

TÍTULO: ANÁLISE DA CINÉTICA DE RECRISTALIZAÇÃO ISOTÉRMICA APÓS CONFORMAÇÃO A QUENTE DO AÇO-SILÍCIO ATRAVÉS DO ESFORÇO DE LAMINAÇÃO.

AUTORES: José Carlos de Carvalho Spínola⁽¹⁾
Ronaldo Antônio Neves Marques Barbosa⁽²⁾
Paulo Roberto Cetlin⁽³⁾

COMISSÃO: COMFIT

RESUMO:

A deformação a quente dos aços silício processa-se sem a ocorrência de recristalização dinâmica. Isto significa que a estrutura recristalizada obtida após este tipo de deformação é fruto de um processo de recristalização, estática, posterior ao processo de deformação. A cinética desta recristalização pode ser de particular interesse quando se consideram etapas sucessivas de deformação, onde o tempo entre estas etapas pode não ser suficiente para proporcionar uma plena recristalização deste material. O presente trabalho analisa a possibilidade de estudar a cinética de recristalização estática após deformação a quente do aço silício diretamente através de medidas da força de laminação. Este tipo de abordagem pode ainda ser aplicado em escala industrial.

(1) Bolsista de iniciação científica, CNPq/Deptº de Engenharia Metalúrgica da UFMG, Belo Horizonte.

(2) Eng. Mec., M.Sc., Auxiliar de Ensino do Deptº de Engenharia Metalúrgica da UFMG, Belo Horizonte.

(3) Eng. Mec., M.Sc., Prof. Assistente do Deptº de Engenharia Metalúrgica da UFMG, Belo Horizonte.

1. INTRODUÇÃO

É de interesse a avaliação da cinética de recristalização de metais após de formação a quente; no caso de utilização de trens contínuos de laminação, interessa detetar a possibilidade de amaciamento do material entre os pas ses. O problema pode também ser de importância no controle da microestrutura final de produtos deformados a quente.

Este tipo de estudos envolve normalmente uma t^êmpera do material após diferentes tempos decorridos depois do processamento a quente⁽¹⁾. As amostras são então examinadas metalograficamente, medindo-se a fração volumétrica recristalizada. Este trabalho apresenta uma análise preliminar sobre a possibilidade de se obter dados sobre a cinética de recristalização em tela, através de medidas da força de laminação necessária para deformar materiais em diferentes estágios de seu processo de amaciamento. Caso viável, o método elimina a necessidade de execução de polimentos metalográficos e de operação de t^êmpera, que torna o método de estudo de difícil aplicação para muitos aços que sofrem reação martensítica quando submetidos a um resfriamento brusco. Além disso, pode-se aventar a aplicação do novo método a condições industriais.

A presente pesquisa voltou suas atenções para o aço silício, devido ao fato do mesmo sofrer somente recuperação dinâmica durante a deformação a quente⁽²⁾, não sofrer reação martensítica por resfriamento brusco⁽¹⁾, podendo-se ainda utilizar técnicas metalográficas relativamente corriqueiras⁽³⁾.

Dados obtidos na literatura⁽¹⁾ para o aço silício com cêrca de 3% de Si fornecem as curvas de fração volumétrica recristalizada (X_V) versus tempo após processamento mostradas na Figura 1.

Baseado nestes dados, considerou-se que uma temperatura de trabalho de 812°C e uma deformação a quente de cerca de 30% seriam adequadas para se trabalhar, pois ter-se-ia um tempo de incubação da ordem de 60 segundos a um tempo total para recristalização da ordem de 10⁴ segundos (cerca de 3 horas). Estas condições são satisfatórias para a técnica experimental adotada.

2. MATERIAL E TÉCNICAS

Material

As experiências foram feitas com chapas de aço silício obtidas por laminação

a quente até a espessura de 2.55 mm. A composição química do material en contra-se na tabela I.

