

ANÁLISE DAS TENSÕES RESIDUAIS GERADAS NA SOLDAGEM DE AÇO API 5L X80 POR DIFERENTES PROCESSOS

Amilton S. Lins Junior, Mateus Campos Martins, Maria Cindra Fonseca

UFF – Universidade Federal Fluminense – Departamento de Engenharia Mecânica /
PGMEC, Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, CEP 24210-240, Niterói, RJ. E-mail:
mcindra@vm.uff.br.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o estudo das tensões residuais geradas na soldagem do aço API 5L X80 por diferentes processos Shielded Metal Arc Welding (SMAW), Gas Metal Arc Welding (GMAW) e Flux Cored Arc Welding do tipo Metal Cored (FCAW tipo MC) com preaquecimento e temperatura máxima interpasses de 150 °C, na posição plana. As juntas soldadas foram analisadas por difração de raios-X, pelo método do $\text{sen}^2\psi$, no topo e na raiz das juntas soldadas, nas direções longitudinal e transversal ao cordão de solda, no centro do cordão solda (MS), na zona termicamente afetada (ZTA) e no metal de base (MB). As tensões residuais no topo das juntas soldadas apresentaram um comportamento compressivo em todas as regiões analisadas, com exceção do MS na direção longitudinal para a junta obtida pelo processo GMAW. A análise da microdureza das juntas soldadas complementa o presente estudo.

Palavras-Chave: Aço API 5L-X80; Soldagem; Tensões residuais; Difração de raios-X; Dureza

INTRODUÇÃO

Os recursos naturais, tais como petróleo e gás natural são muitas vezes localizados em regiões distantes dos mercados consumidores, demandando elevadas pressões de funcionamento para aumentar a capacidade de transporte. Como resultado, surge a necessidade de aços, cujas características mecânicas

apresentem elevada resistência e boa conformabilidade, a fim de obter instalações com elevadas segurança e confiabilidade (1-5).

A utilização dos aços de alta resistência e baixa liga, juntamente com os requisitos cada vez mais severos em termos de segurança, têm levado a um aumento dos níveis de tensão em operação. Os tubos de grandes diâmetros usados em gasodutos e oleodutos de alta pressão são fabricados por soldagem, e como é comum ocorrer nas estruturas soldadas, a vizinhança dos cordões de solda, é o local preferencial para o surgimento e propagação de trincas (6-7).

O aço API 5L X80 é um aço de alta resistência e baixa liga, com baixo percentual de carbono, microligado e bastante utilizado na fabricação de tubulações empregadas no transporte de petróleo e gás(8).

O surgimento das tensões residuais é intrínseco ao processo de soldagem, onde a presença de elevados aportes térmicos associados à distribuição não-uniforme do aquecimento, às deformações plásticas e às transformações de fases podem provocar elevados campos de tensões na região do cordão de solda(7).

No presente estudo são comparadas as tensões residuais geradas em processos de soldagem bem estudados tais como GMAW e SMAW bem como em um processo relativamente recente - o processo FCAW do tipo *Metal Cored* - usados na soldagem de juntas de topo de aço API 5L X80. A caracterização da microdureza das juntas soldadas complementa o presente trabalho.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras de chapas laminadas a quente de aço API 5L X80, com 300 x 150 x 20 mm foram soldadas pelos processos *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) e *Flux Cored Arc Welding* do tipo *Metal Cored* (FCAW tipo MC) com consumíveis eletrodo AWS E10018M para o processo SMAW, arame AWS ER 120S-G para o processo GMAW, e arame AWS ER 110C-G, para o processo FCAW. As composições químicas do aço e dos consumíveis estão apresentadas nas Tab. 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 – Composição química do metal e base (% em peso)

Material	C	Si	P	S	Mn	Mo	Ni	Cu	Cr	Ti	V	Ceq (*)
API 5L X80	0,08	0,222	0,014	0,0014	1,74	0,117	0,014	0,019	0,166	0,015	<0,001	0,429

(*) Carbono Equivalente (Ceq) = $C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15$

