

ANÁLISE FRACTOGRÁFICA DO POLIMETILMETACRILATO (PMMA)*

Marcelo Ricardo de Souza Angelotto¹
Stefano Augusto Davi Feitosa¹
Ruy José Feijó Alves¹
Marcos Daniel Gouveia Filho²
Énio Pontes de Deus³

Resumo

A fractografia óptica é um método eficiente e de baixo custo para o exame de superfícies fraturadas, resultando em uma determinação típica e representativa da superfície de fratura, obtida com rapidez e precisão. O polimetilmetacrilato (PMMA), conhecido como acrílico, é um polímero semicristalino termoplástico de moderada resistência mecânica, leve, de boa conformabilidade, transparente e incolor. Por conter essas propriedades, é considerado um dos polímeros mais modernos sendo utilizado em muitas aplicações de engenharia. Em algumas dessas aplicações, é necessário o conhecimento do seu comportamento sob esforços mecânicos. Este trabalho visa caracterizar as fraturas ocorridas em CPs de PMMA, em ensaios mecânicos de tração uniaxial. As observações das fraturas das amostras ensaiadas mecanicamente foram realizadas com o auxílio de microscopia óptica. É feita a comparação das superfícies de fratura obtidas no ensaio mecânico identificando-se dois tipos de fratura.

Palavras-chave: Fractografia; Polímero; PMMA; Acrílico.

FRACTOGRAPHIC ANALYSIS OF POLYMETHYLMETHACRYLATE (PMMA)

Abstract

The optical fractography is an efficient and low cost for the examination of fractured surfaces method, resulting in a typical and representative determination of the fracture surface obtained quickly and accurately. The polymethylmethacrylate (PMMA), called of acrylic, thermoplastic semicrystalline polymer with moderate mechanical strength, light weight, good conformability, transparent and colorless. Because these properties, is considered one of the most modern polymers being used in many engineering applications. In some of these applications, the knowledge of their behavior under mechanical effort is required. This work aims to characterize the PMMA fractures in mechanical tests of uniaxial tension. The observations of fractures of the test samples were mechanically performed with the aid of light microscopy. Comparison of the fracture surfaces, obtained by mechanical test, showed two aspects of fracture.

Keywords: Fractographic; Polymers; PMMA; Acrylic.

¹ Graduando, Depto. de Eng. Metalúrgica e de Materiais, Voluntário, Laboratório de Mecânica da Fratura e Fadiga – LAMEFF, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.

² Doutorando, Departamento de Eng. Metalúrgica e de Materiais, Laboratório de Mecânica da Fratura e Fadiga – LAMEFF, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.

³ Doutor, Professor, Departamento de Eng. Metalúrgica e de Materiais, Laboratório de Mecânica da Fratura e Fadiga – LAMEFF, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Polimetilmetacrilato (PMMA)

O polimetilmetacrilato (PMMA) é um polímero linear, amorfo, processado por adição e requerendo um iniciador como centro ativo (figura 1). Tem como uma das suas principais características as propriedades ópticas e mecânicas, permitindo que ele resista bem aos ácidos orgânicos e inorgânicos, gorduras, óleos e a maioria dos gases comuns. Apresenta uma excelente transparência, capaz de transmitir até 92% da luz visível, podendo assim substituir o vidro em algumas aplicações. O PMMA, também chamado de resina acrílica, é um material que é constantemente utilizado nos mais distintos seguimentos, destacando-se em setores como: indústrias, artefatos, medicina, odontologia, medicamentos e outros. Com isto, a possibilidade de uma falha em serviço de uma peça fabricada com este material torna-se cada vez maior, sendo necessário evitar ao máximo que ocorra [1].

