

## ОЦЕНКА УРОВНЯ ТВЕРДОСТИ РАБОЧЕГО СЛОЯ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ.

Т.С. Скобло, Н.А. Будагьянц, В.И. Кондратенко, А.Д. Мартыненко, В.М. Вла-  
совец, Качалов К.В.

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства  
имени Петра Василенко) (Лутугинский государственный научно-  
производственный валковый комбинат)*

*Встановлена залежність коерцитивної сили від твердості робочого ша-  
ру прокатних валків з високохромистих сплавів. Виявлено механізм впливу молиб-  
бдену на властивості високохромистого сплаву в умовах кристалізації робочо-  
го шару при відцентровому литті*

**Вступление.** Повышение качества выпускаемой продукции неразрывно связано со стабильностью свойств изделий, которые достигаются регулированием структуры, уровнем физико-механических свойств и оптимизацией химического состава. В связи с этим важным представляется оценить уровень свойств прокатных валков на основе проведения экспресс анализа по коэрцитивной силе, а также оценить влияние на высокохромистые сплавы молибдена, находящего все большее применение при производстве прокатных валков.

**Цель исследований.** Целью исследований является разработка методики экспресс оценки качества валков с рабочим слоем из высокохромистого чугуна на основе неразрушающего контроля качества, а также повышение уровня их прочностных свойств за счет легирования молибденом.

**Методика исследований.** Анализировали валки с рабочим слоем из высокохромистого чугуна и различным содержанием молибдена. В рабочем слое исследуемых валков содержание химических элементов находилось в пределах.

Таблица 1. Химический состав рабочего слоя валков

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Ti	Mg
2,57-	0,37-	0,27-	0,054-	0,018-	11,2-	0,99-	0,84-	до	0,05-	до	до
2,92	1,18	1,22	0,107	0,031	16,8	3,98	1,32	0,24	0,53	0,09	0,04

Исследовали пробы, отобранные в различные периоды производства таких валков. Концентрация молибдена находилась в пределах от 0,84 до 1,32%. Одновременно отлитые валки с различным содержанием молибдена сопоставляли со сплавами без его содержания [1].

При металлографическом исследовании структуры высокохромистых сплавов использовали методику количественной оценки фазового состава, разработанной в ХНТУСХ [2].

В качестве травящего вещества применяли 4%-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте. Образцы погружали в травящий реактив, причем соотношение объемов реактива и образца при его погружении выбирали в пределах 1,5-2,5. Поверхность образцов перед травлением активировали кратковременной полировкой и промыванием спиртом. Продолжительность травления установленная опытным путем составила 1,5-2 секунды. Выявление структуры контролировали с помощью микроскопа МИМ-7 и приставки с цифровой фотокамерой НР 720. Обработку снимков выполняли с использованием программных средств цифровой обработки данных растровых изображений.

Определение остаточных напряжений и их распределение при производстве и в процессе эксплуатации проводили с помощью коэрцитиметра КРМ-Ц. Использовалась также его модификация с уменьшенным размером приставного электромагнита и увеличенной чувствительностью (глубина намагничивания 10-15 мм).

Исследования влияния циклов термической обработки на уровень остаточных напряжений проводили в интервале температур до 500°C.

Коэрцитивную силу и твердость (HS и HRC) измеряли как на образцах, так и на поверхности бочек валков на ЛГНПВК по ее длине и периметру бочки.

Для определения структуры и фазового состава металла помимо металлографического метода использовал микрорентгеноспектральный (РЭММА-101А) и карбидный анализы. Оценку микротвердости выполнили на микротвердомере ПМТ-3.

**Решение задачи.** Выполнены сопоставительные исследования валков с различным содержанием химических элементов (см. табл. 1).

Наибольшее влияние на долю формируемого остаточного аустенита оказывают углерод, хром, никель и молибден. В исследуемых сплавах концентрация углерода изменялась в пределах от 2,57 до 2,92. При этом наибольшее число валков изготовлено с содержанием углерода до 2,8%. Такая небольшая разница в концентрации этого элемента существенно не влияет на свойства рабочего слоя.

