

УДК 621.74:669.715.012

С. Е. Кондратюк, Е. Н. Стоянова, В. М. Щеглов,  
И. Н. Примак, Ж. В. Пархомчук

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## НАСЛЕДСТВЕННОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТАЛЕЙ ДИСПЕРСНО-СТРУКТУРИРОВАННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ШИХТЫ

*На примере сталей 45Л и Р6М5Л показана возможность целенаправленного повышения дисперсности литой структуры при введении в расплав сталей, дисперсно-структурированных скоростной кристаллизацией добавок аналогичного состава. Такие добавки сохраняют в расплаве заложенные в них металлогенетические наследственные признаки (ближний порядок), вызывают образование значительного количества зародышей кристаллизации и обеспечивают формирование однородной мелкозернистой структуры по всему сечению отливок.*

**Ключевые слова:** сталь, наследственность, плавление, кристаллизация, структурообразование.

*На прикладі сталей 45Л і Р6М5Л показано можливості цілеспрямованого підвищення дисперсності литої структури при введенні до розплаву сталей, які дисперсно-структуровані швидкісною кристалізацією добавок аналогічного хімічного складу. Такі добавки зберігають у розплаві закладені в них металогенетичні спадкові ознаки (ближній порядок), зумовлюють утворення значної кількості зародків кристалізації і забезпечують формування однорідної дрібнозернистої структури по всьому перерізу виливків.*

**Ключові слова:** сталь, спадковість, плавлення, кристалізація, структуроутворення.

*By introduction of additives with fine crystalline structure and same chemical composition into the melt the possibility of modification of 45Л and Р6М5Л cast steel structure is shown. The additives are formed with the rapid cooling crystallization. Such additives maintain their inherited properties in the melt, initiating formation of large quantity of nucleation centers for crystallization and providing uniform fine grained structure over cross-section of the castings.*

**Keywords:** steel, inheritance, melting, crystallization, structure formation.

В связи с развитием научно обоснованных представлений о взаимосвязи твердого и жидкого состояний металлических материалов и проявлении структурной наследственности [1-4] одним из перспективных направлений получения отливок с высоким уровнем свойств становится использование шихтовых материалов с подготовленной структурой. В качестве меры подготовленности структуры авторы рассматривают степень ее равновесности, дисперсность и морфологию структурных составляющих, характеристики дендритного строения, ликвации и др. [5-7]. Возможность управления наследственностью структуры в системе шихта-расплав-отливка является важным резервом повышения качества и свойств стальных отливок. Однако системные исследования в этом направлении практически отсутствуют.

С позиции кластерной теории известно, что при небольших перегревах расплавов над ликвидусом (ниже температуры разупорядочения микронеоднородного расплава  $T_p$ ) его строение мало отличается от твердого состояния, сохраняя все особенности строения (наследственные признаки) исходного шихтового материала.

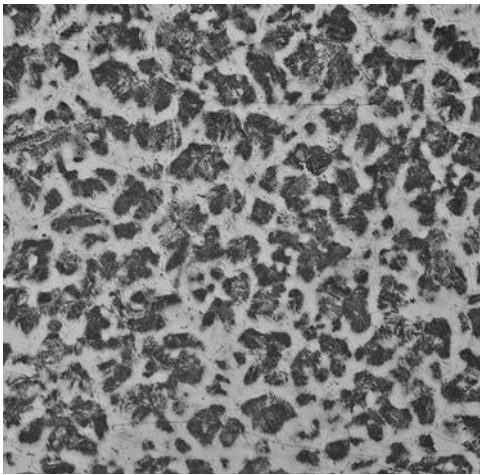
## Кристаллизация и структурообразование сплавов

Такой неравновесный расплав состоит из разных микрообъемов ближнего порядка, в том числе унаследованных от исходных компонентов шихты и введенных в расплав добавок. Именно неравновесная микронеоднородность в сочетании с оптимальными режимами плавления и кристаллизации является наиболее доступным способом управления фазово-структурным состоянием и свойствами отливок.

