

УДК 621.74.002.6:669.131.7

Л.Х.Иванова, Е.В.Колотило, И.В.Ивонин

## **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ВАЛКОВ ИЗ КОМПЛЕКСНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЧУГУНОВ**

### **Введение**

В данной работе представлены результаты серии экспериментов, посвященные разработке технологии литья валков нового типа из чугуна с вермикулярным графитом.

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами**

Комплексное легирование и модифицирование чугунов являются эффективными способами повышения механических и эксплуатационных свойств отливок. Ежегодно в Украине производится около 1 млн. т чугунных отливок, и только 5...6% от их выпуска из высокопрочных чугунов, что существенно меньше, чем в мировом выпуске таких отливок (30...60%). Особенно влиятельным это является для вальцелитейного производства как основного производителя чугунных отливок.

В основе технологии литья прокатных валков лежит следующее: получение отливок с твердым, износо- и термостойким рабочим слоем и высокопрочной сердцевиной. Это требование и в настоящее время является основным при оценке качества литых валков. В настоящее время нормативно-технической документацией на чугунные прокатные валки [1] изготовление их из чугуна с вермикулярным графитом (ЧВГ) не предусматривается.

### **Анализ публикаций**

Впервые в отечественной литературе термин «вермикулярный графит» был введен в 1967 г. в работе [2]. ВГ образуется в чугунах, содержащих около 0,01% магния и небольшие концентрации церия. Область концентрации модификаторов, обеспечивающих получение ВГ, расширяются при добавках 0,3% титана. Аналогичным образом действуют добавки алюминия и циркония. ЧВГ имеет предел прочности при растяжении от 300 до 500 МПа, относительное

удлинение от 2 до 6% и модуль упругости около 145000 МПа. В связи с более высокой демпфирующей способностью ЧВГ рекомендуется применять зачастую вместо чугуна с шаровидным графитом (ЧШГ).

ЧВГ известен с момента открытия ЧШГ (1948 г.). В качестве конструкционного материала ЧВГ предложили использовать авторы [3], а четкую классификацию понятия вермикулярного графита дал Шеленг (Shelleng R.D.) в 1967 г. [4]. От момента открытия ЧВГ до настоящего времени интерес к этому материалу значительно возрос причем, как к технологии его получения, так и к применению в различных областях промышленности. В частности, в работе [5] была показана перспективность применения комплексных модификаторов (КМ) на основе редкоземельных металлов (РЗМ) для литья прокатных валков из ЧВГ. К преимуществам ЧВГ [6] в сравнении с чугуном с пластинчатым графитом (ЧПГ) следует отнести: более высокую прочность без применения дорогих легирующих добавок; более высокую пластичность и вязкость и обусловленное этим высокое сопротивление разрушению; более низкую склонность к окислению и росту в случае использования при высоких температурах.

В настоящее время вопросы теории и практики производства и применения отливок из ЧВГ очень широко освещены как в отечественной, так и в зарубежной научно-технической литературе [6-12]. Показано, например [6], что для получения таких чугунов применяют обработку расплавов недостаточными для сфероидизации графита количествами магния или КМ на его основе, обработку КМ различных составов. В этих работах приведены количественные и температурные параметры обработки расплавов. Так, в работе [7] был предложен следующий способ получения ЧВГ: одновременное введение в расплав лигатуры ФСМг5 и ферротитана марки ФТи65 или последовательное – ФТи65 в печь расплавления, а ФСМг5 – в печь выдержки. Авторами [8] отмечается, что самостоятельными направлениями работ по технологии получения ЧВГ являются применение РЗМ на основе церия, мишметалла, ферроцерия, КМ типа железо-кремний-РЗМ или железо-кремний-иттрий-мишметалл. Эти направления получили развитие в СНГ, Японии, Германии и Франции. Авторы [9] показали, что при выплавке ЧВГ можно применять до 30% возврата чугуна с компактным графитом,

что не рекомендуется при выплавке ЧШГ с высокой пластичностью и вязкостью. В ряде работ приведены результаты исследования влияния формы графитных включений на физико-механические и эксплуатационные свойства чугунов, в том числе при высоких температурах. Например, в работе [10] на основании лабораторных исследований показано, что ЧВГ имеет в два раза большую термостойкость, чем ЧШГ, и в шесть раз большую, чем ЧПГ, что объясняется его большей теплопроводностью, меньшим уровнем термонапряжений, меньшей скоростью распространения трещин. Исследовано также влияние различных модификаторов на механические свойства чугунов. Так, применение ЧВГ взамен чугуна марки СЧ20 ГОСТ 1412-85 увеличивает срок службы отливок блока цилиндров и картера перемены передач в 1,5-1,7 раза, что объясняется в 1,7-2 раза большей статической прочностью ЧВГ. Однозначно во всех работах показано, что по уровню механических и теплофизических свойств ЧВГ приближается к ЧШГ. В некоторых немногочисленных работах [11,12] авторы отмечают целесообразность использования ЧВГ для отливок большой массы.