Хром и никель не только увеличивают долю остаточного аустенита, но и стабилизируют его, т.е. снижают склонность к распаду при его термической обработке. Доля этих компонентов изменялась в пределах 11,2-18,8% и 0,99-3,98% соответственно. Изменить ситуацию и увеличить склонность к распаду аустенита возможно при введении молибдена. Концентрация этого элемента изменялась в пределах 0,84-1,32%.

Твердость рабочего слоя исследуемых валков до термической обработки находилась в пределах 56-72HS, а после – составляла 57-78HS.

Из приведенных данных (см. табл. 2) видно, что в металле валка №1 помимо троостита, цементита и нетравящихся фаз (аустенит + мартенсит) основную долю матрицы составляет перлит (рис. 1), что и определяет его наиболее низкий уровень свойств (табл. 3) – твердости, прочности и коэрцитивной силы. Металл этого валка по содержанию компонентов ничем не отличается от остальных.

Для исследуемых валков было определено соотношение фаз табл.2.

Таблица 2. Соотношение фаз в рабочем слое исследованных валков

№, п/п	Доля структурных составляющих, %			
	троостит	перлит	цементит	нетравящаяся фаза (аустенит+мартенсит)
1	23,0	45	18,0	14,0
21	18,0	-	29,0	53,0
3	19,0	-	22,5	58,5
4	29,4	-	18,0	52,6
5	56,7	-	12,0	31,3
6	33,8	-	20,25	45,95

Примечание: 1. Валок 2 исследован до термической обработки.

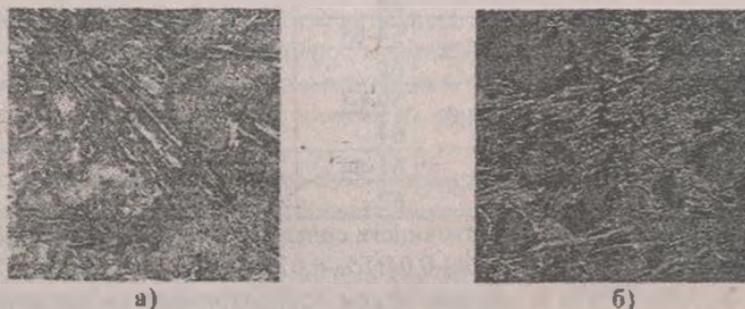


Рис. 1 Микроструктура рабочего слоя валка из высокохромистого чугуна с низким уровнем прочностных свойств ( $\delta_{\text{в}} = 708 \text{ МПа}$ ,  $\delta_{\text{сж}} = 2360 \text{ МПа}$ ),  $\times 100$ : а – до травления, б – после травления 4%-ным раствором азотной кислоты

Наиболее высокие значения прочностных характеристик и коэрцитивной силы соответствуют валкам, у которых доля нетравящихся фаз (мартенсит + остаточный аустенит) более 50%. Характерные фотографии микроструктур приведены на рис. 2.

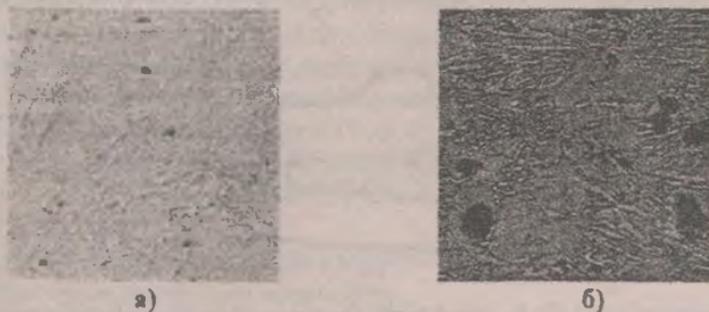


Рис. 2. Микроструктура рабочего слоя валков из высокохромистого чугуна с высоким уровнем прочностных свойств ( $\delta_{\text{в}} = 840-936 \text{ МПа}$ ,  $\delta_{\text{сж}} = 2800-3120 \text{ МПа}$ ),  $\times 100$ : а – до травления, б – после травления 4%-ным раствором азотной кислоты