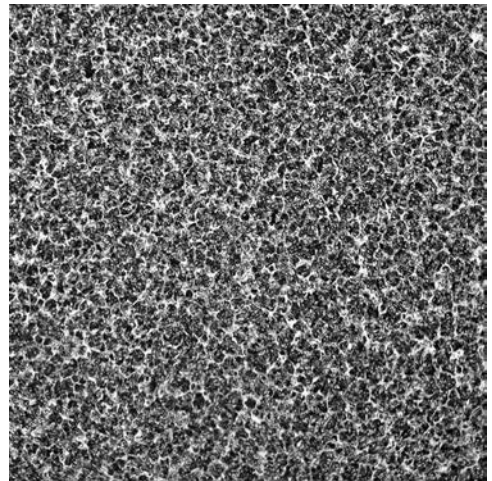
Исходя из этого, на примере сталей 45Л и Р6М5Л исследовано влияние дисперсно-структурированных добавок аналогичного химического состава в количестве 10 и 20 % на дисперсность литой структуры. Структурированные добавки сталей изготавливали в условиях интенсивного охлаждения при кристаллизации со скоростью охлаждения ( $V_{\text{охл}}$ ) 350 и 650 °С/с в литейных формах с различной теплоотводящей способностью.

Металлографически установлено, что такие структуры с повышением интенсивности охлаждения расплава при кристаллизации закономерно измельчаются. Так, размер зерна сталей 45Л и Р6М5Л при скорости охлаждения 350 °С/с равен номерам 6 и 9, а при 650 °С/с – 8 и 11 соответственно (рис. 1).

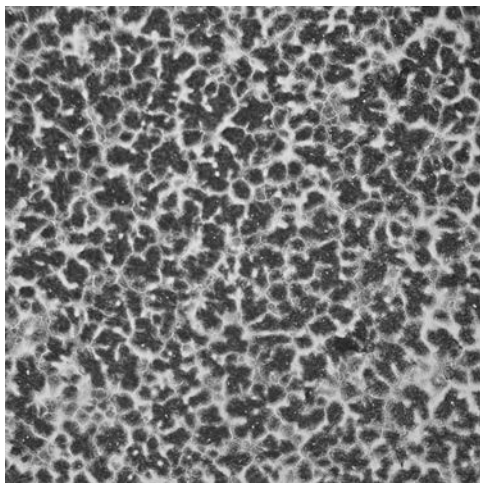
Подготовленные таким образом модифицирующие добавки с высокодисперсной структурой вводили в указанных количествах в расплав основного металла.