Таким образом, проанализировав состояние вопроса о производстве ЧВГ можно сделать вывод: сочетание высоких показателей механических с высокими теплофизическими характеристиками открывает широкие возможности применения ЧВГ для производства прокатных валков, работающих в условиях высоких циклических нагрузок и термосмен.

Результаты исследований. Поскольку ЧВГ занимает промежуточное положение между ЧШГ и ЧПГ, опытные плавки проводили, с одной стороны для замены валков исполнения СШХН, а с другой - СПХН и ЛП. Целью исследований была разработка способа модифицирования расплавов для литья прокатных валков новых исполнений - СВХН и ЛВ.

По существующей в вальцелитейном производстве технологии при изготовлении прокатных валков исполнения СШХН металл плавят в мартеновских, отражательных или индукционных печах. При температуре 1673-1723К весь металл выпускают в заливочный ковш, из которого отливают 7-10 т металла в дополнительный ковш. Заливочный ковш передают на стенд для удаления шлака, после чего устанавливают в специальную камеру и при достижении необходимой

температуры металл обрабатывают металлическим магнием, загруженным в баллоны-испарители в количестве, рассчитанном на металл всей плавки. После окончания процесса модифицирования осуществляют перелив металла из дополнительного ковша в заливочный, повторное удаление шлака и при достижении температуры 1573-1603К производят заливку литейных форм, во время которой осуществляют вторичное модифицирование ферросилицием.

По разработанной нами технологии после доводки металла по химическому составу и при достижении температуры 1673...1683К весь металл выпускают в подогретый ковш с загруженным в него необходимым количеством КМ. После выпуска металла заливочный ковш передают на стенд для удаления шлака и при достижении температуры 1613...1623К производят заливку валковых форм. Очевидно, что применение КМ позволяет значительно упростить технологию получения больших масс расплавов, сократить время от выпуска металла из плавильного агрегата до заливки литейных форм, а значит уменьшить число крановых операций (экономия электроэнергии) и устранить необходимость в дополнительном ковше, баллонах-испарителях, камере для модифицирования.

С целью отработки технологического процесса литья в условиях вальцелитейного цеха были отлиты три опытно-промышленные партии прокатных валков с использованием для обработки расплавов модифицирующей смеси, состоящей из двух лигатур: КМ-1 (ФС30РЗМ30) и КМ-2 (ФС15Т20М25РЗМ10) в соотношении 1:3. В качестве лигатуры КМ-2 использовали специально рассчитанную механическую смесь. Суммарное количество лигатур было в пределах 1,8-2,5% от массы расплава. Обе лигатуры имели фракцию 60-80 мм. Лигатуры загружали на дно подогретого до 673-773К заливочного ковша. Порядок загрузки лигатур в заливочный ковш был следующим: сначала лигатура КМ-1, затем - КМ-2. Для сопоставительного анализа провели также исследования валков-представителей текущего производства – исполнений СШХН-47, СШХН-60 и ЛП-58.

Рабочий слой валка текущего производства исполнения СШХН-47 имел структуру, состоящую из графита шаровидной и компактной форм, перлита и цементита. Дисперсность перлита соответствовала

баллу ПД1,0 и ПД0,5. В опытном валке исполнения СВХН-47 комплексная обработка обеспечила получение ВГ при небольшом количестве включений компактной формы. Количество цементита, графита и дисперсность перлита в чугуне валков текущего производства и опытной партии были приблизительно одинаковыми, однако количество других компонентов структуры отличалось: феррита в чугуне опытного валка практически не было, а перлита - на 7...11% больше, чем в чугуне валка текущего производства. Микротвердость цементита в чугуне рабочего слоя опытного валка была на 8% выше.

Структура чугуна рабочего слоя валка-представителя текущего производства исполнения СПХН-60 состояла из перлитной матрицы и небольших количеств графита и феррита, а также карбидов и ледебуритной эвтектики сотового строения. Перлит имел дисперсность ПД0,5, графитные включения характеризовались баллами ПГф2 и ПГф3. В чугуне рабочего слоя валка-представителя исполнения СВХН-60 опытной партии, отлитого из расплава с пониженным содержанием никеля и обработанного МС из КМ-1 и КМ-2, перлит имел дисперсность ПД0,5 и ПД1,0. Графитные включения имели, в основном, вермикулярную форму, частично мелко пластинчатую. Микротвердость цементита и перлита в валке текущего производства была выше.

