

Спосіб відноситься до методів вимірювання внутрішніх напружень в металах і сплавах і може бути застосований у різних галузях науки, техніки та виробництві для визначення потенційного строку служби деталей та виробів.

Внутрішні напруження виникають у деталях і виробках після різних видів обробок (литва, термічної і механічної обробки та ін.) і суттєво впливають на їх міцнісні та експлуатаційні характеристики. Тому необхідно знати абсолютні значення, знак та характер розподілу внутрішніх напружень і при потребі їх зміни або корегувати режими, або змінювати вид обробки.

Існує рентгенографічний метод визначення внутрішніх напружень у металах [Русаков Л.Л. Рентгенография металлов. М.: Атомиздат. 1977. 480с.], який базується на точному вимірі періодів ґратки дуже тонких приповерхніх шарів.

Недоліком цього методу є те, що він дозволяє одержати дані про напружений стан тільки в дуже невеликому приповерхньому об'ємі зразків і не дає можливості судити про строк служби деталей та виробів.

Відомий спосіб визначення внутрішніх напружень у металах і сплавах [Биргер И.Л.. Остаточные напряжения. М.: Машгиз. 1963. 231с.], який включає вирізку зразка, зняття електролітичним способом з одного краю зразка шару металу та обчислення величини напружень за величиною прогину чи деформації зразка.

Недоліками цього способу є те, що він не є неруйнуючим і має невисоку точність результатів вимірювань.

Найбільш близьким до пропонованого є спосіб визначення внутрішніх напружень [Пат. №10011. Україна. - Бюл. "Промислова власність" №10. - 2005. - МКП G01L1/00), який полягає в тому, що на досліджувану поліровану поверхню зразка при заданому навантаженні наносять N рівчаків на визначеній відстані між собою, вимірюють через визначену постійну відстань їхню ширину чи глибину, а після визначення середнього значення ширини чи глибини кожного рівчака визначають характер розподілу, відносний рівень і знак напружень.

Недоліком цього способу є те, що за допомогою нього можна визначити тільки відносний рівень та знак внутрішніх напружень і він не може бути використаний для визначення їх абсолютних значень.

Технічною задачею корисної моделі є створення способу вимірювання абсолютних значень внутрішніх напружень для оцінки потенційного строку служби деталей і виробів.

Технічна задача вирішується за рахунок того, що на поліровану поверхню зразка наносять N рівчаків при заданому навантаженні на визначеній відстані між собою, причому наносять N рівчаків на поліровані поверхні досліджуваного зразка та зразка-еталона, який виготовлено з матеріалу досліджуваного зразка у рівноважному стані, вимірюють через визначену відстань їх мікротвердість, а після визначення середнього значення мікротвердості зразків та характеру її розподілу визначають абсолютне значення напружень ( $\pm H_i$ ) за формулою

$$\pm H_i = \pm \Delta H_i \pm H_c \quad (1)$$

де  $\pm \Delta H_i = (H_{zi} - H_{zc}) - (H_{ei} - H_{ec})$  - результуюче відхилення напружень від середнього в i-й точці зразка;

$H_{zi}$ ,  $H_{ei}$  - значення мікротвердості досліджуваного зразка та зразка-еталона у i-тих точках відповідно;

$H_{zc}$ ,  $H_{ec}$  - середні значення мікротвердості досліджуваного зразка і зразка-еталона відповідно;

$H_c = H_{zc} - H_{ec}$

Знак плюс у формулі (1) перед доданком  $H_c$  ставиться, коли  $\Delta H_i$  є додатнім, а мінус - від'ємним, що відповідає стискаючим та розтягуючим напруженням відповідно.

Приклад 1. Зразок із сталі 40X гартували в оливу від 860°C. Зразок-еталон виготовляли із сталі 40X, рівноважний стан якого досягали шляхом, наприклад, гартування від 860°C в оливу та відпуску при 600°C протягом 2год. Полірували поверхні обох зразків. На обидві поліровані поверхні, наприклад, на приладі ПМТ-3 при навантаженні 20г, наприклад, чотирикутною алмазною пірамідою з квадратною основою наносили по три рівчака довжиною 1,0мм кожний на відстані 100мкм один від одного.

