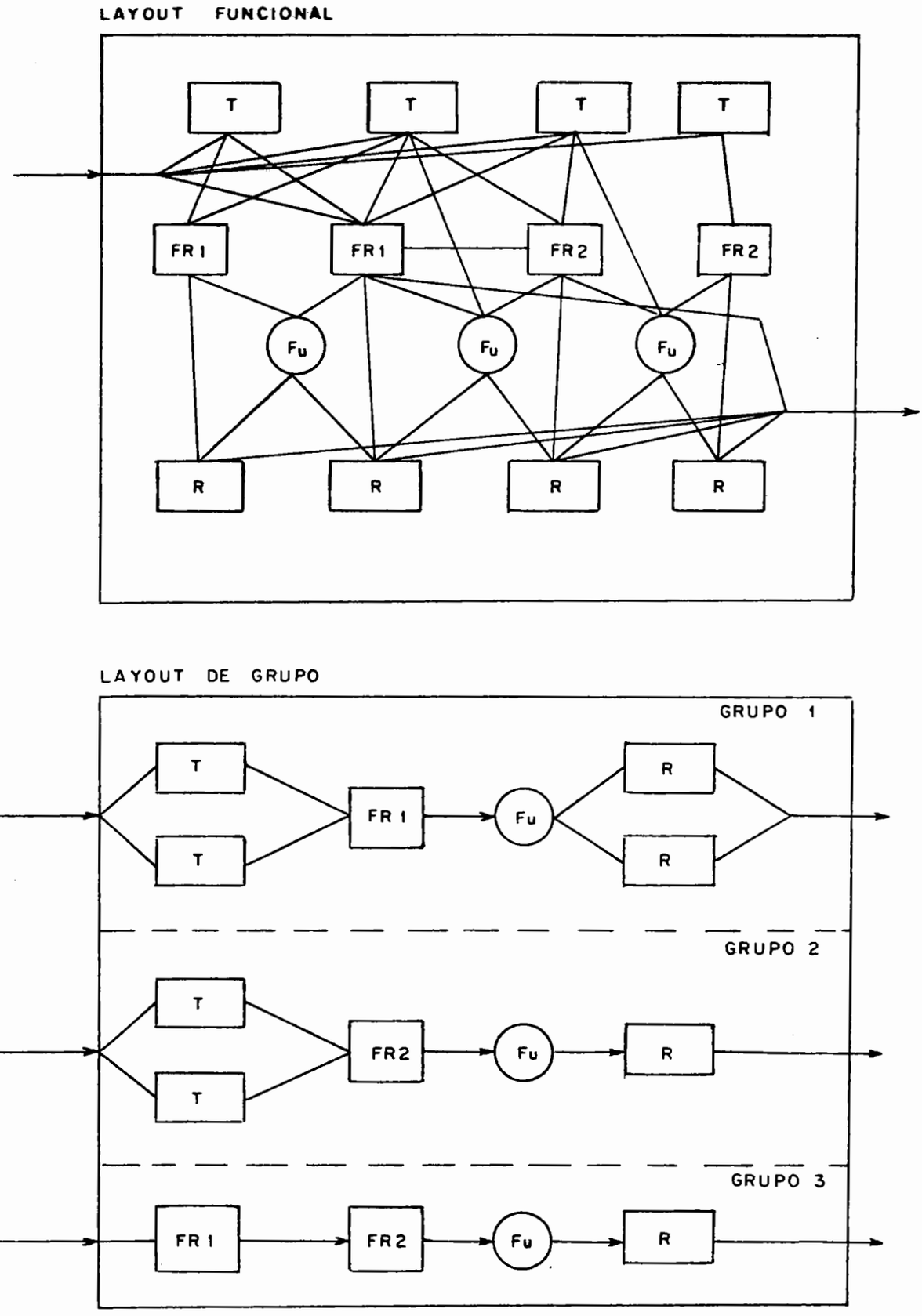


NÚMERO DA PEÇA	NÚMERO DE CÓDIGO
# 1	56 12 0000000 11 000008
# 2	56 13 0000000 11 000008
# 7	56 14 0110000 11 001005
# 13	56 03 0100000 11 000006
# 21	56 04 0100000 21 000005
# 30	56 14 0100000 00 000006

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	x		x		x	x				x	x	x		x	x	x	x		
1	x		x		x	x						x			x	x			
2	x			x	x							x							
3	x			x	x														
4	x			x	x														
5	x				x														
6	x	x																	
7																			
8																			
9																			

SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES DE FAMÍLIA DE PEÇAS	
10	Corte
20	Torneamento
30	Furação (Furadeira Radial)
40	Cementação
50	Retífica Externa
60	Retífica Interna

Figura 4 - Agrupamento de peças em famílias usando um sistema de classificação e codificação.



T = Torno
Fr = Fresadora
FU = Furadeira
R = Retificadora

Figura 5 - Layout funcional e de grupo/célula.

A formação de grupos ou células de máquinas para processar famílias de peças é relativamente fácil, se tiver sido introduzido um sistema de classificação e codificação bem projetado. Também é possível formar grupos ou células de máquinas usando a técnica da análise de fluxo da produção. Aqui, a sequência de operações e a rota da peça pelas máquinas, na fábrica, é analisada usando a informação obtida da folha de processo como ilustrado na Figura 2. Cada família de peças deve ter um certo grupo de operações associado com ela. Este grupo de operações indica os tipos de máquinas e os recursos necessários para processar cada peça dentro da família. A quantidade de tempo requerida para cada operação em particular, para cada trabalho na família de peças, pode ser determinado se dados básicos como tamanho do lote, tempos de preparação de máquina, tempos de usinagem, etc., forem disponíveis. Esses tempos serão a base para a determinação da capacidade necessitada de cada máquina dentro do grupo ou célula.

A formação e o agrupamento de peças em famílias permite a computação da carga de máquina, em horas, para cada máquina do grupo. Na prática da Tecnologia de Grupo, é feito um esforço para maximizar a utilização das máquinas do grupo através de:

a) Ampliação de uma família de peças básica pela adição de peças de um tipo similar, ou fundindo duas ou mais sub-famílias;

b) Usinando duas ou mais famílias de peças no mesmo grupo de máquinas.

Um exemplo simples de cálculo de carga de máquina, para a formação de grupos de máquinas, para uma dada família de peças, é mostrado nas Tabelas 1 e 2.

A análise da carga de máquina indica que a família de peças # 1 necessita de um tempo total de 2.783 horas para o torneamento, de 1.721 horas para o fresamento, de 1.085 horas para a furação e de 3.367 horas para a retificação, requerendo assim 2 tornos, 1 fresadora, 1 furadeira e 2 retificadoras, respectivamente.

Embora o layout de grupo de máquinas, para aplicações de Tecnologia de Grupo, tenha muitos aspectos vantajosos, ele pode também envolver alguns problemas. Por exemplo, pode ser difícil balancear a utilização de máquina e de mão de obra. Também pode-se ter dificuldades em encontrar pessoal adequado para a supervisão.

TABELA 1 - Dados básicos para a análise de carga das máquinas

PÇ Nº	CÓDIGO NÚMERO	LOTE QUANT	torneamento		fresamento (1)		fresamento (2)		furação		retificação	
			PREP.	USIN.	PREP.	USIN.	PREP.	USIN.	PREP.	USIN.	PREP.	USIN.
1	010 120	115	20	9	13	5	-	-	15	3	6	20
2	010 124	30	15	12	15	7	-	-	23	6	7	15
3	002 123	55	-	-	13	5	16	8	23	12	6	10
4	111 121	105	33	14	-	-	15	6	25	8	8	9
5	010 120	25	23	10	10	8	-	-	-	-	-	-
6	002 123	10	-	-	15	8	-	-	18	10	8	23
7	011 123	5	15	9	11	9	-	-	15	15	-	-
8	110 124	12	15	15	-	-	10	9	24	11	-	-
9	011 124	18	23	12	10	8	-	-	-	-	5	23
10	002 120	35	-	-	-	-	13	6	30	11	-	-
11	011 123	10	23	14	12	6	-	-	24	7	-	-
12	112 122	10	30	8	-	-	12	10	18	10	7	15
13	001 123	21	-	-	11	7	10	9	25	11	6	15
14	011 123	61	15	8	10	5	-	-	24	4	-	-
15	111 121	4	15	17	-	-	12	9	-	-	5	18
16	002 120	5	-	-	10	6	-	-	20	13	-	-
17	110 120	24	23	10	-	-	10	8	20	11	-	-
18	111 121	46	30	11	-	-	11	17	30	7	5	10
19	111 120	61	20	9	-	-	13	5	-	-	-	-
20	012 124	10	15	10	11	9	-	-	20	5	5	18

N.T.: PREP. = Tempo de preparação da máquina
USIN. = Tempo de usinagem

Tabela 2(a) - Análise de carga de máquina para operações de torneamento da família de peças # 1 (referente à Tabela 1 e Figuras 2 e 5).

PEÇA Nº	CÓDIGO Nº	LOTE (N_1)	TEMPO PREP. (T_p)	TEMPO USIN. (T_u)	$(T_u)x(N_1)$	$(T_u)x(N_1)+(T_p)$
1	010 120	115	20	9	1035	1055
2	010 124	30	15	12	360	375
20	012 124	10	15	10	100	115
7	011 123	5	15	9	45	60
11	011 123	10	23	14	140	163
14	011 123	61	15	8	488	503
9	011 124	18	23	12	216	239
5	010 120	25	23	10	250	273

Tempo Total = 2.783 horas

Tabela 2(b) - Análise de carga de máquina para a operação de fresamento (1) da família de peças # 1 (referente à Tabela 1 e Figuras 2 e 5).

PEÇA Nº	CÓDIGO Nº	LOTE (N_1)	TEMPO PREP. (T_p)	TEMPO USIN. (T_u)	$(T_u)x(N_1)$	$(T_u)x(N_1)+(T_p)$
1	010 120	115	13	5	575	588
2	010 124	30	15	7	210	225
20	012 124	10	11	9	90	101
7	011 123	5	11	9	45	56
11	011 123	10	12	6	60	72
14	011 123	61	10	5	305	315
9	011 124	18	10	8	144	154
5	010 120	25	10	8	200	210

Tempo Total = 1.721 horas

Tabela 2(c) - Análise de carga de máquina para a operação de furação da família de peças # 1 (referente à Tabela 1 e Figuras 2 e 5).

PEÇA Nº	CÓDIGO Nº	LOTE (N_1)	TEMPO PREP. (T_p)	TEMPO USIN. (T_u)	$(T_u)x(N_1)$	$(T_u)x(N_1)+(T_p)$
1	010 120	115	15	3	345	360
2	010 124	30	23	6	180	203
20	012 124	10	20	5	50	70
7	011 123	5	15	15	75	90
11	011 123	10	24	7	70	94
14	011 123	61	24	4	244	268
9	011 124	-	-	-	-	-
5	010 120	-	-	-	-	-

Tempo Total = 1.085 horas

Tabela 2(d) _ Análise de carga de máquina para a operação de retificação da família de peças # 1 (referente à Tabela 1 e Figuras 2 e 5).

PEÇA Nº	CÓDIGO Nº	LOTE (N_1)	TEMPO PREP. (T_p)	TEMPO USIN. (T_u)	$(T_u)x(N_1)$	$(T_u)x(N_1)+(T_p)$
1	012 120	115	6	20	2300	2306
2	010 124	30	7	15	450	457
20	012 124	10	5	18	180	185
7	011 123	-	-	-	-	-
11	011 123	-	-	-	-	-
14	011 123	-	-	-	-	-
9	011 124	18	5	23	414	419
5	010 120	-	-	-	-	-

Tempo Total = 3.367 horas

3. SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO

3.1 Tipos e Características

Embora existam muitas variedades de sistemas, os tipos básicos de sistemas de classificação e codificação podem ser colocados dentro de várias categorias, tais como funcional ou descritivo, critérios qualitativos ou quantitativos, orientado para o projeto ou para a produção, estrutura tipo cadeia ou hierárquico, monocódigos versus policódigos, códigos compostos versus códigos separados, códigos longos ou códigos curtos, etc . Entretanto, na maioria dos casos, cada sistema emprega uma combinação dessas características tornando difícil comparar esses sistemas estritamente desses pontos de vista. Independentemente de qual sistema seja selecionado, ele deverá ser modificado e adaptado para satisfazer necessidades específicas da indústria.

Existem muitos tipos de sistemas de classificação e codificação de utilidade geral. Existem também outros sistemas desenvolvidos e utilizados por muitas agências governamentais e sociedades profissionais para áreas tais como bibliotecas , museus, almoxarifados, mercadorias, seguros, cartões de crédito, etc.. Entretanto, esses sistemas não são necessariamente projetados para aplicações de Tecnologia de Grupo, ainda que muitos sistemas tenham sido usados para aplicações industriais. Não é surpreendente encontrar algumas companhias que por muitos anos tem usado seu próprio sistema de codificação para vários propósitos, porém sem fazerem um uso eficaz das aplicações da Tecnologia de Grupo.

Existem tres formas básicas de sistemas de classificação e codificação para as aplicações correntes da Tecnologia de Grupo; a saber:

(a) Estrutura Hierárquica (monocódigo)
(b) Estrutura do tipo de dígito fixo (policódigo)
(c) Estrutura combinada (multicódigo)

Um código hierárquico é construído como um diagrama em árvore onde cada dígito amplia a informação do dígito anterior, tornando assim cada dígito, na estrutura de codificação, dependente do dígito anterior. Um sistema de codificação hierárquico proporciona uma análise extensiva dos ítens classificados, uma vez que a sua estrutura de código é muito compacta mas pode conter uma enorme quantidade de informação com um número bastante limitado de dígitos. Este tipo de sistema de codificação é bastante efetivo para a recuperação de dados baseados no formato geométrico, dimensões, etc., e tem sido adaptado pelos departamentos de projetos desde muitos anos. O código hierárquico é algumas vezes referido como um "monocódigo".(7)

O tipo de dígito fixo, também chamado tipo cadeia, tipo discreto ou tipo atributo, tem uma estrutura de código na qual cada posição de um dado dígito representa uma informação independente e não é diretamente relacionada à informação dada pelos outros dígitos. O tipo de codificação com dígito fixo, também chamado de policódigo por alguns, (7) proporciona um

sistema que é mais adaptável para aplicações orientadas para a produção como classificação de máquinas ferramentas, ferramental, operações, etc.. Para construir uma completa estrutura do tipo de dígito fixo é necessário especificar todos os ítens no código. Dessa forma, este tipo de sistema de codificação, usualmente requer um grande número de dígitos. Ele é menos compacto que um código hierárquico. Na prática, a maioria dos sistemas de classificação e codificação empregam códigos mistos (híbridos) que são combinações de ambos os tipos, hierárquicos e de dígito fixo. As estruturas básicas de dois sistemas de classificação e codificação disponíveis publicamente, e especialmente desenvolvidos para aplicações da Tecnologia de Grupo em peças discretas de metais, estão mostradas na Figura 6.

Um código é um ou mais símbolos ao qual foi dado um determinado arranjo e significado. Quando um código é decifrado, ele comunica uma informação específica.

Um código pode ser feito usando:

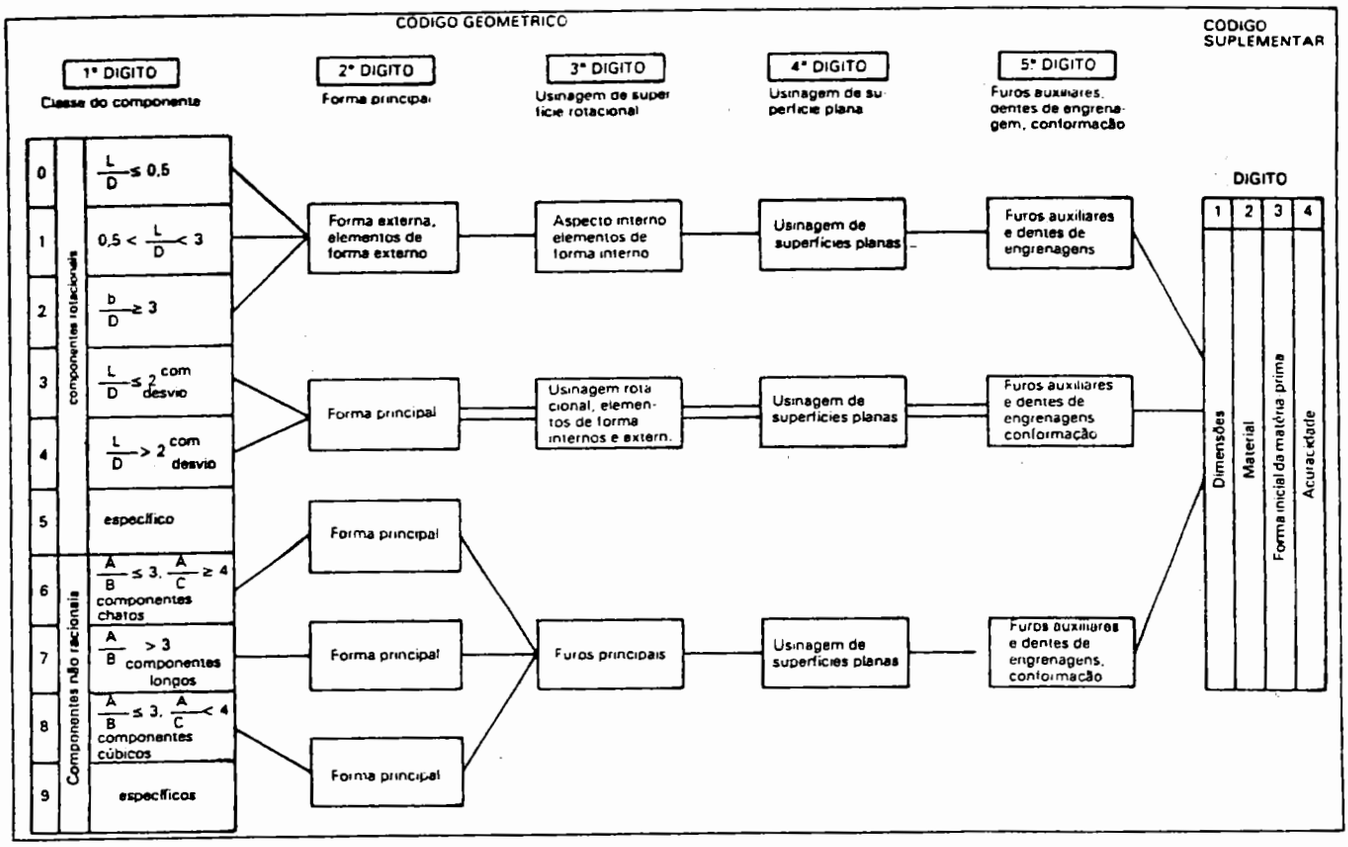
(a) Símbolos hieróglifos.
(b) Alfa-numérico e mnemônico.

(1) Número - 10 valores
(2) Alfabético - 20 (exceto I,O,S,Z e Q)
(3) Alfa-numérico - 30 (combinados)
(4) Hexadecimal - 16 (0-9 e A-F)

Um dos fatores mais importantes na seleção de um sistema de classificação e codificação é a manutenção de um balanceamento entre a quantidade de informação necessitada e o número de dígitos requeridos para proporcionar esta informação. Cada dígito adicional aumenta o problemade manipulação. Todavia, necessita-se de um número suficiente de dígitos para codificar todas as características necessárias da peça ou do produto. A classificação é realmente a ferramenta que permite a manipulação de uma vasta quantidade de dados, rapidamente. Assim, milhares de desenhos e folhas de processos podem ser rapidamente recuperadas e comparadas para efeito de projeto, ferramental, programação, etc., através do uso efetivo de códigos de classificação.

Um sistema de classificação e codificação bem projetado, para a implantação da Tecnologia de Grupo, deve satisfazer vários requisitos básicos. Ele pode proporcionar muitos benefícios e facilitar as aplicações da Tecnologia de Grupo em muitas áreas de operação da companhia. Os maiores benefícios de um sistema de classificação e codificação bem projetados para aplicações da Tecnologia de Grupo podem ser sumarizadas como segue:

(a) Formação de famílias de peças e grupos de máquinas (células)
(b) Recuperação efetiva de desenhos e processos
(c) Racionalização e redução de custos em projetos
(d) Padronização do projeto do produto
(e) Estatísticas de peças seguras e confiáveis
(f) Estimativa acurada dos requisitos das máquinas ferramentas, carga de máquina racionalizada e gastos otimizados de capital.



(a) Sistema de OPITZ (Alemanha Ocidental)

COLUNA	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
POSIÇÃO	NOME DAS PEÇAS (FUNÇÃO)		MATERIAIS E TRATAMENTOS		DIMENSÕES PRINCIPAIS			FORMATO GEOMETRICO E USINAGEM					
	CLASSIFICAÇÃO GERAL	CLASSIFICAÇÃO DE DETALHE	CLASSIFICAÇÃO GERAL	CLASSIFICAÇÃO DE DETALHE	(R) L = COMPRIMENTO (N) A = COMPRIMENTO	(R) D = DIAMETRO (N) B = LARGURA	FORMATO PRINCIPAL RAZÃO DAS DIMENSÕES PRINCIPAIS	(R) FORMATO EXTERNO (N) SUPERF. PLANA	(R) FORMATO INTERNO (N) FURO PRINCIPAL	(R) USINAGEM DE SUPERF. PLANA (N) USINAGEM ESPEC.	(R) FUROS AUXILIARES (N) = IDEM	ACURACIDADE	PRINCIPAIS MÁQUINAS FERRAMENTAS A SEREM USADAS NOS ESTÁGIOS INICIAIS DA USINAGEM
0	MATRIZ	IDEM	MATRIZ	IDEM	TABELAS SEPARADAS PARA COMPONENTES ROTACIONAIS (R) E NÃO-ROTACIONAIS (N)	IDEM	IDEM	IDEM	IDEM	IDEM	IDEM	TABELA COMUM PARA R E N	IDEM
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													

(b) Sistema KK-1 (Japonês)

Figura 6 - Estruturas básicas de código de dois Sistemas de Classificação e Codificação publicamente disponíveis. (21 e 22)

(g) Racionalização de ferramental e redução do tempo de preparação da máquina e do tempo total de produção.
(h) Racionalização do projeto do ferramental e redução do tempo e do custo do projeto e fabricação do ferramental.
(i) Padronização de processos e ferramental.
(j) Racionalização do planejamento e programação da produção.
(k) Contabilidade de custos e estimativa de custos mais acurados.
(l) Melhor utilização das máquinas ferramentas, dispositivos e mão de obra.
(m) Melhoria da programação do CN., e uso efetivo de máquinas e centros de usinagem.
(n) Estabelecimento de uma base de dados principal.

É importante identificar os meios de melhoria da produtividade de fabricação onde uma grande variedade de peças e lotes com pequenas quantidades, são característicos. Os sistemas de classificação e codificação devem também ser avaliados em relação ao que eles podem contribuir para a solução dos problemas de fabricação e controle associados com a operação da fábrica.

3.2. Requisitos Básicos

Para as aplicações da Tecnologia de Grupo, um sistema de classificação e codificação deve satisfazer os seguintes requisitos básicos:

(a) Abrangente:
Um sistema de classificação e codificação deve abranger todos os ítens existentes em produção e/ou comprados e ser capaz de aceitar novos ítens.
(b) Mutuamente exclusivo:
Um sistema de classificação e codificação deve ser mutuamente exclusivo, isto é, incluir coisas semelhantes enquanto exclui coisas diferentes, usando parâmetros claramente definidos.
(c) Baseado em características permanentes:
Um sistema de classificação e codificação deve estar baseado em características visíveis e permanentes e ainda facilmente identificadas.
(d) Específico para as necessidades do usuário:
Um sistema de classificação e codificação deve ser desenvolvido para satisfazer as necessidades do usuário.
(e) Adaptável a futuras mudanças:
Um sistema de classificação e codificação deve ser adaptável às futuras expansões e mudanças tecnológicas.
(f) Adaptável ao processamento com computador:
Um sistema de classificação e codificação pode ser funcional sem o uso de um computador. En-

tretanto, é frequentemente desejável operar o sistema usando um computador e assim ele deve ser adaptável ao processamento com computador.

(g) Aplicável em toda a companhia:
Um sistema de classificação e codificação deve ser aplicável a todos os departamentos da companhia

Existem vários fatôres a serem considerados na seleção de um sistema de classificação adequado. Algumas questões típicas que devem ser respondidas são:

(a) Objetivo
Qual é o principal objetivo do sistema de classificação e codificação?

(b) Campo de Aplicação
Quais departamentos usarão o sistema?
Quais são as necessidades específicas e as informações que devem ser codificadas?
Qual é a faixa de produtos e qual a complexidade da forma, operações, ferramental, etc., das peças?

(c) Custo e Tempo
Qual o custo que será gasto na instalação, treinamento e manutenção do sistema?
Quais são as estimativas de custo para as taxas de consultoria, treinamento, etc.?
Quanto tempo levará para instalar e treinar o pessoal necessário?
Quanto tempo levará para se perceber os efeitos do sistema em todas as áreas de aplicação desde o projeto até à produção?

(d) Adaptabilidade a outros sistemas
O sistema é facilmente adaptável ao computador e aos bancos de dados que estão sendo usados pela firma? O sistema pode ser facilmente integrado com outros sistemas tais como o sistema de planejamento do processo, programação dos C.N., informações administrativas, etc.?

(e) Problemas Administrativos
Todas as pessoas envolvidas com a administração estão informadas e apoiam a instalação do sistema? Existe algum problema com o sindicato? Pode ser obtida uma boa cooperação entre os departamentos envolvidos?

3.3 - Avaliação Comparativa

Antes de selecionar um sistema de classificação e codificação a companhia deve fazer uma avaliação completa, para aplicações da Tecnologia de Grupo, nas quatro áreas seguintes:

(a) Exame crítico das funções da companhia.

(b) Definição do tipo ou variedade de aplicação da Tecnologia de Grupo mais adequada.

(c) Definição do caminho mais adequado para a implantação da Tecnologia de Grupo.

(d) Avaliação dos custos e das economias da implantação proposta.

Uma vez que cada companhia tem produtos, objetivos, facilidades de fabricação, necessidades e condições diferentes, não existe um sistema universal adaptável a todas as indústrias. Um sistema deve ser adaptado para satisfazer as necessidades específicas da companhia. É altamente recomendado que alguém que esteja planejando instalar um sistema de classificação e codificação para aplicações da Tecnologia de Grupo, faça uma avaliação comparativa completa da variedade de sistemas disponíveis antes de tomar a decisão final.

Com o objetivo de fazer avaliações comparativas dos vários sistemas de classificação e codificação, alguns parâmetros básicos comuns devem ser estabelecidos em cada área específica de aplicação desde o projeto até a fabricação.

Primeiramente, um sistema deve satisfazer as necessidades de todos os departamentos/divisões interessados da companhia. As necessidades e parâmetros específicos requeridos por cada departamento devem ser checados para adaptabilidade e aplicabilidade do sistema. Em geral a maioria das companhias do setor mecânico devem checar a necessidade de parâmetros e dados específicos nos seguintes departamentos:

Engenharia do Produto Compras Planejamento e Controle da produção Engenharia de Fabricação Produção Fábrica e Prédios Controle de Estoques Vendas Contabilidade de Custos Informações Administrativas etc.	versus	função forma principal elementos de forma dimensão tolerância material forma original operações sequências de operações máquina ferramenta dispositivos de fixação ferramentas de corte tamanho do lote tempo de preparação etc.

Embora todos os departamentos possam usar um sistema de classificação e codificação de um modo ou de outro, os maiores usuários do sistema são: Engenharia do Produto e de Fabricação. Um sistema deve ser testado para checar se ele satisfaz todas as necessidades e se representa os parâmetros necessitados em cada uma daquelas duas áreas. Alguns parâmetros e dados representativos necessitados por aqueles departamentos são:

(1) Área de Engenharia do Produto

forma principal
elementos de forma
material
forma original e tamanho
maior dimensão
menor dimensão
tolerâncias
funções
etc.

(2) Área de Fabricação

operação principal
operação secundária
dimensão principal e relação de dimensões
forma e dimensões originais
máquina ferramenta
dispositivos de fixação
ferramentas de corte
tamanho do lote
tempo de preparação
sequências de operações
acuracidade
tratamentos especiais
montagem
etc.

(3) Um sistema também deve ser avaliado com relação à sua aplicabilidade em vários processos de produção tais como:

fundição
estampagem
uniões
usinagem
inspeção
montagem, etc.

Um sistema de classificação e codificação é essencial para a exploração completa dos benefícios da Tecnologia de Grupo. Deve-se compreender entretanto, que a instalação de um sistema de classificação e codificação é apenas o começo, simplesmente um pré-requesito para as aplicações da Tecnologia de Grupo. Uma vez que um sistema adequado esteja instalado, o trabalho de projeto e de fabricação pode então ser racionalizado e as famílias de peças formadas, seguido de muitas aplicações da Tecnologia de Grupo tais como: layout de grupo, programação de grupo, ferramental e preparação em grupo, requerimentos de compras e estoques, etc.

A introdução de um sistema de classificação e codificação requer uma grande quantidade de tempo e esforço. Deve ser antecipado que provavelmente poderá haver alguma resistência à adaptação do sistema e uma diferença considerável no grau de aceitação entre os departamentos. É essencial checar todas as dificuldades possíveis e os problemas em potencial relacionados com as aplicações da Tecnologia de Grupo durante a seleção de um sistema de classificação e codificação adequado. As áreas problemáticas devem ser identificadas, antes da introdução, com o objetivo de maximizar os benefícios.

4. RACIONALIZAÇÃO DO PROJETO

4.1 - Recuperação de Dados de Projeto:

Um sistema de classificação e codificação facilita um programa de redução e padronização de peças que pode ser valioso tanto para a companhia como para seus fregueses. Quando um sistema de classificação e codificação bem projetado é efi-

cientemente implantado no setor de projeto, ele proporciona um método sistemático e eficiente para o armazenamento de informações de uma maneira organizada. Ele também poderia usar uma base de dados computacional, se necessitado. O sistema permite a recuperação de dados de projetos tais como desenhos, especificações, dados geométricos, materiais, etc.. Um código torna possível recuperar todos os dados armazenados relativos a uma família de peças específica, colocadas juntas devido às suas similaridades designadas. O sistema de recuperação de dados de projetos baseado no agrupamento de peças em famílias proporciona as seguintes características importantes que auxiliam significantemente a racionalização do projeto:

(1) Agrupamento de peças em famílias para racionalização de projeto.
(2) Recuperação de informações existentes de projeto para aplicações novas, modificações e referências.
(3) Padronização de especificações, características e materiais dos projetos.
(4) Melhorias para um projeto melhor.
(5) Eliminação de desenhos duplicados.
(6) Estimativa de custo simplificada e efetiva.

O sistema de recuperação pode ser processado manualmente ou através do computador. Um exemplo de um fluxograma para um sistema de recuperação de dados de projeto usando o conceito da Tecnologia de Grupo está mostrado na Figura 7.

Uma aplicação correta de um sistema de classificação e codificação no projeto leva a ganhos econômicos substanciais. As economias mais significantes e imediatas resultam da racionalização de projeto através de uma efetiva recuperação de dados de projeto. Uma pesquisa na indústria (9) relata que o custo médio de projeto de uma nova peça é aproximadamente U$ 2.000,00.

Aproximadamente uma redução de 15% das atividades de novos desenhos acontece quando é utilizado um método efetivo de recuperação. Dessa forma, sé uma companhia produz 2.500 peças novas anualmente, pode ser estimado que o custo anual dé projeto é de U$ 5.000.000. As economias de um sistema de recuperação efetivo seria estimado em U$750.000 por ano.

Em muitos casos economias mais intangíveis são obtidas através de vários benefícios indiretos resultantes da racionalização do projeto, como por exemplo, padronização de projetos, melhoria de projetos, melhoria na produtividade das atividades de projeto em geral, etc.

4.2 - Padronização

Quando todas as peças "vivas" são classificadas e codificadas usando um sistema adequado, é possível analisar a população de peças e a frequência de uso de peças específicas da família de peças. Na prática, as peças que pertencem a uma família de peças específicas podem ser selecionadas para identificar desenhos padrões que são mais frequentemente utilizados. Deve ser reconhecido que tal padronização somente é possível quando o agrupamento das peças em famílias é feito para identi

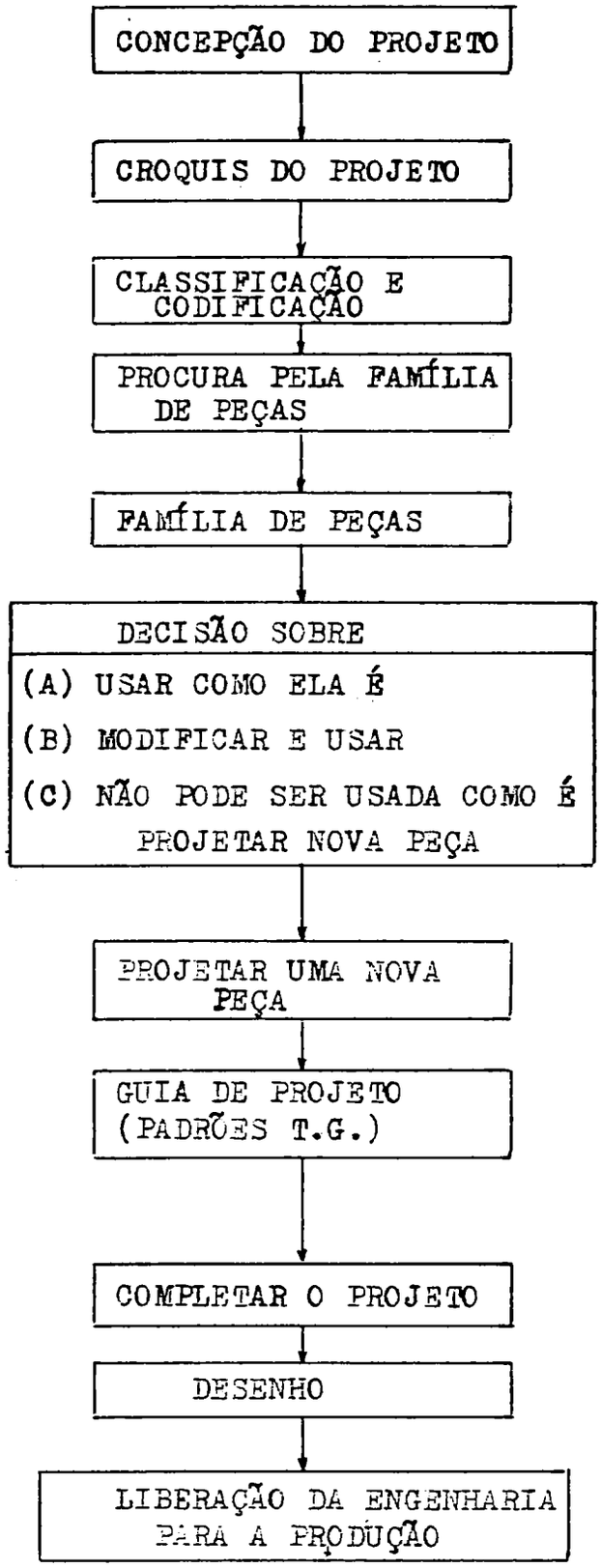


Figura 7 - Fluxograma para a racionalização de projetos.

ficar claramente as características padronizadas. Usualmente, quando as peças são projetadas independentemente e em épocas diferentes, sem qualquer meio de agrupamento em famílias de peças, é difícil identificar a natureza e o grau de duplicações desnecessárias e similaridades óbvias entre as peças da companhia. A Figura 8 mostra uma família de peças de arruelas. Torna-se imediatamente óbvio reconhecer as peças padronizadas, baseado na frequência de utilização dessa família de peças. Em muitos casos, muitas peças na família de peças possuem uma variação muito pequena no tamanho, forma e características. Em tais casos, o agrupamento das peças em famílias de uma peça selecionada auxilia, não somente na identificação de tais similaridades, mas também na prevenção de variedades desnecessárias através de uma efetiva padronização.