Tabela 2 – Composição química dos metais de adição (% em peso)

Material	C	Si	P	S	Mn	Mo	Ni	Cu	Cr	Ti	V
AWS E10018-M	0,05	0,22	0,008	0,005	1,27	0,45	1,9	----	0,08	----	----
AWS E120S-G	0,08	0,80	0,01	0,003	1,80	0,5	2,2	0,12	0,4	----	----
AWS E110C-G	0,03	0,50	----	----	1,60	0,60	2,25	----	----	----	----

As juntas foram soldadas conforme geometria e dimensões apresentadas na Fig. 1. Foi usada temperatura de pré-aquecimento de 120°C e temperatura máxima entre passes de até 150°C.

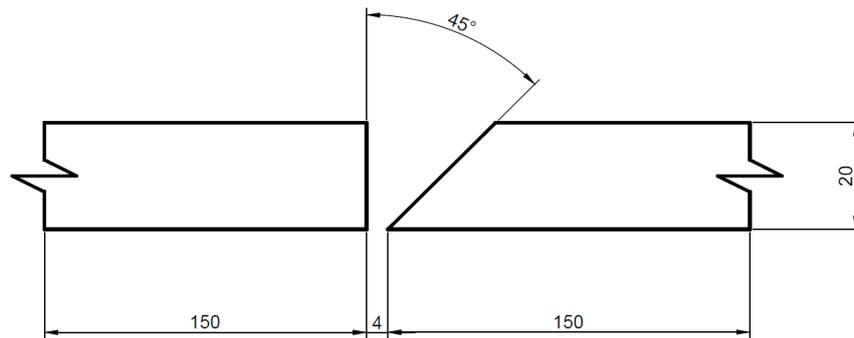


Figura 1 – Detalhes da geometria da junta utilizada. Cotas em mm.

A Tab. 3 apresenta o conjunto de parâmetros médios utilizados para soldagem das juntas. Para a soldagem pelos processos GMAW e FCAW foi utilizado como gás de proteção uma mistura do tipo 20% de CO₂ e 80% de Ar, com vazão de 18 L/min.

Tabela 3 – Parâmetros de soldagem utilizados.

Processo	Ø (mm)	Passe	Corrente (A)	Tensão (V)	Es (kJ/mm)	Nr. Passes
SMAW	2,50	1	75	22	1,10	19
	3,25	2- 4 e 10 - 19	140	23		
	4,00	5 - 9	175	25		
GMAW	1,20	1 a 12	198	23	1,39	12
MCAW	1,20	1 a 13	212	23	1,31	13

Nota: Φ – diâmetro do eletrodo; Es – Energia de soldagem; Mistura Ar + 20%CO₂

As tensões residuais superficiais foram analisadas por difração de raios-X, pelo método do $\text{sen}^2\psi$, usando radiação $\text{CrK}\alpha$ ($\lambda_{\text{CrK}\alpha} = 2,29092 \text{ \AA}$), difratando o plano (221) da ferrita. Foi utilizado o analisador de tensões Xstress3000 (Fig. 2a). As análises foram feitas nas juntas soldadas nas direções longitudinal (L) e transversal

(T) ao cordão, na região do metal de solda (MS), zona termicamente afetada (ZTA) e no metal de base (MB), conforme indicado na Fig. 3b.

