

Figure 50: Fases da formação da estrutura cristalina da martensita.

O estudo da transformação de fase do Fe e suas ligas tem sido intensificado com o desenvolvimento de novas técnicas experimentais, em particular, experimentos de caracterização *in-situ*. Um trabalho recente, de um grupo de Caltech (ref. 22) apresentou resultados interessantes de experimentos *in-situ* de microscopia eletrônica resolvidos no tempo, caracterizando o processo da transformação martensítica do Fe . Para isso, eles esquentaram a amostra

de Fe com um laser pulsado (pulso de 25 ns), aquecendo-a em uma região de aproximadamente $50 \mu m$ de raio. O aquecimento da amostra ocorreu a uma velocidade de $10^{11} K/s$, enquanto que o resfriamento ocorreu a $10^7 K/s$, caracterizando um processo de *quenching*. Utilizando microscopia eletrônica ultra-rápida (UEM), eles observaram a transformação do ferro em dois tempos distintos. Inicialmente, na escala de nanosegundos, ocorre o aquecimento da fase $\alpha-Fe$ (bcc) e sua dilatação e a transformação na fase $\gamma-Fe$ (fcc). A seguir, com o processo de *quenching*, o cristal em grãos fcc cresce formando cristalitos de 10 nm em um tempo da ordem de 100 ps. A Figura 51 apresenta os resultados de difração que mostram a evolução do processo nas duas escalas temporais. A Figura 52 mostra esquematicamente a evolução da transformação de fase.

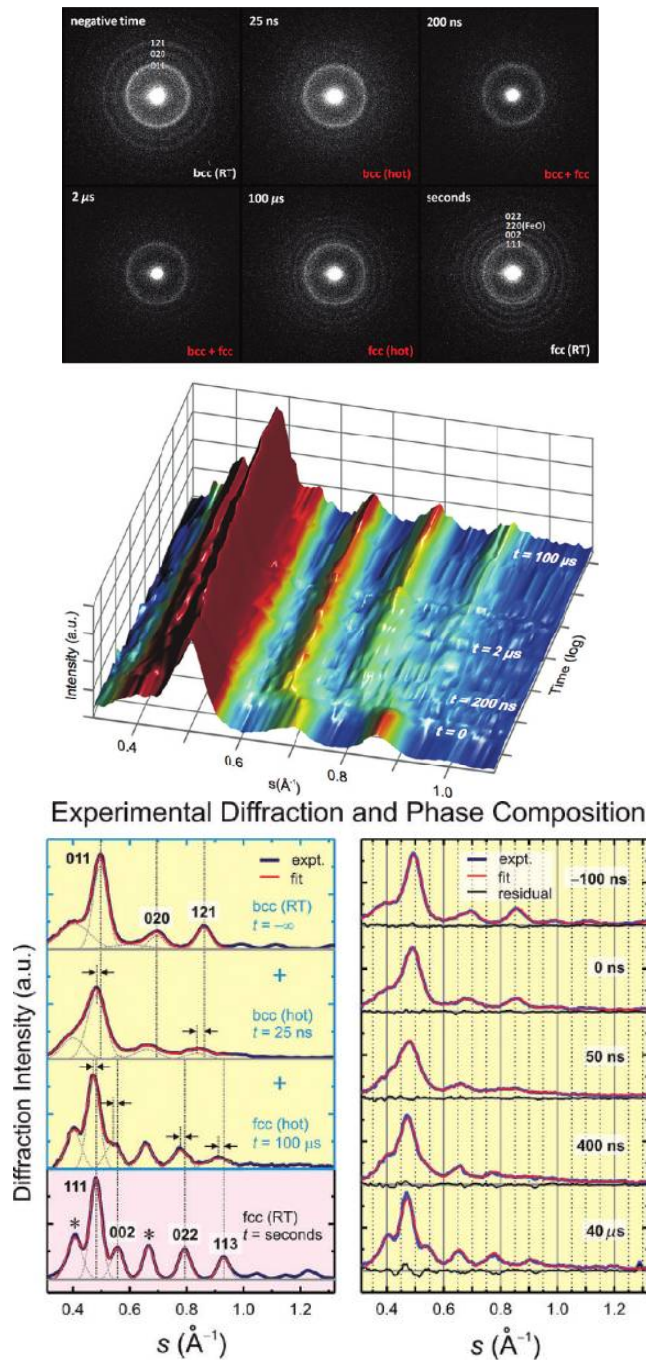


Figure 51: (Superior) Difratoformas⁸³ em diversos tempos do processo de transformação de fase, mostrando inicialmente picos típicos da fase bcc, sua evolução para um processo com dilatação e posterior formação da fase fcc. (Meio) Mapa da evolução temporal da difração. (Inferior) Difratoformas para diferentes tempos da evolução do processo de transformação de fase. (ref. 22)