Embora o pessoal de projeto seja conhecedor da conveniência da padronização e acreditem que tenham incorporado as peças padronizadas, eles não estão sempre cientes de que existam projetos similares onde a padronização pode ser feita.

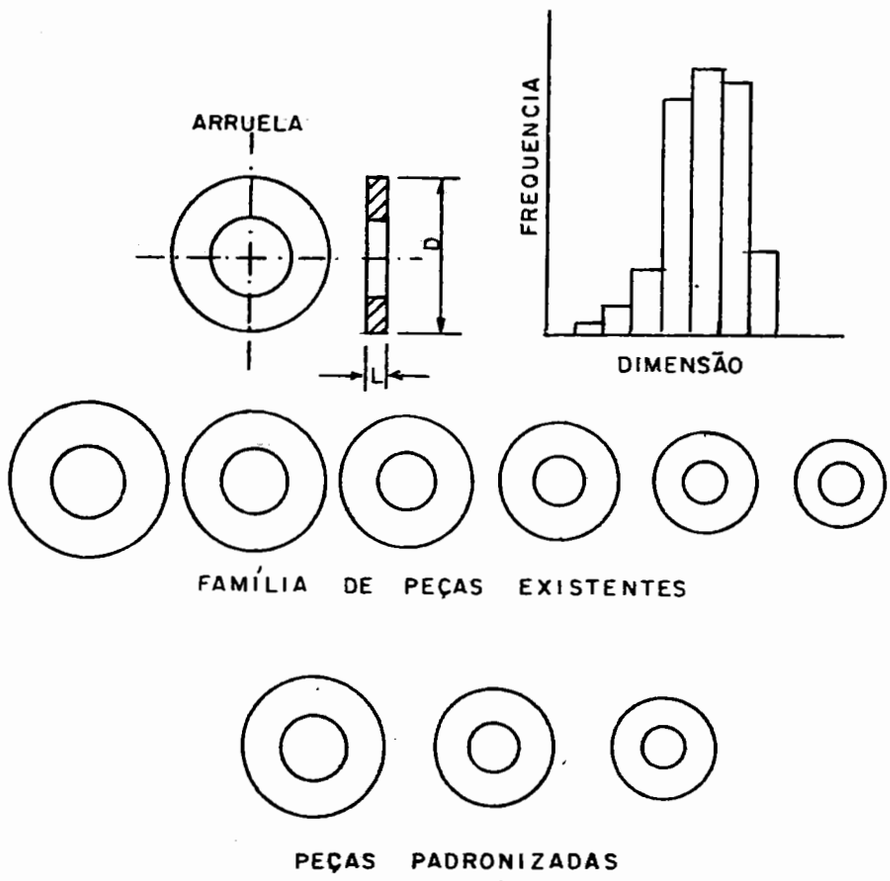


Figura 8 - Padronização de Peças.

5. FERRAMENTAL DE GRUPO

5.1 - Componente Composto

O componente composto proporciona um auxílio para as aplicações do conceito da Tecnologia de Grupo na padronização de peças, padronização de processos, agrupamento de máquinas, projeto dos dispositivos para o grupo, planejamento da preparação ou montagem do ferramental do grupo, programação de C.N para a família de peças, etc.. A Figura 9 ilustra um grupo de peças representadas por um componente composto que possui todas as características de forma e de processamento da família de peças que está mostrada na Figura 1(a) e Figura 4. Se o planejamento do processo e o ferramental são desenvolvidos para o componente composto então qualquer peça da família pode ser processada com as mesmas operações e ferramental.

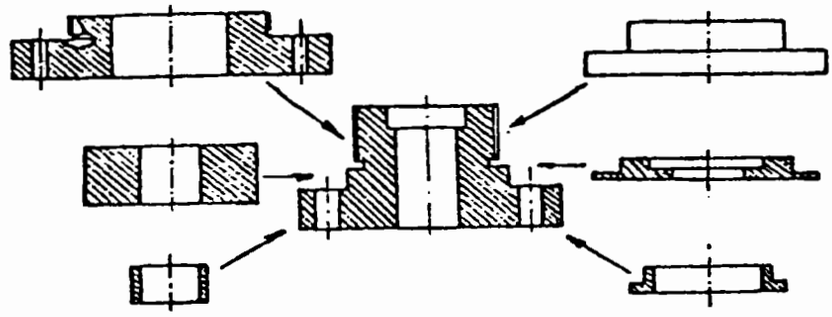
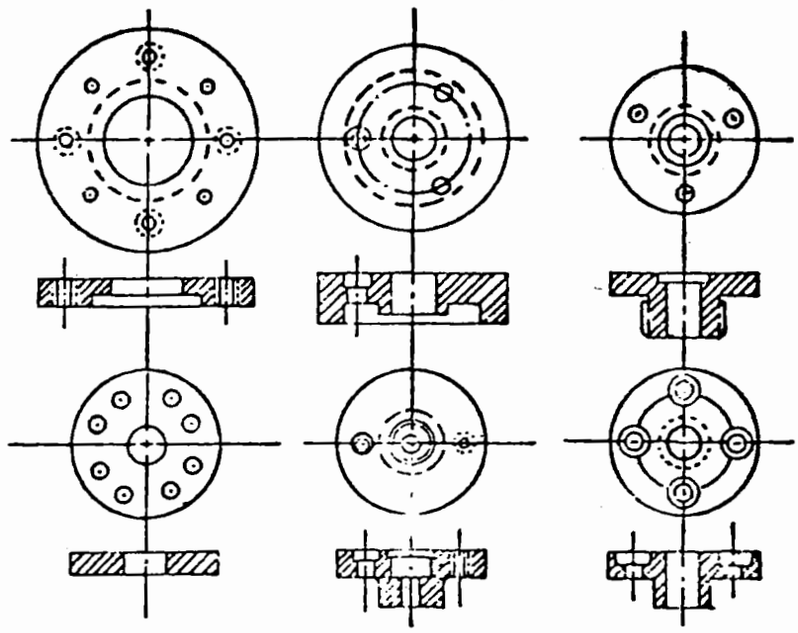


Figura 9 - Componente composto.

5.2 - Projeto e Montagem do Ferramental do Grupo:

Para conseguir a utilização máxima de uma montagem de um ferramental, o ferramental para as operações dentro de uma família de peças, deve ser arranjado de modo que todas as peças, ou o maior número possível das peças da família possam ser processados com um único dispositivo para o grupo e uma única preparação. Os dispositivos de grupo são projetados para aceitarem cada membro da família de peças, com adaptadores que acomodam as pequenas variações das peças. Um exemplo de tal dispositivo de grupo para furação de uma família de peças está mostrado na Figura 10. Para usinar os furos de seis (6) diferentes peças nesta família é requerido somente um dispositivo de grupo e seis adaptadores auxiliares diferentes para acomodar algumas pequenas diferenças em dimensões, número e localizações dos furos e nas dimensões e formatos das peças. Assim, em vez de projetar, fabricar e usar seis dispositivos individuais de furação como é feito no método convencional de produção, somente um dispositivo de grupo e seis adaptadores ou máscaras de furação, que são essencialmente baratos, são requeridos. Desta forma, torna-se evidente o quanto o custo do ferramental pode ser reduzido usando Tecnologia de Grupo.

(a) Família de peças de tampas.



(b) Dispositivo de Grupo para furação.

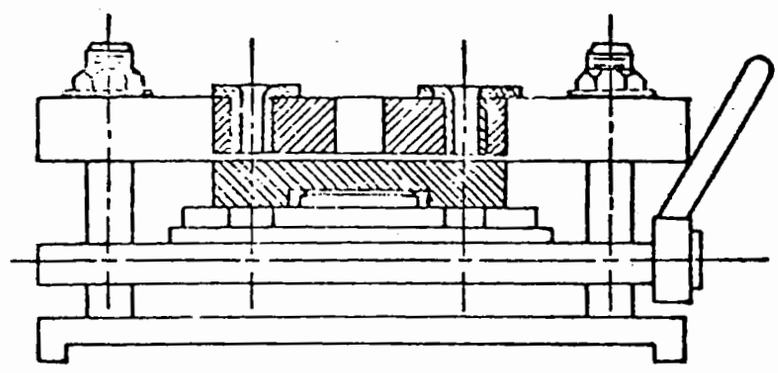


Figura 10 - Ferramental de grupo para uma família de peças.

Uma preparação com um ferramental de grupo também pode ser aplicada em máquinas automáticas. Um conjunto de ferramentas para a usinagem de famílias de peças podem ser pré-montadas e dado um número de código que corresponda à família de peças. O resultado é uma situação na qual a montagem do ferramental é simplesmente uma questão de escolha e instalação do ferramental pré-montado correto e ocasionalmente uma mudança de uma ferramenta. Isto reduz perda de tempo entre os trabalhos.

6. PROGRAMAÇÃO DE GRUPO

6.1. Conceito Básico

Um número de áreas organizadas de concentração abrangem o papel global da programação da produção. O carregamento e o balanceamento de uma linha, a determinação de lead times para ítens comprados, o desenvolvimento de planejamento de requerimento de materiais e de um sequenciamento ótimo de trabalhos através das máquinas são aspectos importantes que precisam ser coordenados de uma maneira adequada. Todos possuem um papel importante no desenvolvimento de um sistema de fabricação que tire vantagem de cada oportunidade para otimizar a eficiência. O sequenciamento ótimo de trabalhos através das máquinas é provavelmente a principal área de melhoria de eficiência. Os conceitos de família de peças e de layout de grupo/célula idealmente se prestam, a esforços de sequenciamento ótimo.

A programação da produção é grandemente simplificada pela Tecnologia de Grupo. O escopo do problema é reduzido daquele de uma grande porção da fábrica para um pequeno grupo de máquinas. Se as famílias de peças e os grupos de máquinas foram formados corretamente, cada peça indicará pelo seu número de código qual grupo de máquinas será usado para processá-la. Dentro do grupo de máquinas, o problema da programação é novamente reduzido simplesmente à programação dos trabalhos dados através das máquinas da célula. Ainda que um grupo/célula de máquinas não seja formado, a programação da produção pode ser muito simplificada, através do uso de família de peças na designação dos trabalhos às várias máquinas da fábrica. Um programa de computador pode ser utilizado para programar os trabalhos de uma família de peças ao correspondente grupo/célula de máquinas. Os trabalhos podem ser adequadamente sequenciados na família e as famílias adequadamente sequenciadas através do grupo/célula de máquinas.

Uma programação adequada é uma parte integral da Tecnologia de Grupo. Uma boa programação combinada com um tempo de preparação de máquina reduzido e com transportes reduzidos, resultarão em uma redução de custos significante. O benefício mais óbvio é um tempo total de produção reduzido. Com esta redução, a produção pode mais estritamente casar com a demanda tal que os estoques podem ser reduzidos e as peças serem produzidas segundo a programação. Assim, com uma programação mais confiável, o pessoal de vendas pode ga-

rantir datas de entregas melhores e ter segurança de cumprí-las. Vamos chamar a programação da produção associada com a Tecnologia de Grupo de "Programação de Grupo". Uma aplicação adequada do conceito da Tecnologia de Grupo na programação da produção:

(a) Reduzirá custos e tempos de preparação.
(b) Permitirá decisão ótima sobre as sequências dos grupos e dos trabalhos dentro de cada grupo.
(c) Permitirá a produção em linha.
(d) Otimizará o layout de grupo.
(e) Proporcionará vantagens econômicas globais.

A natureza própria do layout de grupo/célula e do agrupamento das peças em famílias leva ao problema de sequenciamento. Os sistemas de classificação e codificação confinam peças individuais às famílias de peças. O layout da fábrica é projetado tal que cada família de peças é associada a um grupo/célula específico. Uma vez que as estações de trabalho (work-stations) subsequentes requeridas são diretamente adjacentes às operações precedentes, o tempo de transporte é mínimo e pode, em termos práticos, ser considerado desprezível dentro do problema de sequenciamento. A demora ou o tempo de espera para que uma peça seja processada em uma estação de trabalho (work-station) particular, torna-se bastante previsível e o controle do processo de fabricação é mantido. Considerando as numerosas vantagens que o layout de grupo/célula proporciona com relação ao sequenciamento ótimo, parece que o problema é resolvido em todos os seus objetivos e propósitos. Entretanto encontrar uma sequência ótima de operações para uma dada família de peças e um grupo/célula de máquinas não é uma tarefa simples. As combinações possíveis de sequências de operações de n trabalhos e m máquinas é $(n!)^m$. Por exemplo, se 5 trabalhos diferentes devem ser processados através de 9 estações de trabalho diferentes, então são possíveis $(5!)^9 = 5{,}160 \times 10^{15}$ sequências diferentes, assumindo que as operações possam ser realizadas em uma ordem arbitrária.

Quando as peças agrupadas em família de peças são processadas como grupos através de um layout de grupo/célula ou de um layout convencional, torna-se mais simples resolver os problemas de sequenciamento ótimo de operações e de carga de máquina comparado a uma condição genérica de uma fábrica. Quando uma família de peças é associada a um dado grupo/célula de máquinas, a amplitude do problema é reduzido para (n!) possíveis alternativas de sequenciamento. Entretanto, ainda permanece o problema extremamente complexo de como programar esses trabalhos, uma vez que eles são designados a um particular grupo/célula de máquinas para o processamento.

Decisões sobre carga de máquina e mistura de produtos são os problemas principais na área do planejamento da produção. Uma análise de carga de máquina para a seleção ótima de peças, a serem fabricadas em uma dada quantidade de tempo disponível, por uma dada capacidade de produção, dentro de um ambiente de Tecnologia de Grupo, é também essencial na

programação da produção e se torna mais simples em comparação aos problemas envolvidos com uma condição genérica de fábrica. Muitos modelos matemáticos e algorítmos práticos foram desenvolvidos para tratar de problemas ideais na área de carga de máquina e sequenciamento ótimo. Esses modelos são endereçados principalmente aos problemas genéricos de uma fábrica convencional e não para os problemas de carga e sequenciamento do ponto de vista da Tecnologia de Grupo.

A programação de grupo tem algumas características específicas que diferem dos problemas convencionais de programação, que são as seguintes:

(1) Otimização da sequência das famílias e dos trabalhos dentro de cada família e de carga de máquina.
(2) Possibilidade de um modelo de fluxo na fábrica.
(3) Redução de tempos de preparação e custos.
(4) Vantagens econômicas.

6.2. Algorítmos para a Programação de Grupo

6.2.1. Sequenciamento ótimo para uma Única Família de Peças

A programação de grupo pode ser analizada em um sistema de fabricação multi-estágios. No caso de fabricação de várias peças agrupadas dentro de várias famílias de peças, ambas, a sequência ótima de peças e a sequência ótima de famílias podem ser determinadas tal que o tempo total de fluxo seja minimizado, por meio de vários métodos, como por exemplo, método "branch-and-bound", método heurístico, etc.

Para explicar os métodos de sequenciamento ótimo para a programação de grupo, um exemplo simples é demonstrado usando um algorítmo heurístico desenvolvido por Petrov (10) e modificado por Ham (11). Vamos assumir que os dados básicos mostrados na Tabela 3 devem ser usados para se achar a sequência ótima de trabalhos (peças), de uma família de peças, processados através de quatro máquinas, com o objetivo de minimizar o tempo total de produção.

Tabela 3 - Dados básicos para a programação de grupo de uma única família de peças.

Trabalhos	Máquinas (Horas)			
	M_1	M_2	M_3	M_4
J_1	17	13	15	10
J_2	8	6	21	7
J_3	16	14	15	4

Usando o algorítmo heurístico, pode ser facilmente encontrado que a sequência ótima de trabalhos é $J_2 - J_1 - J_3$. Os tempos totais de produção para todas as combinações possíveis desse grupo são:

$J_1 - J_2 - J_3$ ..... 95 horas
$J_1 - J_3 - J_2$ ..... 90 horas
$J_2 - J_1 - J_3$ ..... 74 horas
$J_2 - J_3 - J_1$ ..... 79 horas
$J_3 - J_1 - J_2$ .....89 horas
$J_3 - J_2 - J_1$ ..... 91 horas

É obvio que a sequência ótima de trabalhos (J_2-J_1-J_3) resulta no menor tempo total de produção comparado com as outras sequências possíveis. A diferença entre o maior e o menor tempo total de produção é de 17 horas. O gráfico de Gantt mostrando o sequenciamento ótimo dos trabalhos é exibido na Figura 11, que indica que o tempo total de produção é de 74 horas.

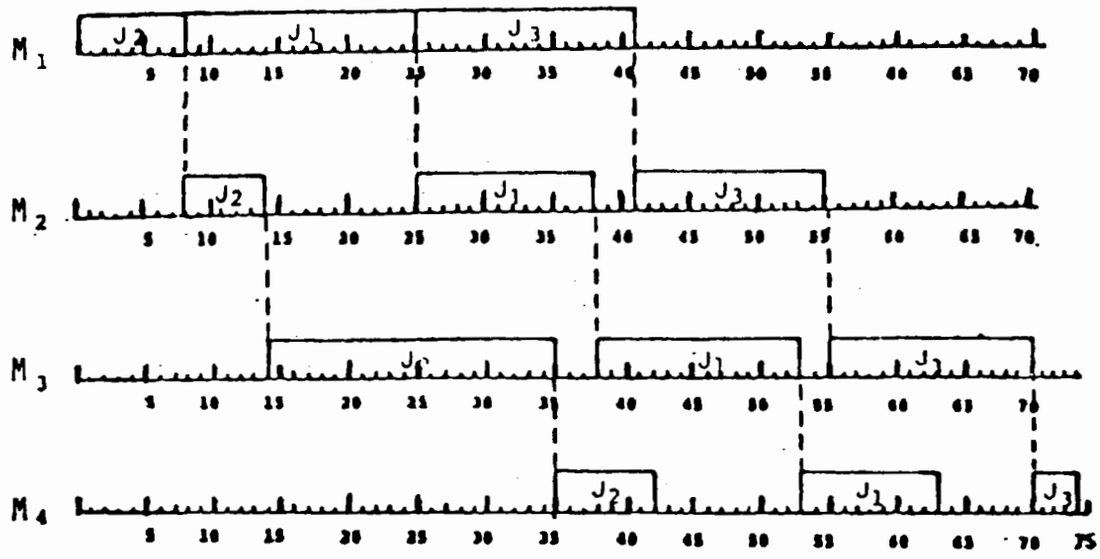


Figura 11 - Gráfico de Gantt para a sequência ótima de trabalho J_2-J_1-J_3 com o método de sequenciamento sucessivo uni-direcional.

Entretanto, o método de sequenciamento acima é baseado no método de sequenciamento sucessivo uni-direcional no qual uma família de peças é processada como um grupo e transferida de uma estação de trabalho (work station) para outra como um lote. Entretanto, quando uma família de peças é processada através de um determinado grupo/célula de máquinas onde as peças podem ser transferidas de uma estação de trabalho para outra à medida que a peça seja completada, isto é método de sequenciamento paralelo unidirecional, o tempo total de produção pode ser posteriormente reduzido para 53 horas como indicado na Figura 12.

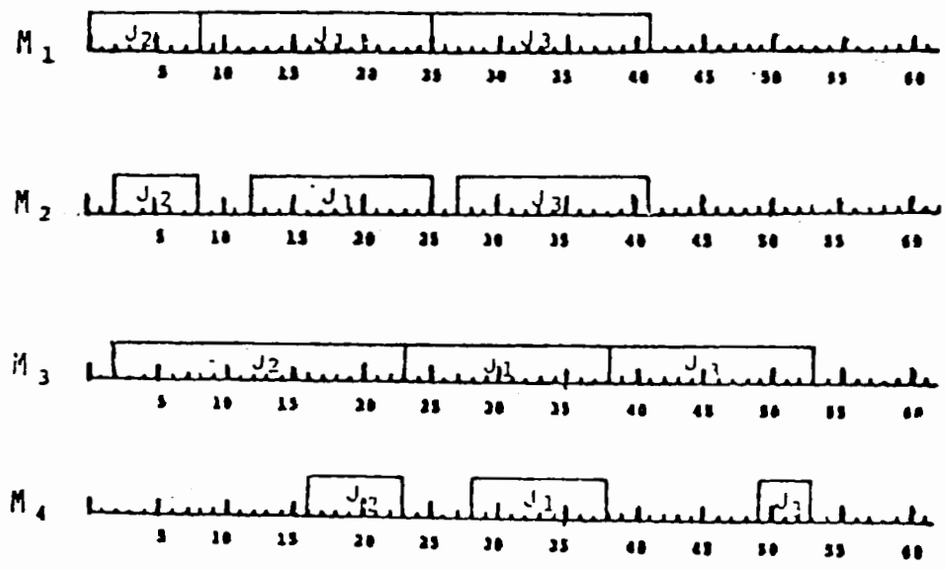


Figura 12 - Gráfico de Gantt para sequência ótima de trabalhos J_2-J_1-J_3 com o método de sequenciamento paralelo uni-direcional.

Em comparação com os outros métodos de sequenciamento, este método de sequenciamento paralelo proporciona uma redução de 21 horas com relação ao método de sequenciamento sucessivo e uma redução de 38 horas com relação ao maior tempo de sequenciamento possível.

Este simples exemplo ilustra que a programação de grupo é mais efetiva e resulta em um tempo total de produção mínimo. Este exemplo também demonstra que um grupo de máquinas torna possível o sequenciamento paralelo, proporcionando uma redução posterior do tempo total de produção.

Algorítmos relacionados a este método heurístico são disponíveis, para a solução de problemas de programação não unidirecional e não uniforme onde as operações ou as estações de trabalho requeridas para a família de peças selecionada não são uniformes nem na mesma ordem. As operações requeridas pelas peças podem estar em ordens diferentes, isto é, de trás para a frente. Na maioria dos casos uma condição real de fábrica apresenta usualmente problemas não uni

formes e não unidirecionais.

6.2.2. Sequenciamento Ótimo para um Conjunto de Famílias de Peças

A análise de otimização de Programação de Grupo para sistemas de fabricação de vários estágios e vários produtos com mais de uma família de peças (12) é demonstrado com os dados básicos fornecidos na Tabela 4 e usando ambos, o método "branch and bound" e o mesmo método heurístico usado em 6.2.1..

Tabela 4 - Dados básicos para a programação de grupo em um sistema de fabricação de vários estágios e vários produtos.

Grupo	G_1			G_2				G_3			
Trabalho	-	J_{11}	J_{12}	-	J_{21}	J_{22}	J_{23}	-	J_{31}	J_{32}	J_{33}
Tempos de Preparação e Processamento (Horas)	S_1	P_{11}	P_{12}	S_2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	S_3	P_{31}	P_{32}	P_{33}
M_1	5	5	7	3	2	4	3	7	2	1	9
M_2	5	5	1	6	3	2	8	3	2	8	2
M_3	4	3	8	4	1	6	5	1	7	4	5
Tempo requerido	-	d_{11} 46	d_{12} 37	-	d_{21} 28	d_{22} 35	d_{23} 80	-	d_{31} 18	d_{32} 24	d_{33} 52

O método "branch and bound" é baseado sobre o princípio de que o conjunto de todos os programas possíveis, parciais e completos, podem ser representados por uma estrutura em árvore com uma raíz, galhos e nós. Para a modelagem da programação de grupo para sistemas de fabricação de vários estágios e vários produtos são considerados os seguintes procedimentos "branching"e"bounding":

(1) Procedimento Branching:
Um nó de grupo (N_r) é um nó no qual r grupos são escolhidos e sequenciados, dentre m grupos:
$N_r = G_{<1>}, G_{<2>}, \ldots, G_{<r>}$.
Um nó de trabalho (N_{rs}) é um nó no qual s trabalhos em N_r são escolhidos e sequenciados, dentre n_r trabalhos pertencentes a $G_{<r>}$:
$N_{rs} = J_{<r><1>}, J_{<r><2>}, \ldots, J_{<r><s>}$.

(2) Procedimento Bounding:
O limite inferior (LB) do tempo total de fluxo em N_{rs} é estimado como segue:

$$LB(N_{rs}) = \max_{1<K<K} \left(F^{K'}_{N_{rs}} + F^{K''}_{N_{rs}}\right)$$

onde $F^{K'}_{N_{rs}}$ e $F^{K''}_{N_{rs}}$ são os tempos totais de processamento para os grupos e trabalhos que já estão sequenciados e ainda não estão sequenciados, respectivamente, e K é o número de máquinas.

A solução desse problema (Tabela 4) pelo método "branch and bound" está mostrado na Figura 13 e também na Tabela 5.

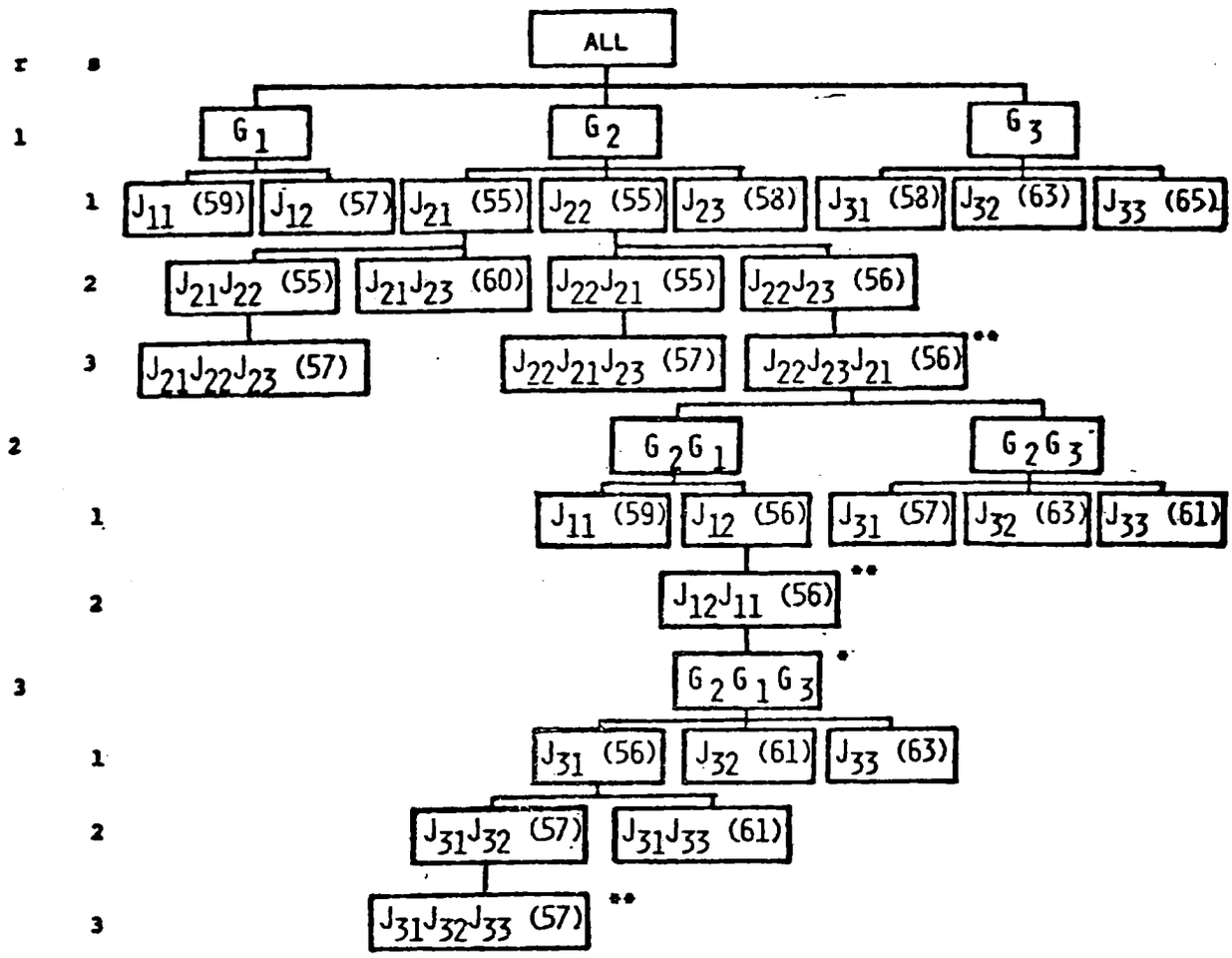


Figura 13 - Solução para a sequência ótima de grupos e trabalhos pelo método "branch-and-bound" [um asterístico (*) indica a sequência ótima de grupo e dois asteríscos (**) indicam a sequência ótima de trabalhos, em cada grupo].

Tabela 5 - Solução ótima para a minimização do tempo total de produção (referência à Tabela 4 e Figura 13).

Sequência dos Grupos	G_2	G_1	G_3
Sequência dos Trabalhos	$J_{22}-J_{23}-J_{21}$	$J_{12}-J_{11}$	$J_{31}-J_{32}-J_{33}$

Também são disponíveis, algorítmos de otimização para a determinação de sequências ótimas de grupos e de trabalhos para minimizar o atraso total. A solução para sequências de grupos e de trabalhos ótimos para a minimização do atraso total está mostrada na Tabela 6.

Tabela 6 - Solução ótima para a minimização do atraso total (referência à Tabela 4 e Figura 13).

Sequência dos Grupos	G_3	G_2	G_1
Sequência dos Trabalhos	$J_{31}-J_{32}-J_{33}$	$J_{21}-J_{22}-J_{23}$	$J_{11}-J_{12}$

O método heurístico para a programação de grupo, que é usado para o sequenciamento ótimo para uma única família de peças (veja 6.2.2) pode também ser aplicado para problemas de fabricação com vários estágios e vários produtos. Para esse exemplo (Tabela 4), as soluções para o sequenciamento ótimo de grupos e de trabalhos são as mesmas que as do método "branch-and-bound". Embora ele proporcione apenas soluções aproximadamente ótimas, o algorítmo para este método heurístico é muito mais simples e fácil de aplicar, quando comparado a outros algorítmos heurísticos similares e certamente com relação ao método "branch-and-bound".

6.2.3. Análise de Carga de Máquina:

A análise de carga de máquina para a programação de grupo é um problema complexo e não é simples desenvolver um algorítmo adequado para aplicações práticas. Entretanto, são disponíveis alguns modelos matemáticos para os problemas de análise de carga de máquina e mistura de produtos (13). Um exemplo de tal modelo é dado, para demonstrar a análise de carga de máquina para a programação de grupo. O enfoque desse modelo é para maximizar a quantidade total de peças a serem produzidas em uma quantidade limitada de tempo disponível. Portanto, a função objetivo é para maximizar:

$$Z = \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N_i} \ell_{ij} \cdot X_{ij}$$

com as seguintes restrições:

$$\sum_{i=1}^{M} \left(\sum_{j=1}^{N_i} P_{ij} X_{ij} + S_i X_i \right) < d$$

onde:

d = capacidade de tempo permitida (min)
ℓ_{ij} = tamanho do lote para J_{ij} (pçs)
M = número de grupos
N_i = número de trabalhos em G_i
P_{ij} = tempo total de produção do trabalho para J_{ij} (min/lote)
S_i = tempo de preparação do grupo para G_i (min/grupo)

X_{ij} = 0 ou 1 ($i=1,2,\ldots,M$ e $J=1,2,\ldots,N_i$)

$$X_i = \begin{cases} 0, \text{ se } \sum_{j=1}^{N_i} X_{ij} = 0 \\ 1, \text{ se } \sum_{j=1}^{N_i} X_{ij} > 1 \end{cases}$$

Usando o algorítmo (14), um exemplo numérico para a determinação das peças ótimas a serem feitas assim como das velocidades de corte ótimas a serem utilizadas, para a produção de peças, está apresentado nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Dados básicos para a análise de carga de máquina(1)

Grupo	Peça	Qtde. lote	Tempo de preparação p/ o grupo	Tempo de preparação p/ os trabalhos	Tempo unitário de produção
i	j	ℓ_{ij}	S_i	S_{ij}	P_{ij}
Nº	Nº	pçs	min	min/lote	min/pç
1	1	30	40	19	6
	2	10		8	2
2	1	20	35	10	17
	2	50		9	9
	3	30		15	7
3	1	20	20	5	12
	2	60		13	6
4	1	20	45	6	16
	2	10		10	13
	3	40		20	15

Tempo permitido d = 40 (h)

Tabela 8 - Solução ótima para a carga de máquina (1).

Grupo	Nº	1		2			3		4		
Peça	Nº	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3
Tamanho requerido do lote	pçs	30	10	20	50	30	20	60	20	10	40
Aceito(A) ou Rejeitado(R)		A	A	R	A	A	A	A	R	A	A
Qtde. de produção	pçs	30	10	-	50	30	20	60	-	7	40
Tempo de produção	min/lote	199	28		459	225	245	373		101	620
Tempo de produção do grupo	min	267		719			638		766		
Qtde. total de produção	247pçs	tempo total de produção		2390min			tempo restante		10min		

6.3. Aplicações Integradas com MRP

A operação típica de uma fabricação com vários estágios e vários produtos apresenta um problema para o qual tem sido encontrado dificuldades em se determinar meios para um efetivo controle da produção. Tal problema é tipicamente caracterizado por:

(a) Vasto número de componentes individuais
(b) Uma alta variabilidade entre as peças em termos de geometria da peça
(c) Uma alta variabilidade entre as peças em termos de operações de fabricação e suas seqüências
(d) Variabilidade na demanda do produto final tanto em termos de função como de tempo

Para proporcionar um sistema viável para o controle da produção, tal sistema precisa responder às seguintes questões:

(a) Quais peças específicas devem ser produzidas durante um dado período?
(b) Quantas dessas peças devem ser produzidas durante aquele período?
(c) Qual é a programação para a produção dentro de cada período?
(d) Existem peças similares que podem ser produzidas ao mesmo tempo de modo que se tenha um tamanho de lote mais econômico e também diminua a quantidade total de tempo de preparação requerida?

A Tecnologia de Grupo toma todas as peças e procura classificá-las em conjuntos trabalháveis de famílias de peças e/ou designá-las aos grupos/células de máquinas. Idealmente, as peças de uma família de peças, possuem bastante similaridade entre si de modo que as peças individuais podem ser processadas via um particular sub-conjunto do processo total de produção.

Material Requirements Planning (MRP) é também uma outra ferramenta para o alívio dos problemas dentro das fábricas com vários produtos e vários estágios. Em sua forma mais simples, MRP reduz cada produto final em suas partes elementares e, usando uma previsão das necessidades para o produto final, designa as quantidades necessitadas de cada peça a um específico período de tempo.

Quando introduzidos separadamente, ambos Tecnologia de Grupo e MRP estão sujeitos a várias limitações inerentes. Os algorítmos de programação de grupo, por exemplo, não consideram os aspectos bastante práticos e importantes de tempo-fase da produção da peça, nem as limitações de capacidade de máquina do grupo/célula de máquinas designadas para cada família de peças. Isto é, um típico algorítmo de programação de grupo assume que todas as peças (para o serviço em consideração) estão disponíveis no início do período de tempo.