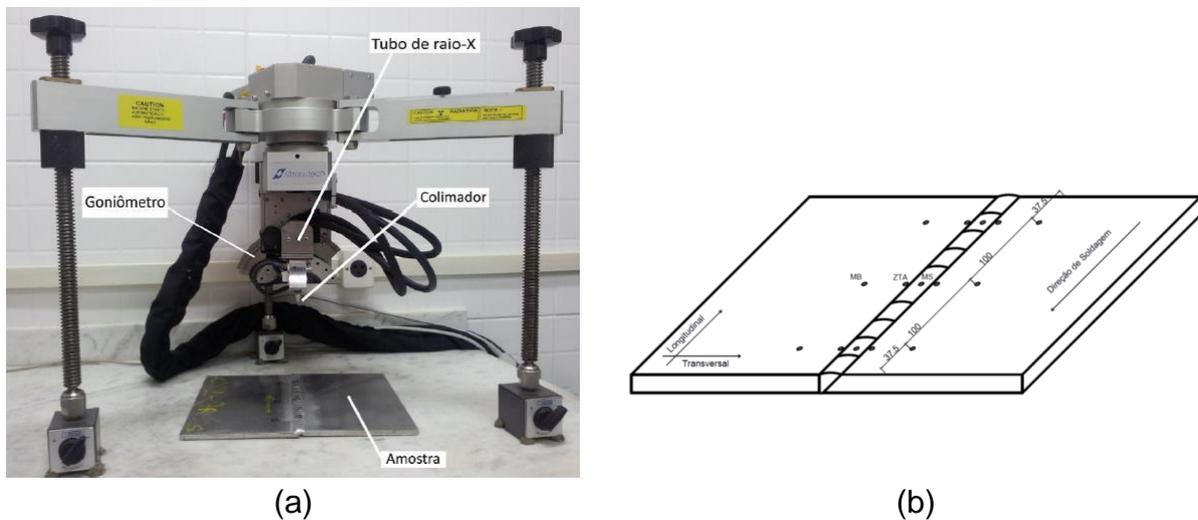


Figura 2 – Análise das tensões residuais: a) analisador de tensões; b) indicação dos pontos e direções das medições.

Foram realizados ensaios de dureza Vickers à temperatura ambiente, nas amostras metalográficas retiradas transversalmente ao cordão de solda, sendo a carga utilizada nos testes de 1 Kgf e a área de medição na transição metal de solda – zona termicamente afetada - metal de base a 3,0 mm da superfície das juntas soldadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 3 apresenta as tensões residuais nas direções Longitudinal (L) e Transversal (T) na região do topo e da raiz das juntas soldadas pelos processos SMAW, GMAW e MCAW, para as regiões metal de base a direita (MB D) zona termicamente afetada a direita (ZTA D), metal de solda (MS), zona termicamente afetada a esquerda (ZTA E) e metal de base a esquerda (MB E).

Analisando a Fig. 3 pode se inferir que as tensões no topo das juntas soldadas para os processos SMAW, GMAW e FCAW tipo MC apresentaram um comportamento compressivo em todas as regiões analisadas, com exceção do MS na direção longitudinal para a junta obtida pelo processo GMAW.

Com relação a região da raiz da junta soldada, houve uma predominância de tensões residuais compressivas, com exceção da região ZTA D da junta obtida pelo

processo SMAW nas direções (L) e (T), na região da ZTA E da junta obtida pelo processo GMAW na direção (L) e nas regiões do MS, na direção (L), e ZTA E, nas direções (L) e (T), da junta obtida pelo processo FCAW tipo MC.

