

## *ДюрOMETрія та особливості формування структури у виливках сталі за різних умов кристалізації*

С. Є. Кондратюк, доктор технічних наук, професор

І. М. Стась

П. Ю. Волосевич\*, доктор фізико-математичних наук

А. В. Маринкевич\*

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

\*Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Київ

*На прикладі виливків сталі 45Л методом дюрOMETрії досліджено вплив швидкості охолодження на співвідношення та дисперсність структурних складових та характеристики мікротвердості по перерізу виливків сталі.*

Температурно-часові умови охолодження розплаву мають домінуючий вплив на процеси кристалізації і структуроутворення, визначають дисперсність, однорідність і ступінь легованості основних структурних складових литої сталі, а також рівень фізико-механічних властивостей.

Виходячи з цього, досліджено вплив інтенсивності тепловідбору на показники мікротвердості в основних структурних зонах виливків сталі 45Л (розміром 115x130x200 мм та масою 25 кг), які кристалізувались у комбінованих ливарних формах з різною тепловідбірною здатністю (піщано-глинистий або з мідним водоохолоджуваним кристалізатором), що забезпечувало охолодження виливків з різною інтенсивністю ( $V_{\text{ох}} = 0,22 - 0,10 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}$  та  $47 - 1,8 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}$  відповідно) [1] та формування литих структур різної дисперсності і фазового складу по перерізу досліджуваних виливків. Такий підхід дозволяє оцінити показники зміни мікротвердості у зв'язку з характером і параметрами дендритної будови і зеренної структури виливків. Виходячи з цього, доцільним і перспективним щодо одержання нових результатів є використання методів визначення мікротвердості покрововим інденуванням [2] і склерометрії [3 – 6].

Визначення характеристик мікротвердості здійснювали на шліфах після хімічного травлення реактивом Стеда для виявлення особливостей дендритної структури та 5 % розчином азотної кислоти для виявлення зеренної структури.

Склерометричне визначення мікротвердості здійснювали [3] з використанням стандартної чотиригранної алмазної піраміди з кутом заточування  $\sim 136^\circ$  (кут між ребрами  $\sim 148^\circ 6'$ ) ребром вперед на приладі ПМТ-3. Подряпина довжиною 6,5 – 8,5 мм у всіх випадках наносилась в площинах, паралельних поверхні торця зливка у напрямку, перпендикулярному його осі, на відстані 1, 10, 17 та 52 мм. Мікротвердість вздовж подряпини визначалась з кроком  $s = 5 \text{ мкм}$  при навантаженні на інденатор  $\mu = 50 \text{ г}$ .

Паралельно цьому проводили традиційне вимірювання мікротвердості по перерізу виливків згідно [2].

Відповідно проходженню інденатором світлих і темних елементів структури (осьових і міжосьових ділянок дендритів) (рис. 1, 2) спостерігається циклічний