MRP, embora considerando os aspectos de tempo-fase do problema, simplesmente especifica várias quantidades de peças aos períodos de tempo específicos sem consideração a

ambos, a programação necessária dentro daquele período ou as vantagens de processamento pelo agrupamento das peças em famílias.

Deve ser óbvio, contudo, que o MRP desenvolve o conjunto de dados necessários para um algorítmo de programação de grupo que realmente considere os aspectos de tempo-fase do problema. Consequentemente, através de uma combinação adequada de MRP e programação de grupo, é possível construir um sistema integrado que possua as vantagens de ambos os conceitos e mesmo tempo minimize suas limitações individuais. Tal sistema pode, então, responder o conjunto de perguntas listadas anteriormente e assim proporcionar um meio viável de um controle de produção efetivo.

Um procedimento para uma aplicação integrada do MRP e da programação de grupo pode ser dividido em uma série de passos como listado abaixo:

Passo 1: Reunir os dados normalmente exigidos pelos conceitos de MRP e Tecnologia de Grupo (isto é, peças e suas descrições, capabilidades das máquinas, subdivisão de cada produto em seus componentes individuais, uma previsão de demanda dos produtos e assim por diante).

Passo 2: Usar a Tecnologia de Grupo para determinar as famílias de peças. Designar cada família por G_i (i= 1,2,...,m).

Passo 3: Usar MRP para designar cada componente a um específico período de tempo.

Passo 4: Arranjar as designações de período de tempo por componente do Passo 3 de acordo com as famílias de peças do Passo 2.

Passo 5: Usar um algorítmo adequado de programação de grupo para determinar a programação ótima para todas aquelas peças dentro de um dado grupo ou família, para cada período de tempo.

Uma ilustração simplificada (15) para explicar o procedimento é dado nas Tabelas 9, 10 e 11. Vamos assumir que 5 peças estão sendo produzidas dentro de uma fábrica. Essas peças, designadas como A, B, C, D e E respectivamente, são usadas para formar certos produtos finais e seria impraticável uma subdivisão posterior delas. Usando Tecnologia de Grupo, temos condições de dividir as 5 peças em duas famílias de peças, designadas simplesmente como G_1 e G_2. Também, um número específico de código dá peça é designado a cada peça usando um sistema de classificação e codificação.

O número de unidades requerido para cada peça, para um certo mês, foi determinado ser: A = 60, B = 60, C = 60, D = 30 e E = 50. Esta informação está resumida na Tabela 9. Entretanto, se um algorítmo de programação de grupo sozinho é usado sobre os dados fornecidos pela Tabela 9, tal programa bem poderia violar as restrições de datas de entrega específicas. Por exemplo, alguém pode programar 60 unidades da pe

ça A para ser produzida na semana 4, enquanto pode ser que 15 delas são realmente necessitadas na semana 1.

Usando MRP, pode ser determinado o número exato de cada peça com base em um curto prazo (por exemplo, semanalmente). A Tabela 10 ilustra tal distribuição para este exemplo. Esta tabela dá o número de unidades de cada peça necessitado em cada semana do mês em consideração, mas não diz qual é o programa ótimo dentro de cada semana.

Assim, para obter as vantagens máximas do sistema integrado MRP/Tecnologia de Grupo, as Tabelas 9 e 10 são combinadas dentro de uma forma integrada mostrada na Tabela 11. Em seguida, através da aplicação de um algorítmo de programação adequado àquele conjunto de peças dentro de um grupo e semana comuns, nós podemos obter um programa ótimo para cada semana do mês todo, e que obtenha as vantagens do fluxo de fábrica induzido pela Tecnologia de Grupo assim como das considerações de datas de entrega obtidas pelo MRP.

Tabela 9 - Exemplos de famílias de peças

Grupo	Código da Peça	Peça	Unidades Mensais
G_1	6212-023	A	60
	6212-015	B	60
	6212-083	D	30
G_2	5333-125	C	60
	5333-186	E	50

Tabela 10 - Designação de peças semanalmente pelo MRP

Código da peça	Peça	Liberação dos Pedidos Programados			
		Semana			
		1	2	3	4
6212-023	A	30	30	0	0
6212-015	B	15	15	15	15
5333-123	C	20	20	10	10
6212-083	D	10	10	5	5
5333-186	E	15	15	10	10

Tabela 11 - Dados combinados Tecnologia de Grupo/MRP

Grupo	Código da peça	Nome da peça	Liberação dos Pedidos Programados			
			Semana			
			1	2	3	4
G_1	6212-023	A	30	30	0	0
	6212-015	B	15	15	15	15
	6212-083	D	10	10	5	5
G_2	5333-125	C	20	20	10	10
	5333-186	E	15	15	10	10

7. A FABRICAÇÃO ASSISTIDA POR COMPUTADOR E A TECNOLOGIA DE GRUPO

7.1 - Fabricação assistida por computador

O desenvolvimento e a implantação da fabricação assistida por computador (CAM) na indústria mecânica léva a aplicações mais integradas da Tecnologia de Grupo para maior produtividade. Tem sido reconhecido que a Tecnologia de Grupo é um elemento básico e essencial do sucesso do desenvolvimento e implantação do CAM, através da aplicação do conceito de família de peças baseado em similaridades geométricas e de processamento entre as peças. Este caminho cria uma base econômica compatível para a evolução da automação por computador na fabricação à base de lotes, através de um maior uso de controle hierárquico por computador e sistemas de fabricação multi-estação com CN.

Um sistema de classificação de peças, que é parte integrante e que tem sido usado como uma ferramenta essencial em aplicações da Tecnologia de Grupo, também pode ser estendido como um meio de descrição de peças de uma maneira que ele possa ser facilmente integrado na estrutura de base de dados do computador; que liga projeto e produção. Essas bases de dados devem ser desenvolvidas tal que elas correspondam aos agrupamentos de ferramental, máquinas ou estações de máquinas, usando os conceitos da Tecnologia de Grupo, e também para proporcionar a base para o planejamento do processo automático por computador. Além disso, como uma evolução do CAM leva ao projeto e ao planejamento do processo generativo, um sistema de classificação e codificação tornar-se-á uma parte integrante do sistema generativo total desenvolvido com o CAM.

Uma proposta para a fabricação integrada assistida por computador (ICAM), enfatiza a necessidade da implantação da Tecnologia de Grupo para a sua realização bem sucedida como mostrado na Figura 14 (16).

À medida que desenvolvimentos futuros da tecnologia de fabrição orientada para o CAM progridam, mais sistemas evolutivos e generativos de Tecnologia de Grupo devem ser estudados e implantados em todas as áreas, como por exemplo, projeto, planejamento, controle, programação, inventário, ferramental, produção, testes, montagem, etc.

A implantação bem sucedida de CAM está certamente baseada no desenvolvimento balanceado do hardware e do software para a implantação da Tecnologia de Grupo que proporciona a base fundamental para o desenvolvimento posterior da tecnologia de CAM.

A Tecnologia de Grupo é um desenvolvimento revolucionário e dinâmico que continua a expandir sua influência nos sistemas de fabricação. É evidente que o papel da Tecnologia de Grupo é ampliado com os novos desenvolvimentos na teoria e aplicação, não somente para a melhoria da produtividade em sistemas convencionais de fabricação à base de lotes, mas também para uma adaptação adequada de sistemas CAM.

FABRICAÇÃO INTEGRADA ASSISTIDA POR COMPUTADOR (ICAM)

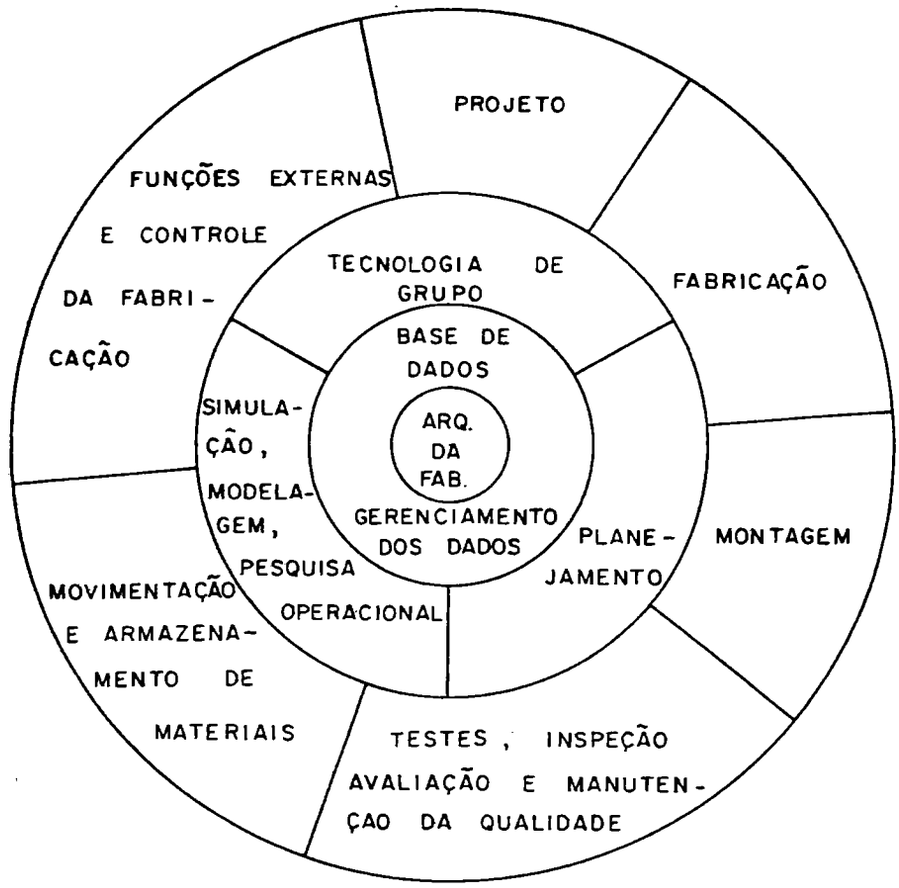


Figura 14 - Fabricação Integrada Assistida por Computador (ICAM) e Tecnologia de Grupo (16).

7.2 - Planejamento do Processo Assistido por Computador

Para uma implantação bem sucedida de sistemas CAM, um dos requisitos essenciais é o planejamento do processo assistido por computador. O uso de técnicas automatizadas de planejamento de processos, como uma base para um caminho lógico e racional para o projeto de componentes para a fabricação da maneira mais econômica, é a chave para a obtenção de produtividade ótima de fabricação em sistemas CAM. Um requisito essencial é desenvolver uma estrutura de tomada de decisão baseada em um número de algorítmos ou de diagramas lógicos de fluxos em cada estágio particular da tomada de decisão; e em particular desenvolver procedimentos para a recuperação de informação de especificações de projetos de peças, requerimentos de ferramental, capabilidades e condições de usinagem, e outros dados pertinentes, armazenados em bancos de dados no computador.

O planejamento do processo assistido por computador pode ser feito de dois modos; pelo processo generativo ou através da recuperação de dados disponíveis. A maioria dos sistemas disponíveis de planejamento de processos empregam a técnica da recuperação que é baseada em famílias de peças e em certos bancos de dados de ferramental e de processos padronizados. A técnica generativa cria um processo novo e único para uma determinada peça. Tem sido feitos esforços, por vários grupos interessados, para desenvolver o planejamento do processo do tipo generativo.

Tem sido reconhecido que a Tecnologia de Grupo é um elemento essencial para a execução com êxito do planejamento do processo automatizado por computadpr. Como indicado no diagrama de fluxo (Figura 15) proposto pelo CAM-I (Computer Aided Manufacturing-International), (17) o caminho lógico para o planejamento bem sucedido do processo automatizado é um sistema baseado sobre o conceito de família de peças. O desenvolvimento de famílias de peças, usando um sistema de classificação e codificação adequado, tornará possível desenvolver padrões de forma e de processos dentro das famílias de peças. Assim, é possível a iniciação de planejamento do processo gerado automaticamente.

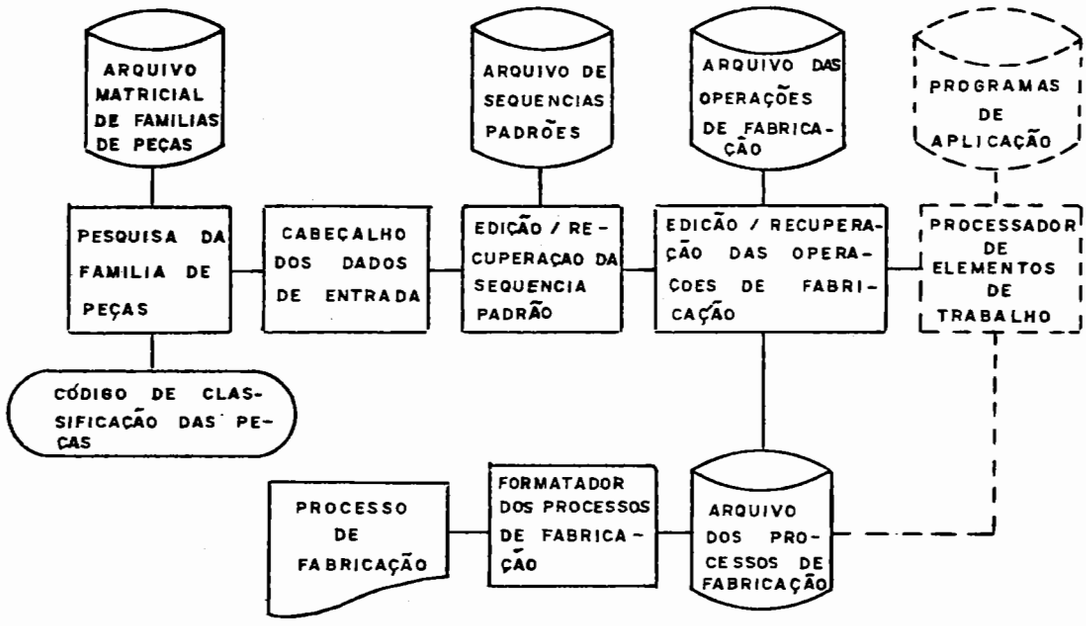


Figura 15 - Diagrama de fluxo para o planejamento de processo assistido por computador proposto por CAM-I (17).

7.3 - Programação CN-T.G.

A Tecnologia de Grupo pode tornar economicamente viável o uso de equipamentos automáticos sofisticados tais como máquinas de C.N. e/ou ferramental especial que poderiam ser demasiado caros para a produção do tipo em lotes. As vantagens dos equipamentos automáticos com C.N. são usualmente excedidas pelos problemas e custos do ferramental e do planejamento da produção, baixa utilização, tempos longos de preparação, etc. Com aplicações adequadas da Tecnologia de Grupo, esses problemas podem ser reduzidos a uma extensão tal que se torne vantajoso o uso de equipamentos com C.N. que de outra forma poderiam ser não econômicos. Isto é particularmente verdade para as caras máquinas atuais de C.N. do tipo centro de usinagem. Os custos das ferramentas das máquinas de C.N. também podem ser reduzidos pela seleção de máquinas com C.N. menores e/ou menos flexíveis, através de aplicações da Tecnologia de Grupo, pelo agrupamento adequado das máquinas e pelo carregamento eficiente das máquinas.

Muitas vantagens reivindicadas para as máquinas com C.N. são também da maior importância em um meio ambiente com Tecnologia de Grupo. Enquanto o comando numérico de máquinas ferramentas oferece a possibilidade de usinar èconomicamente pequenos lotes de componentes através da redução do tempo de preparação, a Tecnologia de Grupo oferece o mesmo. Em muitos casos, C.N. e Tecnologia de Grupo serão não somente mutuamente viáveis, mas juntos eles podem se auto sustentar e auto melhorar. Portanto, uma utilização combinada das características especiais do C.N. e da Tecnologia de Grupo torna possível obter-se máximo lucros de ambos.

Uma das importantes aplicações da Tecnologia de Grupo é o desenvolvimento de um software de usinagem com C.N. chamado "Programação por Família de Peças". A programação por família de peças é um sistema de programas de C.N. que reúne elementos de programas comuns ou similares dentro de um único programa principal de computador. O programa principal, ou pré-processador, é uma base permanente a partir da qual pode ser preparado uma fita C.N. para qualquer peça pertencente à família de peças. Dessa forma, a programação da família de peças aumenta a produção das operações do C.N. através da economia do tempo de programação, mãode obra, e tempo de verificação da fita. Ela também reduz "lead time", estoques de ferramentas, simplifica a manutenção e requer menor tempo de reprocessamento.

A programação da família de peças (18) corta um dos grandes elementos de custo das operações de C.N.. Um programa principal para uma família de peças armazenado no computador, mais uma pequena quantidade de variáveis de entrada, entrega uma fita para qualquer peça da família. Algumas vantagens e desvantagens da programação por família de peças, são as seguintes:

Vantagens:

Maior produtividade do C.N.
Primeiras fitas com mínimo erro
Risco menor de colisão de máquina
Necessidade mínima de correção de erros de programa
Maior produtividade do operador
Menores reprocessamentos computacionais
Fitas novas no mesmo dia
Baixo risco de refugar primeiras peças
Economia de mão de obra de programadores
Baixo custo de programação de peças
Ferramentas de corte padronizadas
Processamento dos trabalhos padronizados
Otimização conjunta
Documentação uniforme
Manutenção conjunta de programas
Ajuda à padronização de projetos
Lógica de programa transferível

Desvantagens:

Maior investimento inicial
Lógica de programa mais complexa
Maior memória de armazenamento
Tempo longo de processamento

7.4 - Sistemas de Fabricação Multi-Estações e Centros de Usinagem:

Os centros de usinagem com C.N. em virtude de suas características, são capazes de fazerem o serviço de várias máquinas ferramentas convencionais. Eles combinam um número de montagens de máquina em uma única, tendo assim o efeito do layout de grupo de máquinas. Portanto, os centros de usinagem podem ser considerados como grupos ou células de máquinas, com a capacidade de redução de "lead time" e de inventário em processo. Tais centros de usinagem são caros. O seu uso deve ser otimizado através da Tecnologia de Grupo.

Em qualquer lugar que esteja sendo considerada a instalação de um centro de usinagem, os máximos benefícios serão obtidos prestando-se atenção ao complexo global da usinagem que suporta e carrega o centro de usinagem. Em outras palavras, o centro de usinagem com C.N. será geralmente eficientemente operado em um ambiente com Tecnologia de Grupo.

Com aplicações da Tecnologia de Grupo no layout e na organização da fábrica, com sua mão de obra e seus equipamentos em uma base de famílias de peças em vez de em uma base funcional, pode ser conseguido com êxito um programa de CAM. A evolução do CNC e do DNC está também relacionada à Tecnologia de Grupo através da hierarquia de computador. À medida que um controle por mini-computador do tipo CNC de máquinas individuais de uma célula de Tecnologia de Grupo é adotado, ele proporcionará uma base mais econômica para um DNC total da célula. Eventualmente, tornar-se-á lucrativo ligar todas as célu-

las da fábrica com um computador maior, proporcionando uma base inicial para uma automatização e otimização "on-line" total da fábrica.

Uma das tendências futuras do CAM é o "Sistema de Fabricação Multi-Estação", que também acarreta a evolução das células da Tecnologia de Grupo. À medida que aumenta o número de estações de trabalho (work-station) com C.N. sob CNC/DNC em uma célula, tornam-se possíveis operações mais econômicas através de uma automatização completa e de uma integração de movimentação de ferramenta e de trabalho e de transferência dentro da célula.

A etapa final na evolução do CAM é, naturalmente, a fábrica automática integrada com o computador operando com base em células de fabricação. O conceito global para o sistema total é baseado no uso das células de fabricação, cada uma devotada à produção de certas famílias de peças. Cada célula é controlada pelo seu micro-computador. O sistema global de computadores para a fábrica, é de natureza hierárquica. Computadores de nível médio controlam e coordenam a operação e a programação do trabalho para uma ou mais células, enquanto o sistema global está sendo controlado por um computador central.

8. ECONOMIAS DA TECNOLOGIA DE GRUPO

8.1 - Justificativa e Benefícios Econômicos

Uma implantação apropriada e bem sucedida da Tecnologia de Grupo levará a melhorias que incluem um projeto mais efetivo, menores estoques e menos compras, planejamento e controle da produção simplificado, sequenciamento e carregamento ótimos, tempos de preparação e ferramental reduzidos, inventário em processo reduzido, tempo total de produção menor, utilização mais eficiente de máquinas caras, etc.. Benefícios econômicos significantes serão alcançados como mostrado na Figura 16.

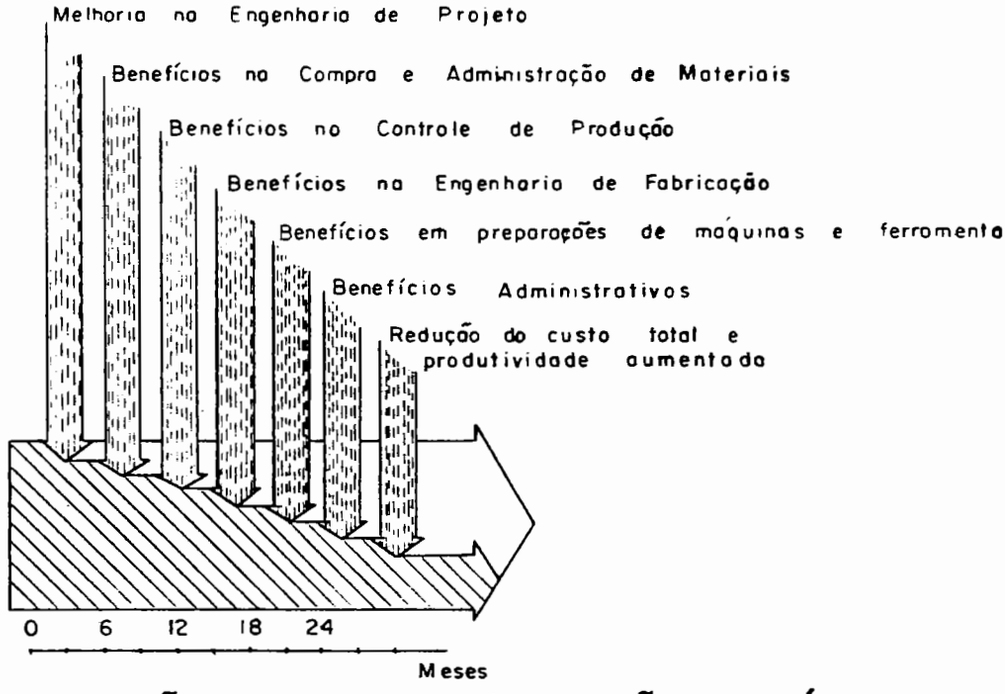


Figura 16 - Redução de custos de fabricação através da aplicação da Tecnologia de Grupo.

É desejável analisar esses ganhos econômicos através da análise de custo de aplicações específicas pela comparação dos benefícios econômicos de ambos, do método convencional presente e do método proposto pela Tecnologia de Grupo. A justificativa econômica é uma chave para a implantação da Tecnologia de Grupo. Várias fórmulas e procedimentos tem sido desenvolvidos para a análise econômica e alguns exemplos de tais métodos são apresentados na seção 8.2, "Análise Comparativa de Custo".

Os ganhos econômicos obtidos através da implantação da Tecnologia de Grupo são grandes. Entretanto, ela requer um período de tempo para obter novas economias uma vez que um custo considerável é envolvido na manutenção do sistema, como indicado no caso histórico mostrado na Figura 17.

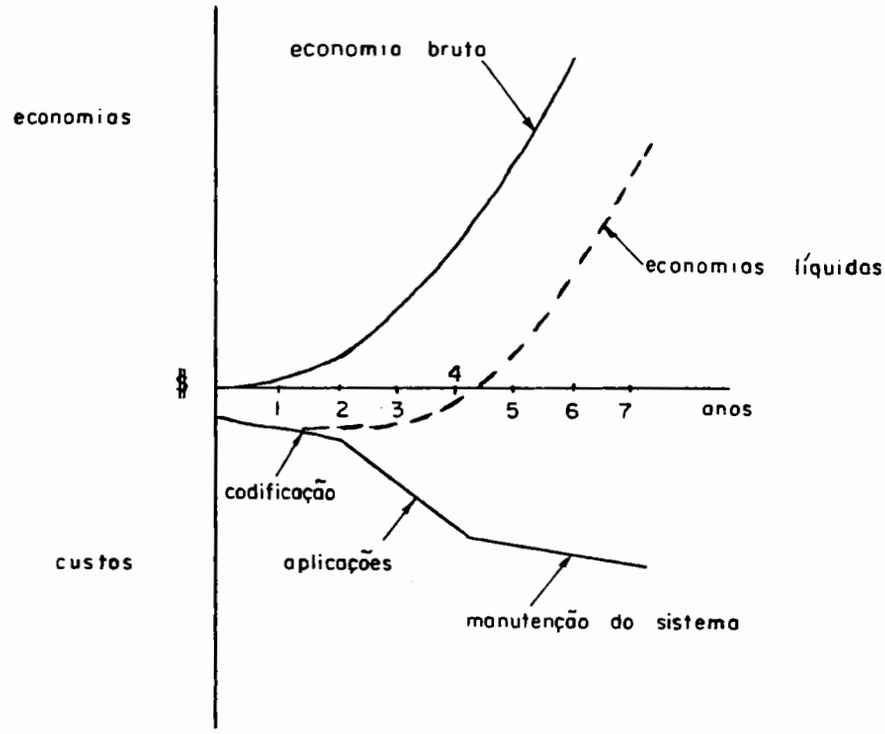


Figura 17 - Exemplos de economias de custos, gastos e período de tempo para a implantação da Tecnologia de Grupo.

8.2 - Análise Comparativa de Custo:

8.2.1 - Custos de Ferramental de Grupo:

Uma das vantagens da aplicação da Tecnologia de Grupo é a racionalização do projeto de ferramentas e a redução de dispositivos que levam a uma redução de custos de ferramental e de custos de produção com um todo. A análise de custo de fer

ramental de grupo (dispositivos de fixação e de localização de grupo) em comparação com os custos de ferramental do método do ferramental convencional torna-se essencial para a justificativa das aplicações da Tecnologia de Grupo no ferramental (19).

(a) Método do ferramental convencional:

$$C_{twl} = \sum_{i=1}^{p} C_{wl}(i)$$

onde:

C_{wl} = custo de um dispositivo do método do ferramental convencional, $

C_{twl} = custo total do ferramental do método convencional, usando "p" diferentes dispositivos, $

p = número de dispositivos diferentes utilizados (possivelmente também o número de peças diferentes a serem produzidas)

(b) Método do ferramental de grupo:

$$C_{tw2} = \sum_{i=1}^{o} C_a(i) + C_{w2}$$

onde:

C_{w2} = custo do dispositivo de grupo, $

C_{tw2} = custo total para o ferramental de grupo usando um dispositivo de grupo com "q" adaptadores diferentes, $

C_a = custo de um adaptador, $

q = número de adaptadores usados para a produção de uma família de peças

(c) Custo unitário do ferramental:

(i) Método do ferramental convencional:

$$C_{ul} = \frac{C_{twl}}{N} = \frac{\sum_{i=1}^{p} C_{wl}(i)}{N}$$

onde:

C_{ul} = custo unitário do ferramental para o método do ferramental convencional, $/peça

N = número de peças produzidas.

(ii) Método do ferramental de grupo:

$$C_{u2} = \frac{C_{tw2}}{N} = \frac{\sum_{i=1}^{a} C_a(i) + C_{w2}}{N}$$

onde:

C_{u2} = custo unitário do ferramental para o método do ferramental de grupo, $/peça

Os seguintes dados mostrados nas Tabelas 12 e 13, são dados para a comparação entre o método do ferramental convencional usando um dispositivo convencional para o fresamento, e o novo método do ferramental de grupo, usando um dispositivo de grupo padrão e adaptadores.

O custo total do ferramental (C_{tw}) e o custo unitário do ferramental (C_u) do método do ferramental convencional e do método do ferramental de grupo, em relação ao número de peças diferentes da família de peças, estão computados e listados na Tabela 13. Os custos totais (C_{tw}) e os custos unitários (C_u) estão plotados nas Figuras 18 e 19, respectivamente, em função do número de peças diferentes da família de peças.

Como está mostrado nesses gráficos, o custo do ferramental convencional cresce numa velocidade muito maior que o custo para o método do ferramental de grupo. Com relação aos custos unitários de ferramental, à medida que o número de peças da família de peças aumenta, o custo unitário de ferramental para o método do ferramental de grupo se torna muito mais econômico comparado com o método de ferramental convencional o qual não é afetado pelo número de peças da família de peças. Entretanto, a diminuição pronunciada do custo unitário de ferramental nivela após um certo número de peças da família. Isto indica que existe um limite até o qual a redução do custo unitário de ferramental é efetiva. Também, os dois gráficos indicam os pontos de igual custo (Break-even points), permitindo que se tome a decisão de selecionar o método de ferramental adequado.

Na comparação dos métodos de ferramental de grupo e convencional, torna-se necessário analisar não somente os custos totais e unitários, mas também o número de peças da família de peças onde ocorre o ponto de igual custo (break-even point). O ponto de igual custo, nos custos de ferramental de ambos os métodos, pode ser obtido como segue:

Tabela 12 - Dados de custo para análise comparativa

Item	Método do ferramental convencional	Método do ferramental de grupo
Custo do dispositivo de furação	$ 815	$ 2208
Número de dispositivos requeridos	6	1
Custo de um adaptador	-	$ 450
Número de adaptadores requeridos	-	5
Número de peças a serem produzidas	240	240

Tabela 13 - Exemplo de computação de custos de ferramental para comparação

Número de peças da família de peças	Método Convencional		Método do Ferramental de Grupo	
	C_{tw1} ($)	C_{u1} ($)	C_{tw2} ($)	C_{u2} ($)
1	815	3,40	2658	11,08
2	1630	3,40	3108	6,48
3	2445	3,40	3558	4,94
4	3260	3,40	4008	4,18
5	4075	3,40	4458	3,72
6	4890	3,40	4908	3,41
7	5705	3,40	5358	3,19
8	6520	3,40	5808	3,03
9	7335	3,40	6258	2,90
10	8150	3,40	6708	2,80
11	8965	3,40	7158	2,71
12	9780	3,40	7608	2,64
13	10595	3,40	8058	2,58
14	11410	3,40	8508	2,53
15	12225	3,40	8958	2,49
20	16300	3,40	11208	2,34

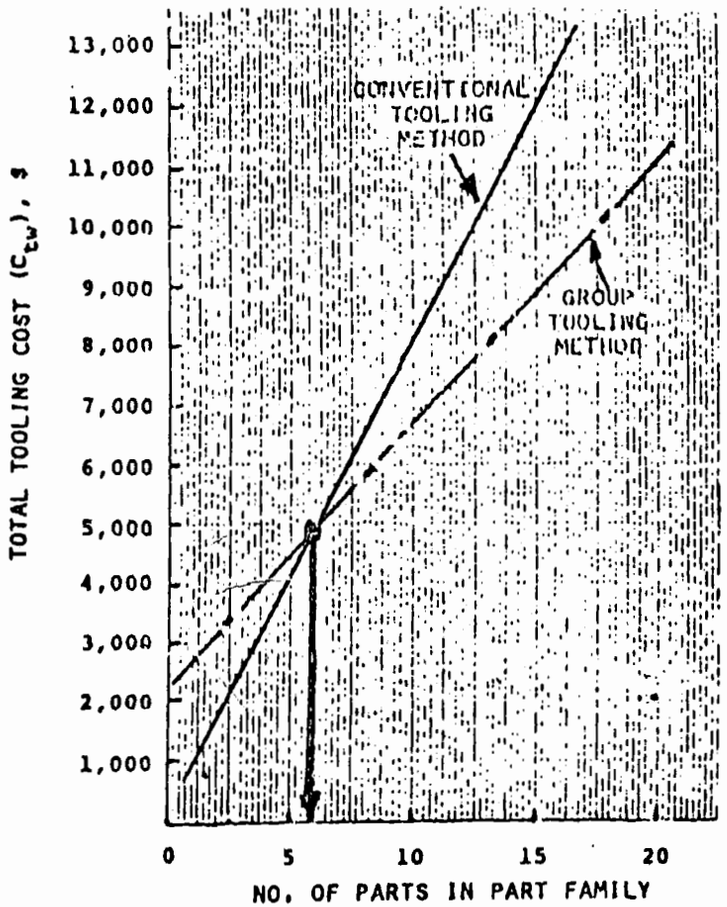


Figura 18 - Custo total de ferramental para os métodos convencional e de grupo (ver tabelas 12 e 13)

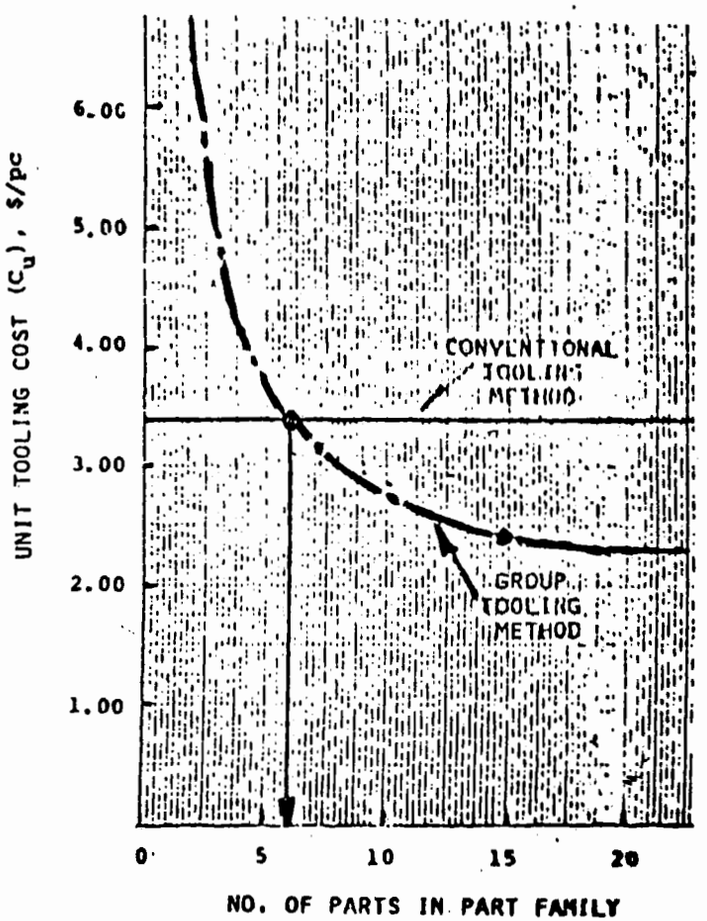


Figura 19 - Custo unitário de ferramental para os métodos convencional e de grupo (ver tabelas 12 e 13)

quando $n = n_b$ $\qquad C_{tw1} = C_{tw2}$

$$\sum_{i=1}^{p \text{ em } n_b} C_{w1(i)} = C_{w2} + \sum_{i=1}^{q \text{ em } n_b} C_{a(i)}$$

onde: n = número de peças da família de peças

n_b = número de peças da família de peças no ponto de igual custo (break-even point)

Por simplicidade, vamos assumir que o ponto de igual custo possa ser analizado usando o custo médio de ferramental que é expresso como:

Custo médio de ferramental: $\overline{C}_{w1} = \dfrac{\sum_{i=1}^{p} C_{w1(i)}}{p}$

Custo médio por adaptador: $\overline{C}_a = \dfrac{\sum_{i=1}^{q} C_{a(i)}}{q}$

O número de peças (n_b) da família de peças para mesmo custo pode ser encontrado como segue:

$$n_b = \frac{C_{w2}}{\overline{C}_{w1} - \overline{C}_a}$$

Entretanto, o número de dispositivos ou de adaptadores necessitados no ponto de igual custo (break-even point) pode ou não ser igual ao número de peças da família ou grupo de peças. Por exemplo, se um adaptador puder ser usado para duas peças diferentes, o número de adaptadores necessitados será uma unidade menor que o número de peças da família de peças. Este raciocínio se aplica também ao número de dispositivos "p". No método do ferramental convencional, o número de dispositivos é usualmente igual ao número de dispositivos é usualmente igual ao número de peças diferentes produzidas. Entretanto, em alguns casos, o número de dispositivos necessitados pode ser menor que o número de peças diferentes a serem produzidas.