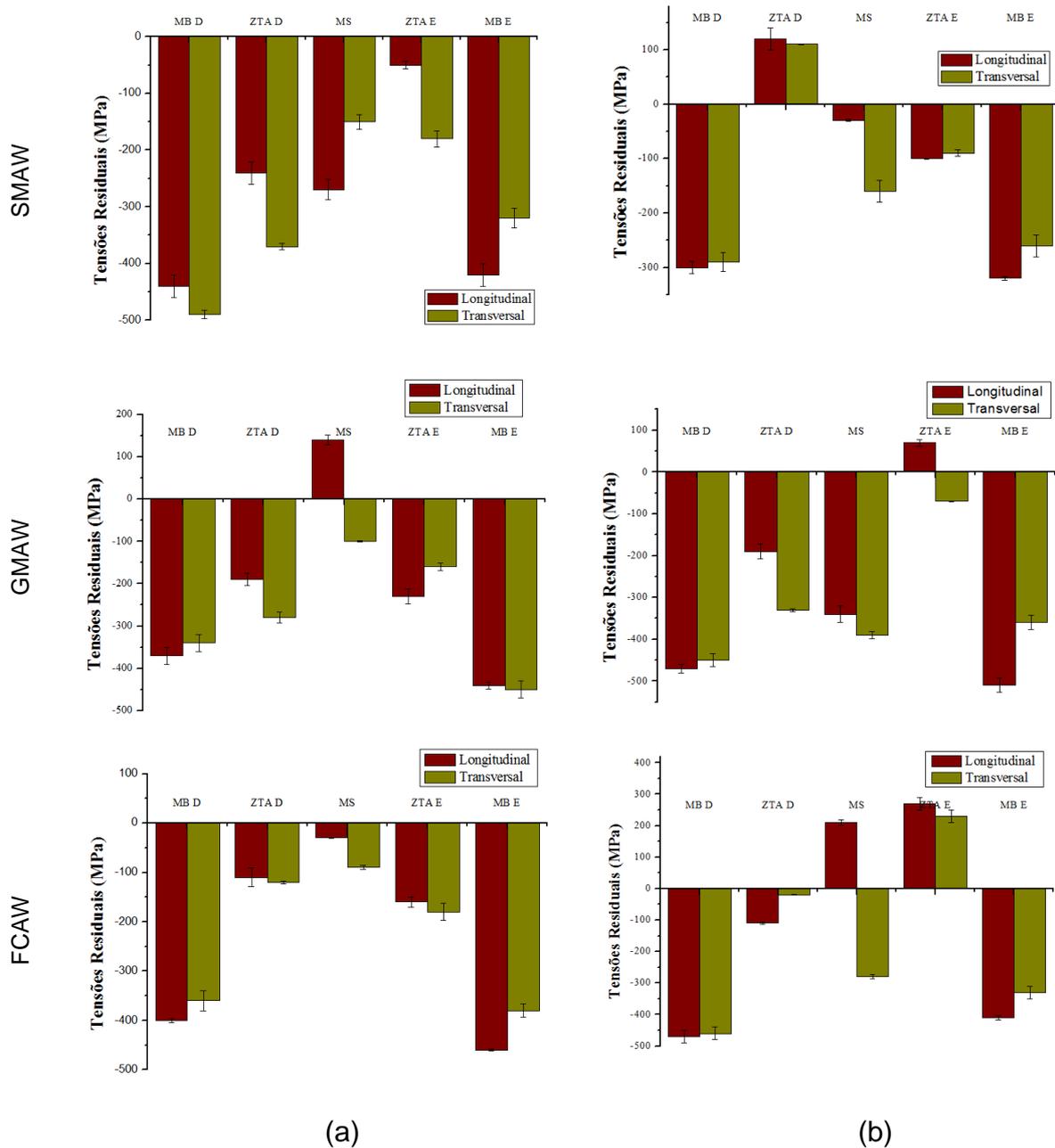


Figura 3 – Tensões residuais no topo (a) e na raiz (b) das juntas soldadas pelos processos SMAW, GMAW e FCAW tipo MC.

Estes resultados de tensões compressivas, principalmente no topo das juntas em todos os processos investigados, estão coerentes com os obtidos por Araujo et al⁽⁹⁾, que estudaram as tensões residuais em juntas de aço X80, soldadas pelo

processo arco submerso, onde os valores para as tensões residuais na direção transversal no topo da junta soldada variaram entre -250 MPa e 80 MPa, entretanto na raiz houve predominância de tensões residuais trativas. No trabalho de Sowards et al⁽¹⁰⁾ em juntas soldadas de X80 pelo processo FSW eles obtiveram tensões residuais trativas entre 30 MPa e 200 MPa, em ambas as direções e regiões.

Assim sendo, comparando os resultados do presente trabalho com os observados por Araújo et al⁽⁹⁾ e Sowards et al⁽¹⁰⁾, verifica-se que há uma melhoria nos resultados obtidos uma vez que nos trabalhos citados houve uma predominância de tensões residuais trativas e no presente trabalho as tensões são predominantemente compressivas, o que é benéfico por aumentar a vida em fadiga da estrutura soldada.