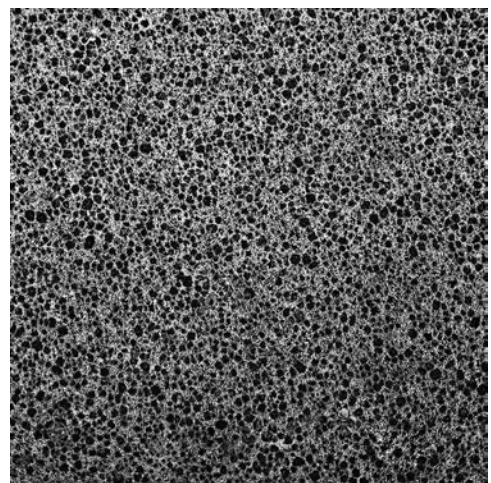
а



б



в

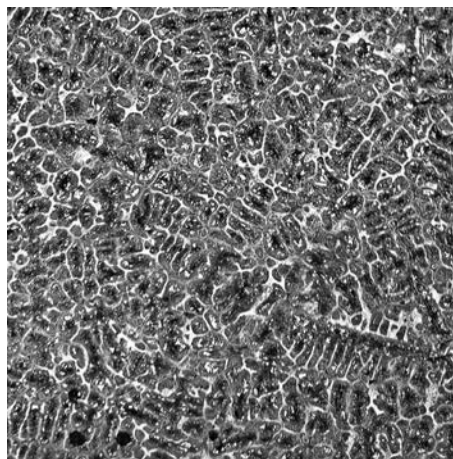


г

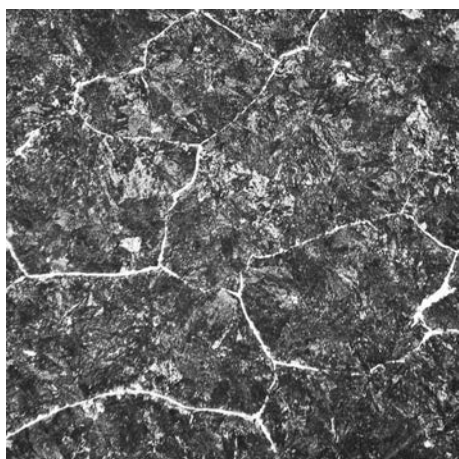
Рис. 1. Структура дисперсно-структурированных компонентов шихты сталей 45Л (а, в) и Р6М5Л (б, г) в зависимости от условий кристаллизации: а, б – при  $V_{\text{охл}} = 350$  °С/с; в, г – при  $V_{\text{охл}} = 650$  °С/с,  $\times 100$



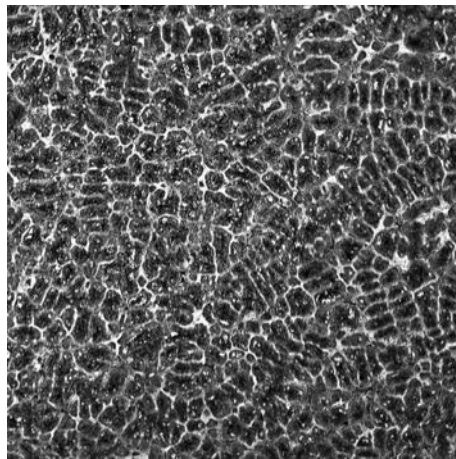
а



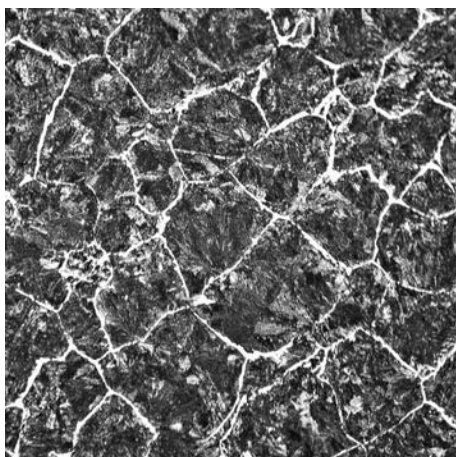
б



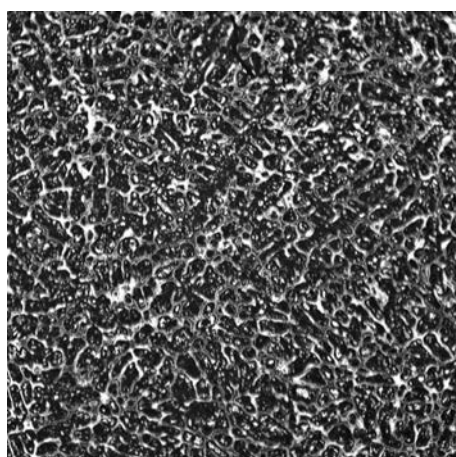
в



г



д



е

Рис. 2. Трансформация структуры сталей 45Л (а, в, д) и Р6М5Л (б, г, е) в зависимости от дисперсности структуры модифицирующей добавки в количестве 10 %: а, б – без добавки; в, г –  $V_{\text{охл}} = 350 \text{ }^{\circ}\text{C/s}$ ; д, е –  $V_{\text{охл}} = 650 \text{ }^{\circ}\text{C/s}$ ,  $\times 100$