Vamos assumir que sejam requeridos "p" dispositivos com o método do ferramental convencional e um dispositivo de grupo com "q" adaptadores com o método do ferramental de grupo para a produção de "n" peças diferentes de uma família de peças. Então (n-p) ou (n-q) representam o número de peças que não requerem um dispositivo ou adaptador próprio, uma vez que essas peças podem ser produzidas usando os dispositivos ou adaptadores projetados para as outras peças. É também natural assumir que essas (n-p) ou (n-q) peças estejam incluídas no número (n_b). Assim, o número real de dispositivos ou de adaptadores requeridos no ponto de igual custo(break-even point) é $n_b - (n-p)$ ou $n_b - (n-q)$, respectivamente. Dessa forma, o número de peças da família de peças no ponto de igual custo, para esses casos onde $n \neq p$ e/ou $n \neq q$ pode ser ex

presso por:

$$n_b = \left\{ \frac{C_{w2} + (n-p)\,\overline{C}_{w1} - (n-q)\,\overline{C}_a}{(\overline{C}_{w1} - \overline{C}_a)} \right\}$$

8.2.2. Custos da Usinagem em Grupo

A usinagem em grupo é uma das características mais importantes das aplicações da Tecnologia de Grupo. Embora a usinagem em grupo seja vantajosa sob vários pontos de vista técnicos, ainda é desejável confirmar as vantagens do método da usinagem em grupo sobre o método convencional de usinagem.

(a) O custo total de usinagem para um único lote de uma peça com um ferramental especial individual pode ser expressado por:

$$C_{tm} = C_o\,(T_c\,N_\ell + T_s) + D_t$$

onde:

C_{tm} = custo total de usinagem, $

C_o = salário do operador, $ min

T_c = tempo de usinagem por peça, min/pç

N_ℓ = tamanho do lote, pç/lote

T_s = tempo de preparação para um lote, min/lote

D_t = depreciação do ferramental para um lote, $/lote

(b) O custo total de usinagem para a usinagem de "n" lotes ou de "n" peças diferentes da família de peças para ambos, convencional e usinagem de grupo, pode ser expresso como segue:

(i) Usinagem convencional (individual)

$$C_{tml} = C_o \left[\sum_{i=1}^{n} T_{cl(i)}\,N_{\ell l(i)} + \sum_{i=1}^{n} T_{sl(i)} \right] + \sum_{i=1}^{n} D_{tl(i)}$$

onde:

C_{tml} = custo total de usinagem para a usinagem convencional, $

n = número de lotes ou número de peças diferentes a serem produzidas

T_{cl} = tempo de usinagem por peça pela usinagem convencional, min/pç

T_{sl} = tempo de preparação para a usinagem convencional, min/lote

D_{tl} = depreciação média do ferramental por lote para a usinagem convencional, $/lote

(ii) Usinagem em grupo:

$$C_{tm2} = C_o\left[\sum_{i=1}^{n} T_{c2(i)} N_{l2(i)} + T_{s2} + \sum_{i=1}^{n} T_{sa(i)}\right] + D_{t2} + \sum_{i=1}^{n-1} D_{ta(i)}$$

onde:

C_{tm2} = custo total de usinagem para a usinagem em grupo, $

n = número de peças da família de peças

T_{c2} = tempo de usinagem médio por peça pela usinagem em grupo, min/pç

T_{s2} = tempo de preparação por lote (para uma família de peças) para a usinagem em grupo, min/lote

T_{sa} = tempo de preparação por adaptador para a usinagem em grupo, min/adaptador

D_{t2} = depreciação do ferramental da família de peças para o lote, $/lote ou $/família de peças

D_{ta} = depreciação por lote de um adaptador na usinagem em grupo, $/adaptador/lote.

O tempo total de produção necessário para processar "n" peças diferentes pelo método convencional pode ser definido pelo tempo de usinagem das peças e pelo tempo gasto na montagem ou preparação dos dispositivos necessários para cada peça.

$$T_{ml} = \sum_{i=1}^{n_1} T_{c1(i)} N_{l1(i)} + \sum_{i=1}^{p} T_{s1(i)}$$

onde:

T_{ml} = tempo total de produção para a produção de um grupo de peças pelo método convencional, min

n_1 = número de peças diferentes produzidas

T_{c1} = tempo de usinagem por peça, min/pç

N_{l1} = tamanho do lote

p = número de dispositivos usados.
Usualmente p=n, entretanto se p≠n, isto significa que (n-p) peças são produzidas consecutivamente usando o mesmo dispositivo

T_{sl} = tempo de preparação para um lote, min.

No método da usinagem em grupo, o tempo total de produção necessário para produzir "n" peças diferentes de uma família de peças pode ser calculado pelo tempo de usinagem das peças, pelo tempo de preparação do dispositivo do grupo e do tempo de montagem dos adaptadores usados para o processamento de cada peça.

$$T_{m2} = \sum_{i=1}^{n_2} T_{c2(i)} N_{\ell 2(i)} + T_{s2} + \sum_{i=1}^{q} T_{a(i)}$$

onde:

T_{m2} = tempo de produção para a produção de uma família de peças pela Tecnologia de Grupo, min

n_2 = número de peças diferentes da família de peças

T_{c2} = tempo de usinagem por peça, min/pç

$N_{\ell 2}$ = tamanho do lote

T_{s2} = tempo de preparação para o dispositivo do grupo, min

q = número de adaptadores usados

T_a = tempo de montagem (preparação) por adaptador, min.

8.2.3 - Custo de preparação para um grupo

Uma das principais vantagens do método da produção em grupo sobre o método de produção convencional é a redução de custos de preparação através do uso de dispositivos de grupo para famílias de peças específicas. O custo de preparação pode ser expresso como segue:

(a) Método do ferramental convencional

$$C_{s1} = C_o \sum_{i=1}^{q} \sum_{j=1}^{n_i} T_{sij}$$

(b) Método do ferramental de grupo

$$C_{s2} = C_o \sum_{i=1}^{q} (T_{si} + \sum_{j=1}^{n_i} T_{saij})$$

onde:

C_o = salário do operador, $/min

q = número de famílias de peças

n = número de trabalhos (componentes) no grupo i (G_i)

T_s = tempo de preparação para um lote, min/lote

T_{sa} = tempo de preparação para um adaptador, min/adaptador

9. PROBLEMAS ADMINISTRATIVOS

9.1 - Problemas com pessoal

A implantação de um conceito ou sistema novo exige um alto grau de cooperação entre vários grupos ou departamentos da companhia. O pessoal da engenharia de projeto, planejamento do processo, controle da produção, controle de estoques, compras, ferramental e da fábrica precisam perceber o quanto um grupo é dependente dos outros. Esse tipo de comunicação nem sempre está presente, mas ele é absolutamente essencial para que a Tecnologia de Grupo seja implantada com êxito. É um fenômeno comum que uma grande dose de suspeita siga qualquer forma de mudança de um padrão de vida existente, quer esta mudança seja dentro de um meio industrial ou inteiramente fora dele. A Tecnologia de Grupo não somente mudará o padrão de trabalho do meio, para muitos dos empregados de uma companhia, como também ela exigirá uma nova forma de pensamento.

À medida que a Tecnologia de Grupo tem se tornado mais aceita, também tem se tornado aparente que as eficiências obtidas através das aplicações da Tecnologia de Grupo não são inteiramente determinadas pelas suas características técnicas. Fatores adicionais de natureza social estão fazendo uma contribuição importante, e esses estão entre os principais apelos que a Tecnologia de Grupo está fazendo aos cientistas sociais (20). Ela oferece algumas soluções para a satisfação com o trabalho, tal como a participação do trabalhador na tomada de decisão como um grupo, relacionamento de trabalho personalizado, variedade nas tarefas, liberdade para determinar métodos, métodos de produção em grupo, etc.

No método da produção em grupo, quando um trabalho é designado a um grupo/célula de máquinas, ele é processado segundo certas operações de produção por aquele grupo de trabalhadores da fábrica. Desde que todos os trabalhos em um grupo estejam confinados a uma célula da fábrica e a um pequeno grupo de trabalhadores, o supervisor da célula pode ter melhor controle do processamento do trabalho. Tem sido encontrado que a Tecnologia de Grupo contribui significantemente para aumentar a moral do grupo de trabalhadores levando assim a uma maior produtividade e melhor qualidade. Em virtude de todas as peças produzidas pelo grupo pertencerem à famílias de peças específicas com similaridades comuns, os trabalhadores do grupo tornam-se bastante familiarizados com o trabalho e com as operações requeridas. Como resultado, a eficiência e a qualidade de produção são melhoradas quando comparadas com aquelas obtidas sob condições convencionais ou funcionais de fábrica. Além disso, em comparação ao método convencional de produção onde cada trabalhador é consciente somente de seu próprio trabalho, não conhecendo as operações anteriores ou posteriores, os trabalhadores em um grupo/célula tem uma consciência e uma identificação mais profunda com ostrabalhos. Ali se desenvolve uma certa responsabilidade de grupo na manutenção da qualidade que auxilia ambos, o produto e as atitudes dos trabalhadores através de uma maior moral do grupo.

9.2 - Avaliação para a implantação

É essencial checar todas as questões possíveis e todos os problemas em potencial antes que qualquer empreendimento principal seja feito para a implantação da Tecnologia de Grupo. Algumas vantagens e desvantagens principais da Tecnologia de Grupo estão sumarizadas abaixo.

(I) Vantagens potenciais das aplicações da Tecnologia de Grupo

A. Engenharia do produto

1. Um sistema de classificação e codificação bem projetado proporciona um arquivo de projetos para dados efetivos de projetos e um sistema de recuperação eficiente.
2. Um esquema de classificação intensifica a padronização de projetos funcionais e consequentemente evita duplicação e variedade de projetos.
3. Um sistema de recuperação de projetos efetivo leva a uma racionalização de projetos que resulta em significantes economias no custo de projeto, em particular para o projeto de novas peças.
4. As economias resultantes de um sistema de recuperação de dados de projetos e de uma racionalização de projeto são imediatamente alcançadas.
5. Um sistema de classificação e codificação bem projetado proporciona informação completa e precisa necessitada para formar famílias de peças tendo um número de peças prático e razoável em uma particular família de peças.
6. Com a formação das famílias de peças um arquivo de peças compostas será desenvolvido para assistência no projeto e desenvolvimento de componentes compostos.
7. Na utilização de um sistema de classificação e codificação, os dados estarão disponíveis para a avaliação da capabilidade da fabricação, análise de valores e engenharia de métodos.
8. O agrupamento das peças em famílias auxilia na identificação de peças que poderiam ser vantajosamente compradas, fabricadas, ou montadas.
9. Mudanças no produto podem ser mais facilmente incorporadas dentro do sistema.
10. Sistemas de classificação e codificação avançados podem facilmente se tornarem uma parte integrante de um esquema de projeto assistido por computador generativo.

B. Planejamento e controle da produção

1. Um sistema de classificação e codificação bem projetado proporcionará uma recuperação rápida e confiável dos

processos de fabricação para todos os tipos de peças e montagens e processos padrões para as famílias de peças.

2. Processos padronizados para as famílias de peças levam a um projeto efetivo de ferramental de grupo para os conjuntos de famílias, para a programação de CN para a família de peças, e preparação em grupo para as famílias de peças.

3. Arquivos de famílias de peças proporcionam a informação básica requerida para o planejamento computarizado do processo.

4. O controle da produção pode ser simplificado e efetivamente executado dentro de um ambiente com Tecnologia de Grupo.

5. A programação da produção é grandemente simplificada através da programação.

6. O inventário em processo pode ser reduzido devido a um reduzido transporte entre as máquinas e a um menor tempo de espera, usando os métodos da Tecnologia de Grupo.

7. A aplicação correta do método da programação de grupo acarreta a redução do tempo total de produção.

8. Uma programação apropriada para os grupos de famílias de peças assegura o cumprimento das datas de entrega, melhorando assim, a posição competitiva da companhia, garantindo entregas mais rápidas e melhores relações com os compradores.

9. Com o uso da programação de grupo integrada com MRP, é assegurado um controle mais efetivo da programação da produção e do inventário para um melhor balanceamento dos estoques.

10. Obtém-se uma redução do investimento no trabalho em processamento através de uma diminuição do inventário em processo.

11. Um carregamento de máquina mais eficiente, através do agrupamento das peças em famílias e das máquinas em grupos/células, proporciona uma base para a justificativa econômica de máquinas ferramentas caras tais como os centros de usinagem com C.N. e máquinas especiais.

12. A utilização homem/máquina é usualmente melhorada dentro de um ambiente de Tecnologia de Grupo.

C. Fabricação

1. Um sistema de classificação e codificação e/ou a análise de fluxo da produção proporcionará dados significativos para a formação de grupos/células de máquinas para as famílias de peças com oportunidades resultantes para melhores métodos de engenharia de fabricação.

2. O agrupamento das peças em famílias pelas características de fabricação proporciona dados para a melhoria do layout da fábrica.

3. O layout celular de máquinas pode melhorar a utilização do espaço da fábrica.

4. O agrupamento de máquinas ou formação de células para o processamento das famílias de peças proporciona uma linha de produção, resultando em reduzidos transportes e tempos de espera entre os processos.

5. O conceito do componente composto para as famílias de peças, proporciona a base para o projeto de montagens e ferramental de grupo, agrupamento de máquinas em células e programação de CN para as famílias de peças.

6. A utilização de ferramental de grupo para o processamento das famílias de peças reduzirá, grandemente, a preparação total para a família de peças.

7. O tempo de produção real pode ser reduzido através de um uso efetivo dos métodos do ferramental de grupo.

8. O projeto de ferramental pode ser efetuado em uma base racional através do uso de dados codificados efetivos, relacionados às peças dos produtos, aos processos de fabricação e ao ferramental existente.

9. O custo do ferramental pode ser significantemente reduzido pelo projeto de ferramental e das preparações para um grupo.

10. O agrupamento das peças em famílias e uma programação em grupo adequada podem tornar economicamente possível o uso de sofisticados equipamentos automáticos, máquinas com C.N. e centros de usinagem, através de uma eficiência melhorada de carga de máquina.

11. As peças adaptáveis aos centros de usinagem com C.N. e aos centros de usinagem multi-estações podem ser identificadas a partir de um arquivo de dados das famílias de peças.

12. A programação por família de peças para as máquinas com C.N. reduz um dos maiores elementos de custo em operações com C.N.

13. As aplicações da Tecnologia de Grupo permitem uma operação mais eficiente dos sistemas de fabricação multi-estações com centros de usinagem com C.N. e robôs industriais.

14. Fábricas completamente automáticas ou semi-automáticas integradas com computador podem operar, com maior êxito, em um ambiente com Tecnologia de Grupo

D - Administração

1. Sistemas integrados bem sucedidos originados por aplica

ções da Tecnologia de Grupo estimulam uma cooperação mais efetiva entre os departamentos em uma companhia.

2. A moral do grupo de trabalhadores em uma célula é alto, resultando em maior produtividade.

3. A supervisão de uma célula pode ser mais efetiva uma vez que o supervisor tem conhecimento imediato do estado dos trabalhos na célula.

4. Os trabalhadores em uma célula tendem a ser mais conscientes e ter uma melhor compreensão das operações requeridas, do fluxo do trabalho e da situação durante o processo. Este conhecimento leva a uma qualidade de trabalho e a uma eficiência maiores comparadas com a operação convencional do tipo em lote.

5. Relações industriais melhoradas são obtidas com o sistema de produção em grupo o qual pode oferecer uma maior satisfação pessoal com o trabalho.

6. Pode haver uma redução de custo global quando a Tecnologia de Grupo é efetivamente aplicada.

7. Os custos indiretos serão reduzidos como resultado da melhor utilização dos empregados e dos recursos.

8. Uma implantação apropriada do conceito da Tecnologia de Grupo proporciona justificativa econômica para novos investimentos de capitais.

9. Uma redução na variedade de matéria prima e de ítens comprados pode resultar através da redução da variedade de peças e de materiais comprados pelo agrupamento efetivo das peças em famílias.

10. Um sistema de classificação e codificação bem projetado constitui uma forma de dados universais que são utilizáveis em uma variedade de departamentos e pode ser facilmente integrado em uma base de dados principal.

11. A Tecnologia de Grupo proporciona os meios para um fluxo adequado de trabalho e o estabelecimento de centros de custo originando uma carga eficiente de homem e de máquina.

12. A Tecnologia de Grupo pode ter um impacto favorável de longo alcance sobre todos os empregados da produção através da criação de um meio ambiente de maior satisfação do trabalho, maior envolvimento do trabalhador nas tomadas de decisões, bem como o engrandecimento e enriquecimento do trabalho.

II) Possíveis Desvantagens das Aplicações da Tecnologia de Grupo

1. Uma grande despesa e quantidade de tempo podem estar envolvidos na instalação e manutenção do sistema de classificação e codificação.

2. Pode-se necessitar de pessoal adicional para operar e

manter um sistema de classificação e codificação.

3. O custo para rearranjar os desenhos e os arquivos para se ajustar ao novo sistema de classificação e codificação pode ser alto e consumir bastante tempo.

4. Os sistemas de classificação e codificação corretamente disponíveis podem não satisfazerem as várias necessidades de todos os aspectos das operações da companhia. Dessa forma pode ser necessário complementar um presente sistema com códigos adicionais ou desenvolver um novo sistema de codificação.

5. Quando a cooperação e a coordenação entre o departamento de projeto e o departamento de fabricação é pobre, a implantação da Tecnologia de Grupo é usualmente difícil e não completamente bem sucedida.

6. Por causa das diferentes definições e interpretações dos conceitos da Tecnologia de Grupo, não há um entendimento ou enfoque comum das aplicações da Tecnologia de Grupo que seja correntemente aceito.

7. Quando são feitas mudanças no projeto, pode ser necessário mudar os códigos existentes; isto poderia causar dificuldades por inadvertidamente afetar outras atividades relacionadas com o código.

8. O balanceamento de carga de máquina de todas as máquinas e facilidades dentro da célula é difícil.

9. Pode ocorrer uma redução na eficiência global por causa da carga de máquina desbalanceada.

10. Se uma máquina quebra, a produção da célula pode parar. Isto é, a célula tem menor flexibilidade em responder a mudanças inesperadas.

11. Ocorrendo mudanças nos métodos de produção e na quantidade de peças a produzir, pode ser necessário um rearranjo das células o que poderia ser bastante caro.

12. Altos custos podem ocorrer quando se reorganiza o layout da fábrica afim de introduzir o novo layout celular.

13. Ao contrário das afirmações gerais podem haver muitas dificuldades no planejamento e controle da produção com grupos/células e pode ser difícil atingir na prática a data de entrega.

14. Uma utilização ótima homem/máquina nem sempre é possível para todas as máquinas das células.

15. O agrupamento de famílias de peças sem restrição de um período de tempo definido não se adapta a uma programação de grupo efetiva.

16. A confiança nos processos de fabricação e dados de produção existentes para o agrupamento das famílias de pe

ças e formação de grupos de máquinas (células) através da análise do fluxo da produção possui uma limitação definida.

17. A menos que uma informação bem definida e confiável das folhas de processo seja disponível, o agrupamento das peças em famílias e a organização das células de máquinas pela análise do fluxo da produção será ineficiente e inacurada.

18. Os resultados ótimos com relação ao tempo total de produção, às datas de entrega dos produtos e da efetiva utilização homem/máquina não serão obtidos sem técnicas analíticas adequadas para a programação de grupo.

19. A seleção de pessoal qualificado, que serão os responsáveis pelos programas de implantação da Tecnologia de Grupo, é fundamental e está atualmente dificultada devido à falta de pessoal qualificado.

20. O treinamento do pessoal de supervisão para a célula, com uma variedade de habilidades e capacidade de gerenciamento é onerosa.

21. Pode ser requerido negociações com os empregados e seu sindicato para a implantação da Tecnologia de Grupo.

22. Existirão algumas dificuldades em se ajustar às novas mudanças e em resolver as várias objeções e ressentimentos de algumas pessoas e departamentos da companhia.

23. Quando faltar um suporte firme da alta administração poderá ser difícil a implantação da Tecnologia de Grupo.

24. Em virtude do longo período de retorno para uma implantação bem sucedida da Tecnologia de Grupo, a alta administração pode se tornar impaciente e terminar o projeto prematuramente.

25. Para uma implantação bem sucedida da Tecnologia de Grupo, é essencial uma cooperação plena de todos os departamentos e pessoas envolvidas. Entretanto nem sempre é fácil conseguir essa cooperação.

26. Quando o conceito da Tecnologia de Grupo é implantado numa base fragmentada os benefícios totais da Tecnologia de Grupo não são alcançados. Portanto, quando possível é desejável implantar-se o conceito da Tecnologia de Grupo como uma parte integrante do sistema total de operação da companhia.

REFERENCES

1. Hathaway, H.D., "The Mnemonic Systems of Classification; as Used in the Taylor System of Management", Industrial Management, Vol. LX, No. 3, September 1920, pp. 173-183.

2. Evans, L., "Production Technology Advancements: A Forecast to 1988", Industrial Development Division, Institute of Science & Technology, University of Michigan, 1973.

3. Merchant, M.E., "Delphi-type Forecast of the Future of Production Engineering", CIRP Annals, Vol. 20, September 1971,

4. Wisnosky, D.E., Harris, W.A., & Shunk, O.L., "An Overview of the Air Force Program for Integrated Computer Aided Manufacturing (ICAM)", Technical Paper #MS77-254, Society of Manufacturing Engineers, 1977.

5. Burbidge, J.L., Production Planning, Heinemann, London, 1971.

6. Japan Society for Promotion of Machine Industry, Guide Book for Group Technology Implementation, (Japanese), Tokyo, Japan, 1979.

7. Gombinski, J., "Fundamental Aspects of Component Classification", CIRP Annals, Vol. 17, 1969, pp. 367-75.

8. Thompson, A.R., "Establishing a Classification and Coding System", Technical Paper No. MS76-276, Society of Manufacturing Engineers, 1976.

9. Ham, I. and Reed, W., "Preliminary Survey Results on Group Technology Applications in Metal-Working", Machine Tool Blue Book, May, 1977, pp. 100-108; also Technical Paper No. MS77-328, Society of Manufacturing Engineers, 1977.

10. Petrov, V.A., Flowline Group Production Planning, Business Publications Ltd., London, 1968.

11. Ham, I., Dutkosky, R.J., and Hitomi, K., "Production Scheduling in Group Technology Applications", Technical Paper No. MS76-275, Society of Manufacturing Engineers, 1976, and also the lecture manual by Ham (not published).

12. Hitomi, K. and Ham, I., "Group Scheduling Techniques for Multi-Production Multistage Manufacturing Systems", ASME Transactions, Aug. 1977, pp. 419-422.

13. Ham, I. and Hitomi, K., "Machine Loading and Product-Mix Analysis for Group Technology", ASME Transactions, Vol. 100, Aug. 1978, pp. 370-374.

References (continued):

14. Ham, I. and Hitomi, K., "Machine Loading for Group Technology Applications", CIRP Annals, Vol. 25, August 1977, Hallaway Ltd., Switzerland, pp. 279-281.

15. Ham, I., Ignizio, J. and Sato, N., "Integrated Applications of Group Scheduling and Materials Requirements Planning (MRP)", CIRP Annals, Vol. 27, August 1978, Hallaway Ltd., Switzerland, pp. 471-473.

16. Wisnosky, D.E., Harris, W.A. and Shunk, D.L., "An Overview of the Air Force Program for Integrated Computer Aided Manufacturing (ICAM)", Technical Paper No. MS77-254, Society of Manufacturing Engineers, 1977.

17. CAM-I Training Manual for CAPP, Computer Aided Manufacturing International, TM-77-AMP-01, Arlington, Texas, 1977.

18. Hayner, C., "New Route to NC Productivity: Family Programming", Metalworking Economics, Nov. 1969, pp. 2-10.

19. Mitrafanov, S.P., Scientific Principles of Group Technology, (English Translation), National Lending Library for Science & Technology, United Kingdom, 1966.

20. Burbidge, J.L., Report on a Study of the Effects of Group Production Methods on the Humanization of Work, ILO Report, International Labor Organization, Switzerland, 1974.

21. Opitz, H., "Werkstuckbesch-reibendes Klassitizierung System", W. Girardet, Essen, West Germany 1967, English Translation by Pergaman Press, 1970.

22. Japan Society for Promtion of Machinery Industry, "Group Technology Implementation Guide Book", (Japanese), Tokyo, Japan, 1973 & 1979.

SELECTED REFERENCES (BOOKS AND REPORTS)

(1) Mitrafanov, S.P., "Scientific Principles of Group Technology", (English Translation) edited by J. Grayson, National Lending Library for Science and Technology, U.K., 1966.
Mitrafanov, S.P., Scientific Principles of Group Technology, (Russian), Moscow, 1970.
Mitrafanov, S.P., Scientific Principles of Machine Building Production, (Russian), Moscow, 1976.

(2) Gallagher, C.C. and Knight, W.A., Group Technology, Butterworths, London, 1973.

(3) Burbidge, J.L., The Introduction of Group Technology, John Wiley & Sons, New York, 1975.

(4) Edwards, G.A.B., Readings in Group Technology, Machinery Pub. Co., London, 1971.

(5) DeVries, M.F., Harvey, S.M. and Tipnis, V.A., Group Technology: An Overview and Bibliography, Machinability Data Center, (MDC 76-601), Cincinnati, 1976.

(6) Petrov, V.A., Flowline Group Production Planning, (English translation), Business Publications, Ltd., London, 1968.

(7) Burbidge, J.L., Production Planning, Heineman, London, 1971.

(8) Opitz, H., A Classification System to Describe Workpieces (Parts I & II), Pergaman Press, London, & New York, 1970.

(9) Japanese Society for Promotion of Machine Industry, Guide Book for Group Technology Implementation, (Japanese), April, 1979.

(10) Burbidge, J.L., Proceedings of International Seminar on Group Technology, International Centre for Advanced Technical & Vocational Training, Turin, Italy, 1969.

(11) Ham, I. and Ross, D.T., Integrated Computer-Aided Manufacturing (ICAM) Task-II Final Report, Vol. 1, Group Technology Classification and Coding, USAF Technical Report AFML-TR-77-218, December, 1977.

(12) Burbidge, J.L., Final Report on "A Study of the Effects of Group Production Methods on the Humanization of Work", International Labor Office (ILO), June 1975.

WORK-SHOP MANUAL

FOR

GROUP TECHNOLOGY SEMINAR

BY

DR. INYONG HAM

PROFESSOR OF INDUSTRIAL ENGINEERING

DEPT. OF INDUSTRIAL & MANAGEMENT SYSTEMS ENGINEERING

PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY

UNIVERSITY PARK, PA 16802

U.S.A.

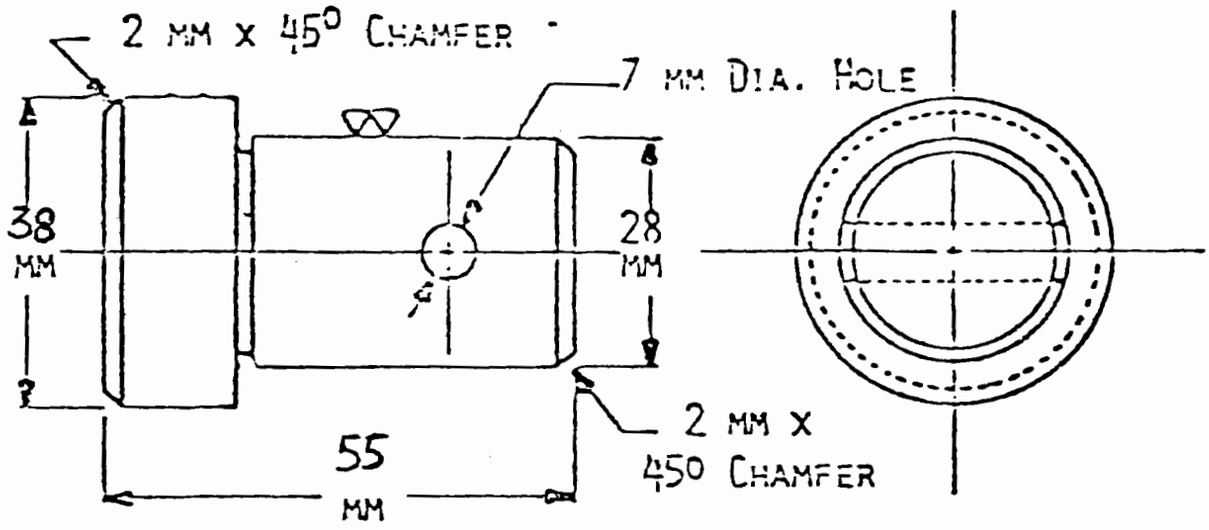
* THIS MANUAL SHOULD NOT BE DUPLICATED WITHOUT THE PERMISSION OF THE AUTHOR.

WORKSHEET FOR CLASSIFICATION AND CODING PRACTICE:

PART NAME .... PIN

MATERIAL .... MILD STEEL, FORGED ROUND BAR

TREATMENT .... SURFACE HARDENING BY CARBORIZING



L = [ ] , D = [ ] , L/D = [ ]

OPITZ SYSTEM: ○○○○○ – ○○○○

KC-1 SYSTEM: ○○○○○

KK-1 SYSTEM: ○○○○○○○○○○○○○○

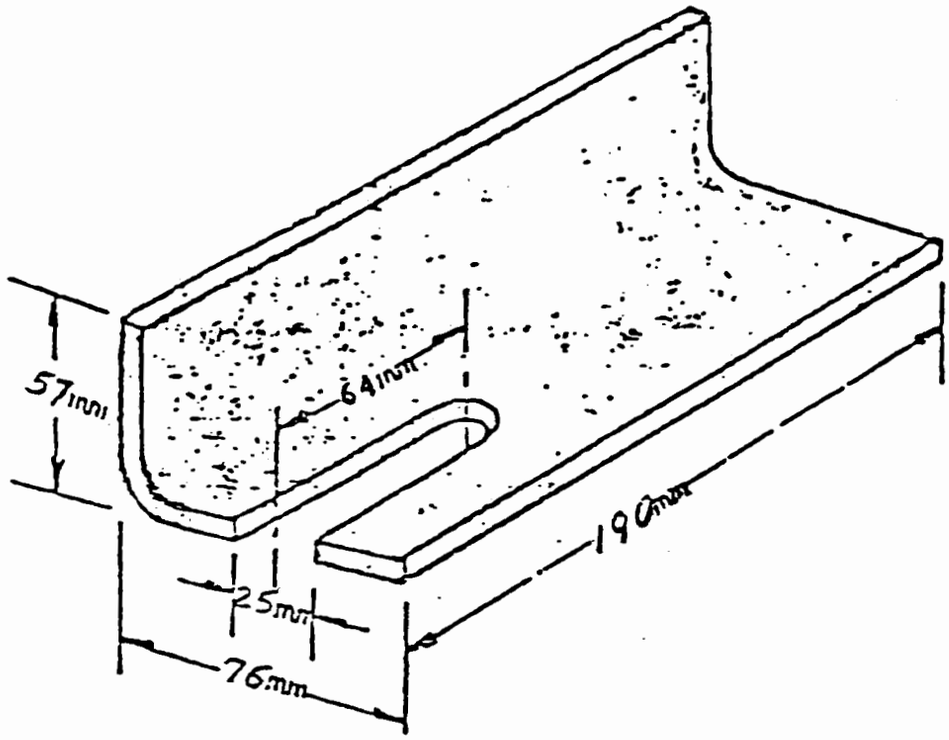
WORKSHEET FOR CLASSIFICATION AND CODING PRACTICE:

PART NAME: BRACKET

MATERIAL: ALUMINUM SHEET (A-2024-O, CLAD), 5MM THICK

TREATMENT: HEAT TREATMENT

OPERATIONS: SHEAR, BREAKFORM, TRIM, DEBURR

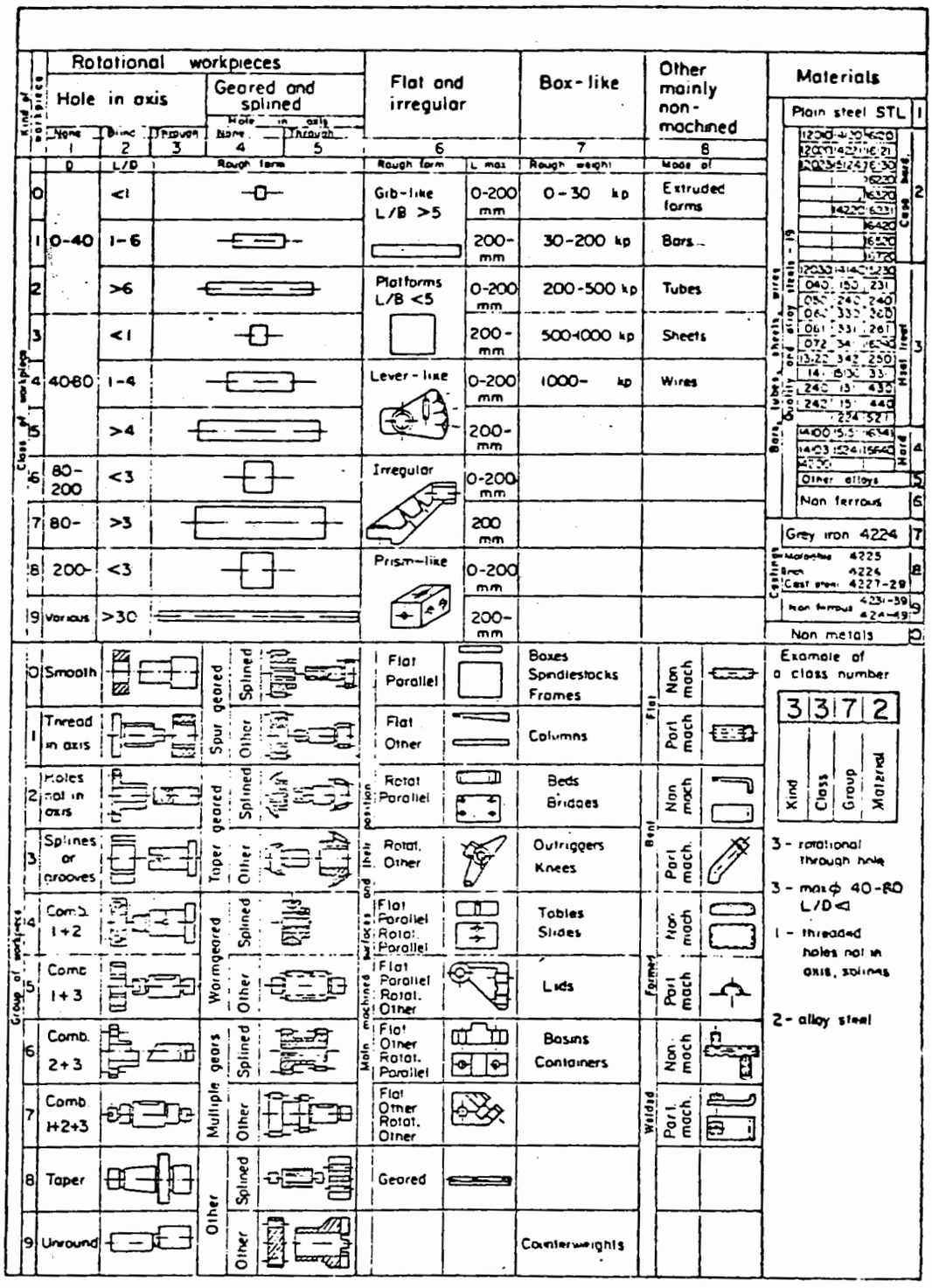


OPITZ ---- ○○○○○ – ○○○○

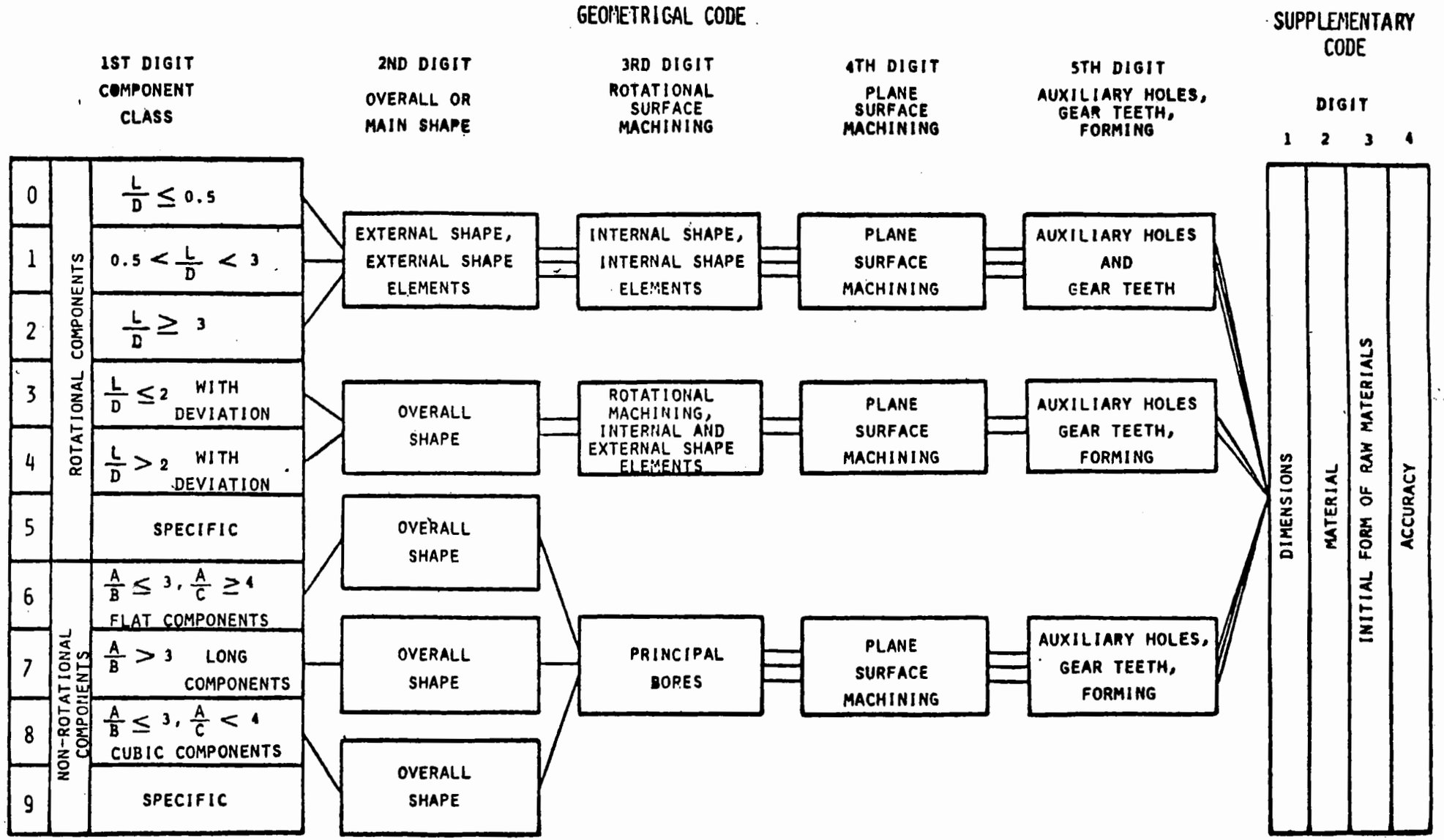
KC-1 ----- ○○○○○

KK-1 ----- ○○○○○○○○○○○○○

VUSO CLASSIFICATION & CODING SYSTEM



OPITZ CLASSIFICATION & CODING SYSTEM (1)



OPITZ CLASSIFICATION & CODING SYSTEM (2)

GEOMETRICAL CODE

1ST DIGIT — COMPONENT CLASS

0	ROTATIONAL COMPONENTS	$\frac{L}{D} \leq 0.5$
1		$0.5 < \frac{L}{D} < 3$
2		$\frac{L}{D} \geq 3$

2ND DIGIT — EXTERNAL SHAPE, EXTERNAL SHAPE ELEMENTS

0	SMOOTH, NO SHAPE ELEMENTS		
1	STEPPED TO ONE END OR SMOOTH	NO SHAPE ELEMENTS	
2		WITH SCREWTHREAD	
3		WITH FUNCTIONAL GROOVE	
4	STEPPED TO BOTH ENDS (MULTIPLE INCREASES)	NO SHAPE ELEMENTS	
5		WITH SCREWTHREAD	
6		WITH FUNCTIONAL GROOVE	
7	FUNCTIONAL TAPER		
8	OPERATING THREAD		
9	OTHERS (>10 FUNCTIONAL DIAMETERS)		

3RD DIGIT — INTERNAL SHAPE, INTERNAL SHAPE ELEMENTS

0	WITHOUT THROUGH BORE BLIND HOLE		
1	SMOOTH OR STEPPED TO ONE END	NO SHAPE ELEMENTS	
2		WITH SCREWTHREAD	
3		WITH FUNCTIONAL GROOVE	
4	STEPPED TO BOTH ENDS (MULTIPLE INCREASES)	NO SHAPE ELEMENTS	
5		WITH SCREWTHREAD	
6		WITH FUNCTIONAL GROOVE	
7	FUNCTIONAL TAPER		
8	OPERATING THREAD		
9	OTHERS (>10 FUNCTIONAL DIAMETERS)		

4TH DIGIT — PLANE SURFACE MACHINING

0	NO SURFACE MACHINING
1	EXTERNAL PLANE SURFACE AND/OR SURFACE CURVED IN ONE DIRECTION
2	EXTERNAL PLANE SURFACES RELATED TO ONE ANOTHER BY GRADUATION AROUND A CIRCLE
3	EXTERNAL GROOVE AND/OR SLOT
4	EXTERNAL SPLINE AND/OR POLYGON
5	EXTERNAL PLANE SURFACE AND/OR SLOT AND/OR GROOVE, SPLINE
6	INTERNAL PLANE SURFACE AND/OR GROOVE
7	INTERNAL SPLINE AND/OR POLYGON
8	EXTERNAL AND INTERNAL SPLINES AND/OR SLOT AND/OR GROOVE
9	OTHERS

5TH DIGIT — AUXILIARY HOLE(S) AND GEAR TEETH

0	NO GEAR TEETH	NO AUXILIARY HOLE(S)
1		AXIAL HOLE(S) NOT RELATED BY A DRILLING PATTERN
2		AXIAL HOLES RELATED BY A DRILLING PATTERN
3		RADIAL HOLE(S) NOT RELATED BY A DRILLLING PATTERN
4		HOLES AXIAL AND/OR RADIAL AND/OR IN OTHER DIRECTIONS, NOT RELATED
5		HOLES AXIAL AND/OR RADIAL AND IN OTHER DIRECTIONS RELATED BY DRILLING PATTERN
6	WITH GEAR TEETH	SPUR GEAR TEETH
7		BEVEL GEAR TEETH
8		OTHER GEAR TEETH
9		OTHERS

OPITZ GEOMETRICAL CODING SYSTEM SUPPLEMENTARY CODE

1st Digit

DIAMETER "D" or EDGE LENGTH "A"		
	MM's	Inches
0	≤20	≤0.8
1	>20,≤50	>0.8,≤2.0
2	>60,≤100	>2.0,≤4.0
3	>100,≤180	>4.0,≤3.5
4	>100,≤250	>6.5,≤10.0
5	>250,≤400	>10.0,≤16.0
6	>400,≤600	>16.0,≤25.0
7	>600,≤1000	>25.0,≤40.0
8	>1000, ≤2000	>40.0,≤80.0
9	>2000	>80.0

2nd Digit

	MATERIAL
0	Cast Iron
1	Modular graphitic cast iron and malleable cast iron
2	Steel 26.5tonf/in^2 Not heat treated
3	
4	Steels 2 and 3 Heat treated
5	Alloy Steel (Not heat treated)
6	Alloy Steel Heat treated
7	Non-ferrous Metal
8	Light Alloy
9	Other Materials

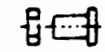
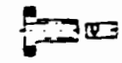
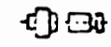
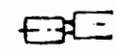
3rd Digit

	INITIAL FORM
0	Round Bar, black
1	Round Bar, bright drawn
2	Bar - triangular, square, hexagonal, others
3	Tubing
4	Angle, U-, T-, and similar sections
5	Sheet
6	Plate and Slabs
7	Cast or forged Components
8	Welded Assembly
9	Pre-machined Components

4th Digit

ACCURACY IN CODING DIGIT	
0	No Accuracy Specified
1	2
2	3
3	4
4	5
5	2 and 3
6	2 and 4
7	2 and 5
8	3 and 4
9	(2 + 3 + 4 + 5)

KC-1 CLASSIFICATION & CODING SYSTEM (JAPAN) - (1)

1st Digit			Part Kind Principal Shape of Part	2nd Digit	Part Class Dimensional Range of Part		3rd Digit	Part Group Shape Feature	
0	Rotational parts	Concentric hole	None	0	D≤20 (mm)		0	Basis	
1			Blind hole	1	20<D≤50	L/D≤2.5	1	(a) Inconcentric hole	
2			Through hole	2		L/D>2.5	2	(1) (b) Straight groove	
				3	50<D≤100	L/D≤0.5	3	(a) + (b)	
				4		0.5<L/D≤2	4	Basis	
				5		L/D>2	5	(a) Inconcentric hole	
				6	100<D≤200	L/D≤1.5	6	(1) (b) Straight groove	
				7		L/D>1.5	7	(a) + (b)	
				8	200<D≤500		8	With shape element (2) such as taper or spherical surface	
				9	D>500		9	(3) Special shape	

Smooth or stepped to one end

Stepped to both ends

KC-1 CLASSIFICATION & CODING SYSTEM (JAPAN) - (2)

1st Digit				2nd Digit			3rd Digit			
Part Kind Principal Shape of Part				Part Class Dimensional Range of Part			Part Group Shape Feature			
Rotational Parts				0	D≤20 (mm)		0	Smooth or stepped to one end	Basis	
				1	20<D≤50	L/D≤2.5	1		(a) Inconcentric hole	
				2		L/D>2.5	2		(1) (b) Straight groove	
	Concentric hole with screw thread	Concentric hole with axle	None	3	50<D≤100	L/D≤0.5	3		(a) + (b)	
			Blind hole	4		0.5<L/D≤2	4	Stepped to both ends	Basis	
				5		L/D>2	5		(a) Inconcentric hole	
				6	100<D≤200	L/D≤1.5	6		(1) (b) Straight groove	
				7		L/D>1.5	7		(a) + (b)	
				8	200<D≤500		8	With shape element (2) such as taper or spherical surface		
				9	D>500		9	Special shape		

KC-1 CLASSIFICATION & CODING SYSTEM (JAPAN) - (3)

1st Digit			2nd Digit			3rd Digit				
Part Kind Principal Shape of Part			Part Class Dimensional Range of Part			Part Group Shape Feature				
	Rotational Part		0	D≤20 (mm)		0	Spur & helical gear	Smooth or stepped to one end	Without spline	
			1	20<D≤50	L/D≤2.5	1			With spline	
			2		L/D>2.5	2		Stepped to both ends	Without spline	
			3	50<D≤100	L/D≤0.5	3			With spline	
			4		0.5<L/D≤2	4	Worm gear		Worm	
5		Gear (4) Concentric hole with axle: None, Blind hole	5		L/D>2	5			Worm wheel	
6		Gear (4) Concentric hole with axle: Through hole	6	100<D≤200	L/D≤1.5	6	Bevel gear, Hypoid gear		Without spline	
			7		L/D>1.5	7			With spline	
			8	200<D≤500		8	Special gear		Without spline	
			9	D>500		9			With spline	

KC-1 CLASSIFICATION & CODING SYSTEM (JAPAN) - (4)

1st Digit		2nd Digit				3rd Digit		
Part Kind — Principal Shape of Part		Part Class — Dimensional Range of Part				Part Group — Shape Feature		
		0	A/B≤3	(6) (mm) A≤200	Lump	0	Plane (parallel, non-parallel)	
		1	A/C≤4	A>200		1	Parallel hole	
		2	A/B≤3	A≤200	Sheet	2	Non-parallel hole	
		3	A/C>4	A>200		3	Plane, Parallel hole	
		4	A/B>3	A≤200	Bar (flat square)	4	Plane, Non-parallel hole	
		5		A>200		5	With turned surface	
		6	A/B≤3	A≤200	Combined of round & square	6	Concentric screw with axle	
7	Lump, sheet, bar and combined shape	7		A>200		7	With teeth	
		8	A/B>3	A≤200		8	With specially curved surface	
		9		A>200		9	Others	

KC-1 CLASSIFICATION & CODING SYSTEM (JAPAN) - (5)

1st Digit		2nd Digit			3rd Digit	
Part Kind Principal Shape of Part		Part Class Dimensional Range of Part			Part Group Shape Feature	
		0	W≤20 (kg) (7)		0	Main axle head
		1	20<W≤70		1	Main body
		2	70<W≤200	A/B≤3	2	Column Housing
		3		A/B>3	3	Bed Base
		4	200<W≤500	A/B≤3	4	Cross rail Arm Bracket
		5		A/B>3	5	Table Cross slide
		6	500<W≤1000	A/B≤3	6	Cover
		7		A/B>3	7	Pan Tub Tank
8	Box shaped hollow	8	1000<W≤2000		8	Plummet
		9	W>2000		9	others

KC-1 CLASSIFICATION & CODING SYSTEM (JAPAN) - (6)

1st Digit		2nd Digit			3rd Digit			
Part Kind Principal Shape of Part		Part Class Dimensional Range of Part			Part Group Shape Feature			
		0	Rolled material		0	Straight parts	Without machining	
		1	Round bar material		1		Partially machined	
		2	Square bar material		2	Parts to be bent	Without machining	
		3	Tubing material		3		Partially machined	
		4	Thin sheet		4	Parts to be squeezed	Without machining	
		5	Wire		5		Partially machined	
		6	Precisely formed	Casting	6	Parts to be welded	Without machining	
		7		Forging	7		Partially machined	
		8		Sintering	8	Parts to be formed precisely	Without machining	
9	Other parts almost raw material without machining	9	Wing shaped (specially ordered), Others		9		Partially machined	

KC-1 CLASSIFICATION & CODING SYSTEM (JAPAN) - (7)

4th Digit					5th Digit		
Material Raw Material					Portion to be Machined[11] with High Accuracy		
0	Ferrous	Ordinary Cast Iron			0	Shaving	Without High Accuracy[12]
1		Special Cast Iron, Cast Steel, Sintered Alloy Steel			1		Turned Surface (a) (internal, external & end surface)
2		Steel	Non-Forged	Non-Refined[10]	2		Plane (b)[13]
3				Refined	3		Non-concentric hole[c]
4			Forged	Non-Refined	4		(a) + (b)
5				Refined	5		(a) + (c)
6	Non-Ferrous	Copper & its Alloys			6		(b) + (c)
7		Light Alloys			7		(a) + (b) + (c)
8		Others			8	Grinding (14)	
9	Non-Metals				9	Special Processing (Electric discharge, etc.)	

JAPANESE KK-1 CLASSIFICATION AND CODING SYSTEM

(Table 1...to...Table 6)

Table 1

Fundamental Construction

Column	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Position	Parts Name (Function) in form of Matrix		Materials in form of Matrix		Main Dimentions		Primary Shapes, Ratio of Main Dimensions	Geometrical shapes and machining				Accuracy	Main Machine Tool to be used at primary stage of machining
	General Classification	Detail Classification	General Classification	Detail Classification	(R) L=Length (N) A=Length	(R) D=Diameter (N) B=Width		(R) External Shape (N) Plane Surface machining	(R) Internal Shape (N) Principal bore, rotational surf. machining	(R) Plane Surf. machining (N) Special machining	(R) Aux. holes, other machining (N) -ditto-		
0	as per attached Table 2 (Matrix)	-ditto-	as per attached Table 3 (Matrix)	-ditto-	separate table for R or N for R Table 4 (R) for N Table 4 (N)	-ditto-	-ditto-	separate table for R or N for R Table 5 (R) for N Table 5 (N)	-ditto-	-ditto-	-ditto-	common table for R and N Table 6	-ditto-
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													

R=rotational components

N=non-rotational components

Table 2 (Matrix)

Classification of Parts Name (Function)

I \ II		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	II / I
0	Gears	Spur Gears Helical Gears	Internal Gears	Bevel Gears	Hypoid Gears	Worm Gears	Screw Gears	Sprocket Wheels	Combination Gears, Special Gears	Round Vessels	Others	Vessels, Containers of Others
1	Shafts, Spindles	Spindles, Arbors Main Spindles	Counter Shaft	Lead Screws	Screwed Shaft	Round Rods	Eccentric Shafts, Crank Shafts	Spline Shaft	Cross Shafts or Joints, Others	Round Columns	Round Casings, & Others	Bodies
2	Main Driving or Moving Parts	Pulleys	Clutches	Brakes	Impellers	Pistons	Round Tables	Others	Flanges	Chucks	Labyrinth Seals, & Others	Supporting Parts
3	Guiding Parts	Sleeves, Bushes	Bearing Metals	Bearings	Rollers	Cylinders	Others	Dial Plates	Index Plates	Cams	Others	Controlling Parts
4	Fixing Parts	Collers	Sockets Spacers	Pins	Fastening Screws	Others	Handles	Spools	Sound Links	Screws	Others	Aux Driving or Moving Parts
5	Fixing Parts	Covers	Jibs, Wedges	Plates	Fastening Screws	Others	Arms Levers	Square Links	Cross head	Screws	Others	Aux. Driving or Moving Parts
6	Guiding Parts	Adjusting Wedges for Guide Surface	Rails	Bearing Metals for Straight Movement	Others	Dogs	Stoppers	Nails	Gauges	Cams	Others	Controlling Parts
7	Main Driving or moving Parts	Saddles	Square Tables	Others	Brackets	Holders	Blocks	Stays	Trunnions		Others	Supporting Parts
8	Shafts, Rods	Square or Rectangular Shafts	Square Rods, & Others	Cases	Housings	Chassis	Columns	Beds	Bases		Others	Bodies
9	Gears	Racks	Non-circular Gears, & Others	Vessels, Containers	Oil Tank	Trays, Conduits	Pipings	Valves	Counter Weight & Other Weights		Others	Vessels, Containers & Others

I — Rotational Components (R)

II — Non-Rotational Components (N)

Table 5 (Matrix)

Classification of Materials

III \ IV				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	Cast Iron			Gray Cast Iron ≦ FC25	Gray Cast Iron ≧ FC30	Nodular Graphite C. I. (FCD)	Malleable C. I. (FC-M, P, W)	Chilled C. I.	Alloy C. I.	Carbon Cast Steel	Alloy Cast Steel	Sintered Iron	Others
1	Ordinary Steels	$^{6}_{B} \geqq 42Kg/mm^2$	Non-heat-treatment	Round bar	Square bar	Sections	Pipes	Plate thin	Plate thick	Cold forgings	Hot forgings	Welded	Others
2			Heat-treatment	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –
3		$^{6}_{B} \leqq 42Kg/mm^2$	Non-heat-treatment	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –
4			Heat-treatment	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –	– do –
5	Steels, surface treated			Hi-Freq. Elect. or Flame Hardening Non Forging	Hi-Freq. Elect. or Flame Hardening Forging	Carbonizing Non-Forging	Carbonizing Forging	Nitriding Non-Forging	Nitriding Forging	Other heat treatment Non-Forging	Other heat treatment Forging	Plating or other surf. treatment Non-forging	Plating or other surf. treatment Forging
6	Other Special Steel, Cutting tool materials			Stainless steel	Chrome steel	(Ni) Cr (Mo) steel	Heat resist-steel	High carbon tool steel	Alloy tool steel	High speed steel	Sintered Carbide (Tungsten Carbide etc.)	Ceramics	Others
7	Copper & its alloys			Copper lump Copper bar	Copper plate	Copper tube	Brass lump Brass bar	Brass plate	Brass tube	Brass casting	Bronze	Special bronze	Others
8	Light metals			Al. lump Al. bar	Al. plate	Al. tube	Al. casting	Duralumin lump Duralumin bar	Duralumin plate	Duralumin tube	Duralumin casting	Mg. alloys	Others
9	Other metals or non-metals			Pb	Sb	Sn	Zn	Other metals	Bakelite	Nyron	FRP, Other plastics	Woods, Papers	Glass, Inorganic materials

Table 4 (R)

Classification of Main Dimensions, Primary Shapes & Ratio of Main Dimensions

Column	V	VI	VII	
Position	Main Dimensions		Primary Shapes, Ratio of Main Dimensions L/D	
	Max. Length L mm	Max. Diameter D mm		
0	L≤16	D≤16	Rotational components	L/D≤0.5
1	16<L≤50	16<D≤50		0.5<L/D≤1
2	50<L≤100	50<D≤100		1<L/D≤1.5
3	100<L≤160	100<D≤160		1.5<L/D≤2
4	160<L≤240	160<D≤240		2<L/D≤2.5
5	240<L≤360	240<D≤360		2.5<L/D≤3
6	360<L≤600	360<D≤600		3<L/D≤10
7	600<L≤1000	600<D≤1000		10<L/D
8	1000<L≤2000	1000<D≤2000	Rotational components with deviation	L/D≤2
9	2000<L	2000≤D		2<L/D

Table 4 (N)

Classification of Main Dimensions, Primary Shape & Ratio of Main Dimensions

Column	V	VI	VII		
Position	Main Dimensions (A ≥ B)		Primary Shapes, Ratio of Main Dimensions (A B C) Cathickness mm, W=weight kg		
	Edge Length A mm	Width B mm			
0	A ≤16	B ≤16	Small and Medium Size Components W ≤ 20 kg	Cube Components	A/B ≤3, A/C ≤4
1	16 < A ≤50	16 < B ≤50		Flat Components	A/B ≤3, A/C ≤4
2	50 < A ≤100	50 < B ≤100			Formed component
3	100 < A ≤160	100 < B ≤160		Long Components	A/B >3
4	160 < A ≤240	160 < B ≤240			Formed component
5	240 < A ≤360	240 < B ≤360		Combination Shapes	
6	360 < A ≤600	360 < B ≤600	Large Size Components W > 20 kg	Light	20 kg < W ≤100 kg
7	600 < A ≤1000	600 < B ≤1000		Middle	100 kg < W ≤250 kg
8	1000 < A ≤2000	1000 < B ≤2000		Heavy	250 kg < W ≤1000 kg
9	2000 < A	2000 < B		Extra Heavy	1000 kg < W

Table 5 (R)

Classification of Geometrical Shape and Machining

Column	VIII		IX		X	XI	
Position	Geometrical Shape and Machining *						
	External Shape Elements		Internal Shape Element		Plane Surface Machining	Auxiliary Hole, Other Machining Process, for Inst. Forging etc.	
0	smooth, no shape elements		without through bore, blind hole		no surface machining	no auxiliary holes, no special machining	
1	Stepped to one end or smooth	no shape elements	Stepped to one end or smooth	no shape elements	external plane surface or two or more plane surfaces	Axial hole(s)	one hole or not related by a drilling pattern
2		with functional groove		with functional groove	Curved external plane surface or end surface		related by a drilling pattern
3		with screw threaded		with screw treaded	external surface or end surface with groove or split	Radial hole(s)	one hole or not related by a drilling pattern
4	Stepped to both ends (multiple increased)	no shape element	Stepped to both ends (multiple increased)	no shape elements	external spline		related by adrilling pattern in axial direction
5		with functional groove		with functional groove	outer surface a/o end surface with plane surface, groove, slit, spline		related by a drilling pattern in radial direction
6		with screw threaded		with screw threaded	internal plane surface or groove or two or more plane surfaces	hole(s) axial and radial	
7	functional taper or spherical shape		functional taper or spherical shaped part		internal spline	hole(s) in other directions, deep hole(s), hole(s) with special machining	
8	operating thread		operating thread		external, internal and end surface with groove, split and spline	Plastic forming	no auxiliary hole(s)
9	segment and others		segment and others		others		with auxiliary hole(s)

* except gear cutting

Table 5 (N)

Classification of Shape Details & Kinds of Machining Processes

Column Position	VIII	IX		X	XI	
	Shape Details & Kind of Machining Processes					
	Plane Surface Machining	Rotational Surface		Surface with Special Machining	Auxiliary hole(s)	
0	no surface machining	no rotational machining or bore(s)		no special machining	no auxiliary hole(s)	
1	functional chambers (e.g. welding preparation)	one principal bore, smooth		gear cutting	Auxiliary hole(s)	drilled in one direction only
2	one or stepped plane surfaces	one principal bore stepped to one or both ends		machining curved surface		* drilled in one direction and opposite
3	stepped plane surfaces at right angle a/o opposite	one principal bore with shape elements		plastic forming		* drilled in more than one direction (2 dimentional)
4	component with uniform cross section	several principal bores parallel		(1) + (2)		* drilled in more than one direction (3 dimentional)
5	groove a/o slit	* several principal bores, other than parallel		(1) + (3)		(1) a/o (2) + inclined hole
6	(4) + (5)	With extend cylindrical surface	one principal bore	(2) + (3)		(3) + inclined hole
7	one guide surface		several principal bores	(1) + (2) + (3)		(4) + inclined hole
8	several guide surfaces	annular surfaces annular grooves		other machining or forming	Auxiliary hole(s) with special machining	drilled in one direction only
9	others	others		{(1) + (7)} + (8)		drilled in more than one direction

* do not mean, each axis of holes meet at one point.

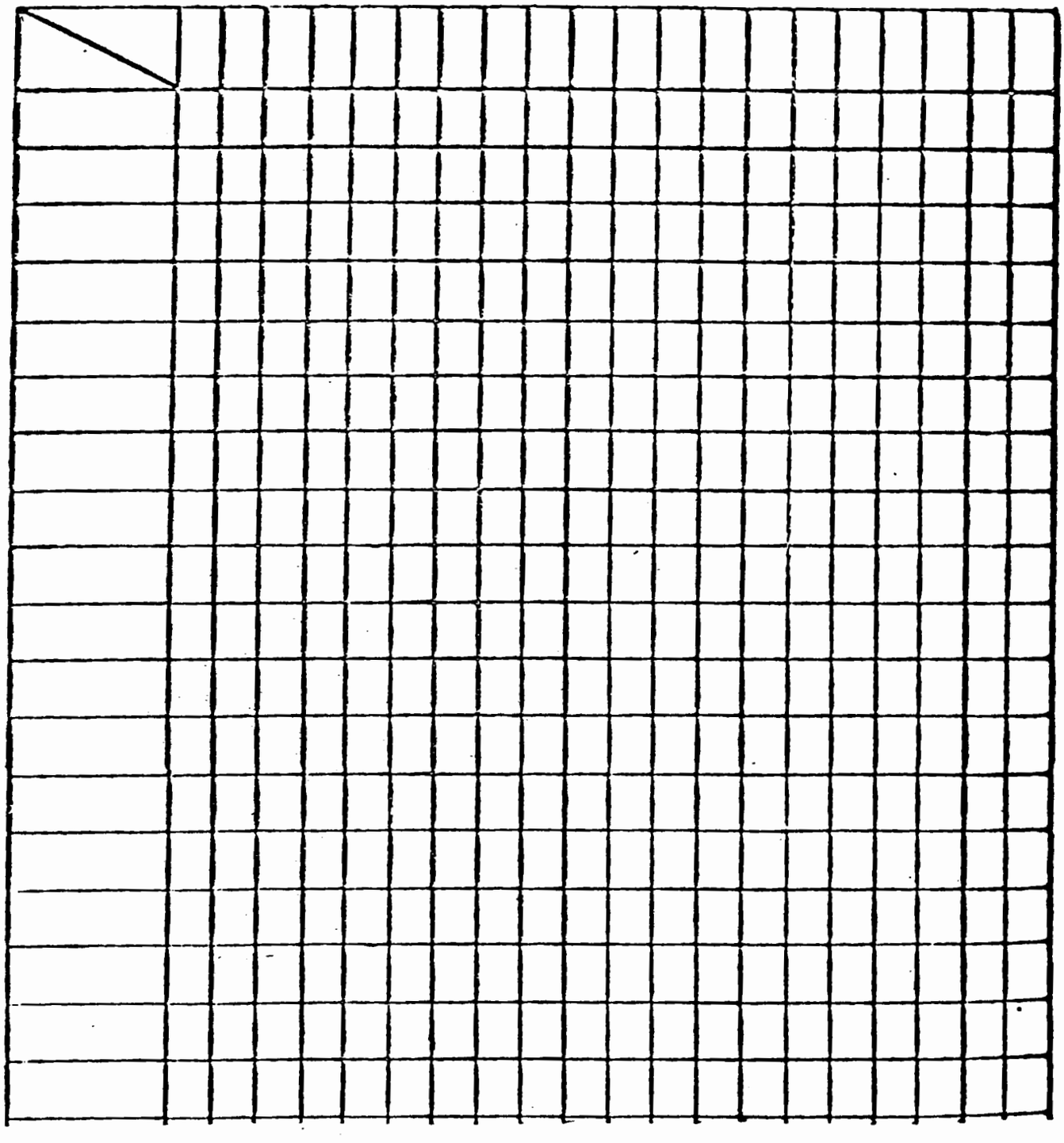
Table 6

Classification of Accuracy and Main Machine Tools to be used at Primary Stage of Machining

Column	XII		XIII
Position	Accuracy		Main machine tools to be used at primary stage of machining (Principal mach tool among CT line)
0	no accuracy specified		lathe (chucking machine)
1	cutting	internal a/o external surface (cylindrical)	lathe (centre-type turing machine)
2		plane surface	vertical boring & turning mill, facing lathe
3		(1) + (2)	horizontal milling machine, production milling machine
4	grinding	internal a/o external surface (cylindrical)	vertical milling machine
5		plane surface	shaper, slotter
6		(4) + (5)	planer, planomiller
7	higher accuracy surface finishing, including surface finishing with hand operating		horizontal boring and milling machine
8	high accuracy positioning		drilling machine
9	high accuracy surface finishing with special machining		machining center, single purpose machine tools, others

WORKSHEET FOR PRODUCTION FLOW ANALYSIS

PART NO. / MACHINE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
L	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓
M_1	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓		✓	✓		✓				✓
M_2			✓	✓				✓		✓		✓	✓		✓		✓	✓	✓	
D	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓
G	✓	✓	✓	✓		✓			✓			✓	✓		✓			✓		✓



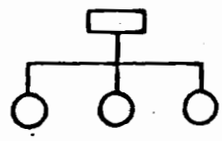
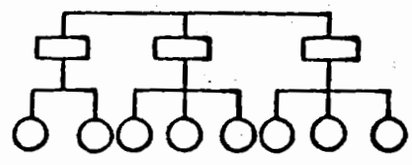
BASIC DATA FOR MACHINE LOADING ANALYSIS

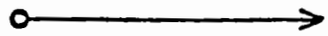
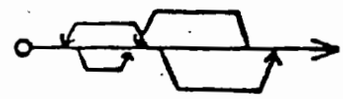
PT. NO.	CODE NO.	LOT SIZE	TURNING		MILLING(I)		MILLING(II)		DRILLING		GRINDING	
			S/T	M/T	S/T	M/T	S/T	M/T	S/T	M/T	S/T	M/T
1	010 120	115	20	9	13	5	-	-	15	3	6	20
2	010 124	30	15	12	15	7	-	-	23	6	7	15
3	002 123	55	-	-	13	5	16	8	23	12	6	10
4	111 121	105	33	14	-	-	15	6	25	8	8	9
5	010 120	25	23	10	10	8	-	-	-	-	-	-
6	002 123	10	-	-	15	8	-	-	18	10	8	23
7	011 123	5	15	9	11	9	-	-	15	15	-	-
8	110 124	12	15	15	-	-	10	9	24	11	-	-
9	011 124	18	23	12	10	8	-	-	-	-	5	23
10	002 120	35	-	-	-	-	13	6	30	11	-	-
11	011 123	10	23	14	12	6	-	-	24	7	-	-
12	112 122	10	30	8	-	-	12	10	18	10	7	15
13	001 123	21	-	-	11	7	10	9	25	11	6	15
14	011 123	61	15	8	10	5	-	-	24	4	-	-
15	111 121	4	15	17	-	-	12	9	-	-	5	18
16	002 120	5	-	-	10	6	-	-	20	13	-	-
17	110 120	24	23	10	-	-	10	8	20	11	-	-
18	111 121	46	30	11	-	-	11	17	30	7	5	10
19	111 120	61	20	9	-	-	13	5	-	-	-	-
20	012 124	10	15	10	11	9	-	-	20	5	5	18

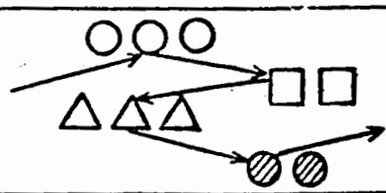
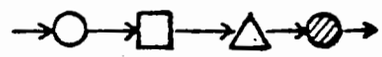
COMPUTATION SHEET FOR MACHINE LOADING ANALYSIS

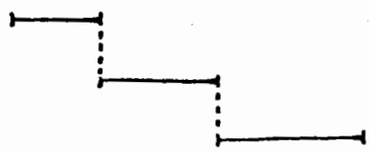
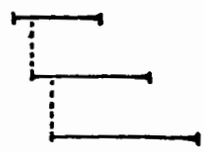
OPERATION:_____ PART FAMILY_____

Part No.	Code No.	Lot Size (N_1)	Setup Time (S_t)	Machining Time (M_t)	(M_t)x(N_1)	(M_t)x(N_1)+(S_t)

A PART FAMILY	A SET OF PART FAMILIES
	

UNIDIRECTIONAL	NON-UNIDIRECTIONAL
	

CONVENTIONAL LAYOUT	MACHINE GROUP/CELL LAYOUT
	

SUCCESSIVE SEQUENCE TRANSFER	PARALLEL/OVERLAPPING SEQUENCE TRANSFER
	

GROUP SCHEDULING ALGORITHM FOR HEURISTIC SOLUTIONS

(A) RULE-I:

(a) For those jobs that the $(\Sigma T' - \Sigma T)$ value is positive or zero, i.e., $(\Sigma T' - \Sigma T) \geq 0$, the job sequence is in ascending order of the ΣT values.