Мікротвердість зразків вимірювали уздовж кожного рівчака через кожні 200мкм. Розраховували її середні значення та визначали абсолютні значення внутрішніх напружень. За формулою (1) розраховували абсолютні значення внутрішніх напружень.

1. Значення мікротвердості у 1-й точці зразка  $H_{z1}=4344,6$ МПа.

Значення мікротвердості у 1-й точці зразка-еталона  $H_{e1}=2298,1$ МПа.

Середнє значення мікротвердості зразка  $H_{zc}=6818,4$ МПа.

Середнє значення мікротвердості зразка-еталона  $H_{ec}=2324,1$ МПа.

Тоді

$$\Delta H_1 = (4344,6 - 6818,4) - (2298,1 - 2324,1) = -2447,8 \text{ МПа.}$$

$$H_c = 6818,4 - 2324,1 = 4494,3 \text{ МПа.}$$

Отже рівень розтягуючих напружень в 1-й точці зразка дорівнює

$$H_1 = -2447,8 - 4494,3 = -6942,1 \text{ МПа}$$

2. Значення мікротвердості у 2-й точці зразка  $H_{z2}=7066,2$ МПа.

Значення мікротвердості у 2-й точці зразка-еталона  $H_{e2}=2365,2$ МПа. Тоді

$$\Delta H_2 = (7066,2 - 6818,4) - (2365,2 - 2324,1) = +206,7 \text{ МПа. Отже рівень стискаючих напружень в 2-й точці зразка сягає}$$

$$H_2 = 206,7 + 4494,3 = +4701,0 \text{ МПа}$$

Таким чином в 1-й точці існують розтягуючі напруження величиною 6942,1МПа, а в 2-й точці - стискаючі 4701,0МПа.

Результати вимірювань і розрахунків наведені в табл.1.

Таблиця 1

Результати вимірювань мікротвердості та визначення абсолютних значень внутрішніх напружень сталі 40X після гартування від 860°C в оливу

№ рівчака	i	Мікротвердість, МПа		Середнє значення мікротвердості, МПа		Абсолютні значення внутрішніх напружень, МПа		
		H <sub>3i</sub>	H <sub>ei</sub>	H <sub>3c</sub>	H <sub>ec</sub>	ΔH <sub>i</sub>	H <sub>c</sub>	H <sub>i</sub>
1	1	4344,6	2298,1	6818,4	2324,1	-2447,8	4494,3	-6942,1
	2	7066,2	2365,2			+206,7		+4701,0
	3	6608,2	2245,6			-131,7		-4626,0
	4	7407,1	2394,3			+518,5		+5012,8
	5	6755,4	2287,4			-26,3		-4520,6
	6	7937,4	2342,5			+1100,6		+5594,9
2	7	5257,8	2302,5			-1539,0		-6033,3
	8	8950,7	2401,5			+2054,9		+6549,2
	9	4657,7	2245,6			-2082,2		-6576,5
	10	7634,1	2356,1			+783,7		+5278,0
	11	6378,9	2325,8			-441,2		-4935,5
	12	6954,3	2359,6			+100,4		+4594,7
3	13	6492,2	2244,9			-247,0		-4741,3
	14	8170,9	2374,3			+1302,3		+5796,6
	15	4702,1	2295,6			-2087,8		-6582,1
	16	8967,3	2349,3			+2123,7		+6618,0
	17	6612,4	2316,7			-198,6		-4692,9
	18	7834,1	2328,6			+1011,2		+5505,5

Отримані максимальні значення розтягуючих (H<sub>1</sub>=-6942,1МПа) та стискаючих (H<sub>18</sub>=+6618,0МПа) напружень в зразку, загартованому від 860°C в оливу, свідчать про значні потенційні можливості щодо терміну його служби, так як рівень цих напружень значно нижче тих, при яких в даному матеріалі спостерігається утворення тріщин. При цьому напруження сягають понад 8000МПа, що визначено експериментально.

Приклад 2. Зразок із сталі 40Х гартували в оливу від 1160°C. Зразок-еталон виготовляли із сталі 40Х, рівноважний стан якого досягали шляхом, наприклад, гартування від 860°C в оливу та відпуску при 600°C протягом 2год. Полірували поверхні обох зразків. На обидві поліровані поверхні, наприклад, на приладі ПМТ-3 при навантаженні 20г, наприклад, чотирикутною алмазною пірамідою з квадратною основою наносили по три рівчака довжиною 1,0мм кожний на відстані 100мм один від одного.