Tabela I - Análise do material utilizado nos experimentos

ELEMENTO	% em peso
Carbono	0,0198
Silício	2,94
Manganês	0,10
Enxofre	0,018
Fósforo	0,040
Cromo	Ausente

Técnica

Os corpos de prova mediam 2.55 mm de espessura inicial e 15,20 mm de largura. Todos sofreram um apontamento inicial em um laminador manual.

O aquecimento das amostras até uma temperatura de trabalho de 812°C foi feita em um forno Lavoisier acoplado a um controlador de temperatura Electromax III (6432) com fonte LN-1. O sistema de aquecimento estava ligado em paralelo com um multímetro digital Hewlett-Packard 3465A e um registrador Hewlett-Packard 680M. A temperatura de trabalho não variava em mais do que 5°C durante o equilíbrio.

Os corpos de prova eram colocados no forno e deixados por um período de tempo de 15 minutos para se atingir a temperatura de trabalho de 812°C. Um primeiro passe de laminação era dado no material, reduzindo a espessura da chapa de 31% (deformação logarítmica na espessura). O tempo necessário para abertura e fechamento do forno para se retirar a peça do forno, laminação e registro de carga e nova abertura e fechamento para retornar com o corpo de prova ao forno foi de 10 segundos. A figura 2 mostra a curva de queda e recuperação de temperatura durante este procedimento. O termopar de cromel-alumel estava situado muito próximo do local onde se encontravam os corpos de prova. Nota-se que a queda máxima de temperatura foi de 75°C e que a temperatura de trabalho foi recuperada em aproximadamente 60 segundos após o fechamento do forno, onde os corpos de prova foram deixados por

tempos diferentes. Um segundo passe de 27% foi realizado para se tentar medir a cinética de amaciamento do material.

Após este último passe o material foi resfriado bruscamente em água. Os corpos de prova que sofreram somente um passe de laminação foram temperados para se fazer um exame metalográfico. Cada experiência foi repetida no mínimo duas vezes. O registro de cargas foi feito utilizando-se de uma ponte digital Vishay/Ellis-20 e um registrador oscilográfico Hewlett-Packard 7402A ligados a um par de células de carga, fabricados em nossos laboratórios, montadas em um laminador de ourives Eletrauri.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados obtidos durante os ensaios estão representados na figura 3. Nesta figura se mostra um gráfico da pressão média de laminação medida em um passe de 27% de deformação logarítmica na espessura versus o logaritmo do tempo de permanência da amostra no forno a 812°C após sofrer uma deformação preliminar de 31% (deformação logarítmica na espessura).

A figura 4 mostra a percentagem de amaciamento do aço silício deformado a quente com o decorrer do tempo. Para se construir esta curva aceitou-se como verdadeira a curva tracejada da figura 3, tomando-se a resistência máxima do aço silício como 50 kgf/mm² para tempo de 10 segundos e mínima 37 kgf/mm² para tempo de 20.000 s. O amaciamento total foi assim de 13 kgf/mm², e obteve-se o amaciamento em outros tempos t através de:

$$\text{Amaciamento} = \frac{50 - \bar{p} \text{ no tempo } t}{13} \cdot 100\%$$

4. DISCUSSÃO

Observa-se na Figura 3 uma notável dispersão nos valores obtidos para a pressão média de laminação, que cai de cerca de 50 kgf/mm² para aproximadamente 35 kgf/mm² à medida que se consideram tempos mais longos de permanência no forno após processamento a quente. No momento não é possível atribuir esta dispersão a variações estatísticas inerentes ao processo de amaciamento ou a problemas na técnica experimental empregada. Dentre estes problemas está o

resfriamento pronunciado da amostra em contato com os cilindros de laminação; para tempos curtos de permanência da amostra no forno após o primeiro passe, é possível que a mesma não volte exatamente à temperatura de 812°C.