(b) For those jobs with the $(\Sigma T' - \Sigma T)$ value negative; $(\Sigma T' - \Sigma T) < 0$, the job sequence is in descending order of the $\Sigma T'$ values.

Symbolically: the job sequence is assigned

When $(\Sigma T' - \Sigma T) \geq 0$, $(\Sigma T) \uparrow$

$(\Sigma T' - \Sigma T) < 0$, $(\Sigma T') \downarrow$

(B) RULE-II:

Also the job sequence is assigned in descending order based on the numerical values of $(\Sigma T' - \Sigma T)$.

Symbolically: $(\Sigma T' - \Sigma T) \downarrow$

(C) SPECIAL CASES FOR RULE-I & RULE II:

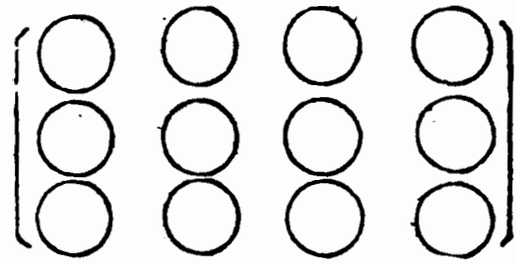
(a) If the different values of $(\Sigma T' - \Sigma T)$ are exclusively positive or negative, RULE-I alone will provide a unique solution for an optimum job sequence, and RULE-II is not used.

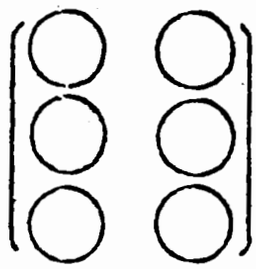
(b) Should there be several identical (ΣT) or $(\Sigma T')$ values, RULE-II is used to determine the proper sequence for the identical values.

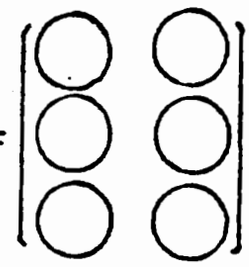
(D) RULE-III and RULE-IV:

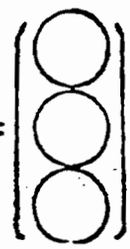
RULE-I and RULE-II are applied to the problems where each job is processed through a set of machines/operations in the same order. However, when jobs are processed with certain operations omitted or missing for some jobs, RULE-III and RULE-IV must also be applied. RULE-III and RULE-IV are essentially the same as RULE-I and RULE-II respectively, except that to apply RULE-III and RULE-IV, each row in the sectioned time matrix ΣT and $\Sigma T'$ is averaged. These average time values; $\bar{T}$ and $\bar{T}'$, are found by dividing the sectioned time matrices of ΣT and $\Sigma T'$ by the number of operations performed in each sectioned matrix respectively.

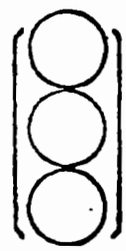
JOB	MACHINE/OPERATION			
	M_1	M_2	M_3	M_4
J_1	17	13	15	10
J_2	8	6	21	7
J_3	16	14	15	4

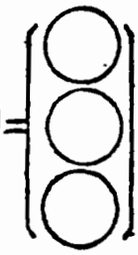
$A =$ 

$T =$ 

$T =$ 

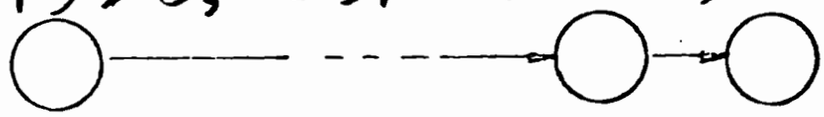
$\Sigma T =$ 

$\Sigma T' =$ 

$(\Sigma T' - \Sigma T) =$ 

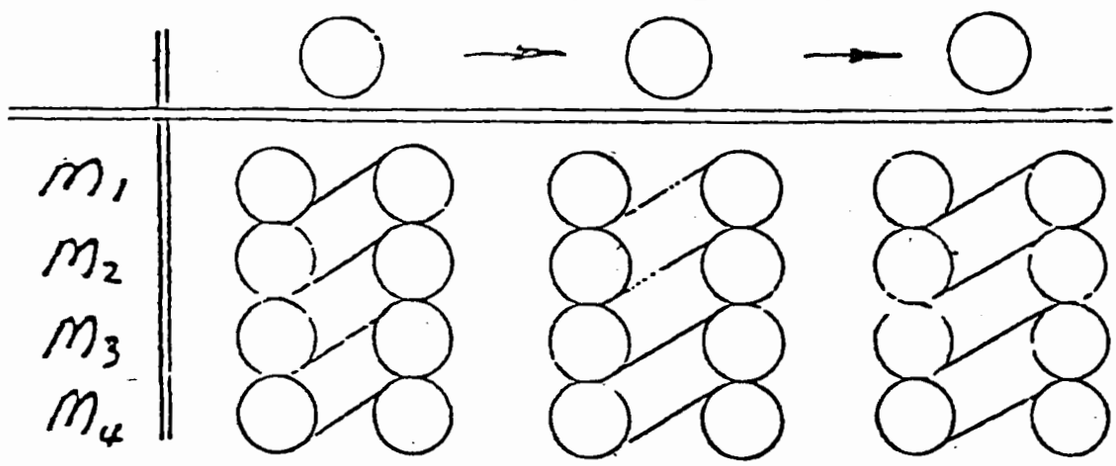
RULE-I:

$(\Sigma T' - \Sigma T) \geq 0, (\Sigma T)\uparrow$ $(\Sigma T' - \Sigma T) < 0, (\Sigma T')\downarrow$



RULE-II:

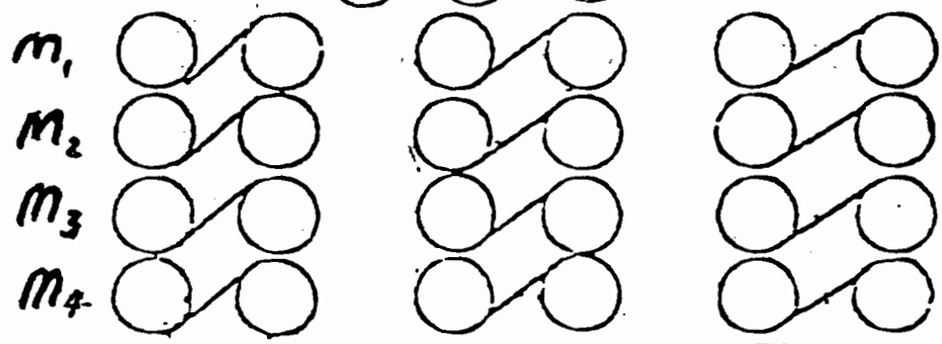
$(\Sigma T' - \Sigma T)\downarrow$



OPTIMUM TOTAL CYCLE TIME:

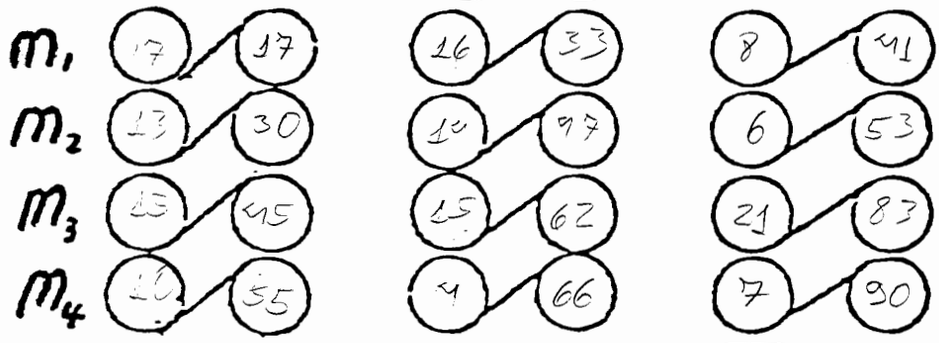
WORKSHEET FOR OTHER ALTERNATIVE SEQUENCES:

OPERATION SEQUENCE: $J_1 \rightarrow J \rightarrow J$



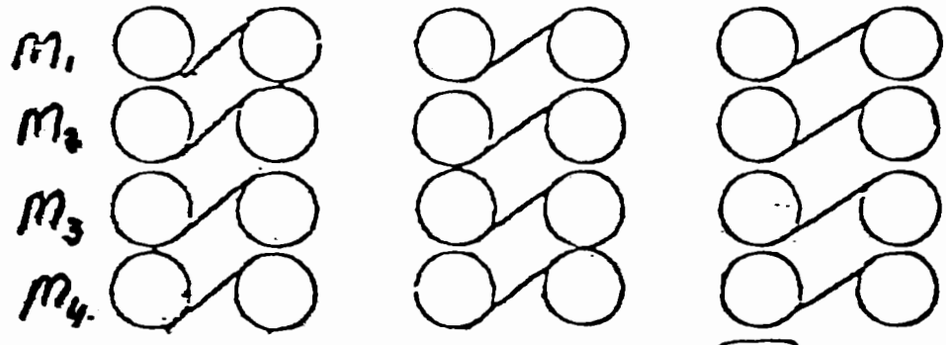
THE CUMULATIVE CYCLE TIME WILL BE ( ) HRS.

OPERATION SEQUENCE: $J_1 \rightarrow J_3 \rightarrow J_2$



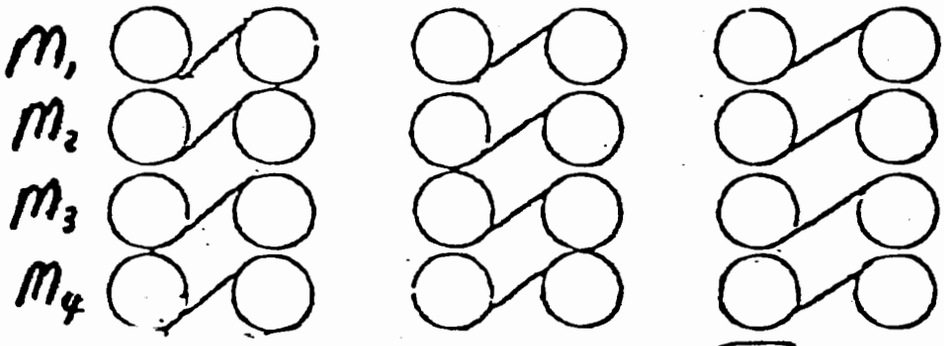
THE CUMULATIVE CYCLE TIME WILL BE (90) HRS.

OPERATION SEQUENCE: $J \rightarrow J \rightarrow J$

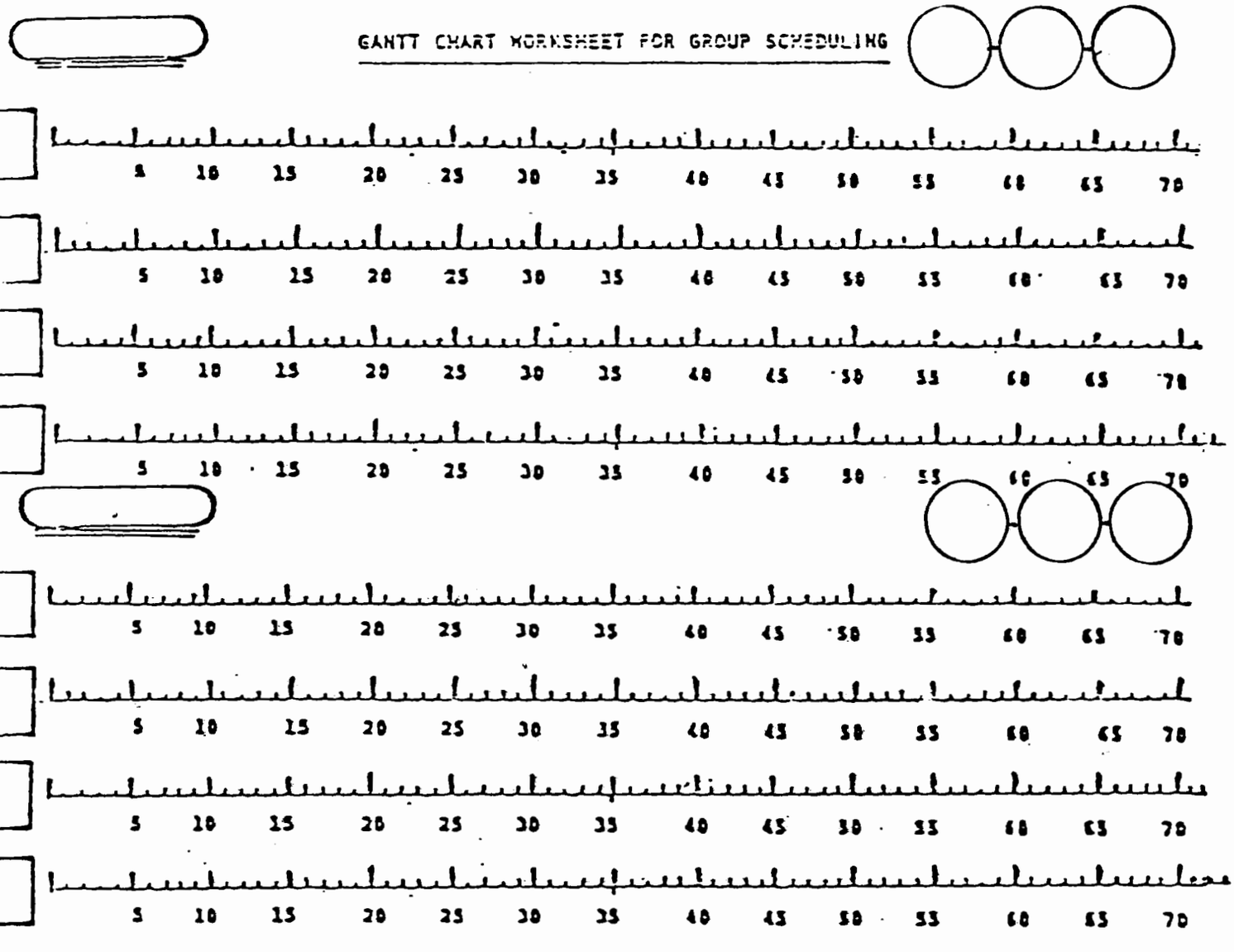


THE CUMULATIVE CYCLE TIME WILL BE ( ) HRS.

OPERATION SEQUENCE: $J \rightarrow J \rightarrow J$

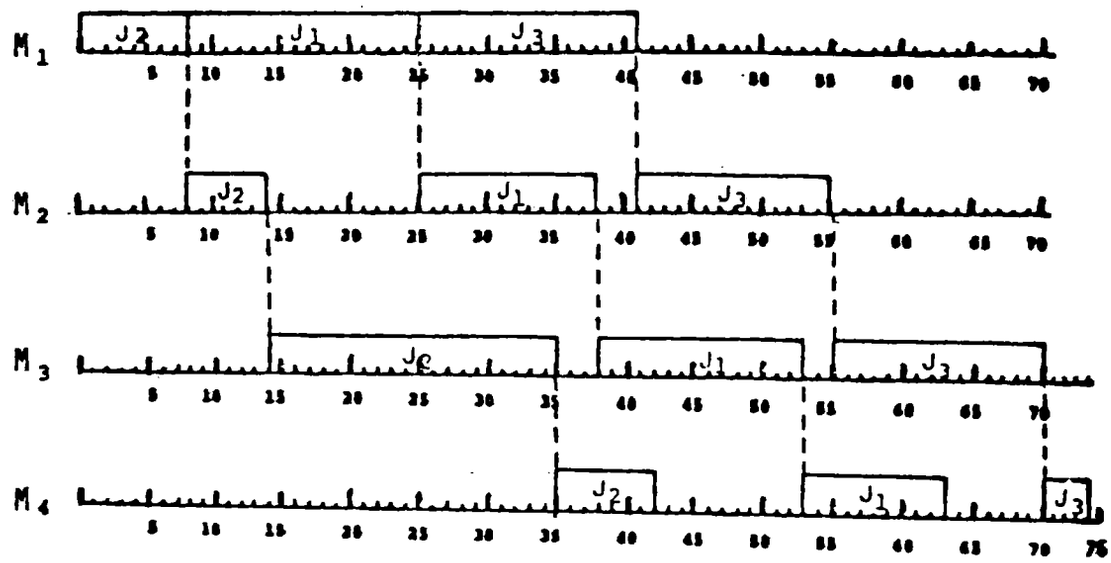


THE CUMULATIVE CYCLE TIME WILL BE ( ) HRS.

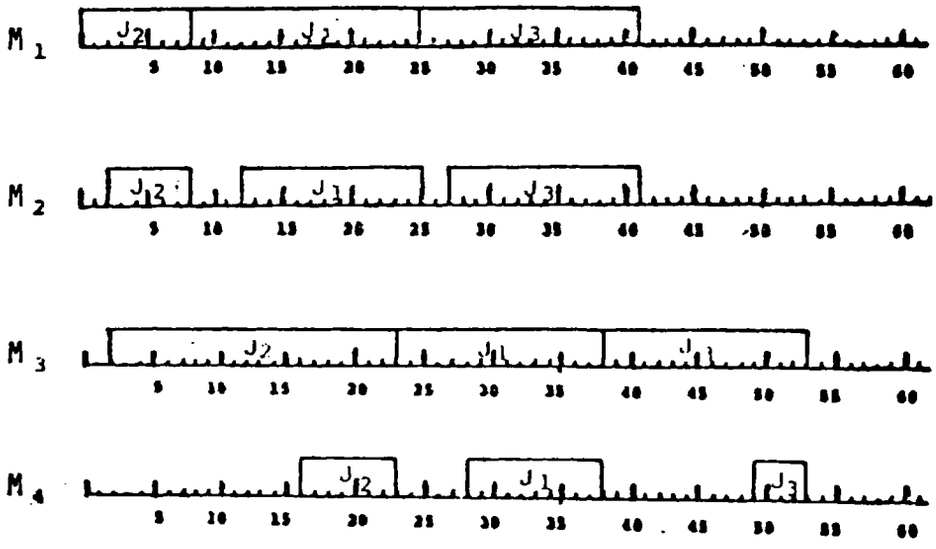

GANTT CHART WORKSHEET FOR GROUP SCHEDULING
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70
TIME (HOURS)

COMPARISON OF TOTAL THROUGHPUT TIMES BY GANTTS CHARTS

(A) SUCCESSIVE SEQUENTIAL TRANSFER (J_2-J_1-J_3) 74 HRS.



(B) PARALLEL SEQUENTIAL TRANSFER (J_2-J_1-J_3) 53 HRS.

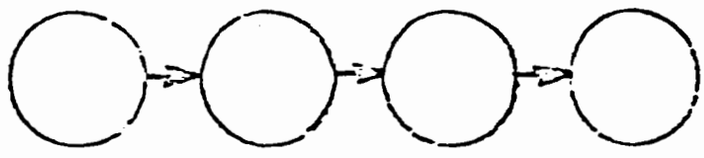


PART NO.	OPERATION (MACHINE) NUMBER				
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5
J_1	15	11	5	20	8
J_2	8	25	9	16	4
J_3	16	19	17	8	19
J_4	4	13	20	14	12

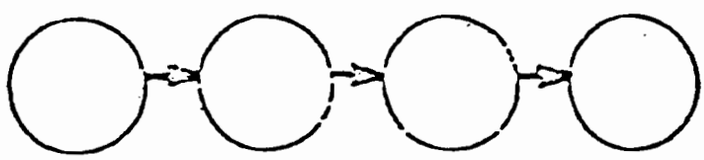
$$T = \begin{bmatrix} 15 & 11 & 5 \\ 8 & 25 & 9 \\ 16 & 19 & 17 \\ 4 & 13 & 20 \end{bmatrix} \qquad T' = \begin{bmatrix} 5 & 20 & 8 \\ 9 & 16 & 4 \\ 17 & 8 & 19 \\ 20 & 14 & 12 \end{bmatrix}$$

$$\Sigma T = \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \end{bmatrix} \qquad \Sigma T' = \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \end{bmatrix} \qquad [\Sigma T' - \Sigma T] = \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \end{bmatrix}$$

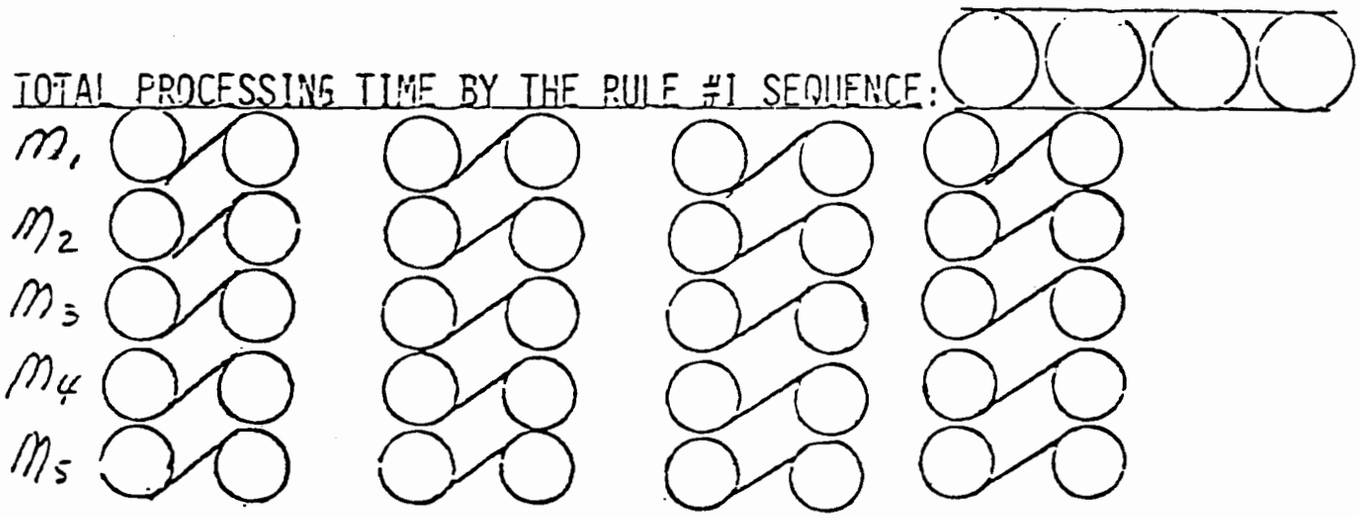
SEQUENCE BY RULE #1:



SEQUENCE BY RULE #11:

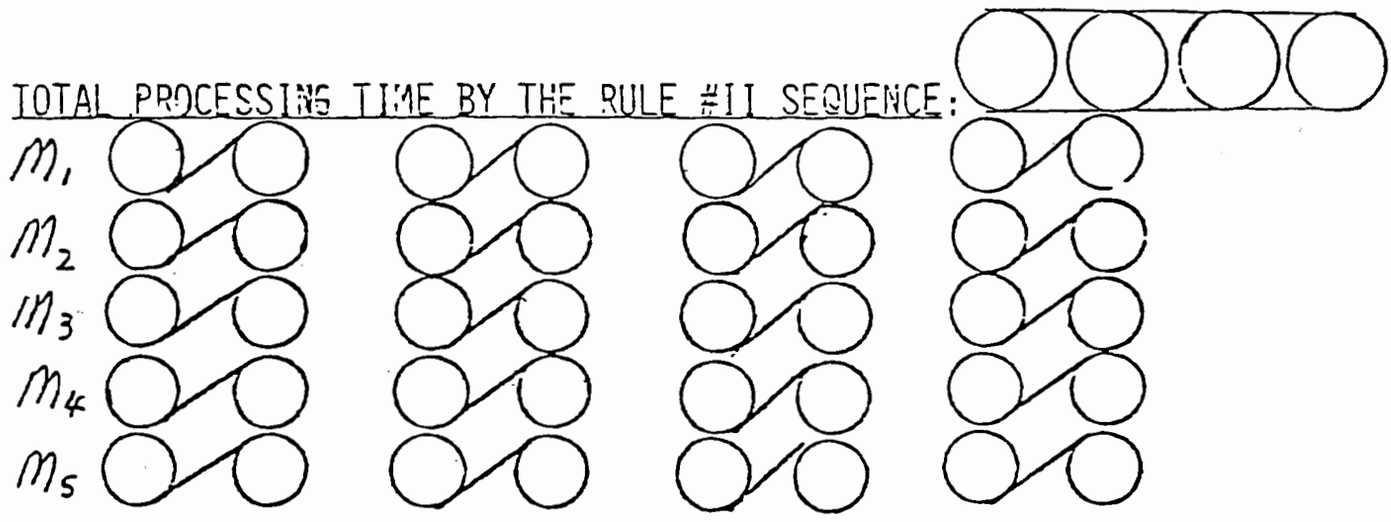


TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE #I SEQUENCE:



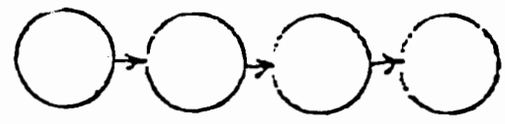
TOTAL PROCESSING TIME = ☐ HOURS

TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE #II SEQUENCE:



TOTAL PROCESSING TIME = ☐ HOURS

SELECT THE SEQUENCE BY RULE # ☐ :



PART NUMBER	OPERATION (MACHINE) NUMBER (HRS)					
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6
J_1	8	-	5	4	7	2
J_2	3	15	5	9	-	10
J_3	6	2	-	-	8	6
J_4	5	11	2	6	-	7

$$T = \begin{bmatrix} 8 & 0 & 5 \\ 3 & 15 & 5 \\ 6 & 2 & 0 \\ 5 & 11 & 2 \end{bmatrix} \quad T' = \begin{bmatrix} 4 & 7 & 2 \\ 9 & 7 & 10 \\ 0 & 8 & 6 \\ 6 & 0 & 7 \end{bmatrix}$$

$$\Sigma T = \begin{bmatrix} 13 \\ 23 \\ 8 \\ 18 \end{bmatrix} \quad \Sigma T' = \begin{bmatrix} 13 \\ 19 \\ 14 \\ 13 \end{bmatrix} \quad (\Sigma T' - \Sigma T) = \begin{bmatrix} 0 \\ -4 \\ 6 \\ -5 \end{bmatrix}$$

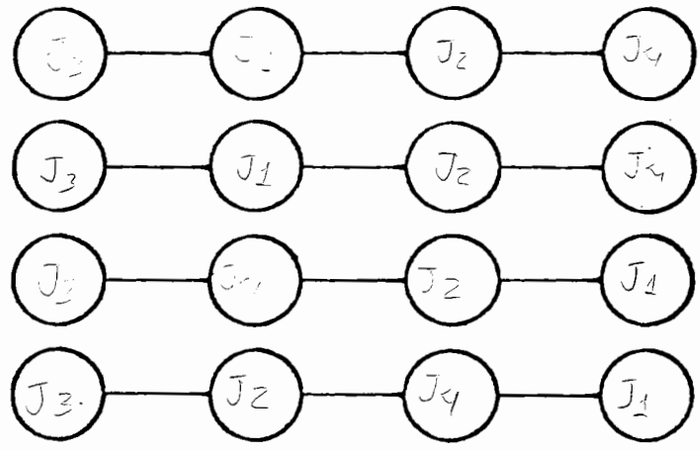
$$\bar{\bar{T}} = \begin{bmatrix} 6,5 \\ 7,6 \\ 4,3 \\ 6 \end{bmatrix} \quad \bar{T}' = \begin{bmatrix} 4,3 \\ 9,5 \\ 7,0 \\ 6,5 \end{bmatrix} \quad (\bar{T}' - \bar{T}) = \begin{bmatrix} -2,2 \\ 1,9 \\ 3,0 \\ 0,5 \end{bmatrix}$$

RULE # I :

RULE # II :

RULE # III:

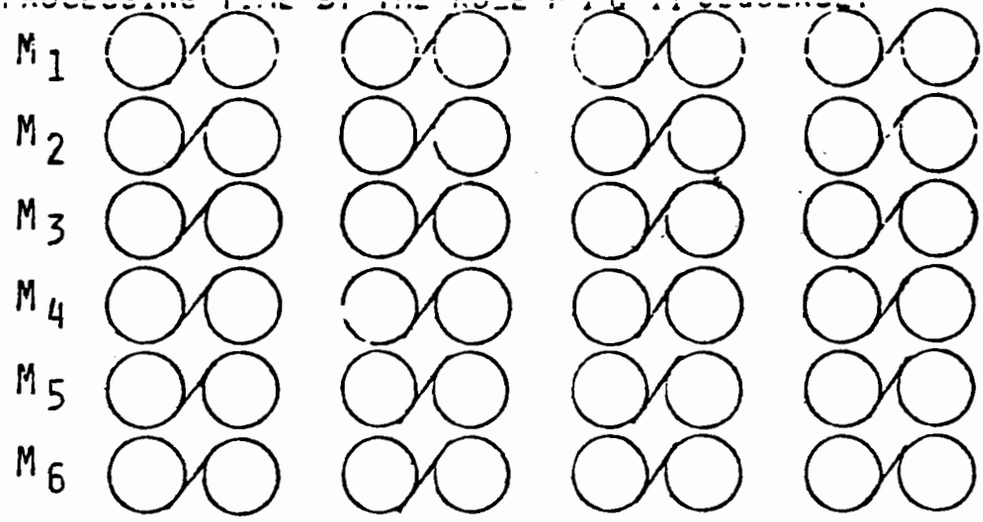
RULE # IV:



TOTAL CYCLE TIMES:

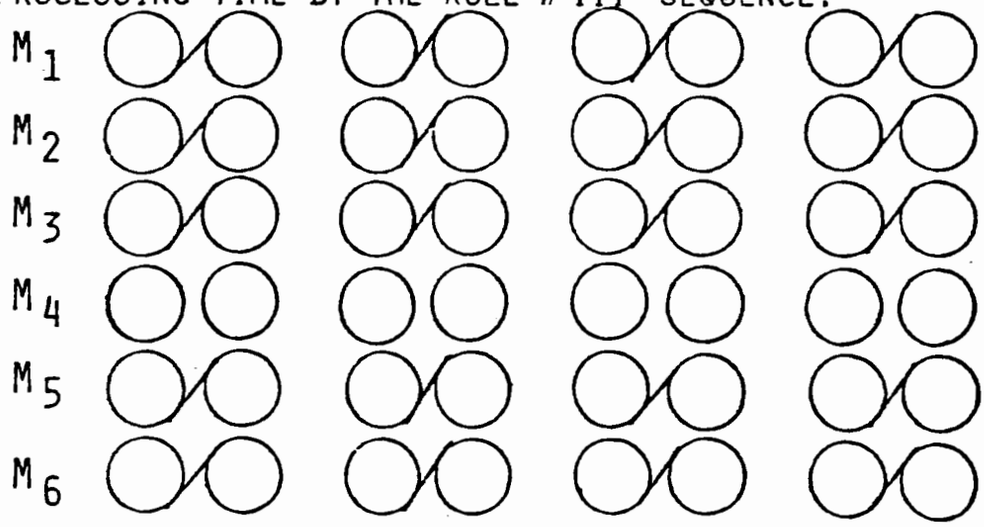
	SUCCESSIVE		PARALLEL	
RULE # I :		HRS.		HRS.
RULE # II :		HRS.		HRS.
RULE # III :		HRS.		HRS.
RULE # IV :		HRS.		HRS.

TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE # I & II SEQUENCE:



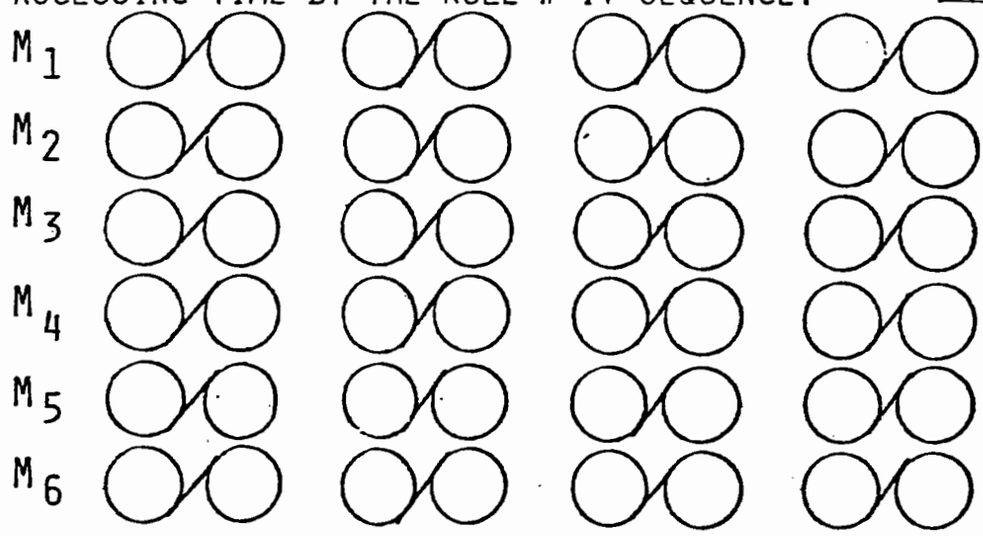
TOTAL TIME [ ] HRS.

TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE # III SEQUENCE:



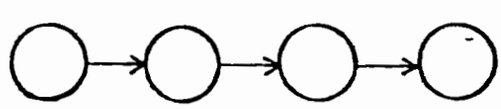
TOTAL TIME [ ] HRS.

TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE # IV SEQUENCE:

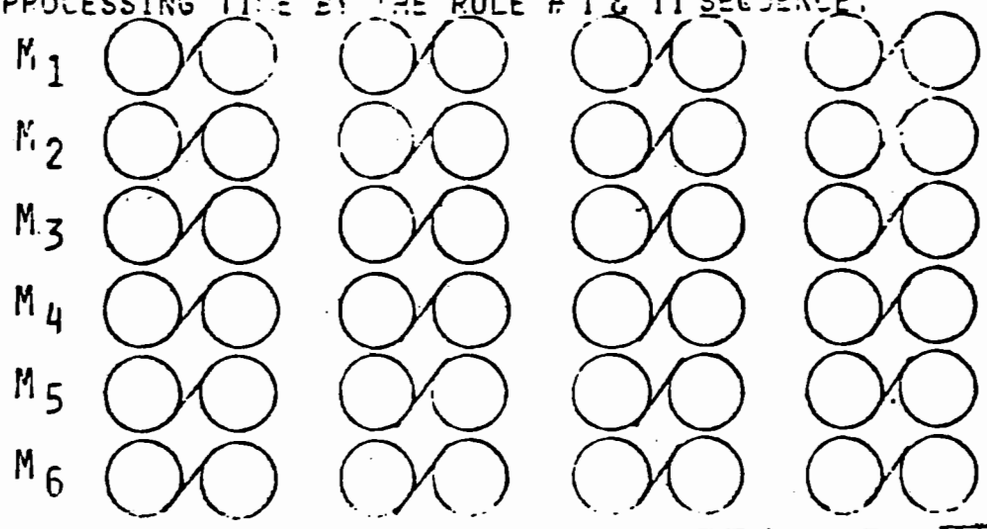


TOTAL TIME [ ] HRS.