Мікротвердість зразків вимірювали уздовж кожного рівчака через кожні 200мм. Розраховували її середні значення та визначали абсолютні значення внутрішніх напружень. За формулою (1) розраховували абсолютні значення внутрішніх напружень.

1. Значення мікротвердості у 1-й точці зразка H<sub>31</sub>=10210,6МПа.

Значення мікротвердості у 1-й точці зразка-еталона H<sub>e1</sub>=2298,1МПа. Середнє значення мікротвердості зразка H<sub>3c</sub>=8108,5МПа. Середнє значення мікротвердості зразка-еталона H<sub>ec</sub>=2324,1МПа.

Тоді

$$\Delta H_1 = (10210,6 - 8108,5) - (2298,1 - 2324,1) = +2128,1 \text{ МПа.}$$

$$H_c = 8108,5 - 2324,1 = 5784,4 \text{ МПа.}$$

Отже рівень стискаючих напружень в 1 -й точці зразка сягає

$$H_1 = 2128,1 + 5784,4 = +7912,5 \text{ МПа}$$

2. Значення мікротвердості у 4-й точці зразка H<sub>34</sub>=7593,6МПа.

Значення мікротвердості у 4-й точці зразка-еталона H<sub>e4</sub>=2394,3МПа.

Тоді

$$\Delta H_4 = (7593,6 - 8108,5) - (2394,3 - 2324,1) = -585,1 \text{ МПа.}$$

Отже рівень розтягуючих напружень в 4-й точці зразка становить

$$H_4 = -585,1 - 5784,4 = -6369,5 \text{ МПа}$$

Таким чином в 1-й точці існують стискаючі напруження величиною 7912,5МПа, а в 4-й точці розтягуючі - 6369,5МПа.

Результати вимірювань і розрахунків наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати вимірювань мікротвердості та визначення абсолютних значень внутрішніх напружень сталі 40Х після гартування від 1160°C в оливу

№ рівчака	i	Мікротвердість, МПа		Середнє значення мікротвердості, МПа		Абсолютні значення внутрішніх напружень, МПа		
		H <sub>3i</sub>	H <sub>ei</sub>	H <sub>3c</sub>	H <sub>ec</sub>	ΔH <sub>i</sub>	H <sub>c</sub>	H <sub>i</sub>
1	1	10210,6	2298,1	8108,5	2324,1	+2128,1	5784,4	+7912,5
	2	9126,9	2365,2			+977,3		+6761,7
	3	8256,3	2245,6			+226,3		+6010,7
	4	7593,6	2394,3			-585,1		-6369,5
	5	6145,8	2287,4			-1926,0		-7710,4
	6	7823,9	2342,5			-303,0		-6087,4
2	7	9582,1	2302,5			+1495,2		+7279,6

	8	11529,3	2401,5			+3343,4		+9127,8
	9	8429,3	2245,6			+399,3		+6183,7
	10	7159,3	2356,1			-981,2		-6765,6
	11	5823,6	2325,8			-2286,6		-8071,0
	12	7429,1	2359,6			+252,2		+6036,6
3	13	8726,3	2244,9			+697,0		+6481,4
	14	9231,5	2374,3			+1072,8		+6857,2
	15	6982,8	2295,6			-1097,2		-6881,6
	16	5853,1	2349,3			-2280,6		-8065,0
	17	7653,1	2316,7			-448,0		-6232,4
	18	8396,2	2328,6			+283,2		6067,6

Отримані в цьому випадку результати свідчать, що підвищення температури гартування сталі 40X з 860 до 1160°C супроводжується значним збільшенням рівня стискаючих і розтягуючих напружень, максимальні значення яких сягають  $H_8=+9127$  та  $H_{11}=-8071$  МПа. Їх рівень перевищує 8000 МПа, що призводить до утворення тріщин у зразку і робить його не придатним для використання. Отже виходячи з даних табл. 1 і 2 критерієм строку служби для сталі 40X є рівень стискаючих і розтягуючих напружень, який до значень 8000 МПа знаходиться в обернено пропорційній залежності до строку служби деталей в певних умовах експлуатації.

Запропонований спосіб вимірювання внутрішніх напружень може бути використаний як у лабораторних, так і промислових умовах.