

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛЕГИРОВАННОГО  
ЧУГУНА ОЦЕНКОЙ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА  
СПЕЦИАЛЬНОЙ ПРОБЕ И В РАБОЧЕМ СЛОЕ  
ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ**

**Скобло Т.С., д.т.н., проф.; Власовец В.М., к.т.н.**

*Харьковский национальный технический университет сельского  
хозяйства имени Петра Василенко*

**Соколов Р.Г., аспирант**

*Лутугинский государственный научно - производственный валковый  
комбинат*

*Выполнена оценка ошибки при определении химического состава  
рабочего слоя прокатных валков на литой пробе, кольце и традиционным  
методом. Даны рекомендации по улучшению достоверности контроля*

**Актуальность.** Оценка химического состава, выполненная на специальной литой пробе, которую осуществляют как для оперативного контроля, так и текущего в процессе плавки для корректировки содержания компонентов, структуры и свойств, является важным инструментом производственника [1,2]. Вместе с тем неизвестно, как литые пробы соответствуют готовому массивному изделию, такому, как прокатный валок, имеющий массу 7-20 т.

**Целью работы** является проведение статистических исследований по определению общих показателей качества литой пробы и прокатного валка для повышения достоверности прогнозирования свойств. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить статистические исследования по оценке химического состава литой пробы и непосредственно на валках листовых станков, отлитых стационарным методами;
- определить наиболее достоверные результаты оценки химического состава и дать рекомендации по их использованию;
- оценить возможность прогнозирования твердости валков и их структуры по литой поверхности.

**Экспериментальные исследования.** При проведении сопоставительных исследований оценивали свойства на литой пробе Ø25 мм в различных её зонах и на кольцах, вырезанных непосредственно из прокатного валка из нижней и верхней частей бочки на расстоянии 5, 10, 15, 20 и

25 мм от литой поверхности.

Оценивали содержание элементов, структуру металла, твердость и долю остаточного аустенита.

Состав сплавов определяли химическим и спектральным методами.

Исследование микроструктуры проводили на микрошлифах после подготовки поверхности, на металлографическом микроскопе МИМ-8М и переносном ТКМ при увеличении  $\times 100$ . Анализируемые поверхности травили 4%-ным раствором азотной кислоты ( $HNO_3$ ) в этиловом спирте (ГОСТ 5639).

Содержание остаточного аустенита оценивали прибором МА-52, а твердость определяли по Шору.

Сравнение структуры и свойств производили на пробе, отлитой непосредственно перед заливкой валка. Анализировали отлитые стационарным методом валки ЛПХНМд-65  $\varnothing 990$  мм, длиной 3453 мм и ЛПХНд-63  $\varnothing 1030$  мм, длиной 3600 мм.

Уровень свойств литых массивных изделий во многом определяется химическим составом. Поэтому провели комплексное исследование по оценке достоверности контроля химического состава с учетом концентрации основных элементов, содержащихся в чугуне (табл. 1).

Углерод относится к элементам, расширяющим  $\gamma$ -область. Увеличение концентрации углерода приводит к росту количества карбидной фазы. В случае легирования карбидообразующими элементами (*Cr*, *Mo*), углерод ликвует в места повышенной концентрации таких добавок.

Подвижность углерода снижается, так как связь его атомов с легирующими элементами сильнее, чем с атомами железа. Если сплав легирован некарбидообразующими элементами (*Si*, *Mn*, *Ni*), то вследствие уменьшения сил связи с атомами решетки углерод вытесняется из более легированных микрообъемов в менее легированные.

Оценка содержания углерода по кольцу дает нестабильные результаты – разбег в показаниях достигает 7,85%. Литая проба позволяет более точно оценивать концентрацию этого элемента – колебания в показаниях не превышают 0,74%.