A Fig. 4 apresenta os resultados microdureza das juntas soldadas obtidos a uma distância de 3 mm da superfície, onde pode-se verificar que a máxima dureza foi observada para a junta soldada pelo processo GMAW (374 HV) na ZTA D enquanto que os valores no MS e no MB se mantiveram com pequenas variações, não ultrapassando 330 HV no MS e com valores inferiores a 260 HV no MB. Este mesmo comportamento de baixas variações nos valores da dureza para o MS também foi observado para as juntas soldadas pelos processos SMAW e FCAW tipo MC, sendo os máximos encontrados de 290 HV e 330 HV, para as juntas SMAW e FCAW tipo MC, respectivamente.

Comparando os resultados de dureza obtidos no presente trabalho com os observados por Sowards et al⁽⁹⁾, onde este obteve valores de 350 HV para o metal de solda de juntas soldadas de aço X80 pelo processo *Friction Stir Welding* (FSW), pode-se inferir que os resultados do presente trabalho estão coerentes com os da literatura.

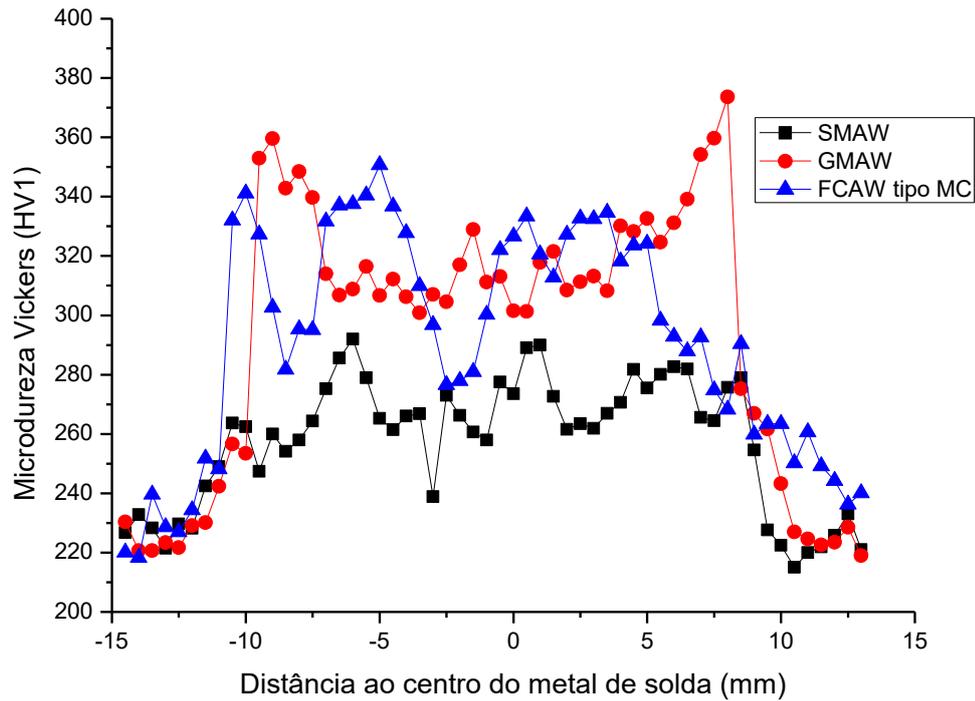


Figura 4 – Microdureza Vickers das juntas soldadas pelos processos SMAW, GMAW e FCAW tipo MC.