Uma comparação entre as figuras 1 e 4 mostram uma correlação razoável entre os dados da literatura e aqueles obtidos na presente experiência, e a figura 3 mostra que é possível se ter uma idéia aproximada da cinética de recristalização através da técnica empregada.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que a técnica de medida da carga de laminação pode ser viável para se acompanhar a cinética de recristalização estática após deformação a quente de um metal.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), pelo apoio financeiro. Agradecem também a todos que direta ou indiretamente colaboraram na realização deste trabalho e em especial ao prof. Dagoberto Brandão Santos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A.T. English, W.A. Backofen, Recrystallization in Hot-Worked Silicon-Iron, Transactions of the Metallurgical Society of AIME, 1964, volume 230, p.396.
2. Richardson, G.S., Comunicação pessoal, Novembro 1979.
3. C.E. Morris, Metal Progress, 56, No. 5696 (1949).

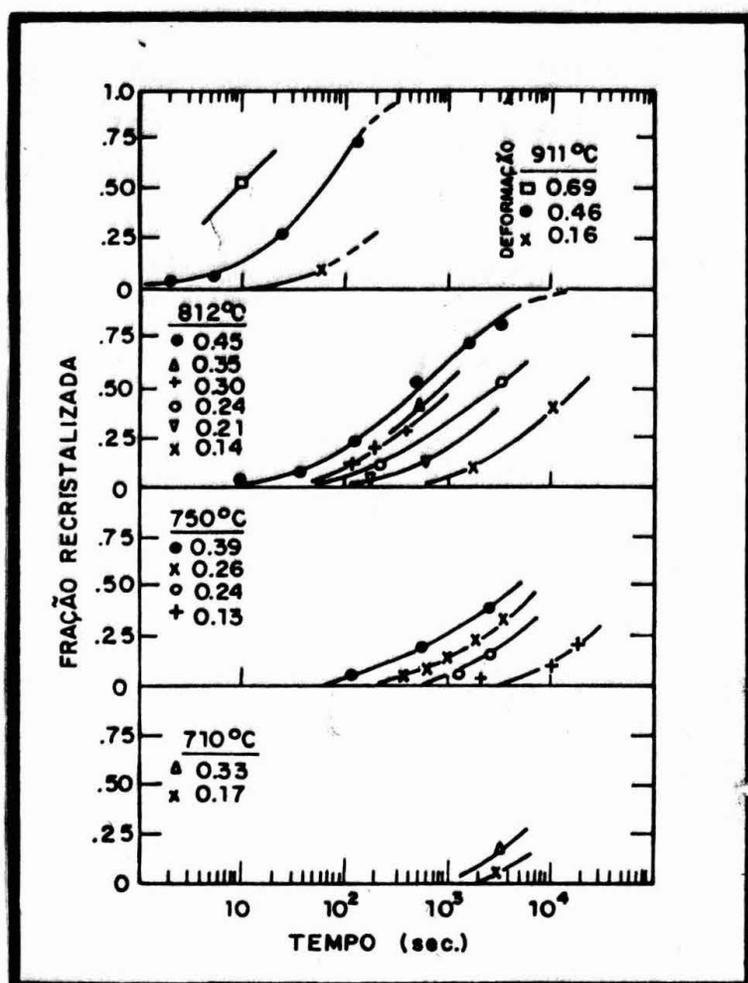


Figura 1 - Dados sobre recristalização isotérmica do aço silício comprimido a quente e mantido à temperatura de trabalho por vários tempos. Os símbolos denotam diferentes deformações como indicado.