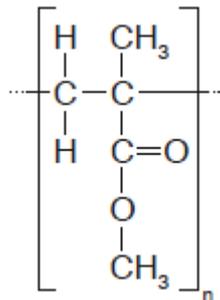


Figura 1: Estrutura do monômero de Polimetilmetacrilato (fonte: internet)

1.2 Fractografia

A aplicação de materiais poliméricos em componentes de engenharia é inevitavelmente acompanhada de falhas, muitas das quais catastróficas. As diversas consequências das falhas, econômicas e sociais, têm encorajado o desenvolvimento e estudos sobre métodos efetivos de análise de falhas. A fractografia é uma das principais técnicas utilizada no processo de análise de materiais após falhas. Consiste em identificar aspectos fractográficos e estabelecer as relações entre a presença ou a ausência desses aspectos com a sequência de eventos da fratura, podendo levar à determinação do carregamento e das condições dos esforços no momento da falha. A fractografia confirma ou remove as suspeitas que possam recair sobre os modos de falha ocorridos [2]. É a chave para se determinar a sequência dos eventos ocorridos durante o processo de fratura e identificar o estado de tensões atuantes no momento da falha. Outros fatores como condições ambientais e defeitos do material podem contribuir para o início e crescimento da fratura e também podem ser avaliados por esta técnica. Normalmente, na investigação fractográfica são utilizadas as técnicas de observação visual, óptica macroscópica, seguida da microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura e, em alguns casos, microscopia eletrônica de transmissão [2]. Neste presente trabalho usaremos a técnica de microscopia óptica para a investigação fractográfica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Técnicas Aplicadas em Análise De Falhas

A identificação da sequência coerente, regular e necessária de acontecimentos para se analisar uma falha é sempre um processo complexo e difícil. Informações suficientes devem ser coletadas para se determinar com precisão o motivo, as condições, o início, por quê, onde e de que forma se propaga a falha no componente, levando-se em conta todos os fatores, desde a concepção da amostra, sua fabricação, manuseio e condições de operação e manutenção.

Uma lógica de etapas deve ser estabelecida considerando-se o tipo predominante de falha, suas potenciais correlações e a prevenção de uma destruição prematura das amostras coletadas para a investigação. As cinco operações principais de uma investigação são: (a) revisão dos históricos e investigações anteriores de casos semelhantes; (b) inspeção não-destrutiva; (c) avaliação da conformidade da amostra com seus requisitos específicos; (d) exames fractográficos detalhados; (f) testes mecânicos e análise de tensões.

Neste trabalho não são abordadas a investigação e a análise de falhas em campo, restringindo-se apenas às análises realizadas em amostras ensaiadas em laboratório [2].

2.1.1. Microscopia óptica

A investigação fractográfica com o uso da técnica de observação da microscopia óptica é o método mais eficiente e barato para o exame de superfícies fraturadas. O ajuste da amostra e o tempo de exame são muito pequenos. Sendo assim, uma grande quantidade de amostras pode ser examinada. Como resultado, uma determinação típica e representativa da superfície de fratura é obtida com muita rapidez e precisão. Portanto, esta técnica fornece informações preciosas para a investigação, tais como: □

- Avaliações da porosidade;
- regiões de propagação da trinca;
- extensão da degradação devido ao ambiente, ciclagem térmica e fadiga.

Quando possível devem ser analisadas duas amostras, sendo uma próxima da fratura e outra distante da fratura, para uma melhor avaliação das condições da amostra como um todo. [2]

2.2 Preparação das Amostras

Foram confeccionados oito corpos-de-prova a partir de uma chapa de PMMA comercial, posteriormente cortadas a laser (figura 2), seguindo a norma ASTM D 638 tipo 1.



Figura 2: Corte a laser dos corpos-de-prova

2.3 Ensaio de Resistência à Tração

Os corpos-de-prova foram ensaiados conforme a norma ASTM D 638, em uma máquina EMIC modelo DL20000N (figura 3). Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente com velocidade de 1mm/mim [3].



Figura 3: Ensaio de resistência à tração (Fonte: arquivo pessoal)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como discutido anteriormente, para se realizar uma análise de falha, deve-se aplicar algumas técnicas para obtermos uma identificação coerente e precisa.

3.1 Análise Macroscópica

Após submeter os corpos-de-prova a tensão uniaxial até seu rompimento, foram obtidas fotos de todos para análise (figura 4), sendo os mesmos separados em dois grupos: Grupo 1 e Grupo 2.