CONCLUSÕES

O presente estudo, que teve como objetivo a análise das tensões residuais em juntas de aço API 5L X80, soldadas pelos processos SMAW, GMAW e FCAW tipo MC, permite as seguintes conclusões:

- 1) As tensões residuais no topo das juntas soldadas apresentaram um comportamento compressivo em todas as regiões analisadas, com exceção do MS na direção longitudinal para a junta obtida pelo processo GMAW;
- 2) As tensões residuais na raiz das juntas soldadas apresentaram um comportamento com predominância compressiva, com exceção da ZTA D para o processo SMAW, e ZTA E para os processos GMAW e FCAW tipo MC; e
- 3) A junta soldada pelo processo GMAW foi a que apresentou maiores valores de dureza.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à CAPES e à FAPERJ, pelo apoio financeiro, que permitiu a realização do presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SOHN, S.S., HAN, S.Y., BAE, J.H., KIM, H.S. AND LEE, S.; Effect of microstructure and pipe Forming Strain on Yield Strength Before and After Spiral Pipe Forming of API X70 and X80 Linepipe Steel Sheets, *Materials Science & Engineering A*, 573, pp. 18-23, 2013.
2. HASHEMI, S.H.; Correction Factors for Safe Performance of API X65 Pipeline Steel, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 86, pp. 533-540, 2009.
3. YAN, W., ZHU, L., SHA, W., SHAN, Y. AND YANG, K.; Change of Tensile Behavior of a High-Strength Low-Alloy Steel with Tempering Temperature, *Materials Science and Engineering A*, 517, pp.269-374, 2009.
4. GOMEZ, M., VALLES, P. AND MEDINA, S.F.; Evolution of Microstructure and Precipitation State During Thermomechanical processing of a X80 Microalloyed Steel, *Materials Science and Engineering A*, 528, pp.4761-4773, 2011.
5. HAN, S.Y., SOHN, S.S., SHIN, S.Y., BAE, J., KIM, H.S. AND LEE, S.; Effects of Microstructure and Yield Ratio on Strain Hardening and Bauschinger Effect in Two Linepipe Steels, *Materials Science and Engineering A*, 551, pp. 192-199, 2012.
6. HAN, Y.D., JING, H.Y. and XU, L.Y.; Welding heat input effect on the hydrogen permeation in the X80 steel welding joints, *Materials Chemistry and Physics*, 132, 2012, pp. 216-222.
7. YELBAY, H.I., CAM, I., and GÜR, C.H.; Non-destructive determination of residual stress state in steel weldments by Magnetic Barkhausen Noise Technique, *NDT&E International*, 43, 2010, pp. 29-33.
8. HAN, Y.D., JING, H.Y. and XU, L.Y.; Welding heat input effect on the hydrogen permeation in the X80 steel welding joints, *Materials Chemistry and Physics*, 132, 2012, pp. 216-222.

9. ARAUJO, B.A., LIMA, M.S.S.S., MACIEL, T.M., SILVA, A.A., and SOARES, E.P.; Estudo das tensões residuais em juntas soldadas de aço API 5L X80, Soldagem & Inspeção, São Paulo, Vol. 18, N°03, pp. 217-226, Jul/Set 2013.
10. SOWARDS, J.W., HEROLD, T.G., MCCOLSKEY, J.D., PEREIRA, V.F., and RAMIREZ, A.J.; Characterization of mechanical properties, fatigue-crack propagation, and residual stresses in a microalloyed pipeline-steel friction-stir weld, Materials and Design, 88, 2015, pp. 632-642.

ANALYSIS OF RESIDUAL STRESSES GENERATED IN API 5L X80 STEEL WELDING JOINTS BY DIFFERENT PROCESSES

This work aims to study the residual stress generated in the welding of API 5L X80 steel by different processes Shielded Metal Arc Welding (SMAW), Gas Metal Arc Welding (GMAW) and Flux Cored Arc Welding type Metal Cored (FCAW Type MC) with preheating and maximum interpass temperature 150°C in a flat position. The welded joints were analyzed by X-ray diffraction technique, with $\text{sen}^2\psi$ method at the top and at the root of welded joints, in the longitudinal and transverse directions at the weld bead in the center of the weld bead (MS), in the heat affected zone (HAZ) and base metal (MB). The residual stresses at the top of the welded joints showed a compressive behavior in all regions analyzed, with the exception of MS in the longitudinal direction to the joint obtained by GMAW process. The microhardness analysis of the welded joints complements this study.

Key-words: API 5L X80 Steel; Welding; Residual Stress; X-ray Diffraction; Hardness