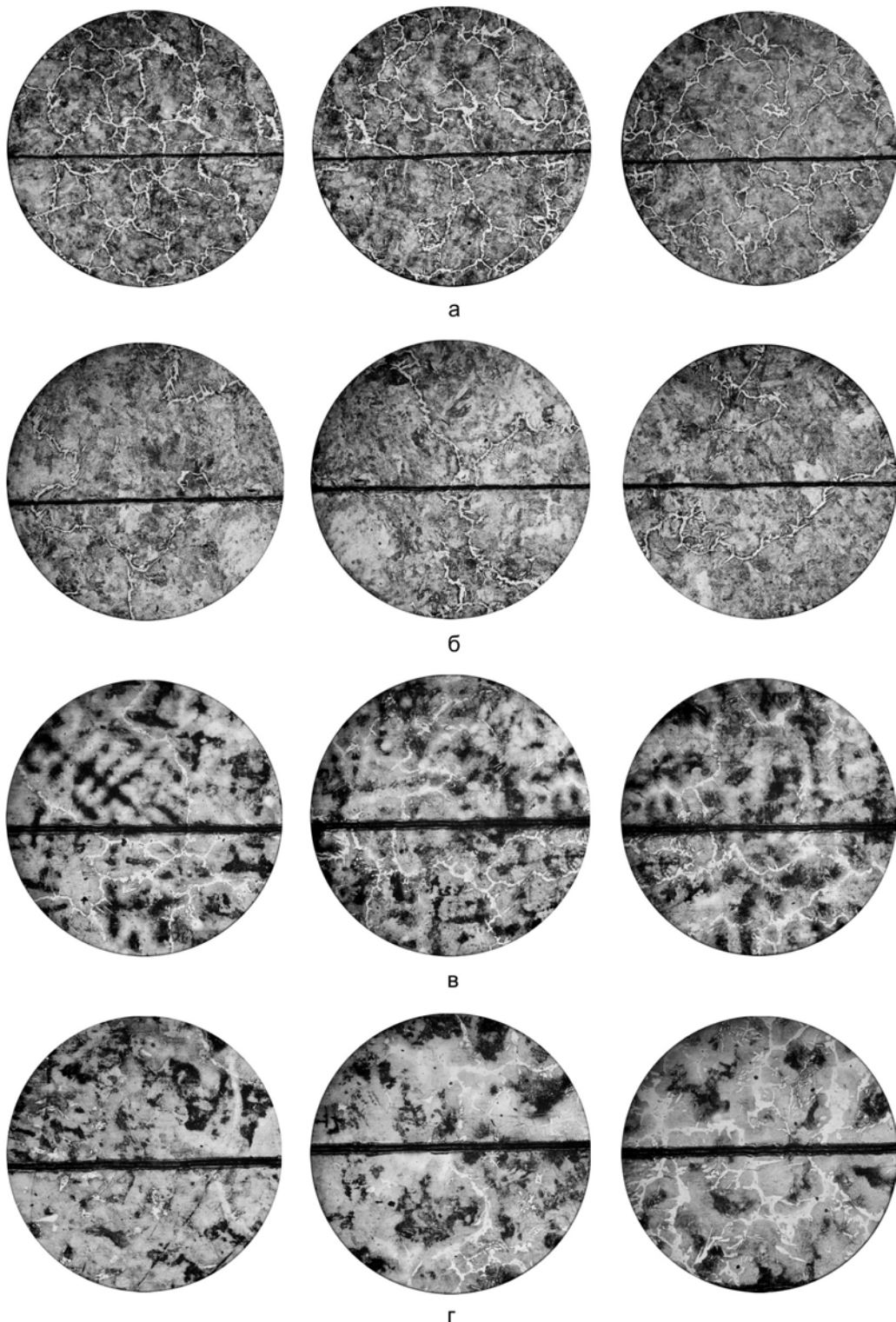


Рис. 1. Фрагменти мікроструктури зразків сталі 45Л з подряпиною після кристалізації при швидкому охолодженні. а – на відстані 1 мм від торцевої поверхні виливка, б – на відстані 10 мм, в – 17 мм, г – 58 мм. x100.