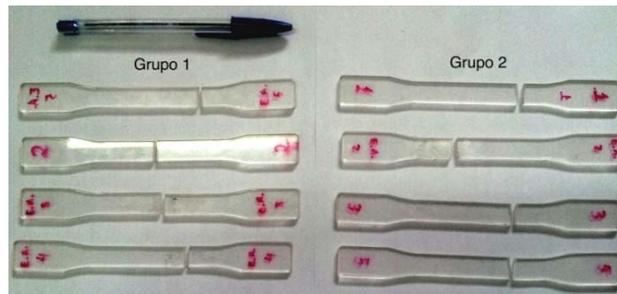


Figura 4: Corpos-de-prova fraturados (Fonte: arquivo pessoal)

Analisando visualmente, pode-se observar que houve dois aspectos distintos de fratura, sendo a do grupo 1 aparentemente frágil (figura 5.a) e a do grupo 2 aparentemente dúctil-frágil (figura 5.b).

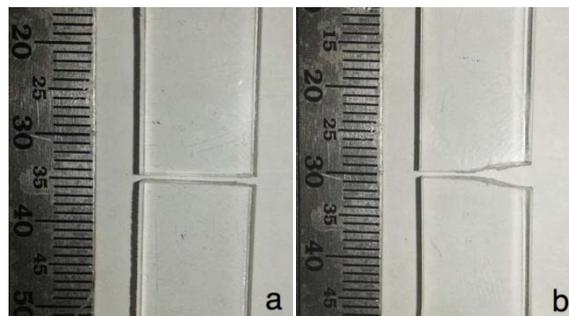


Figura 5: Detalhes das fraturas aparentemente: (a) frágil e (b) dúctil-frágil (Fonte: arquivo pessoal)

3.2 Análise de Tensões

Com o propósito de entender o porquê da ocorrência dos dois aspectos da fratura, uma análise das tensões permite a identificação das energias necessárias para que essas ocorram. De cada grupo, foram feitos os valores médios das tensões e das deformações máximas (tabela 1), e traçado seus respectivos gráficos tensão x deformação (figura 6).

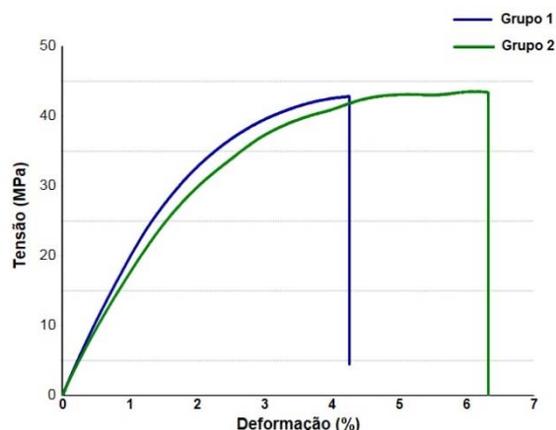


Figura 6: Gráfico tensão x deformação

Tabela 1. Média das tensões e deformações máximas

Grupo	Deformação (%)	Tensão (MPa)	Mod. De Young (GPa)
1	4,25*	42,8**	2,40
2	6,33*	43,4**	2,12

Observação: *erro=1,04%;**erro=2,7%

3.3 Análise Fractográfica

Com o auxílio da microscopia óptica, a partir de uma secção nos corpos-de-prova antes de tracionados, pode-se avaliar a extensão da porosidade (vazios) oriunda da fabricação dos polímeros (figura 7).