Отмечена тенденция, в соответствии с которой при увеличении содержания углерода колебания в его концентрации несколько смещаются в сторону отрицательных значений (в среднем на 0,13% при изменении содержания на 0,01%). Отмечено увеличение содержания углерода (ликвация) по глубине рабочего слоя (5-25 мм) для валков исполнения ЛПХНМд-65, что составляет 0,23-3,77%, а для ЛПХНд-63 - 0,6-2,1% на каждые 5 мм глубины.

Таблица 1. Химический состав рабочего слоя исследованных валков

Условный №валка	Обозначение	Содержание элементов, %							
		<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>
Исполнение ЛПХНМд-65									
1	Окончат. состав	2,7	0,37	0,59	0,52	0,053	0,78	3,19	0,25
	Проба	2,7	0,38	0,58	0,5	0,054	0,77	3,2	0,26
	Кольцо	2,91	0,36	0,57	0,54	0,06	0,81	3,10	0,25
	Отклон, проба,%	0	2,70	1,69	3,85	1,89	1,28	0,31	4,00
	Отклон, кольцо,%	7,85	-2,91	-3,81	3,75	21,23	3,53	-2,68	-0,08
2	Окончат. состав	2,72	0,35	0,58	0,5	0,052	0,75	3,14	0,260
	Проба	2,72	0,36	0,58	0,5	0,054	0,75	3,12	0,250
	Кольцо	2,70	0,36	0,56	0,50	0,05	0,75	3,09	0,24
	Отклон, проба,%	0	2,86	0	0	3,85	0	-0,64	-3,85
	Отклон, кольцо,%	-0,86	3,09	-3,62	-0,05	5,38	0,27	1,53	-6,37
3	Окончат. состав	2,72	0,39	0,6	0,5	0,055	0,77	3,16	0,24
	Проба	2,72	0,39	0,59	0,51	0,057	0,77	3,18	0,24
	Кольцо	2,74	0,39	0,55	0,46	0,06	0,77	3,11	0,24
	Отклон, проба,%	0	0	-1,67	2,00	3,64	0	0,63	0
	Отклон, кольцо,%	0,81	1,15	-8,06	-8,74	0,79	-0,43	-1,47	-1,79
4	Окончат. состав	2,72	0,38	0,56	0,49	0,05	0,75	3,23	0,23
	Проба	2,7	0,37	0,57	0,51	0,054	0,75	3,26	0,23
	Кольцо	2,83	0,37	0,53	0,51	0,06	0,79	3,11	0,22
	Отклон, проба,%	-0,74	-2,63	1,79	4,08	8	0	0,93	0
	Отклон, кольцо,%	4,17	-2,70	-4,52	4,83	11,87	5,87	-3,75	-5,83
5	Окончат. состав	2,74	0,36	0,58	0,48	0,046	0,76	3,25	0,23
	Проба	2,74	0,36	0,59	0,5	0,044	0,76	3,26	0,23
	Кольцо	2,74	0,36	0,55	0,51	0,05	0,76	3,24	0,23
	Отклон, проба,%	0	0	1,72	4,17	-4,35	0	0,31	0
	Отклон, кольцо,%	-0,17	0,31	-5,17	6,18	3,33	0,44	-0,32	-0,70
Исполнение ЛПХНД-63									
6	Окончат. состав	2,74	0,40	0,58	0,53	0,064	0,79	3,00	-
	Проба	2,75	0,40	0,58	0,52	0,062	0,80	3,01	-
	Кольцо	2,69	0,40	0,54	0,54	0,06	0,78	2,97	-
	Отклон, проба,%	0,36	0	0	-1,89	-3,13	1,27	0,33	-
	Отклон, кольцо,%	-1,75	0,14	-6,72	1,13	-1,25	-1,71	-1,12	-
7	Окончат. состав	2,79	0,39	0,59	0,50	0,058	0,77	2,89	-
	Проба	2,78	0,39	0,59	0,50	0,055	0,77	2,90	-
	Кольцо	2,99	0,38	0,57	0,59	0,06	0,80	2,81	-
	Отклон, проба,%	-0,36	0	0	0	-5,17	0	0,35	-
	Отклон, кольцо,%	7,17	-2,56	-3,39	18,0	3,45	3,90	-2,77	-
8	Окончат. состав	2,82	0,36	0,61	0,51	0,046	0,78	2,90	-
	Проба	2,80	0,36	0,62	0,52	0,047	0,78	2,91	-
	Кольцо	2,86	0,38	0,57	0,49	0,05	0,79	2,83	-
	Отклон, проба,%	-0,71	0	1,64	1,96	2,17	0	0,34	-
	Отклон, кольцо,%	1,42	5,56	6,56	3,92	8,70	1,28	-2,41	-