Таблица 3. Свойства рабочего слоя исследованных валков

№, п/п	Степень эвтектичности сплава		Механические свойства					Козрцитивная сила, А/см (до т/о.)
			твёрдость			прочность после т/о		
			до т/о, HS	после т/о, HS	после т/о, HRC	δв, МПа	δсж, МПа	
1	2,82*	0,93**	61,0	59,0	<u>50-66</u> 58	708	2360	17,6
2***	2,91	0,98	70,0	-	<u>63-71</u> 68	840	2800	51,8
3	2,975	0,99	56,0	78,0	<u>66-69</u> 68	936	3120	46,4
4	2,945	0,97	65,0	65,0	<u>54-65</u> 60	780	2600	22,9
5	2,86	0,94	65,0	64,0	<u>59-64</u> 61	768	2560	22,7
6	2,98	0,99	63,0	63,0	<u>61-64</u> 62	756	2520	19,4

Примечание: Степень эвтектичности сплавов оценивали по формулам:

\* -  $S_3 = C\% / (4,25 - 0,3(Si\% + P\%) - 0,04Ni\% - 0,07Cr\%)$ ;

\*\* -  $S_3 = C\% + Si\% / 4$ . В исследованном концентрационном интервале степень эвтектичности, оцененная двумя методами, изменяется незначительно и не определяет уровень свойств.

\*\*\* свойства валка 2 приведены до термической обработки; козрцитивная сила замерена на образцах, отобранных от кольца верхней части бочки.

Можно предположить, что нетравящиеся зоны имеют особое строение: внутри располагаются участки мартенсита, а у краев, где концентрация углерода понижена, кристаллизуется остаточный аустенит. Схематически это представлено на рис. 3.

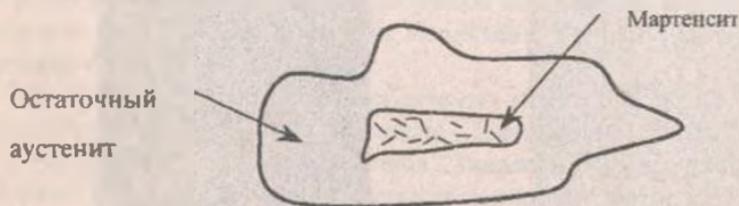


Рис. 3 Схематичное представление распределения фаз по нетравящимся зернам

Подтверждением такого предположения является следующее:

- неоднородная микротвердость по зерну;
- наличие очень слабого травления (выявление "ряби") по центру нетра-

вящегося зерна даже при длительном травлении, хотя другие структурные составляющие выявляются уже после 1,5с выдержки в кислоте;

- возможность существенного повышения твердости после термической обработки с 56HS до 78HS за счет частичного распада остаточного аустенита;

- большая однородность твердости при оценке её методом Роквелла.

Экспериментально установлено, что проведение низкотемпературной (450-500°C) циклической термообработки может существенно изменить твердость валков (после II – го цикла – 67,5HS, III - 50 HS, IV - 76 HS). Причем, чем большему числу циклов термообработки подвергается валок, тем однороднее его структура и твердость. После второго цикла термообработки твердость по длине бочки вала в четырех диаметрально противоположных измерениях колеблется в пределах 66-79 HS (4,74%), после третьего 50-52HS (1,15%), после четвертого 74-76HS (1,15%). Снижение твердости после третьего цикла термообработки можно объяснить снятием напряжений, а повышение после четвертого цикла – частичным распадом остаточного аустенита. Большой разброс значений твердости после второго цикла термообработки вероятно связан с неоднородностью нагрева валков при термической обработке или сокращением времени их прогрева (отклонения от технологической инструкции).

Для того, чтобы оценить влияние хрома, никеля и молибдена был выполнен микрорентгеноспектральный анализ, который позволил выявить механизм влияния молибдена.

Анализировали сплав следующего химического состава, %: 2,6C; 0,74Si; 0,9Mn; 0,07P; 0,04S; 16,8Cr; 1,26Ni; 1,28Mo; 0,03Mg.

О концентрации элементов в различных фазах сплава судили по полученным спектрам характеристического излучения. В различных типах карбидов концентрация компонентов существенно различалась. Она отличалась и по сечению зерна аустенита.

В карбидах цементитного типа количество растворенного хрома находится на уровне 10-13%, что соответствует литературным данным [1 - 3]. Концентрация марганца, никеля и молибдена в них не превышает 0,8-1,0%.