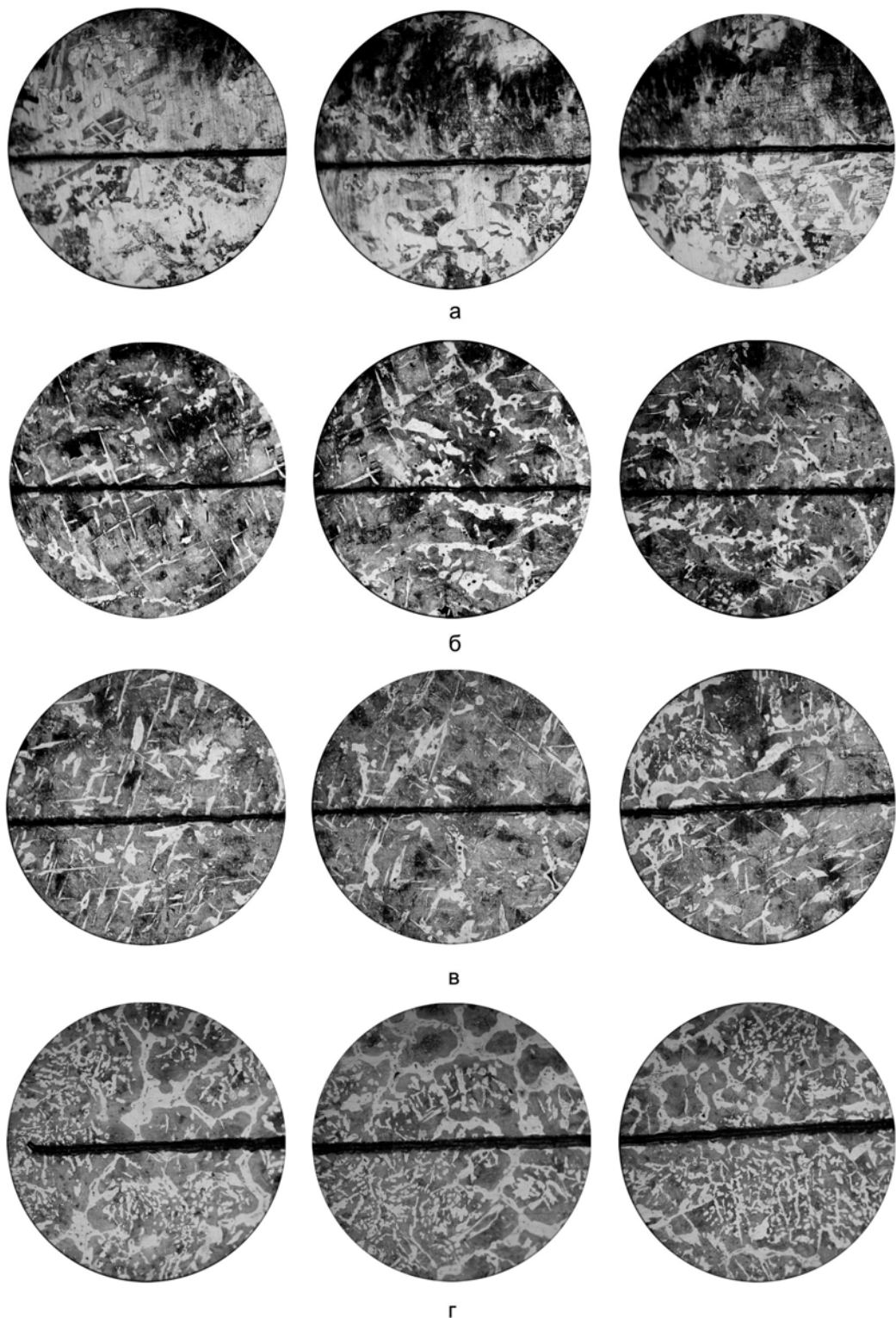


Рис. 2. Фрагменти мікроструктури зразків сталі 45Л з подряпиною після повільного охолодження при кристалізації. а – на відстані 1 мм від торцевої поверхні вилівка, б – на відстані 10 мм, в – 17 мм, г – 58 мм. x100.

характер зміни мікротвердості. Відповідно цьому ширина подряпини збільшується або зменшується.

Для швидкоохолодженого виливка (рис. 3) середній період ( $T_{\text{сер}}$ ) між максимумами циклів складає 185 мкм. Має місце також циклічність із значно більшим середнім періодом ( $T_1$ ) біля 420 мкм при кількості максимумів, що розглядаються, 15 одиниць. Відхилення значень мікротвердості вздовж подряпини знаходиться в інтервалі  $(6,5 - 13,0) \times 10^3$  МПа. Мінімальні її значення спостерігаються у місцях проходження подряпиною світлих елементів структури (осей дендритів). Циклічність зміни ширини подряпини в цих місцях знаходиться в інтервалі 5 – 30 мкм.