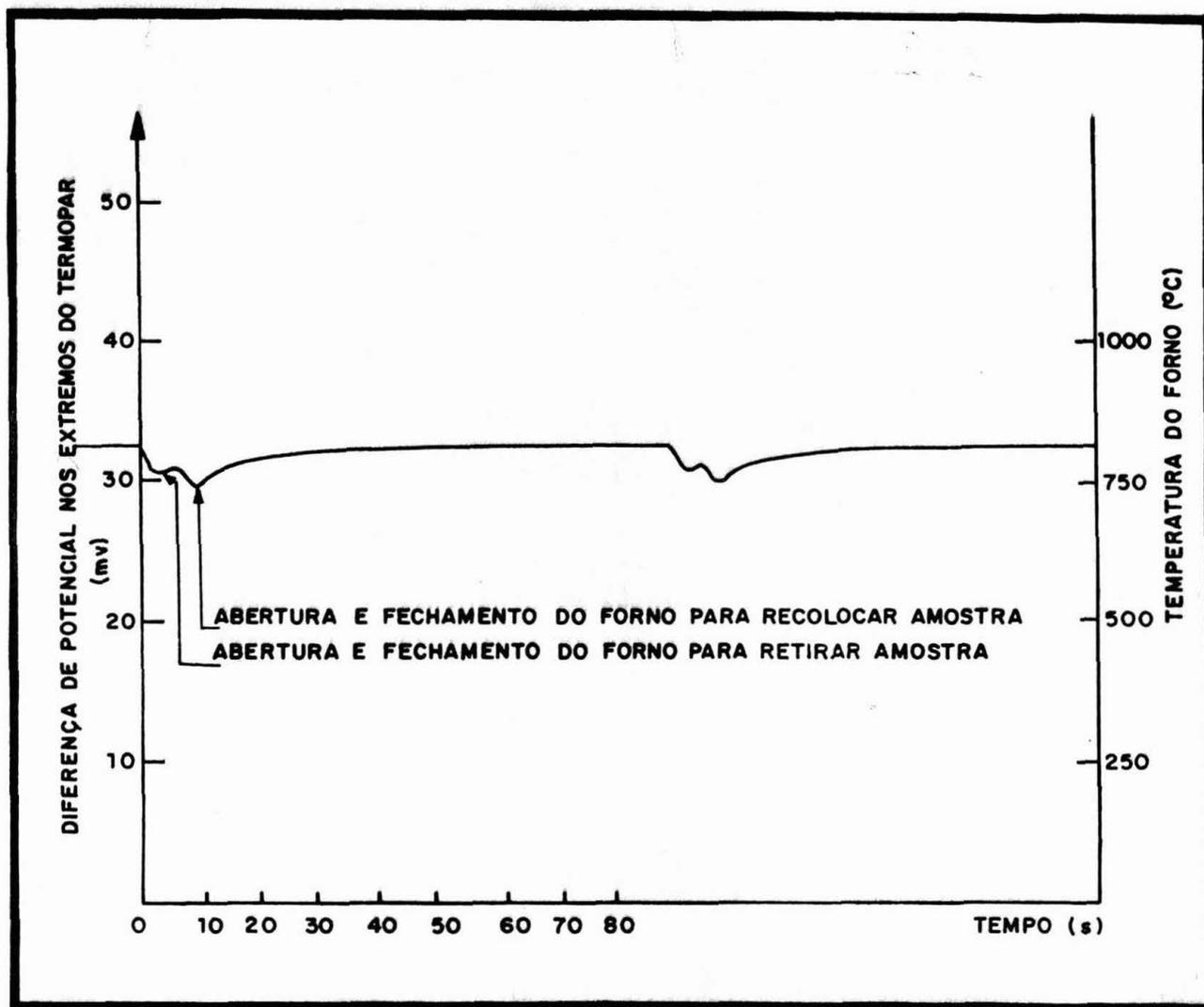


Figura 2 - Dois ciclos de resfriamento do forno durante as operações de abertura e fechamento.