На расстоянии 10 мм от поверхности валок из чугуна исполнения ЛП-58 имел структуру доэвтектического чугуна, в расположении структурных составляющих наблюдалась столбчатость. С удалением от рабочей поверхности структура грубела, появлялись графитные включения формы ПГф2, снижалось количество цементита. Чугун рабочего слоя валка исполнения ЛВ-58 опытной партии имел сходную с валком текущего производства структуру, отличие состояло в несколько большем количестве перлита (на 7...9%) и меньшем - феррита (на 15...19%).

Таким образом, оптимальной структурой чугуна рабочего слоя валков из ЧВГ следует считать структуру половинчатого чугуна с перлитной металлической основой, карбидной фазой с минимальным количеством ледебурита сотового типа и небольшим количеством графитных включений вермикулярной формы и специальных карбидов.

Проведенные испытания механических свойств чугуна валков показали, что более высокие прочностные свойства по сравнению с валками текущего производства имели опытные валки исполнений СВХН-60 и ЛВ-58 (табл.). В группе 1 валки текущего производства и опытные имели приблизительно одинаковые прочностные свойства, а твердость в опытном валке была на 11...15% выше.

Таблица

## Результаты исследования свойств материала прокатных валков

Группа валков	Исполнение валков	Расстояние от поверхности вглубь бочки валка, мм	Свойства		
			$\sigma_B^{\text{изг}}$ , МПа	$\sigma_B^p$ , МПа	НВ
1	СПХН-47	10	340	315	445
		30	320	325	450
	СВХН-47	10	380	305	440
		30	370	320	445
2	СПХН-60	10	430	280	405
		30	405	290	415
	СВХН-60	10	415	310	450
		30	400	310	435
3	ЛП-58	10	400	190	305
		30	365	200	315
	ЛВ-58	10	390	200	320
		30	370	205	330

Результаты проведенных исследований показали, что перспективной является замена валков исполнений СПХН-47 на СВХН-47, а СПХН-60 и ЛП-58 на СВХН-60 и ЛВ-58, то есть из ЧВГ.

Опытная партия валков нового типа СВХН-47 в количестве 35 шт. в условиях Днепропетровского металлургического завода им. Петровского в стане 550-2 показала повышение стойкости на 12-55%.

**Выводы**

Научно обоснованы технологии литья прокатных валков из чугуна с вермикулярным графитом с повышенными эксплуатационными характеристиками. Установлены закономерности получения чугуна с вермикулярным графитом для литья прокатных валков разных исполнений. Применение разработанного технологического процесса позволило уменьшить расход модифицирующих и легирующих элементов и повысить эксплуатационные характеристики валков на прокатных станах.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. ТУ У27.1-26524137-1291:2007. Валки чавунні для гарячого прокатування металів.- На заміну ТУ У 27.1-00190319-1291-2002; Чинний з 01.02.2008.- Х., 2007. - 29 с.



2. Белай Г.Е. Исследование влияния модифицирования на кристаллизацию чугуна, структуру и свойства листопрокатных валков: Автореф. дис. ... кандидата техн. наук: 05.323/ Днепропетр. металлург. ин-т.- Д., 1967.- 23 с.
1. 3.Estes I.W., Schneidewind R. New high strength cast irons, produced by injections methods // AFS Transaction.- 1955.- Vol.63.- P. 541-542.
3. Shelleng R.D. Effect of certain elements on the form of graphite in cast iron// AFS Cast Met. Res. J.- 1967.- Vol.3, №1.- P. 30-38.
4. Прокатные валки из модифицированного чугуна с вермикулярным графитом / Е.В.Колотило, О.П.Кондратьев, И.И.Ануфриев, И.Г.Ермолин // Совершенствование технологических процессов литья в мелкосерийном и единичном производстве: Науч.-техн. конф. литейщиков Урала. - Пермь, 1980.- С. 18-19.
5. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом / Э.В.Захарченко, Ю.Н.Левченко, В.Г.Горбенко, П.А.Вареник.-К.: Наук. думка, 1986.-248 с.
6. Чугун с вермикулярным графитом для корпусных деталей двигателей / Н.И.Бех, В.И.Литовка, Н.Г.Руденко и др. // Автомобильная промышленность.-1985.-№ 4.-С. 26-27.
7. Riposan J., Sofroni L. Fonta cu graphit vermicular.- Bucuresti, 1984.- 335 s.
8. Жуков А.А. “Литые металлы” – второй год издания международного журнала // Литейное производство. -1990.-№ 6.- С. 34-36.
9. Бондаренко С.И., Зайденберг А.М., Дахно М.Ю. Повышение термостойкости чугунных дизельных отливок // Литейное производство. - 1990.-№3.-С.5-6.
10. Андреев В.В., Ильичева Л.В. Структура и свойства чугуна с вермикулярным графитом в толстостенных отливках // Литейное производство. - 1982. - № 9.- С. 10-12.
11. Колотило Е.В., Иванова Л.Х. Чугун с вермикулярным графитом – перспективный материал для прокатных валков // Литейное производство.-1989.- №6.- С.3-4.