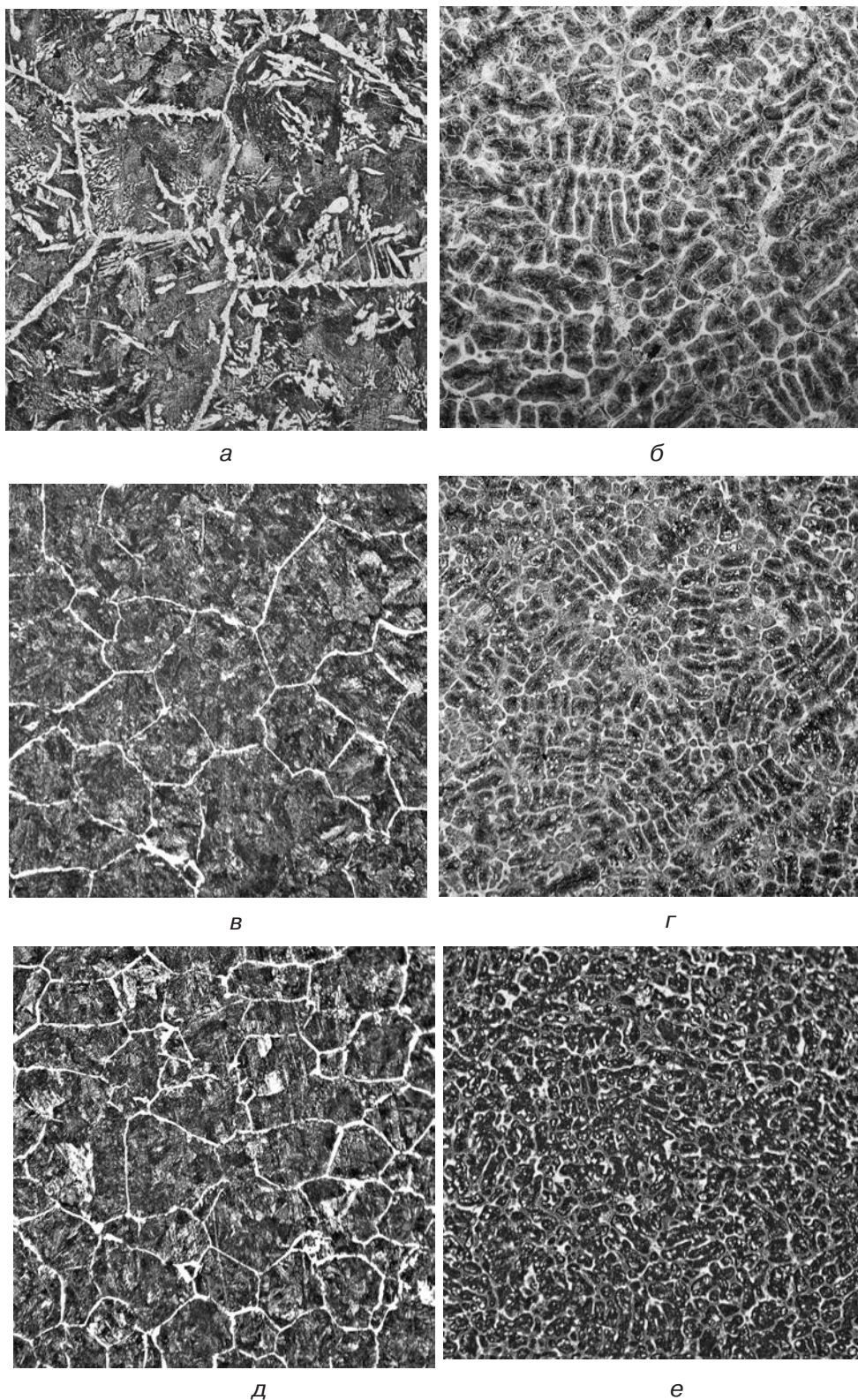


Рис. 3. Трансформация структуры сталей 45Л (а, в, д) и Р6М5Л (б, г, е) в зависимости от дисперсности структуры модифицирующей добавки в количестве 20 %: а, б – без добавки; в, г –  $V_{\text{охл}} = 350 \text{ }^\circ\text{C/с}$ ; д, е –  $V_{\text{охл}} = 650 \text{ }^\circ\text{C/с}$ ,  $\times 100$

## Кристаллизация и структурообразование сплавов

При этом расплавы сталей нагревали на 50-60 °С выше температуры их ликвидуса (для стали 45Л  $T_{лик} = 1490$  °С, для Р6М5Л  $T_{лик} = 1430$  °С), то есть ниже температуры равновесности ( $T_p$ ) микронеоднородного расплава. После введения дисперсно-структурированных добавок расплав выдерживали при указанных температурах до их полного растворения (3-5 мин) и разливали в стандартные тrefовидные песчано-глинистые формы (ГОСТ 977-88), обеспечивающие среднюю скорость охлаждения при кристаллизации проб – 5 °С/с.

Металлографически показано, что введение в расплав дисперсно-структурированных добавок сталей аналогичного состава оказывает модифицирующее действие на формирующуюся литую структуру. Эффект такого модифицирования определяется количеством и степенью дисперсности структуры вводимой добавки. Так, при введении 10 % модифицирующей добавки (рис. 2) наибольшее измельчение литой структуры исследуемых сталей наблюдается при использовании добавки с максимальной дисперсностью структуры ( $V_{окл} = 650$  °С). Более существенные изменения структуры (рис. 3) вызывает увеличение количества модифицирующей добавки до оптимального содержания (20 %).

Для стали 45Л размер зерна при этом уменьшается на 6-8 номеров, для стали Р6М5Л – на 4-5 номеров (ГОСТ 5639-82) по сравнению с исходным (таблица).