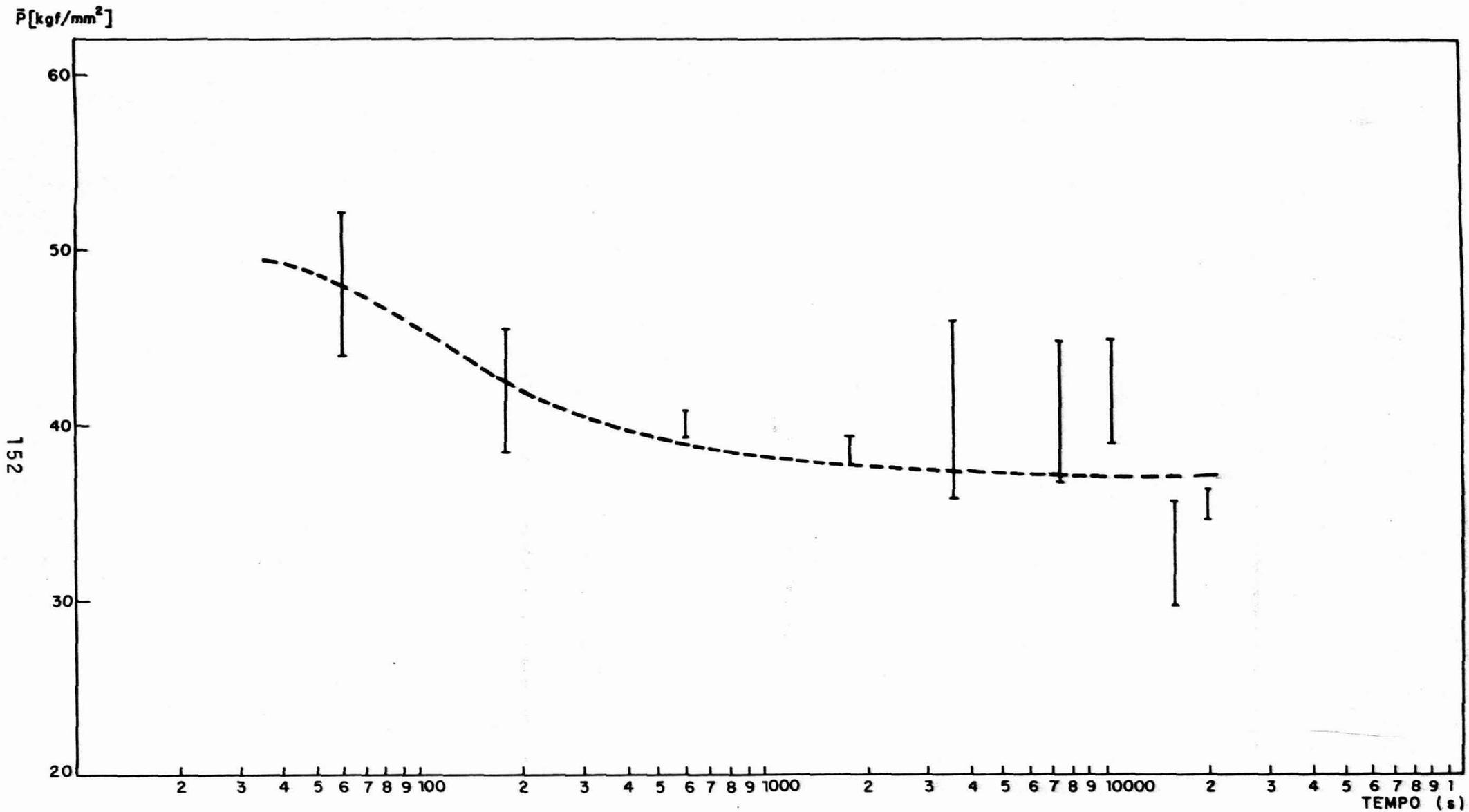


Figura 3 - Dados sobre a recristalização isotérmica para o aço silício laminado a quente e mantido por tempos variados à temperatura de trabalho.