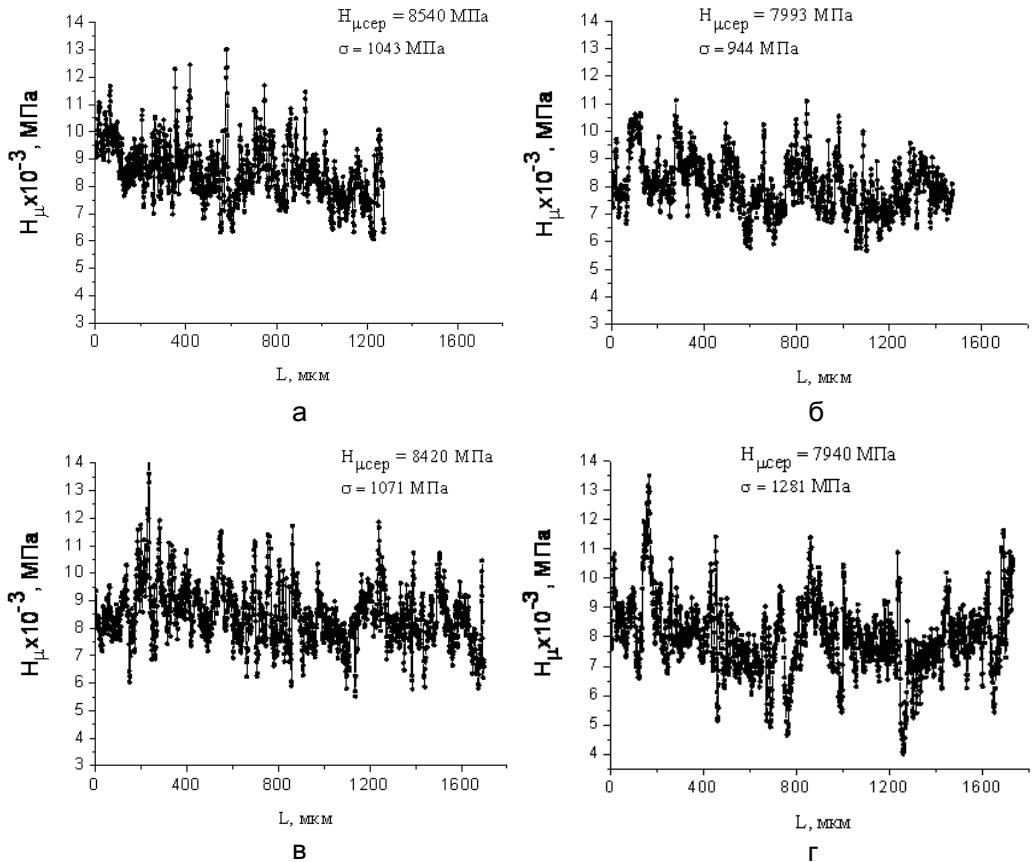


Рис. 3. Характер зміни мікротвердості вздовж подряпини, швидке охолодження при кристалізації. а - на відстані 1 мм від торцевої поверхні виливка, б - на відстані 10 мм, в - 17 мм, г - 58 мм.

При проходженні подряпиною границь зерен (мають підвищену травимість) спостерігається також циклічний характер зміни мікротвердості з періодом колювання в інтервалі 20 – 30 мкм.

Результати вимірювань мікротвердості склерометричним методом по мірі переходу до глибинних перерізів виливка свідчать про збереження всіх відзначених вже раніше закономірностей проходження індентором осних і міжосних елементів структури. По мірі віддалення від поверхні швидкоохолодженого виливка має місце поступове збільшення розмірів світлої складової структури, що супроводжується зниженням середніх значень їх мікротвердості відповідно  $8540 \rightarrow 8420 \rightarrow 7993 \rightarrow 7940$  МПа при максимумах в інтервалі  $(9,5 - 13,0) \times 10^3$  МПа. Мінімальні значення мікротвердості при цьому знаходяться в інтервалі  $(4,0 - 7,5)$  МПа.

## Структура і фізико-механічні властивості

При дослідженні структури по перерізу вилівка повільного (нормального) охолодження слід відзначити закономірну зміну співвідношення площ світлої і темної структурних складових (рис. 2). В приповерхневих об'ємах вилівка переважає світла (феритна) складова, а в глибинних – темна (перлітна), що супроводжується відповідною зміною мікротвердості в середньому від  $5 \times 10^3$  до  $7,65 \times 10^3$  МПа. Рівень максимальних і мінімальних її значень становить за глибиною вилівка  $(5,5 - 11,5 \rightarrow 7,9 - 11,5 \rightarrow 7,9 - 12,0) \times 10^3$  МПа та  $(3,2 - 4,5 \rightarrow 4,0 - 6,5 \rightarrow 3,6 - 6,6 \rightarrow 4,3 - 6,8) \times 10^3$  МПа відповідно (рис. 4). Величина і періодичність максимумів змінюються послідовно по мірі віддалення від поверхні вилівка від  $271 \rightarrow 278 \rightarrow 266 \rightarrow 260$  мкм при слабких проявах циклічності з періодом  $757 - 1000$  мкм у центральній частині.