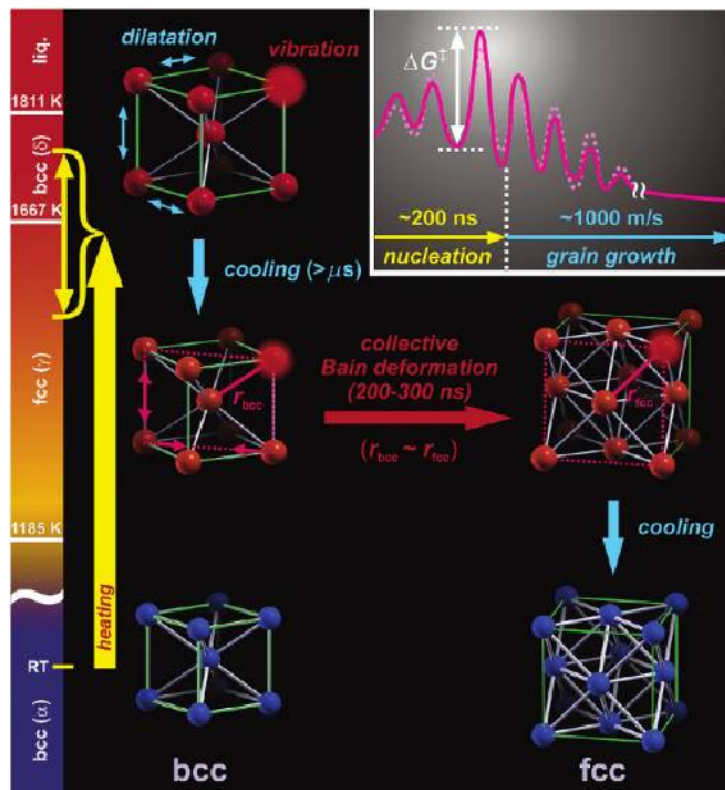


Figure 52: Esquema que resume a transformação de fase do *Fe* utilizando um pulso de laser de ns. (ref. 22)

Nos últimos anos tem-se pesquisado muito materiais alternativos para substituir os metais em muitas de suas aplicações, principalmente na relação *resistência/peso*. Materiais mais leves, com grande resistência, como por exemplo, cerâmicas, materiais compostos, entre outros, têm sido sintetizados e em muitas aplicações já substituem os metais. A Figura 53 resume a situação atual no que se refere a relação entre resistência a fratura x relação resistência/peso. Os metais permanecem como os materiais com maior resistência mecânica e a compreensão do seu processo de síntese e aperfeiçoamento do mesmo permanece uma área de grande importância na ciência dos materiais.

Uma discussão recente sobre essa questão pode ser encontrada na ref. 23.

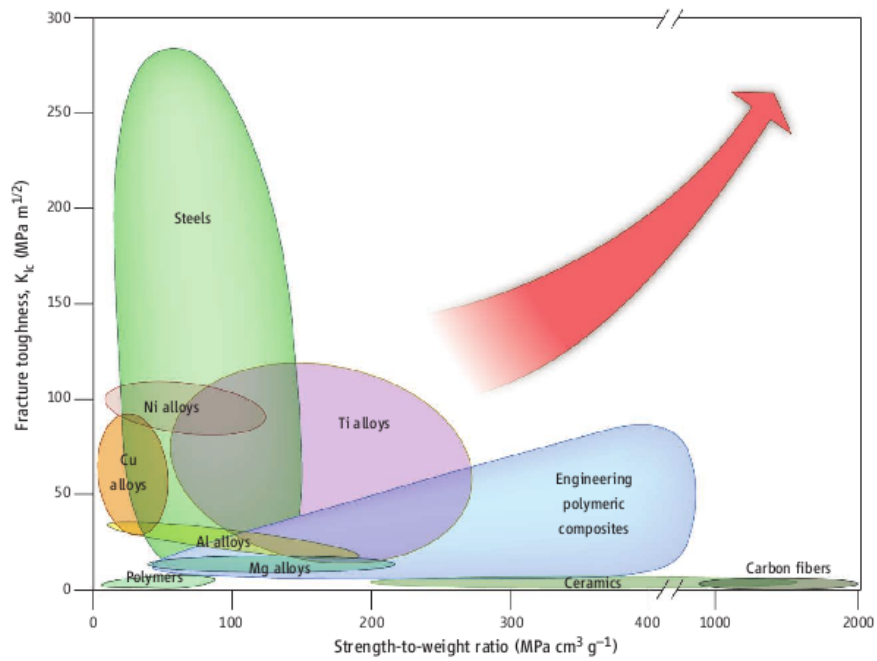


Figure 53: Posição de diversos materiais no que se refere a relação entre a resistência a fratura e a relação resistência/peso. A flexa aponta a direção desejada para as aplicações e indica a direção na qual a pesquisa avançada de materiais para aplicações estruturais se direciona. Extraído da ref. 23.