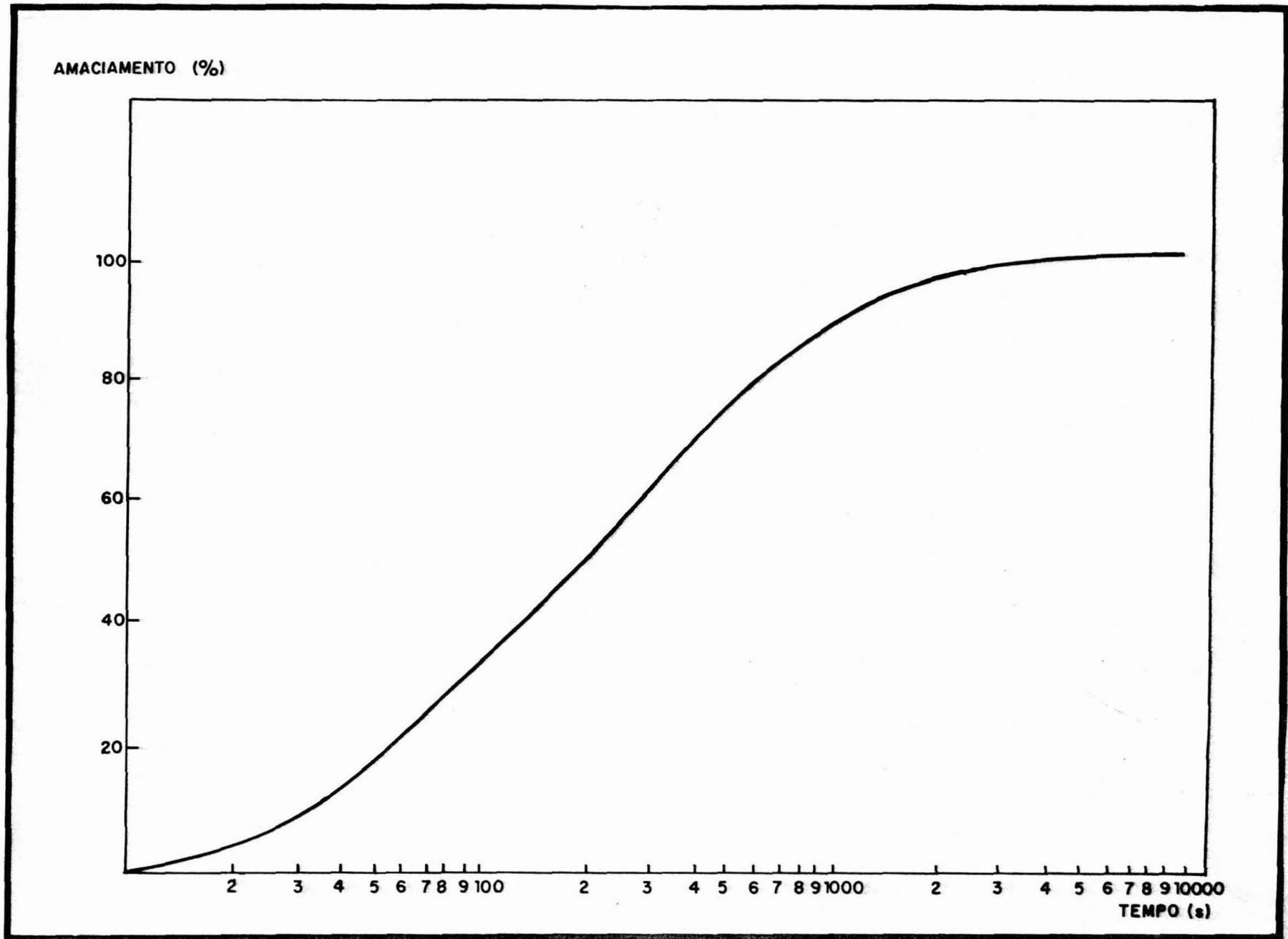


Figura 4 - Percentual de amaciamento do material previamente deformado versus logaritmo do tempo de permanência da peça do forno.

ABSTRACT

Hot deformation of silicon-iron steels is performed without occurring dynamic recrystallization. This means that the recrystallized structure obtained after this type of deformation is caused by static recrystallization, once the deformation process is over. The recrystallization kinetics may be of interest when several successive passes are considered and the time between these passes is not long enough to completely recrystallize the material. The present work analyses the possibility of studying the static recrystallization kinetics after hot deformation through direct measurement of the rolling force. This kind of approach may be applied to industrial conditions.