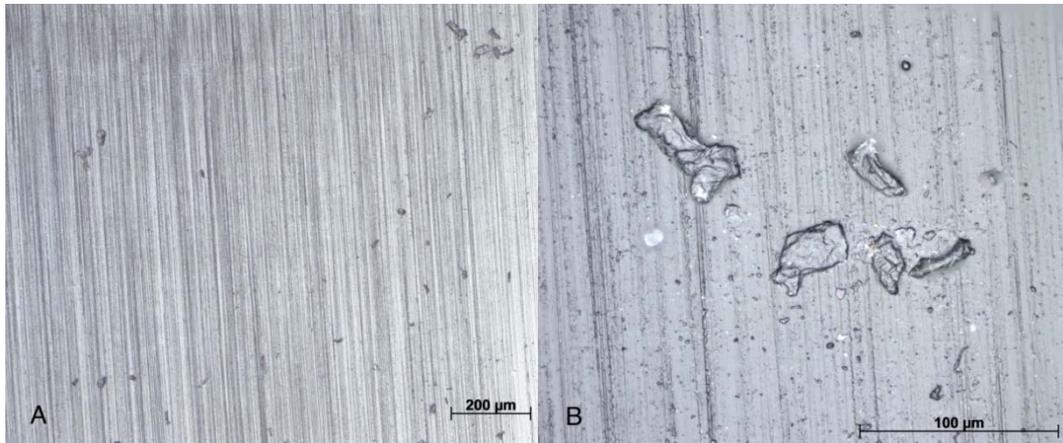


Figura 7: Micrografias do corpo-de-prova antes dos ensaios de tração: (A) 100x e (B) 500x.

Essas porosidades são consideradas defeitos do material que contribuem para o início e crescimento da fratura. Defeitos durante a moldagem são pontos de concentração de tensões, os quais aumentam a fragilidade aparente na resposta do material. Tais defeitos reduzem intrinsecamente a resistência do componente, que causa um incremento no nível de tensão, ocorrendo antecipadamente o escoamento [4].

O exame das imagens, obtidas da superfície de fratura do PMMA submetido a ensaio de tração uniaxial, fornecem informações sobre a orientação, tamanho e a distribuição de falhas que são causadas pelos defeitos iniciais inerentes ao material, além de danos estruturais causados por microtrincas. Observa-se aspectos da superfície da fratura, como o local de origem da fratura indicada pela seta verde, onde evoluíram as primeiras *crazes* (microfibrilamentos) indicadas pelas setas azuis e a direção de propagação da fratura indicadas pelas setas vermelhas (figura 8 e figura 9).



Figura 8: Superfície de fratura, grupo 1, aumento 50x.



Figura 9: Superfície de fratura, grupo 2, aumento de 50x.

A zona espelhada (clara – figura 10) é uma região relativamente plana e lisa ao redor da origem da trinca (fratura) e está associada com a fase de baixa velocidade de crescimento da trinca que ocorre no início da fratura. Uma zona recortada, rugosa, está localizada adjacente à zona espelhada. Esta área é uma transição entre baixa para alta velocidade de propagação da trinca e consiste de linhas mais ou menos definidas que irradiam para fora da origem da trinca. As costeletas são marcas semi-elípticas que lembram as marcas de praia nos materiais metálicos sob fadiga. Embora uma parte possa fraturar de maneira frágil, a morfologia dúctil é frequentemente observada afastada da origem da trinca (figura 11).[4]