Примечание. Валки исполнения ЛПХНМд-65 и ЛПХНД-63 имеют размеры Ø990 мм, длину 3453 мм и Ø1030 мм, длину 3600 мм.

Кремний повышает точки  $A_3$  и  $A_1$ . Незначительно изменяет характер превращений; несколько повышает устойчивость аустенита в перлитной и особенно в средней области; понижает чувствительность к закалке. Литая проба обеспечивает меньшее отклонение при определении содержания кремния – не более 2,56% (определение на кольце увеличивает отклонения до 5,56%). Для кремния также характерна тенденция смещения ошибки в сторону отрицательных значений при увеличении его концентрации (в среднем на 0,84% при изменении концентрации кремния на 0,01%). Учитывая малое содержание этого элемента в хромоникелевом чугуна (0,36-0,39%), изменение концентрации по глубине оценить не удалось.

Марганец понижает точки  $A_3$  и  $A_1$ . Каждый процент марганца понижает концентрацию углерода в перлите на 0,05-0,06%. Способствует легированию феррита, измельчению перлита, торможению процесса графитизации, образованию свободных карбидов и некоторому улучшению формы пластинчатого графита. В исследованных чугунах его концентрация изменялась в пределах 0,53-0,62%. Оценка содержания марганца по кольцу дает большой разброс значений, который достигает 8,06%. Литая проба позволяет более точно оценивать концентрацию этого элемента – разброс значений не превышает 1,79%. Отмечена тенденция, в соответствии с которой при увеличении содержания марганца разброс показаний устойчиво смещается в сторону отрицательных значений (в среднем на 0,58-0,67% при изменении концентрации кремния на 0,01%). С увеличением глубины рабочего слоя концентрация марганца несколько повышается.

Фосфор образует твердую, но хрупкую фосфидную эвтектику с температурой плавления 980°C. Ее наличие в виде изолированных включений желательно в случаях, когда требуется повысить износостойкость чугуна. Фосфор, увеличивая твердость, повышает хрупкость чугуна. Улучшая жидкотекучесть и уменьшая рыхлость, способствует снижению усадки и увеличению предсудочного расширения. Наиболее достоверные оценки содержания фосфора в чугунах дают измерения на литой пробе - ошибка измерений не превышает 4,17%, в то же время на кольце она достигает 18%. Из-за ликвации этого компонента при увеличении концентрации фосфора с 0,49-0,53 ошибка возрастает. Несколько повышенная концентрация фосфора отмечена на глубине 15-20 мм, в среднем на 5-7% выше, чем на глубине 5-10 мм и 25 мм.

Достаточно узкий интервал изменения концентрации серы в исследованном чугунах и низкий её уровень (0,05-0,06%) способствуют большим погрешностям в её определении - до 8% на литой пробе и до 21,2% на кольце. По глубине концентрации серы не изменяется.

Хром при небольших концентрациях снижает точку  $A_3$ . В хромоникелевом чугунах содержание хрома ограничено 0,75-0,83%. Литая проба обеспечивает меньшую ошибку при определении содержания хрома – не более 1,28% (определение на кольце увеличивает ошибку до 5,87%). Отмечено увеличение содержания хрома по глубине рабочего слоя (5-25 мм) для валков исполнения

ЛПХНМд-65 на 0,4-2,6%, а для ЛПХНд-63 на 0,8-1,3% на каждые 5 мм.