В специальном карбиде (Cr,Fe)7C3 концентрация хрома возрастает до 40,0% хотя доля железа остается более высокой, а концентрация никеля, молибдена и марганца соответствует карбидам цементитного типа.

Существенно повышается концентрация молибдена в спецкарбиде типа (Cr,Fe,Mo)23C6. Она изменяется от 4,80 до 15,0%. В этом карбиде доля железа в ряде случаев ниже концентрации хрома, которая изменяется в широких пределах от 11,0 до 42,0%. Содержание никеля и марганца в таком карбиде не превышает 1,2% каждого.

При кристаллизации карбидов с большой долей хрома приграничные участки матрицы обедняются этим элементом.

Микрорентгеноспектральным анализом с пошаговым измерением в 5 мкм по сечению аустенитного зерна установлено, что концентрация хрома изменяется от 4,7% в пограничной с карбидом области до 14,9% в центре зерна. По сечению зерна марганец распределен равномерно и его доля не превышает 0,8-1,0%. Содержание молибдена и никеля в матрице неравномерное. Концентра-

ция этих элементов в матрице изменяется от 0,6 до 5,2%Mo и от 0,4 до 2,8%Ni. Кремний концентрируется в матрице. В зоне пограничной с карбидами его доля составляет 1,8-2,2%, а в центре зерна не превышает 0,7-1,7%.

Оценка распределения химических элементов по сечению рабочего слоя выявила наибольшую ликвацию кремния и молибдена, концентрация которых в 1,5-1,8 раза увеличивается в переходной зоне.

Содержание никеля, хрома и марганца практически не изменяется по глубине рабочего слоя и не зависят от концентрации молибдена. Последний, как показали результаты исследований, растворяется в аустените, а затем при его распаде входит в состав выпадающих сложных карбидов  $(Cr, Fe, Mo)_23C_6$ . С увеличением содержания хрома в сплаве с 12,0 до 19,0% микротвердость карбидов цементитного типа возрастает с Н-50-856 до Н-50-944, а спецкарбидов от Н-50-1372 до Н-50-1436.

С повышением концентрации молибдена от 0,84 до 1,32% уменьшается доля остаточного аустенита. Он становится менее устойчивым и при его распаде выпадают спецкарбиды  $(Cr, Fe, Mo)_23C_6$ , которые одновременно и способствуют упрочнению.

На основе анализа карбидных фаз  $(Me)_3C$ ,  $(Me)_7C_3$  и  $(Me)_23C_6$  видно, что молибден существенно растворяется во вторичных карбидах, которые выпадают при распаде остаточного аустенита.

Введение одновременно повышенной концентрации никеля и молибдена способствует стабилизации аустенита, что препятствует выпадению упрочняющих вторичных карбидов  $(Me)_23C_6$ .

Как показали исследования такой карбид содержит С, Cr и Mo, поэтому для повышения твердости следует увеличивать концентрацию только этих элементов. При недостаточном количестве углерода доля вторичных карбидов будет ограничена. С увеличением углерода до 2,6-3,1% и хрома до 20,0-23% при содержании молибдена 2,4-3,0% концентрация никеля не должна превышать 0,8-2,0% (допускается и остаточное в шихте его содержание). В этом случае рабочий слой высокохромистых валков будет иметь высокий уровень прочностных свойств.

Исследования связи твердость (HS) – коэрцитивная сила для валков различного диаметра ( $\varnothing 705, 815, 900, 910$  мм) до термической обработки позволили получить зависимость, приведенную на рис. 4. При этом

$$y_{HS} = 58,52 + 0,15H_c$$

коэффициент корреляции такой зависимости довольно высокий ( $r = 0,78$ ).