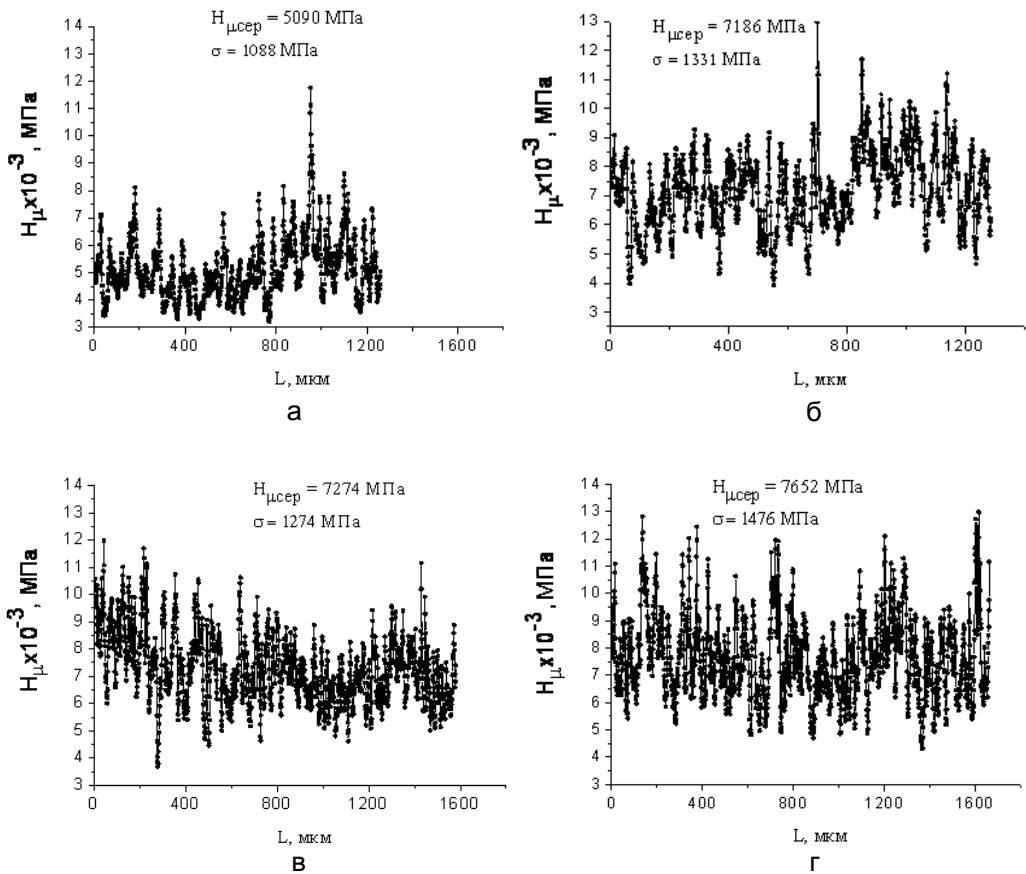


Рис. 4. Характер зміни мікротвердості вздовж подряпина, повільне охолодження при кристалізації. а – на відстані 1 мм від торцевої поверхні вилівка, б – на відстані 10 мм, в – 17 мм, г – 58 мм.

Аналіз одержаних результатів свідчить про те, що причиною формування піків мікротвердості, які лежать нижче її середніх значень, є, як правило, феритна складова структури, ступінь впливу якої на характер зміни твердості залежить від відношення об'єму матеріалу під індентором, який вона займає, до об'єму інших (більш твердих чи м'яких) фаз. При цьому у випадку однорідного складу мінімум значень твердості відповідає середині фрагменту феритної фази, який долає подряпина. Відповідальність за особливості формування піків мікротвердості, розміщених вище її середніх значень, несуть не лише морфологічні відмінності перлітної складової

## Структура і фізико-механічні властивості

структури, а й вже відмічені фактори, пов'язані з її дисперсністю, вмістом та морфологією цементиту в об'ємі матеріалу, що випробовувався методом склерометричного аналізу.