THE OPTIMUM SEQUENCE IS BY RULE # [ ]

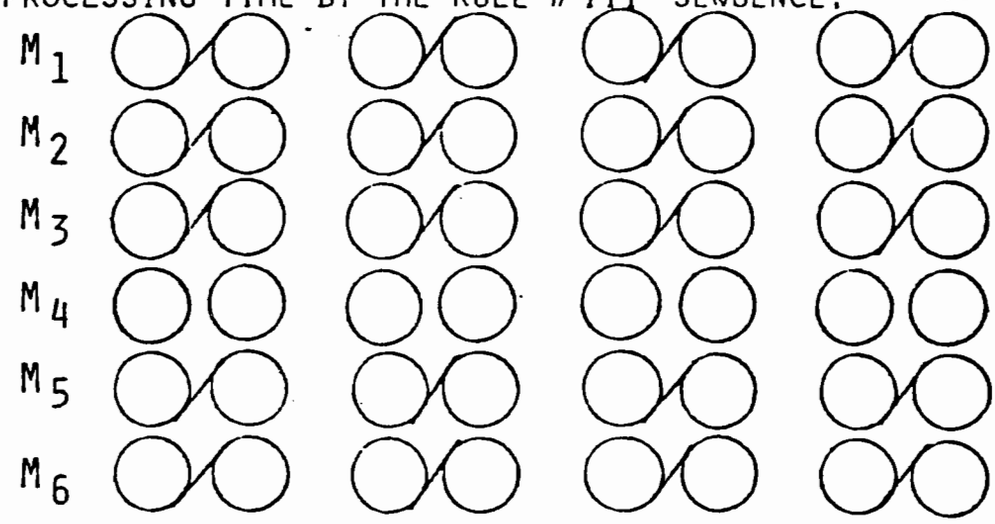


TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE # I & II SEQUENCE:



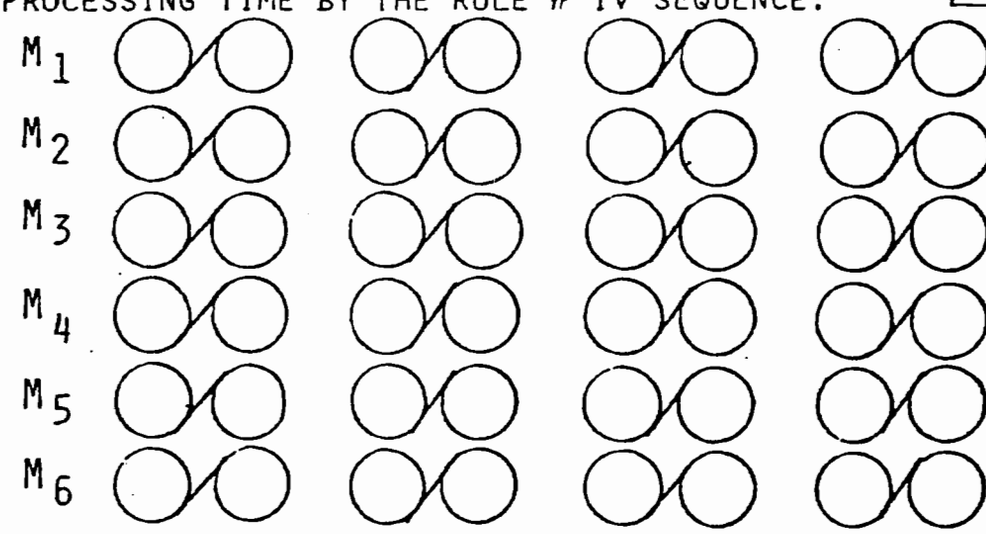
TOTAL TIME ____ HRS.

TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE # III SEQUENCE:



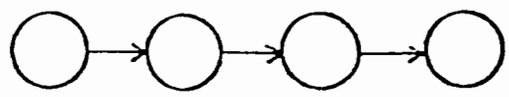
TOTAL TIME ____ HRS.

TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE # IV SEQUENCE:

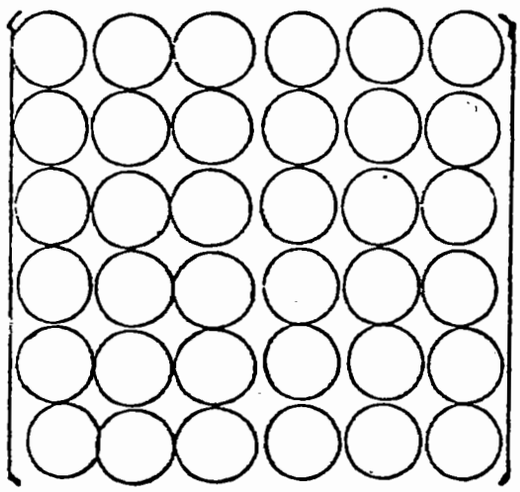


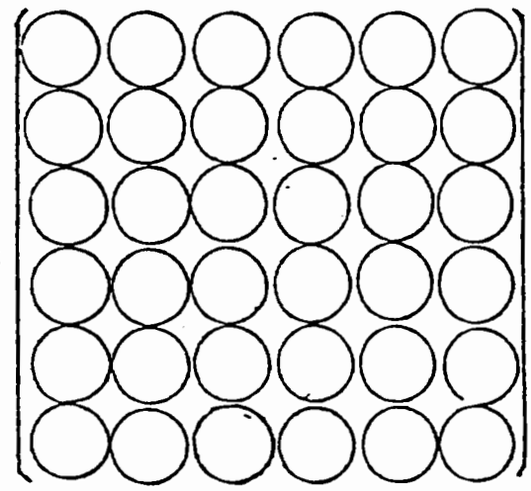
TOTAL TIME ____ HRS.

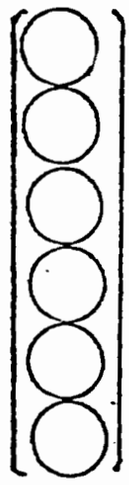
THE OPTIMUM SEQUENCE IS BY RULE # ____

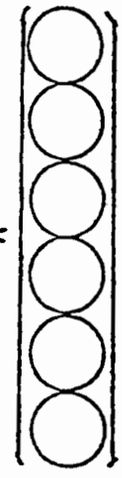


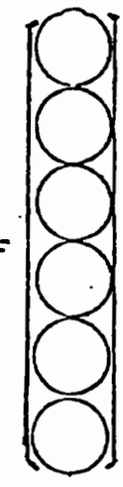
PART NO.	OPERATION (MACHINE) NUMBER (TIMES IN HOURS)											
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}	M_{11}	M_{12}
J_1	6	--	3	13	5	-	-	7	5	4	-	2
J_2	10	8	3	-	5	9	4	3	8	5	3	-
J_3	5	-	6	-	9	-	4	-	10	-	8	-
J_4	8	3	15	18	20	-	10	6	9	3	5	4
J_5	4	7	-	16	-	15	11	3	-	2	18	-
J_6	3	5	-	2	3	6	-	2	3	4	8	5

$T =$ 

$T' =$ 

$\Sigma T =$ 

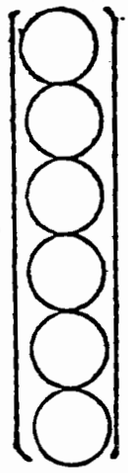
$\Sigma T' =$ 

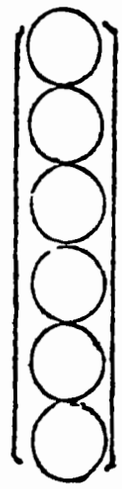
$[\Sigma T' - \Sigma T] =$ 

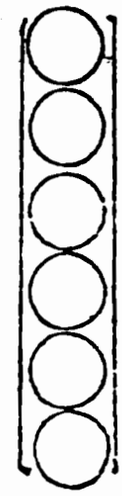
SEQUENCE BY RULE #I:

SEQUENCE BY RULE #II:

$$\overline{T}_i = \left(\frac{\Sigma T_i}{N_i}\right) \qquad \overline{T}_i' = \left(\frac{\Sigma T_i'}{N_i}\right)$$

$\overline{T}=$ 

$\overline{T}'=$ 

$[\overline{T}'-\overline{T}]=$ 

RULE #III:

$[\overline{T}_i' - \overline{T}_i] \geq 0 \qquad \overline{T}_i (\uparrow)$

$[\overline{T}_i' - \overline{T}_i] < 0 \qquad \overline{T}' (\downarrow)$

RULE #IV:

$[\overline{T}' - \overline{T}] \; (\downarrow)$

SEQUENCE BY RULE #III: ○○○○○○

SEQUENCE BY RULE #IV: ○○○○○○

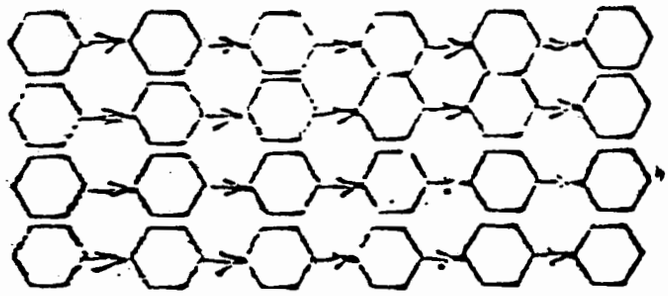
SEQUENCE BY:

RULE #I :

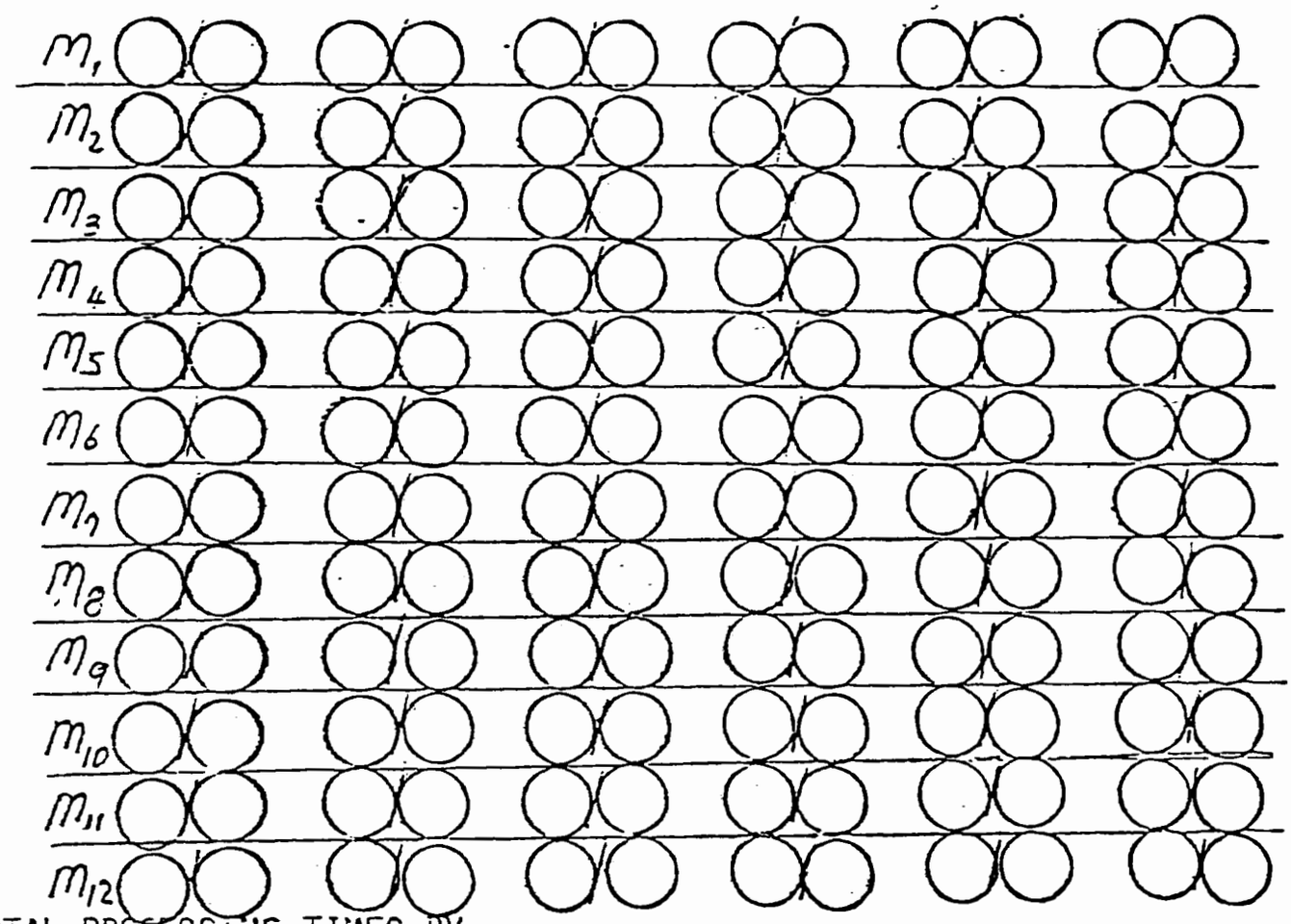
RULE #II :

RULE #III:

RULE #IV :



TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE #III SEQUENCE:



TOTAL PROCESSING TIMES BY:

RULE # I SEQUENCE - - - - [ ] HOURS

RULE # II SEQUENCE - - - - [ ] HOURS

RULE #III SEQUENCE - - - - [ ] HOURS

RULE # IV SEQUENCE - - - - [ ] HOURS

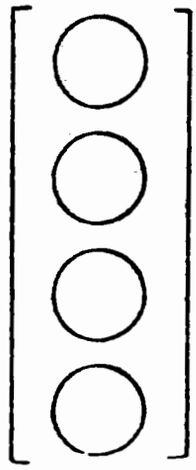
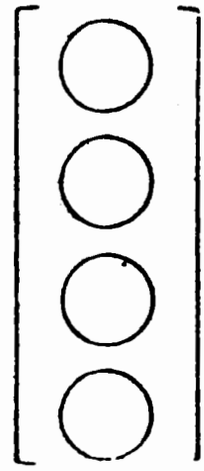
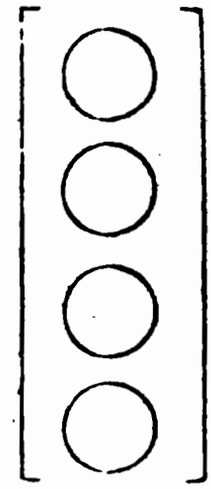
THE OPTIMUM SEQUENCE IS. BY RULE # [ ]

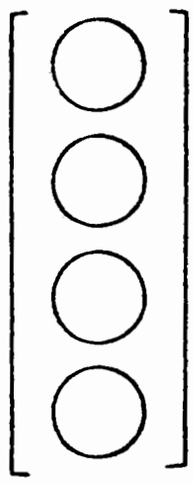
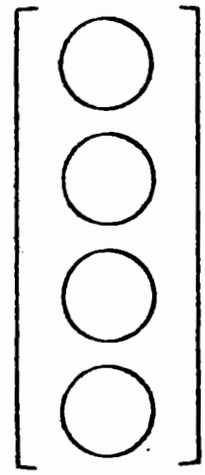
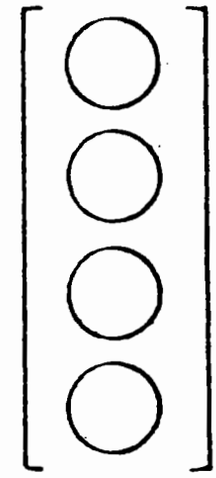
GROUP SCHEDULING BY NON-UNIDIRECTIONAL ROUTING METHOD

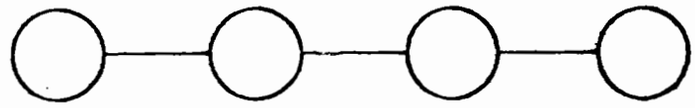
PART NUMBER	OPERATION (MACHINE) NUMBER (HRS, ROUTINGS)			
	M_1	M_2	M_3	M_4
J_1	4_1	5_2	7_3	3_4
J_2	-	6_3	8_2	6_1
J_3	4_2	5_3	2_1	-
J_4	5_1	7_3	9_4	6_2

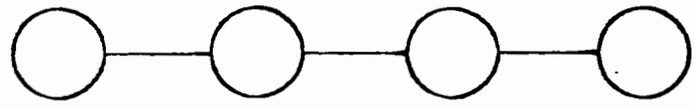
$$A = \begin{bmatrix} 4 & 5 & 7 & 3 \\ 5 & 8 & 6 & 0 \\ 2 & 4 & 5 & 0 \\ 5 & 6 & 7 & 9 \end{bmatrix}$$

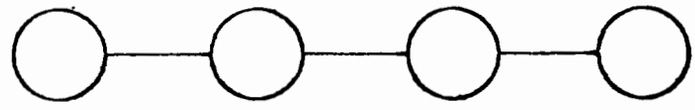
$$T = \begin{bmatrix} & \\ & \\ & \\ & \end{bmatrix} \qquad T' = \begin{bmatrix} & \\ & \\ & \\ & \end{bmatrix}$$

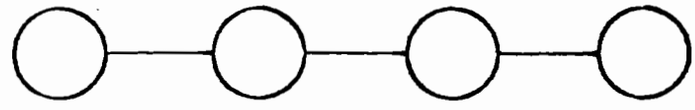
ΣT =  $\Sigma T'$ =  $(\Sigma T' - \Sigma T)$ = 

$\overline{T}$ =  $\overline{T}'$ =  $(\overline{T}' - \overline{T})$ = 

RULE # I : 

RULE # II : 

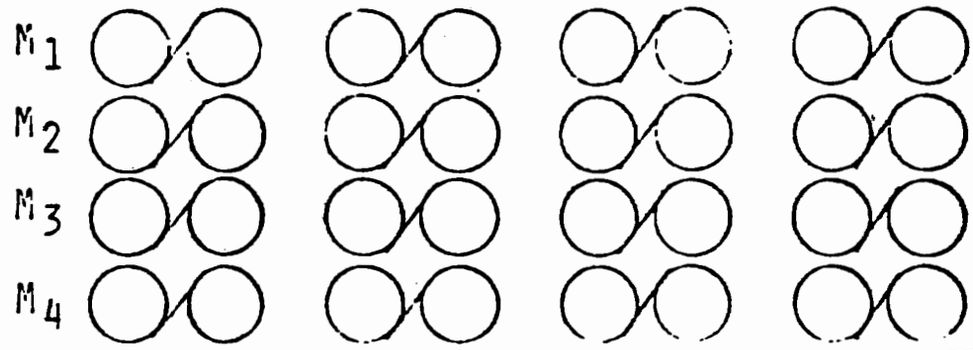
RULE # III: 

RULE # IV: 

TOTAL CYCLE TIMES:

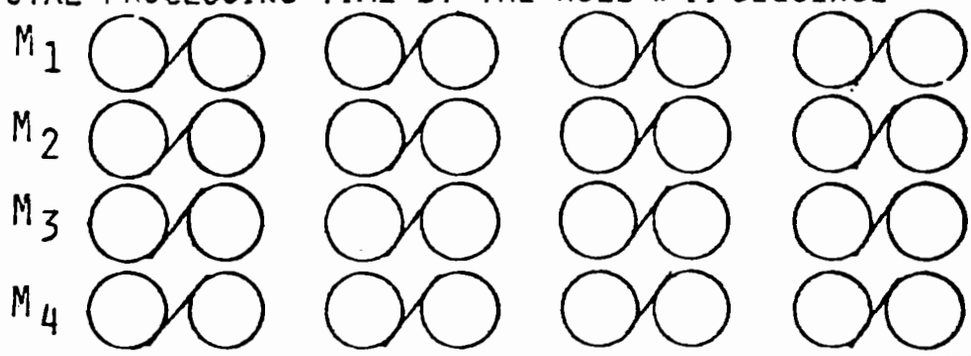
	SUCCESSIVE		PARALLEL	
RULE # I :		HRS.		HRS.
RULE # II :		HRS.		HRS.
RULE # III :		HRS.		HRS.
RULE # IV :		HRS.		HRS.

TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE # I SEQUENCE:



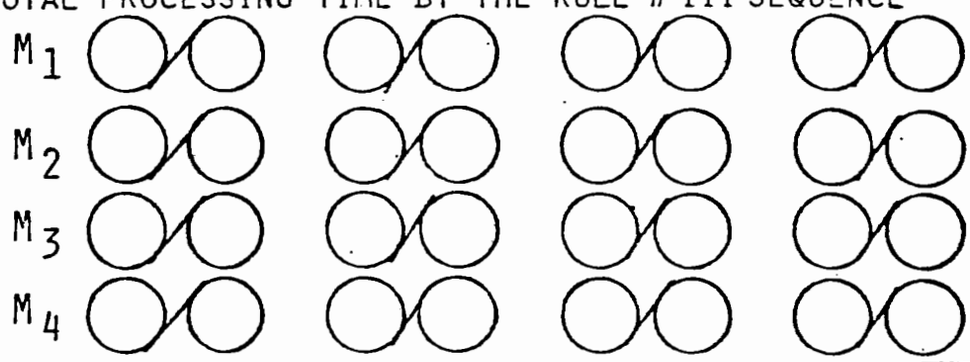
TOTAL TIME ____ HRS.

TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE # II SEQUENCE



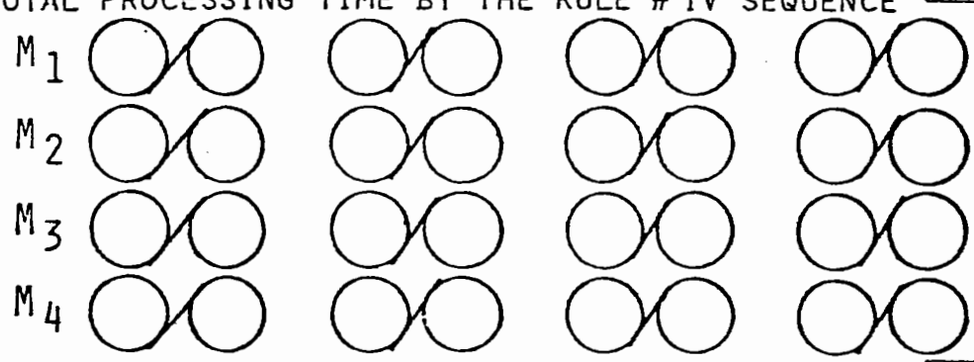
TOTAL TIME ____ HRS.

TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE # III SEQUENCE



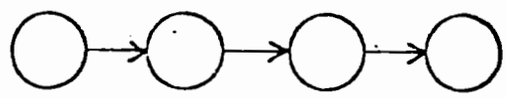
TOTAL TIME ____ HRS.

TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE # IV SEQUENCE

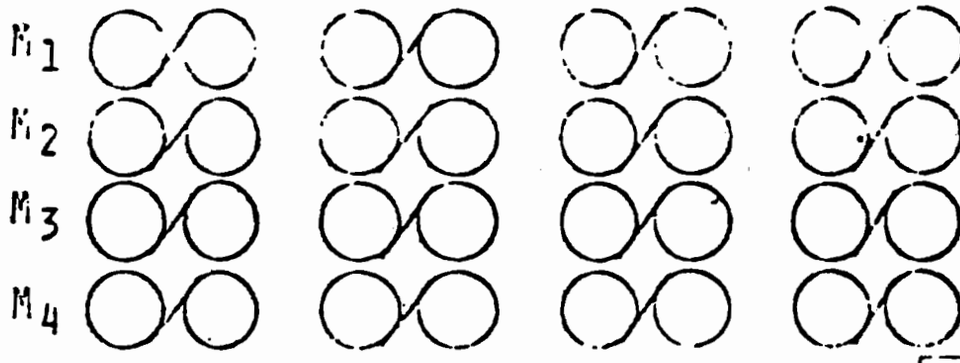


TOTAL TIME ____ HRS.

THE OPTIMUM SEQUENCE IS BY RULE # ____

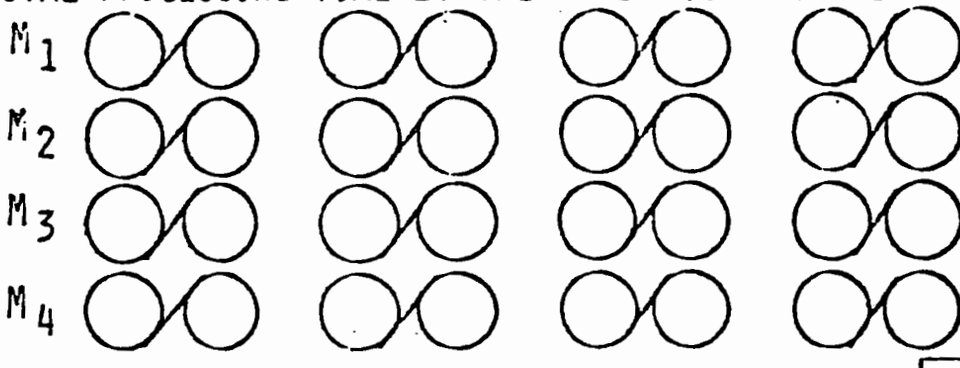


TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE # I SEQUENCE:



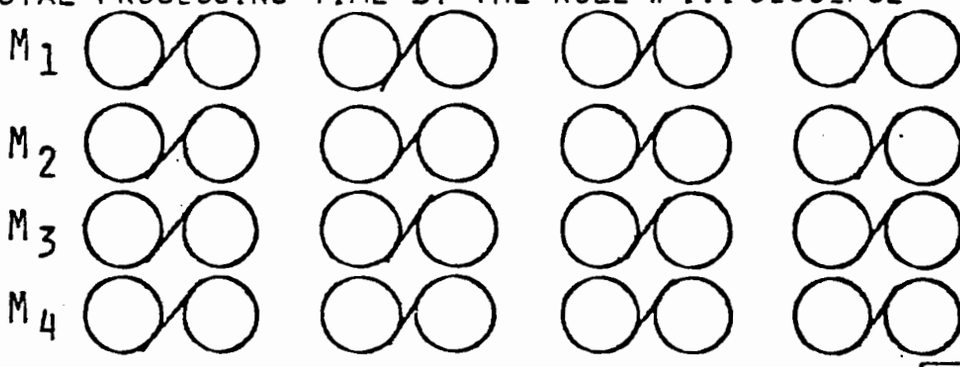
TOTAL TIME ____ HRS.

TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE # II SEQUENCE



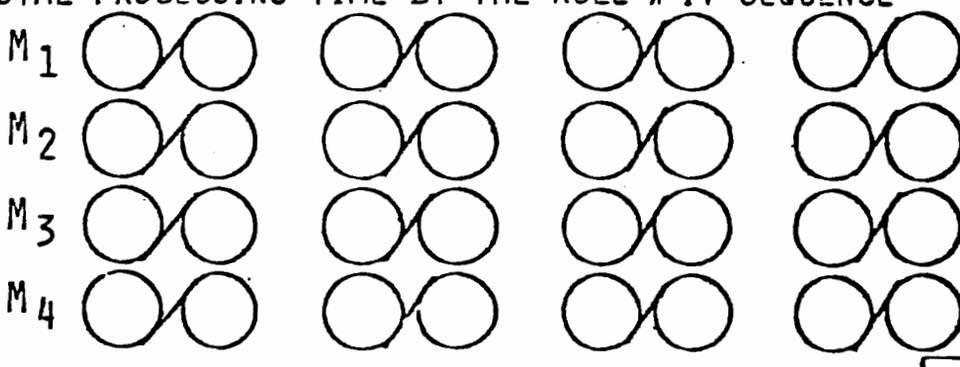
TOTAL TIME ____ HRS.

TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE # III SEQUENCE



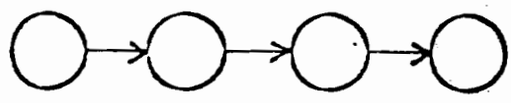
TOTAL TIME ____ HRS.

TOTAL PROCESSING TIME BY THE RULE # IV SEQUENCE



TOTAL TIME ____ HRS.

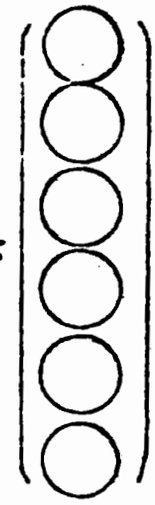
THE OPTIMUM SEQUENCE IS BY RULE # ____

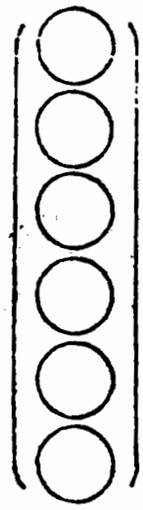


JOB	MACHINE/OPERATION				
	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
J_1	9_1	6_2	--	8_3	3_4
J_2	5_4	--	8_3	6_2	2_1
J_3	7_1	8_2	--	5_3	4_4
J_4	6_3	10_2	5_1	4_5	3_4
J_5	4_4	--	6_3	3_2	10_1
J_6	7_3	8_2	4_1	10_5	5_4

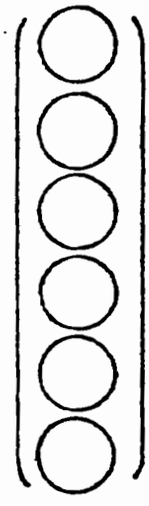
$$A = \begin{bmatrix} \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \end{bmatrix}$$

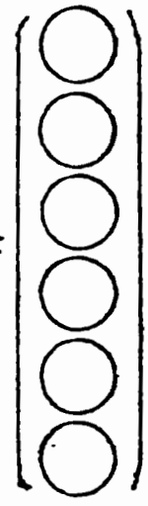
$$T = \begin{bmatrix} \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \end{bmatrix} \qquad T' = \begin{bmatrix} \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \end{bmatrix}$$

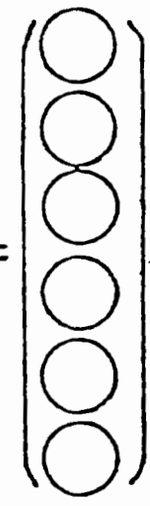
$\Sigma T =$ 

$\Sigma T' =$ 

$(\Sigma T' - \Sigma T) =$

$\overline{T} =$ 

$\overline{T}' =$ 

$(\overline{T}' - \overline{T}) =$ 

RULE # I : ○ — ○ — ○ — ○ — ○ — ○

RULE # II : ○ — ○ — ○ — ○ — ○ — ○

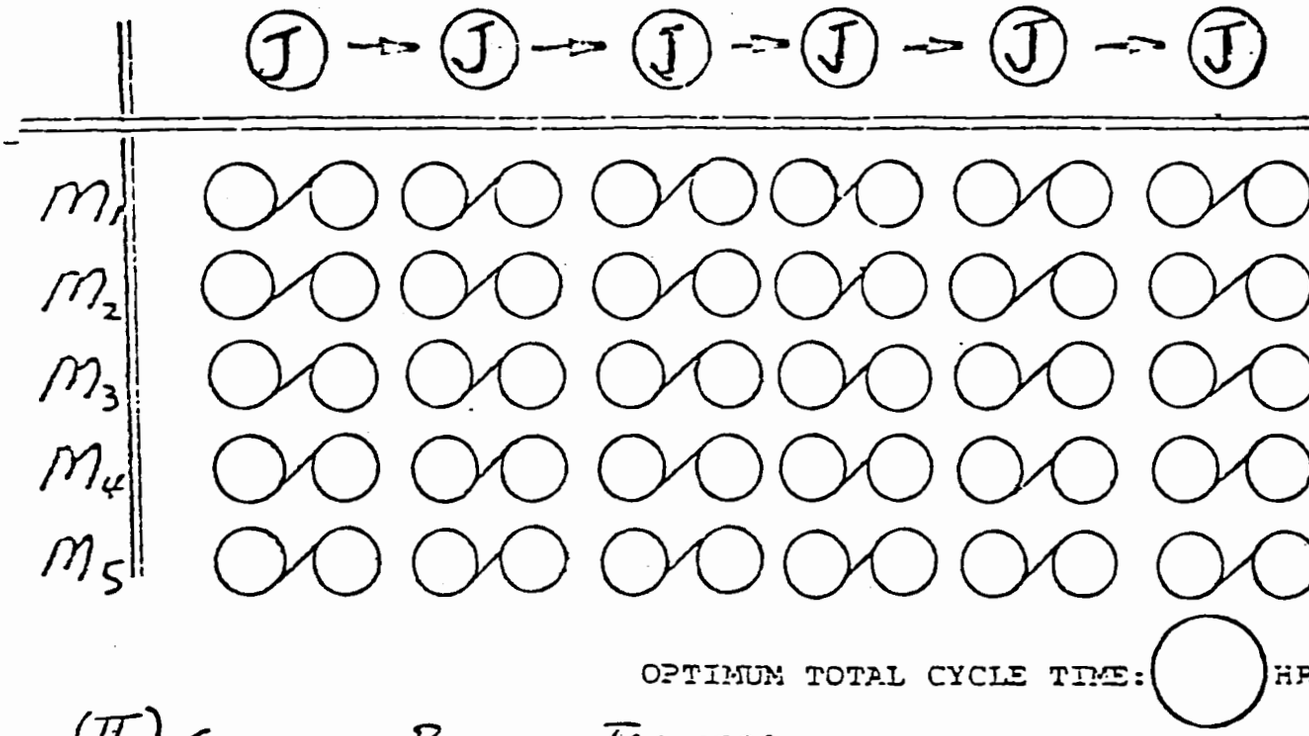
RULE # III : ○ — ○ — ○ — ○ — ○ — ○

RULE # IV : ○ — ○ — ○ — ○ — ○ — ○

TOTAL CYCLE TIMES:

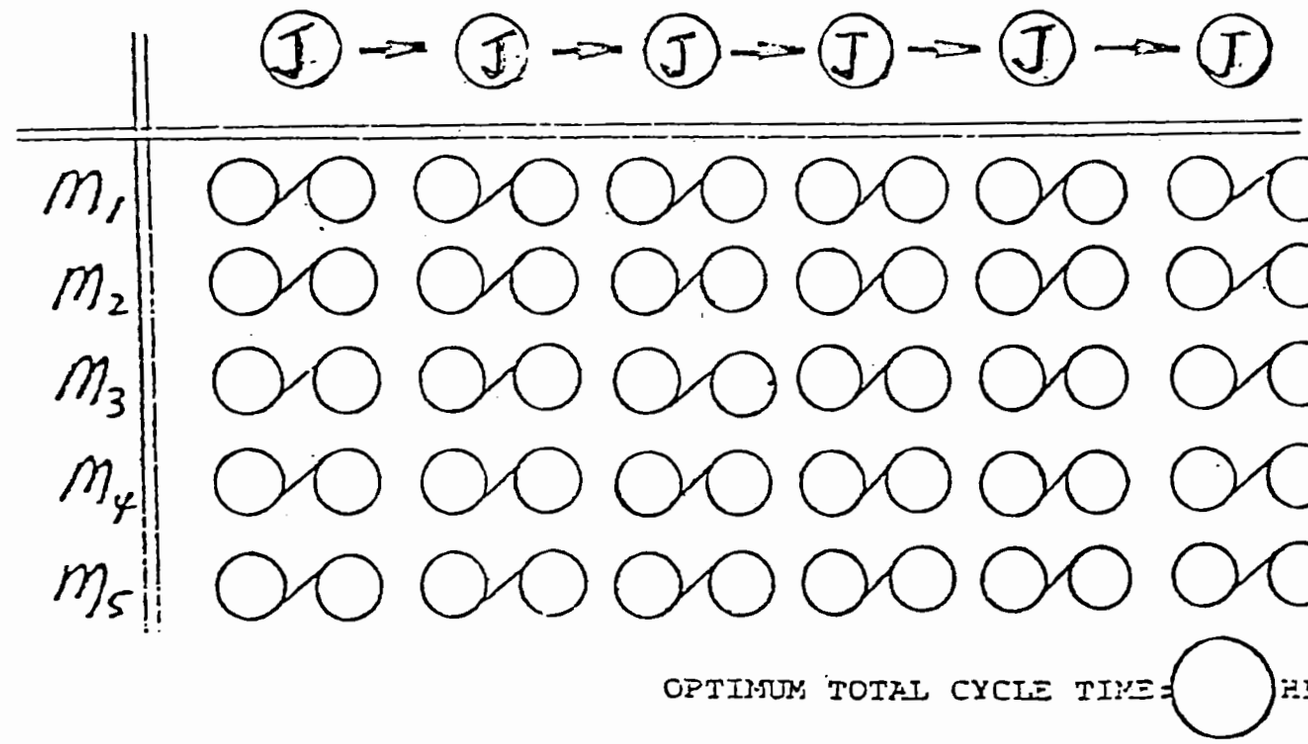
RULE # I :	_____ HRS.	_____ hrs.
RULE # II :	_____ hrs.	_____ hrs.
RULE # III :	_____ hrs.	_____ hrs.
RULE # IV :	_____ hrs.	_____ hrs.