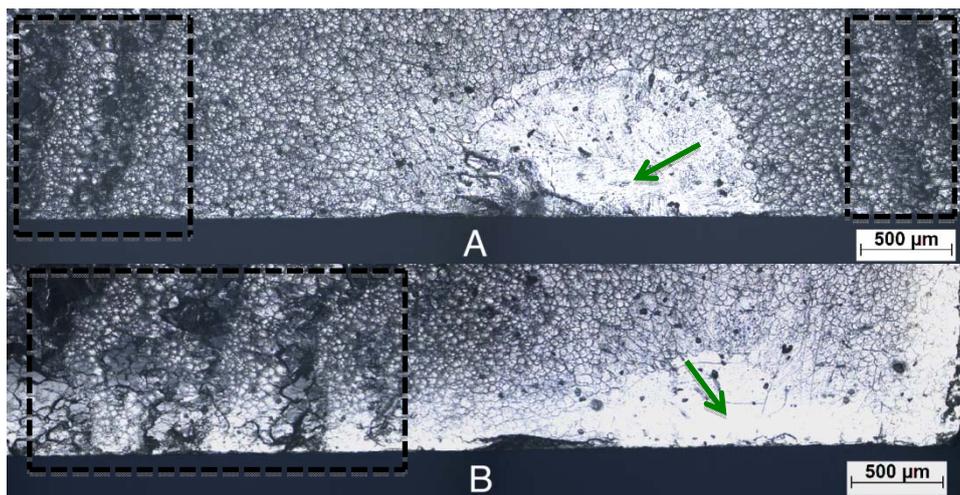


Figura 10: Detalhe na origem da fratura (seta verde) e as costeletas (área tracejada), aumento de 50x: (a) grupo 1 e (b) grupo 2.

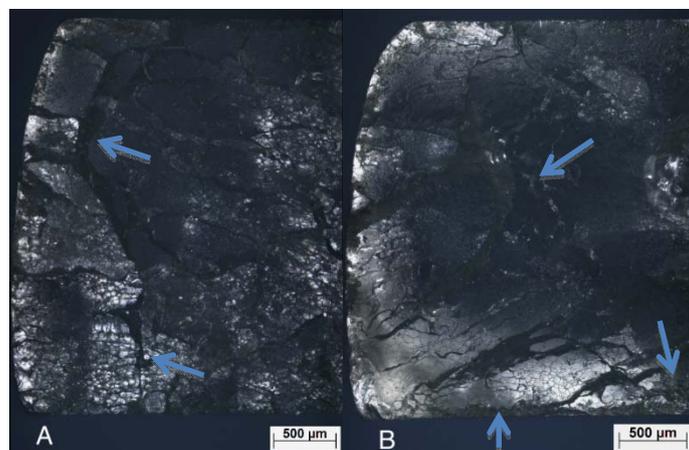


Figura 11: Detalhe no final da fratura mostrando microtrinças (seta azul), aumento de 50x: (a) grupo 1 e (b) grupo 2.

4 CONCLUSÃO

Com o objetivo de determinar a causa da falha, foram aplicados os passos básicos de uma análise de falhas, sendo a fractografia auxiliada por microscopia óptica usada neste trabalho. Pela análise das tensões (tensão uniaxial proveniente do ensaio de tração) não se pode concluir que as fraturas, aparentemente distintas, foram causadas por diferença nas tensões máximas. A partir das análises micrográficas das superfícies de fratura do polimetilmetacrilato, ficou evidenciado claramente em ambos os grupos, a origem da falha que pode ser associada a um concentrador de tensão (defeito) proveniente da fabricação da chapa e/ou da confecção dos corpos-de-prova, bem como a direção de propagação da fratura. Após a fratura frágil inicial, houve um aumento da velocidade de propagação da trinca, sendo observado o surgimento das costeletas e posteriormente uma morfologia dúctil ao final da fratura, com o aparecimento de *crazes* (microtrincas). Quando a fratura apresenta características intermediárias entre dúctil e frágil, podemos identificar a fratura como semifrágil, o qual tem aspectos macroscópicos como zona fribrosa, zona radial e zona cisalhante [4], observando essas características em ambos os grupos, não sendo o grupo 1 uma fratura frágil e o grupo 2 uma fratura dúctil-frágil como suposto inicialmente. Ambos apresentam uma fratura semifrágil.

Agradecimentos

A Deus, pela sabedoria a nós concedida.

Ao Laboratório de Mecânica da Fratura e Fadiga – LAMEFF, por proporcionar toda a infra-estrutura necessária para esse estudo.

REFERÊNCIAS

- 1 Canevarolo Júnior, Sebastião Voic. Ciência dos polímeros, um texto básico para tecnólogos e engenheiros – 2ª edição – Artlibrer editora.
- 2 Franco, L.A.L. – “Análise Fractográfica de Compósitos Poliméricos Estruturais”. 2003.
- 3 Ward, I.M., Mechanical Properties of Solid Polymers, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Chichester.
- 4 Godefroid, L.B.; Cândido, L.C.; de Moraes, W.A. – “Curso: Análise de Falhas”. 2011; p. 533-548.