Результати вимірювань мікротвердості традиційним методом у вилівках, що кристалізувались за різних температурно-часових умов кристалізації також свідчать про закономірну зміну її показників відповідно інтенсивності тепловідбору і зміні фазово-структурного складу по перерізу виливків, що узгоджуються з результатами склерометричного аналізу (таблиця).

Зміна мікротвердості (МПа) по перерізу виливків сталі 45Л залежно від умов кристалізації

Відстань від торця, мм	Швидкісне охолодження		Повільне охолодження	
	світла складова	темна складова	світла складова	темна складова
1	1482	1956	1046	1893
10	1366	1884	1106	1816
17	1306	1815	1215	1941
58	1258	1829	1223	1890

Таким чином, результати проведених досліджень свідчать про значний вплив швидкості охолодження при кристалізації зливків сталі 45Л на характер перерозподілу вуглецю по їх перерізу, що супроводжується відповідною зміною кількості та дисперсності фериту і перліту залежно від глибини їх розміщення відносно поверхні. В свою чергу ці процеси визначають характер зміни мікротвердості по перерізу виливків, який залежить не лише від розмірів (дисперсності) перлітних колоній, а й зміни ширини феритного проміжку та товщини пластин цементиту.

## Література

1. Кондратюк С. Є., Щеглов В. М., Стась І. М. Вплив інтенсивності тепловідбору на параметри кристалізації вуглецевих сталей. // *Металознавство та обробка металів*. – 2006. – № 2. – С. 18 – 21.
2. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазными наконечниками. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – С. 21.
3. ГОСТ 21318-82. Измерение микротвердости царапанием алмазными наконечниками. М.: Изд-во стандартов, 1983. – С. 24.
4. Волосевич П. Ю. Беспалов С. А. Склерометрия и её возможности в комплексном выявлении особенностей распределения элементов структуры, их механических характеристик и размерных параметров. // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2004. – 26, № 3. – С. 343 – 359.
5. Волосевич П. Ю. Беспалов С. А. Микротвердость поверхностей и ее связь с температурой закалки и распределением углерода в сталях 40X и 40XHM. // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2006. – 28, № 12. – С. 1629 – 1638.
6. Декларацийний патент на корисну модель № 22454 Україна, МКП G01L1/00. Спосіб визначення внутрішніх напружень. / Волосевич П. Ю., Беспалов С. А. – Бюл. «Промислова власність». – 2007. – № 5.

Одержано 25.05.11

## Структура і фізико-механічні властивості

---

С. Е. Кондратюк, И. М. Стась, П. Ю. Волосевич, А. В. Маринкевич

### Дюрометрия и особенности формирования структуры в отливках стали при различных условиях кристаллизации

#### Резюме

На примере отливок стали 45Л методом дюрометрии исследовано влияние скорости охлаждения на соотношение и дисперсность структурных составляющих и характеристики микротвердости по сечению отливок стали.

S. Ye. Kondratyuk, I. M. Stas, P. Yu. Volosevich, A. V. Marinkevich

### Durometry and features of structure formation in steel castings under different conditions of crystallization

#### Summary

The influence of cooling rate on the ratio and dispersion of the structural components and characteristics of microhardness in section of 45 (0,45% C) steel castings has been examined by durometry method.

## **Вітання ювіляру**

### **Скок Ювеналій Якович**



16 серпня 2011 року виповнюється 75 років від дня народження члена редакційної колегії нашого журналу, кандидата технічних наук Ювеналія Яковича Скока.

Ювеналій Якович – відомий вчений в галузі металознавства і металургії сталі, процесів кристалізації та структуроутворення великогабаритних зливків і сталевих виливків відповідального призначення.

Широко відомі його наукові публікації, висока кваліфікація, доброзичливе ставлення до людей.

*Колектив ФТІМС НАН України, редакційна колегія нашого журналу високо цінують самовіддану роботу Ювеналія Яковича і щиро зичить шановному ювілярові доброго здоров'я, щастя, наснаги, нових творчих успіхів.*



Дирекція ФТІМС НАН України  
Редакційна колегія журналу  
“Металознавство та обробка металів”