Никель понижает точки  $A_3$  и  $A_1$ . Повышает устойчивость аустенита выше  $600^\circ\text{C}$ . При содержании 4-5% ниже  $600^\circ\text{C}$  выявляются характерные особенности кинетики промежуточного превращения. Никель понижает температуру мартенситного превращения, снижает критическую скорость закалки, увеличивает дисперсность карбидов. В присутствии хрома никель оказывает двоякое влияние: а) снижает критическую скорость охлаждения аустенита, вследствие чего при комнатной температуре достигается мартенсито-аустенитная или даже аустенитная структура; б) расширяет  $\gamma$ -область и сужает при высоких температурах  $\alpha$ -область, в результате чего уменьшается количество феррита. Положительное влияние никеля проявляется в повышении вязкости и уменьшении склонности к перегреву и росту зерна. В исследованных чугунах концентрация никеля изменяется в пределах 3,09-3,26%. Литая проба позволяет несколько точнее оценивать концентрацию этого элемента – ошибка не превышает 0,93%, а для кольца ликвация возрастает в 4 раза. Отмечено снижение содержания никеля по глубине рабочего слоя (5-25 мм) для валков исполнения ЛПХНМд-65 на 0,42-1,07%, а для ЛПХНд-63 на 0,22-0,36% на каждые 5 мм.

Молибден повышает точки  $A_3$  и  $A_1$ . Это сильный карбидообразующий элемент, обеспечивает равномерную и мелкозернистую структуру; значительно повышает устойчивость аустенита в перлитной области и сравнительно мало изменяет ее в средней области; увеличивает межпластинчатое расстояние в перлите; повышает точку мартенситного превращения; уменьшает чувствительность сплава к перегреву. В исследованных чугунах валков исполнения ЛПХНМд-65 его концентрация составила 0,22-0,26. Отличия в ошибке определения содержания молибдена в чугуне литой пробы от кольца незначительные и составляют 4% и 6,37% соответственно. Ликвации молибдена по глубине рабочего слоя не отмечено.

Твердость рабочего слоя исследованных валков изменялась в пределах 63-67 HS для исполнения ЛПХНМд-65 и 63-66 HS – для ЛПХНд-63. Структура литой пробы существенно отличается от структуры рабочего слоя валка, что не позволило спрогнозировать по ней твердость и долю остаточного аустенита.

Для валков с пониженной твердостью характерно большое количество неметаллических включений рис. 1, а, в. Графит ШГф4 диаметром до 20 мкм. С увеличением глубины наблюдаются отдельные включения вермикулярного графита ВГф1 в количестве 1-2 в поле зрения, также наблюдается распад графитных включений. Зерно мелкое. С глубиной значительно увеличивается. С поверхности наблюдаются участки с повышенным содержанием темной фазы. Есть участки с повышенным содержанием цементита. Микроструктура достаточно однородная и представляет собой троостит, перлит по краю зерен. По краям некоторых зёрен наблюдается ферритная оторочка, цементит - 30-35%.