Полученные результаты свидетельствуют о возможности целенаправленного измельчения дисперсности (модифицирования) литой структуры сталей с использованием явления структурной наследственности вводимых в расплав добавок. Поскольку существует четкая структурная связь твердого и жидкого состояний, то каждый из них несет в себе латентные признаки другого, сохраняя при этом особенности строения исходного шихтового компонента. Таким образом, при введении в расплав стали добавок с высокодисперсной структурой

создаются предпосылки формирования перед разливкой определенного микронеоднородного его структурного состояния, обеспечивающего формирование после кристаллизации структуры соответствующей дисперсности. Осуществляемое таким образом наследственное модифицирование в сравнении с традиционным примесным является более управляемым, универсальным и экологически более безопасным с достаточно продолжительной технологической живучестью.

Такие структурированные модифицирующие добавки могут быть изготовлены методами кокильного литья с интенсивным охлаждением, струйного формирования, закалки из жидкого состояния.

### Размер зерна сталей в зависимости от количества введенной дисперсно-структурированной добавки

Марка стали	Количество добавок, %мас.		
	0	10	20
45Л	0	$\frac{4}{7}$	$\frac{6}{8}$
Р6М5Л	5	$\frac{8}{9}$	$\frac{9}{10}$

**Примечание:** над чертой –  $V_{окл}$  добавки при кристаллизации 350 °С/с; под чертой –  $V_{окл}$  добавки при кристаллизации 650 °С/с



### Список литературы

1. Гаврилин И. В. Строение жидкой и твердой фаз в литейных сплавах в твердожидком состоянии // *Металлургия машиностроения*. – 2003. – № 6. – С. 9-11.
2. Губенко А. Я. Влияние исходного структурного состояния расплава на свойства сплавов // *Литейн. пр-во*. – 1991. – № 4. – С. 19-20.