(I) SUCCESIVE SEQUENTIAL TRANSFER



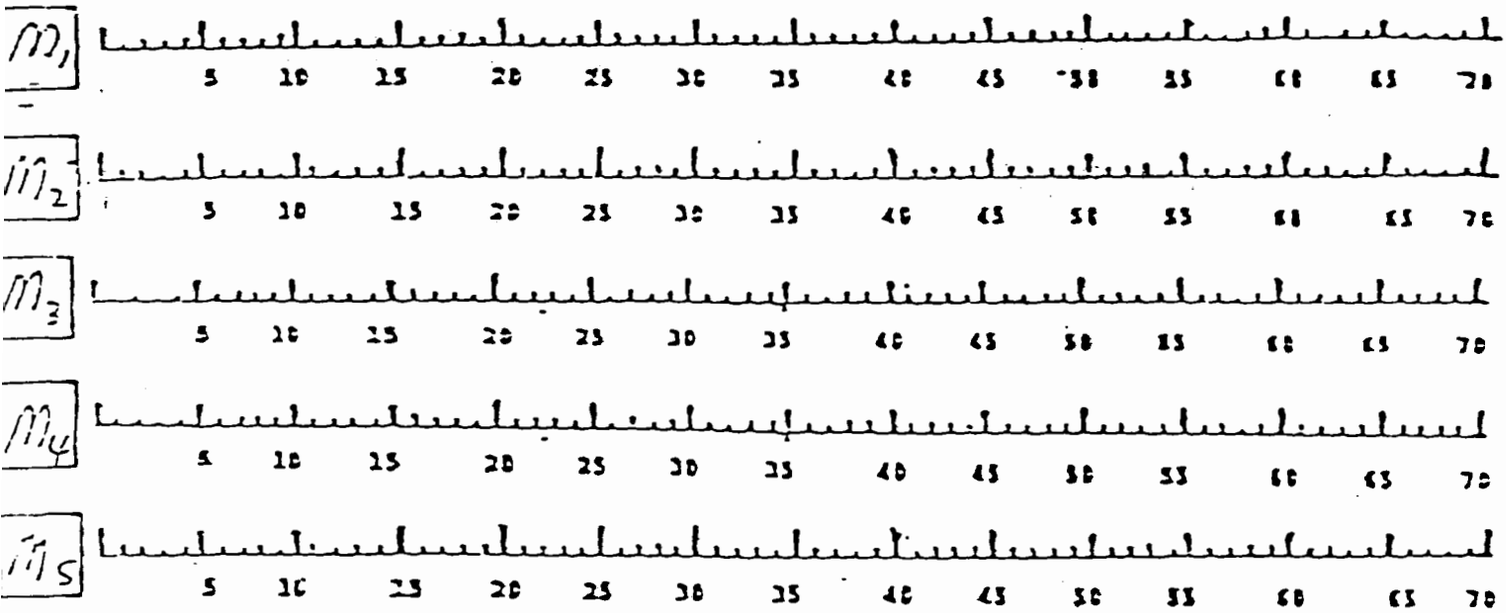
OPTIMUM TOTAL CYCLE TIME: ◯ HRS.

(II) SUCCESIVE PARALLEL TRANSFER



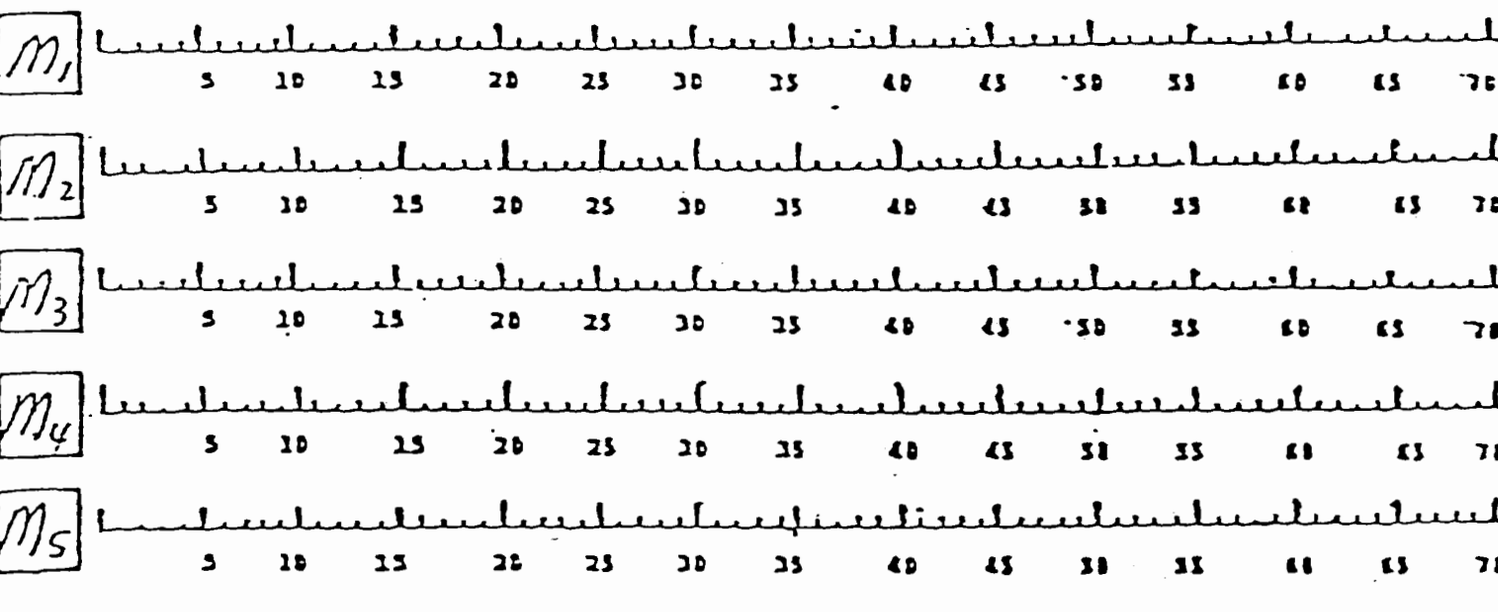
OPTIMUM TOTAL CYCLE TIME= ◯ HRS.

(I) SUCCESIVE SEQUENTIAL TRANSFER



Time (hour)

(II) SUCCESIVE PARALLEL TRANSFE



Time (hour)

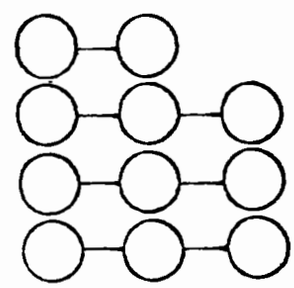
BASIC DATA FOR GROUP SCHEDULING
(A SET OF PART FAMILIES)

Part Family Group	G_1			G_2				G_3			
Job	-	J_{11}	J_{12}	-	J_{21}	J_{22}	J_{23}	-	J_{31}	J_{32}	J_{33}
Set-up/ Processing Time	S_1	P_{11}	P_{12}	S_2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	S_3	P_{31}	P_{32}	P_{33}
M_1	5	5	7	3	2	4	3	7	2	1	9
M_2	5	5	1	6	3	2	8	3	2	8	2
M_3	4	3	8	4	1	6	5	1	7	4	5

GROUP PROCESSING TIME

	G_1	G_2	G_3
M_1			
M_2			
M_3			

GROUP # 1 OPTIMUM JOB SEQUENCE:
GROUP # 2 OPTIMUM JOB SEQUENCE:
GROUP # 3 OPTIMUM JOB SEQUENCE:
GROUP OPTIMUM SEQUENCE :



GROUP SEQUENCE								
JOB SEQUENCE								

GROUP SCHEDULING FOR "A SET OF PART FAMILIES"

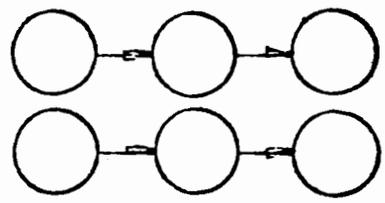
(I) GROUP #1:

$$A = \begin{bmatrix} \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc \end{bmatrix} \quad T' = \begin{bmatrix} \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc \end{bmatrix}$$

$$\Sigma T = \begin{bmatrix} \bigcirc \\ \bigcirc \end{bmatrix} \quad \Sigma T' = \begin{bmatrix} \bigcirc \\ \bigcirc \end{bmatrix} \quad (\Sigma T' - \Sigma T) = \begin{bmatrix} \bigcirc \\ \bigcirc \end{bmatrix}$$

RULE # I

RULE # II



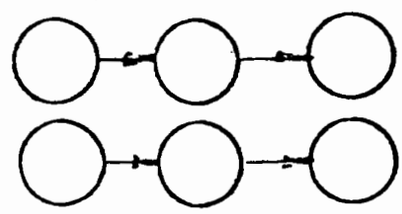
(II) GROUP #2:

$$A = \begin{bmatrix} \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc \end{bmatrix} \quad T' = \begin{bmatrix} \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc \end{bmatrix}$$

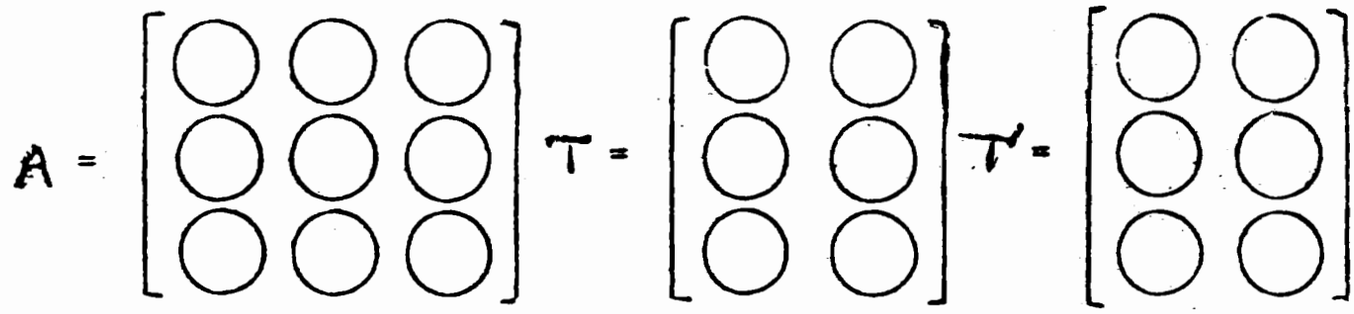
$$\Sigma T = \begin{bmatrix} \bigcirc \\ \bigcirc \\ \bigcirc \end{bmatrix} \quad \Sigma T' = \begin{bmatrix} \bigcirc \\ \bigcirc \\ \bigcirc \end{bmatrix} \quad (\Sigma T' - \Sigma T) = \begin{bmatrix} \bigcirc \\ \bigcirc \\ \bigcirc \end{bmatrix}$$

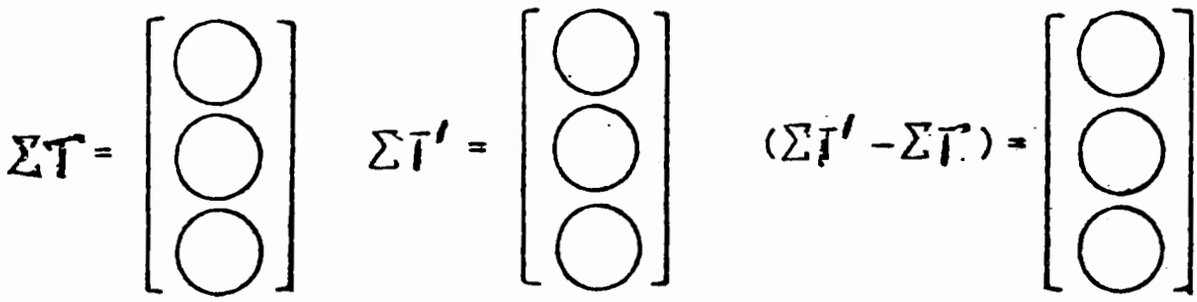
RULE # I

RULE # II



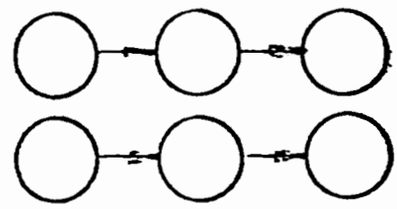
(III) GROUP #3:



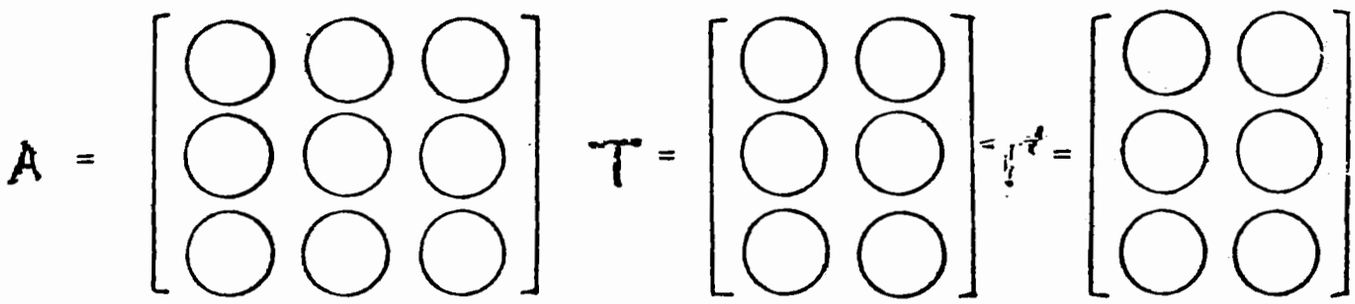


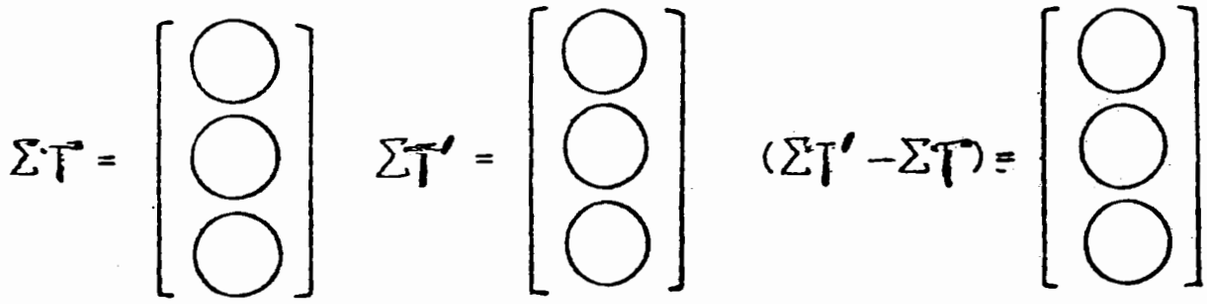
RULE #I

RULE #II



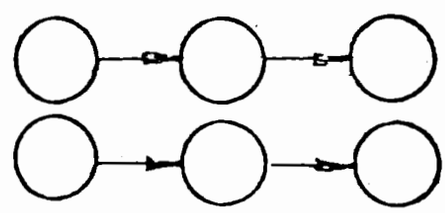
(IV) GROUP SEQUENCE:





RULE # I

RULE # II



EXAMPLE OF "BRANCH AND BOUND METHOD" FOR GROUP SCHEDULING

Part Family Group	G_1			G_2				G_3			
Job	-	J_{11}	J_{12}	-	J_{21}	J_{22}	J_{23}	-	J_{31}	J_{32}	J_{33}
Set-up/ Processing Time	S_1	P_{11}	P_{12}	S_2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	S_3	P_{31}	P_{32}	P_{33}
M_1	5	5	7	3	2	4	3	7	2	1	9
M_2	5	5	1	6	3	2	8	3	2	8	2
M_3	4	3	8	4	1	6	5	1	7	4	5

1. Branch and make group nodes (r=1): $N_1 = \{G_1\}$, $\{G_2\}$, and $\{G_3\}$.

2. Branch and make job nodes (r=1, s=1): $N_{11} = \{J_{11}\}$, $\{J_{12}\}$, $\{J_{21}\}$, $\{J_{22}\}$, $\{J_{23}\}$, $\{J_{31}\}$, $\{J_{32}\}$, and $\{J_{33}\}$. Compute LB (the lower bound):

   $\hat{F}_{N_{11}}$ = 59, 57, 55, 55, 58, 58, 63, and 65.

3. Find a least LB: 55 (if there is a tie, take one of the highest level [larger values of r and s] and the most left-hand side). At this node, $\{J_{21}\}$ in G_2 (i=2), since $s \neq n_i$ ($1 \neq 3$), branch and make job nodes (s=2): $N_{12} = \{J_{21}, J_{22}\}$ and $\{J_{21}, J_{23}\}$. Compute LB: $\hat{F}_{N_{12}}$ = 55 and 60.

4. Find a least LB: 55 at the node $\{J_{21}, J_{22}\}$ in G_2; since $s \neq n_i$ ($2 \neq 3$), branch and make job node (s=3): $N_{13} = \{J_{21}, J_{22}, J_{23}\}$. Compute LB: $\hat{F}_{N_{13}}$ = 57.

5. Find a least LB: 55 at the node $\{J_{22}\}$ in G_2; since $s \neq n_i$ ($1 \neq 3$), branch and make job nodes (s=2): $N_{12} = \{J_{22}, J_{21}\}$ and $\{J_{22}, J_{23}\}$. Compute LB: $\hat{F}_{N_{12}}$ = 55 and 56.

6. Find a least LB: 55 at the node $\{J_{22}, J_{21}\}$ in G_2; since $s \neq n_i$ $(2 \neq 2)$, branch and make job node $(s=3)$: $N_{13} = \{J_{22}, J_{21}, J_{23}\}$. Compute LB: $\hat{F}_{N_{13}} = 57$.

7. Find a least LB: 56 at the node $\{J_{22}, J_{23}\}$ in G_2; since $s \neq n_i$ $(2 \neq 3)$, branch and make job node $(s=3)$: $N_{13} = \{J_{22}, J_{23}, J_{21}\}$. Compute LB: $\hat{F}_{N_{13}} = 56$.

8. Find a least LB: 56 at the node $\{J_{22}, J_{23}, J_{21}\}$ in G_2; since $s = n_i$, then branch and make new group nodes $(r=2)$: $N_2 = \{G_2, G_1\}$ and $\{G_2, G_3\}$.

9. Branch and make job nodes $(r=2, s=1)$: $N_{21} = \{J_{11}\}$, $\{J_{12}\}$, $\{J_{31}\}$, $\{J_{32}\}$, and $\{J_{33}\}$. Compute LB: $\hat{F}_{N_{21}} = 59, 56, 57, 63,$ and 61.

10. Find a least LB: 56 at the node $\{J_{11}\}$ in G_1 $(i=1)$; since $s \neq n_1$ $(1 \neq 2)$, branch and make job node $(s=2)$: $N_{22} = \{J_{12}, J_{11}\}$. Compute LB: $\hat{F}_{N_{22}} = 56$.

11. Find a least LB: 56 at the node $\{J_{12}, J_{11}\}$ in G_1; since $s = n_i$, then branch and make group node $(r=3)$: $N_3 = \{G_2, G_1, G_3\}$.

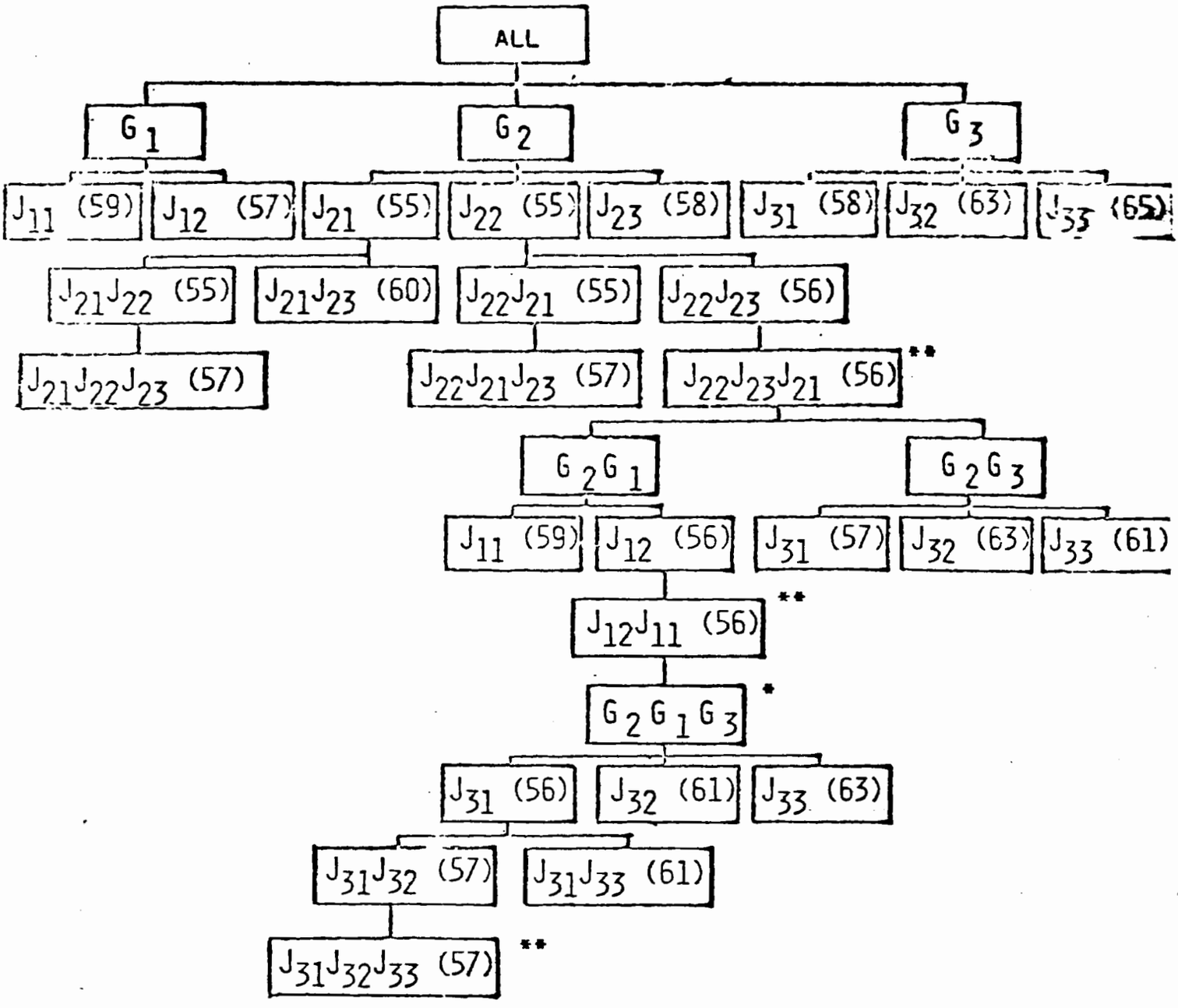
12. Branch and make job nodes $(r=3, s=1)$: $N_{31} = \{J_{31}\}$, $\{J_{32}\}$, and $\{J_{33}\}$. Compute LB: $\hat{F}_{N_{31}} = 56$, 61, and 63.

13. Find a least LB: 56 at the node $\{J_{31}\}$ in G_3 $(i=3)$; since $s \neq n_i$ $(1 \neq 3)$, branch and make job nodes $(s=2)$: $N_{32} = \{J_{31}, J_{32}\}$ and $\{J_{31}, J_{33}\}$. Compute LB: $\hat{F}_{N_{32}} = 57$ and 61.

14. Find a least LB: 57 at the node $\{J_{31}, J_{32}\}$ in G_3; since $s \neq n_i$, branch and make job node $(s=3)$: $N_{33} = \{J_{31}, J_{32}, J_{33}\}$. Compute LB: $\hat{F}_{N_{33}} = 57$.

15. Find a least LB: 57. Since all groups and jobs are sequenced, the optimal solution for group sequence and job sequence for minimizing the total flow time is obtained as shown in Table.

"BRANCH AND BOUND" METHOD SOLUTION
(GROUP SCHEDULING FOR A SET OF PART FAMILIES)

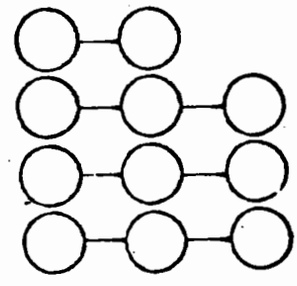


GROUP # 1 OPTIMUM JOB SEQUENCE:

GROUP # 2 OPTIMUM JOB SEQUENCE:

GROUP # 3 OPTIMUM JOB SEQUENCE:

GROUP OPTIMUM SEQUENCE :



GROUP SEQUENCE								
JOB SEQUENCE								

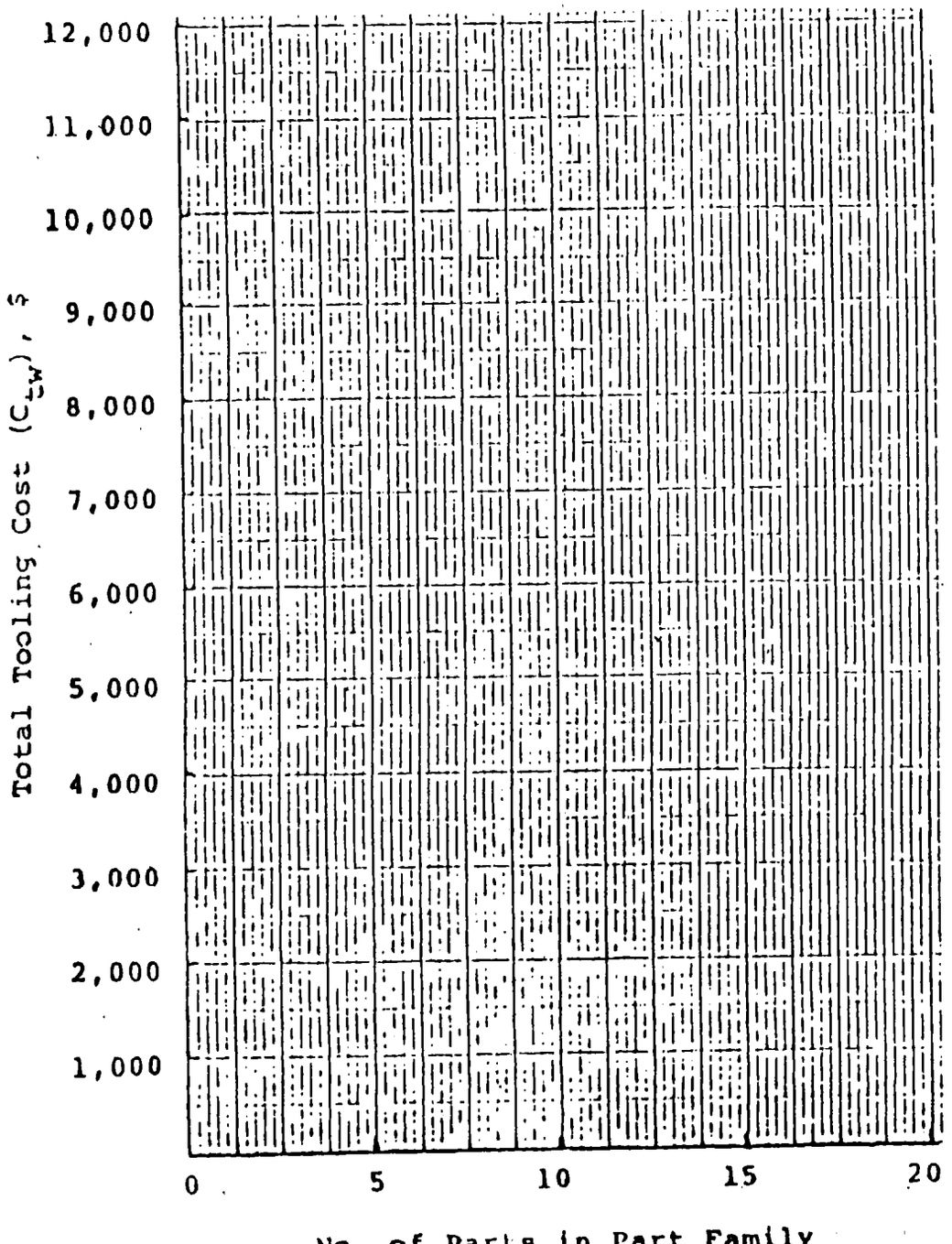
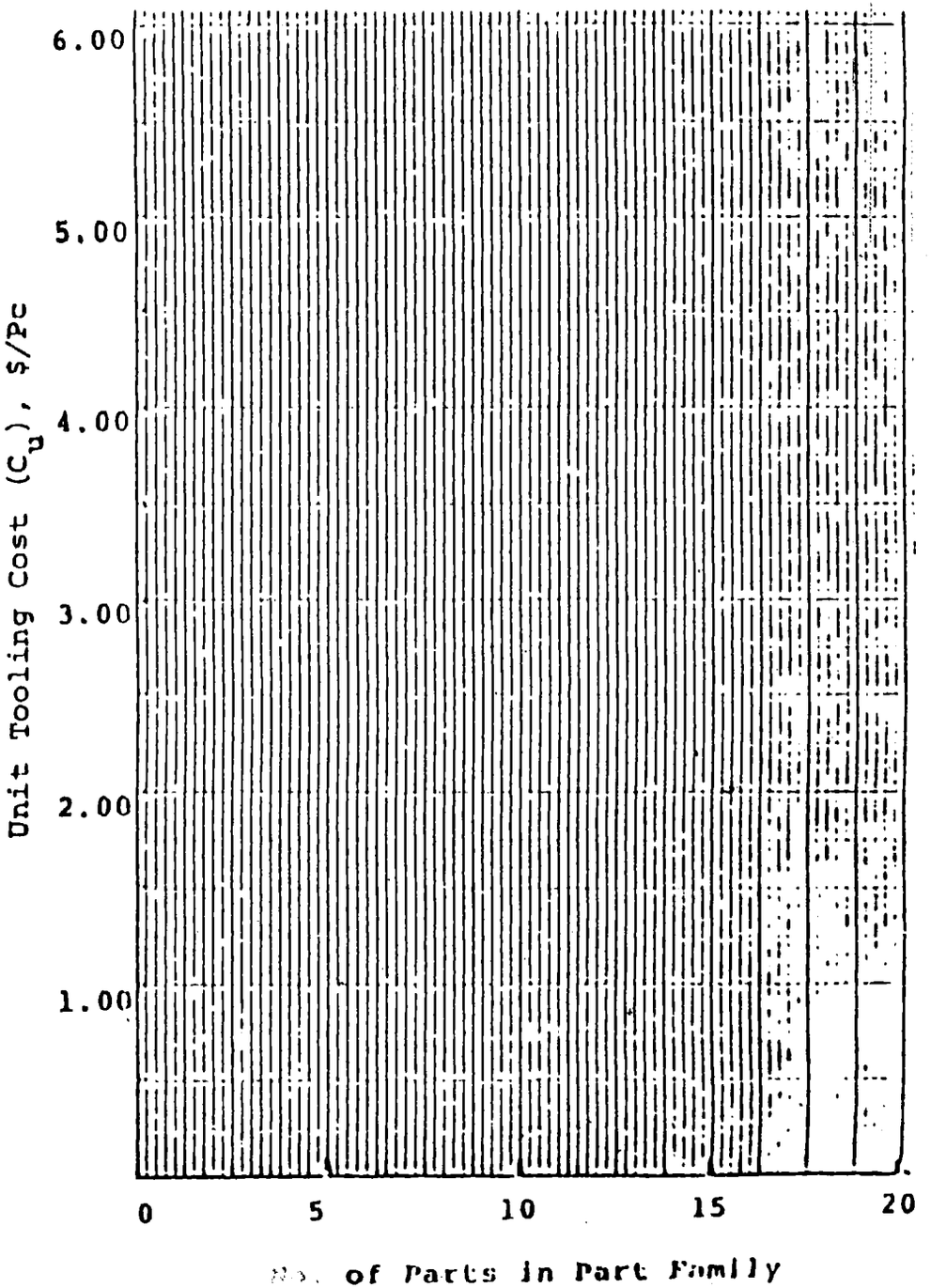
COMPARATIVE ANALYSIS FOR ECONOMICS OF GROUP TOOLING

Item	Conventional tooling Method	Group Tooling Method
Cost of the Drill jig	$815	$2208
Number of jigs required	6	1
Cost of an adapter	-	$450
Number of adapters required	-	5
Number of pieces to be prod.	240	240

COMPUTED EXAMPLE OF TOOLING COSTS FOR COMPARISON

No. of parts in part family	Conventional Method		Group tooling Method	
	C_{tw_1}	C_{u_1}	C_{tw_2}	C_{u_2}
1	$ 815	$3.40	$ 2,658	$11.08
2	1,630	3.40	3,108	6.48
3	2,445	3.40	3,558	4.94
4	3,260	3.40	4,008	4.18
5	4,075	3.40	4,458	3.72
6	4,890	3.40	4,908	3.41
7	5,705	3.40	5,358	3.19
8	6,520	3.40	5,808	3.03
9	7,335	3.40	6,258	2.90
10	8,150	3.40	6,708	2.80
11	8,965	3.40	7,158	2.71
12	9,780	3.40	7,608	2.64
13	10,595	3.40	8,058	2.49
14	11,410	3.40	8,508	2.58
15	12,225	3.40	8,958	2.49
20	16,300	3.40	11,208	2.34

(A) Total Tooling Cost (C_{tw}) vs. No. of Parts in Part Family



(B) Unit Tooling Cost (C_u) vs. No. of Parts in Part Family