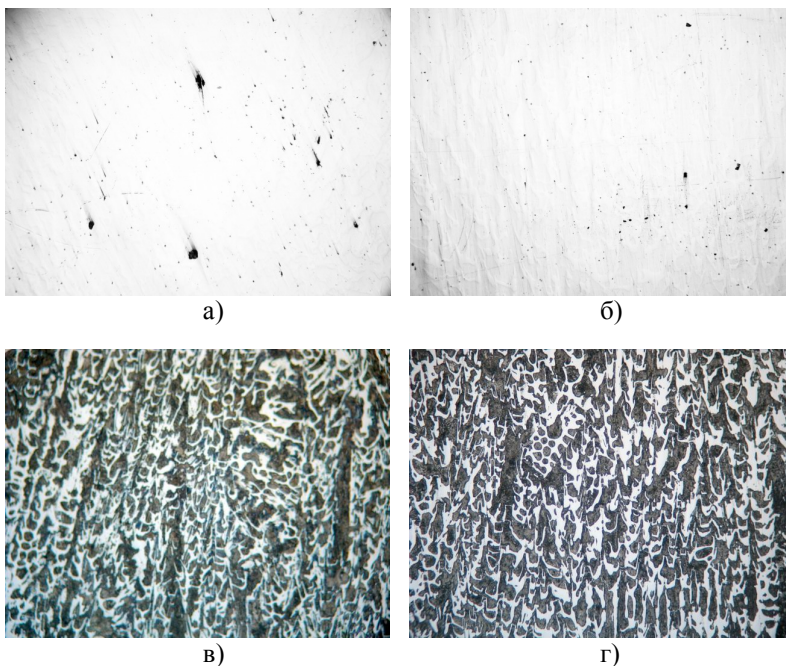


Рис. 1. Микроструктура рабочего слоя исследованного чугуна с пониженной (а,в) - 64 HS и повышенной (б,г) - 67 HS твердостью на глубине 5 мм; в, г – травлено 4%-ным раствором  $\text{HNO}_3$ .  $\times 100$

Для валков с повышенной твердостью характерно наличие незначительного количества неметаллических включений. С поверхности отдельные включения графита ШГд15. С глубины 13мм появляются включения распавшегося ШГф4 размером до 40мкм. С глубиной количество и размер графита увеличиваются. На глубине более 25мм весь графит имеет форму ВГф3. Зерно среднее, с глубиной значительно увеличивается. Наблюдается четкая дендритная структура. С поверхности встречаются участки с повышенным содержанием тёмной составляющей (сильно травящийся троостит). С поверхности зерно направлено в сторону отвода тепла при кристаллизации. Микроструктура: троостито-перлитная, наблюдаются участки ледебуритной эвтектики, на глубине – отдельные участки бейнита. Цементит до 40%.

Сравнением содержания остаточного аустенита после окончательного определения химического состава и на литой пробе установлено, что для валков с повышенной концентрацией никеля после ускоренной кристаллизации его доля составляет 5-6%. Такое количество характерно для рабочего слоя исполнения ЛПХНМд-65. Для чугуна без молибдена коли-

чество остаточного аустенита постоянное и не превышает 2%. Структура литой пробы и валка существенно отличаются.

**Выводы.** Установлено, что химический состав литой пробы дает полную информацию о концентрации элементов и может с высокой степенью достоверности характеризовать среднее их содержание. В то же время оценка по кольцу позволяет оценить степень ликвации элементов по глубине рабочего слоя валка.

Структура литой пробы существенно отличается от структуры рабочего слоя валка и не позволяет прогнозировать структуру материала, твердость и долю остаточного аустенита.

#### **Список использованных источников**

1. Rajagopal Vathsala, Iwasaki Iwao. Wear. Behaviors of Chromium-bearing cast iron in wet gripping // Wear / - 1992 / - Vol.154. №2. – P. 241-259.

2. Скобло Т.С., Будагьянц Н.А. и др. Прокатные валки из высокоуглеродистых сплавов. – М.:Металлургия, 1984. – 384 с.

#### **Анотація**

### **ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЕГОВАНОГО ЧАВУНУ ОЦІНЮВАННЯМ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ НА СПЕЦІАЛЬНІЙ ПРОБІ ТА РОБОЧОМУ ШАРУ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ**

**Скобло Т.С., Власовец В.М., Соколов Р.Г.**

*Виконано оцінювання похибки при визначенні хімічного складу робочого шару прокатних валків на литій пробі, кільці, та традиційним методом. Надані рекомендації щодо покращення достовірності контролю.*

#### **Abstract**

### **PROGNOSTICATION OF PROPERTIES OF THE ALLOYED CAST-IRON BY ESTIMATION OF CHEMICAL COMPOSITION ON THE SPECIAL TEST AND IN WORKING LAYER OF ROLLERS**

**T. Skoblo, V. Vlasovets, R. Sokolov**

*The evaluation of error is executed at determination of chemical composition of working layer of rollers on the poured test, sprat, and by a traditional method. Recommendations are given in relation to the improvement of control authenticity.*