References

- [1] P.M. Chaikin & T.C. Lubensky, **Principles of Condensed Matter Physics**, Cambridge University Press, 1995.
- [2] M.P. Mader, **Condensed Matter Physics**, John Wiley & Sons, Inc, 2000.
- [3] B.K. Vainshtein, **Fundamentals of Crystals: Symmetry and Methods of Structural Crystallography**, vol. 1 de **Modern Crystallography**, 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin, 1994.
- [4] H. Ibach and He da termodinâmica do sistemaans Lüth, **Solid-State Physics: An Introduction to Principles of Materials Science**, Springer-Verlag, 2nd Ed., 1995.
- [5] R.E. Hummel, **UndersA Figura resume tanding Materials Science**, Springer, 2004.
- [6] A. Yu. Grosberg e A.R. Khokhlov, **Giant Molecules**, Academic Press, 1997.
- [7] C.W. Bunn, *the crystal structure of long-chain normal paraffin hydrocarbons. The "shape" of the CH₂ group*, Trans. Faraday Soc. **35**, 482 (1939).
- [8] A. Keller, *A note on single crystals in polymers: <http://start.ubuntu.com/9.10/> Evidence for a folded chain configuration*, phil. Mhistory germanium purityag. **2**, 1171 (1957).
- [9] R.A.L. Jo\gamanes, **SofA Figura resume t Condensed Matter**, Oxford Master Series in Condensed Matter Physics, ed. 2002 (impressão 2006).

- [10] J.D. Hoffman, G. Thomas Davis e J.I. Lauritzen, Jr., **The Rate of Crystallization of Linear Polymers with Chain Folding**, em *Treatise on Solid State Chemistry*, vol. 3, *Crystalline and Noncrystalline Solids*, ed. por N.B. Hannay, Plenum Press, 1976.
- [11] Sugestão de referência on-line: <http://dept.kent.edu/spie/liquidcrystals/index.html>
- [12] D. Shechtman, I. Blech, D. Gratias, e J.W. Cahn, *Metallic phase with long-range orientational order and no translational symmetry*, Phys. Rev. Letters **53**, 1951 (1984).
- [13] D. Levine e P.J. Steinhardt, *Quasicrystals: A new class of ordered structures*, Phys. Rev. Letters **53**, 2477 (1984).
- [14] M. Gardner, *Extraordinary nonperiodic tiling that enriches the theory of tiles*, Scientific American **236**, 110 (1977).
- [15] Luca Bindi, Paul J. Steinhardt, Nan Yao e Peter J. Lu, *Natural Quasicrystals*, Science **324**, 1306 (2009).
- [16] C.D. Flynn, **Points Defects and Diffusion**, Clarendon Press, Oxford, 1972.
- [17] B.D. Cullity, **Elements of X-Ray Diffraction**, 2nd ed., Addison-Wesley Publishing Company, 1978.
- [18] K. Mahalingam, H. J. Haugan, G. J. Brown, and K. G. Eyink, *Quantitative Chemical Mapping of Engineered Interfaces in Quaternary III-V Semiconductor Heterostructures Using Phase Retrieval High Resolution Transmission Electron Microscopy*, Microsc. Microanal. **14**(Suppl 2), 408 (2008).
- [19] L. Esaki e R. Tsu, J. Res. Dev. **14**, 61 (1970).
- [20] R. Cotterill, **The Material World**, Cambridge, 2008.

- [21] T. Jenkins, “A brief history of... semiconductors”, *Physics Education* **40** (5) (2005), ver em www.iop.org/journals/physed .
- [22] Hyun Soon Part, Oh-Hoon Kwon, J. Spencer Baskin, Brett Barwick, e Ahmed H. Zewail, *Direct Observation of Martensitic Phase-Transformation Dynamics in Iron by 4D Single-Pulse Electron Microscopy*, *Nanoletters* **9** (11), 3954 (2009).
- [23] K. Lu, *The Future of Metals*, *Science* **328**, 319 (2010).