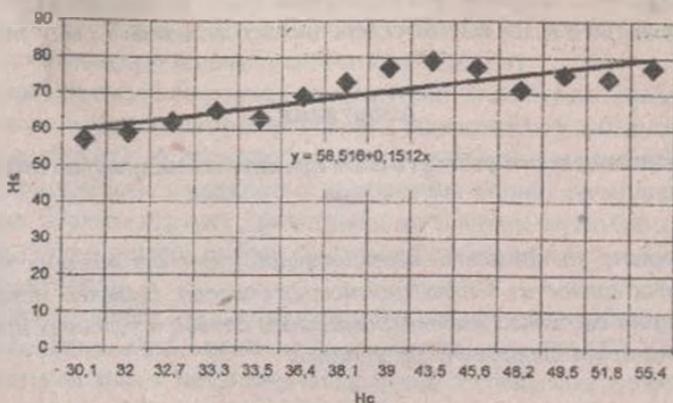


Рис. 4. Зависимость Hs от Hc

### Выводы

На основе исследований структуры, твердости и коэрцитивной силы в рабочем слое валков широкополосных станов из высокохромистого чугуна построена зависимость твердость-коэрцитивная сила, что позволяет контролировать основную сдаточную характеристику в процессе производства (после отливки, механической и термической обработок).

Выявлен механизм влияния молибдена на свойства высокохромистого сплава в условиях быстрой кристаллизации рабочего слоя при центробежном литье. Установлено, что в основном он растворяется в аустените и при охлаждении сплава выделяется во вторичных карбидах типа  $(Cr,Fe,Mo)_{23}C_6$ . Его концентрация в этих карбидах изменяется в пределах 4,8-15,0%. Концентрация никеля и марганца в таком карбиде не превышает 1,2% каждого. Доля хрома изменяется в пределах 11,0-42,0% и, в ряде случаев, превышает концентрацию железа.

В карбидах цементитного типа и  $Me_7C_3$  доля растворенного молибдена не превышает 0,8-1,0%, а хрома - 10-13%.

Учитывая тот факт, что выделение карбидов  $(Cr,Fe,Mo)_{23}C_6$  определяет степень распада остаточного аустенита и упрочнение сплава, то именно регулированием концентрации Cr, Mo, и C можно обеспечить необходимый уровень твердости валков. Введение повышенной концентрации никеля способствует стабилизации аустенита и препятствует выделению упрочняющей фазы  $(Cr,Fe,Mo)_{23}C_6$ .

### Список Литературы

1. Будагьянц Н.А., Карсский В.Е. Литые прокатные валки. - М.: Металлургия, 1983, - 175с.
2. Скобло Т.С., Полова Е.Г. Методика оценки структуры рабочего слоя прокатных валков из высокохромистого чугуна. - К.: Вісник інженерної академії України. — №3 2001. - С.67-71.

3. Скобло Т.С., Воронцов Н.М., Рудюк С.И., Будагьянц Н.А., Воронина В.А. Прокатные валки из высокоуглеродистых сплавов. – М.: Металлургия, 1994. – 336с.

#### Аннотация

### Оценка уровня твердости рабочего слоя прокатных валков магнитным методом

*Установлена зависимость коэрцитивной силы от твердости рабочего слоя прокатных валков из высокохромистых сплавов. Выявлен механизм влияния молибдена на свойства высокохромистого сплава в условиях кристаллизации рабочего слоя при центробежном литье.*

#### Abstract

### Hardening level affecting of rental rollers working layer by magnetic method.

Found out coercible power depending from hardeners of rental rollers working layer made from highly chromium alloy. Mechanism of molybdenum influence on highly chromium alloy properties in conditions of working layer crystallization at centrifugal casting is shown.

УДК 631.356.272.01.

### РЕЗУЛЬТАТИ ГОСПОДАРСЬКИХ ВИПРОБУВАНЬ ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКА КОПІЮВАЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ ГИЧКО ЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ БМ-6Б

Романченко В.М. асистент

*(Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка)*

*Представлені результати господарських випробувань дослідного зразка копіювального механізму гичкозбиральної машини БМ-6Б, що забезпечує зменшення втрат цукрових буряків при їх збиранні.*

Вирішення задач спрямованих на зниження втрат при виробництві сільськогосподарської продукції, в тому числі, і при збиранні цукрових буряків, є актуальним науково-практичним завданням, що має велике народногосподарське значення для АПК України.

Огляд і аналіз наукових досліджень та публікацій присвячених засобам збирання цукрових буряків дозволяє зробити висновок, що незважаючи на значну кількість досліджень і публікацій присвячених цій тематиці, залишається не вирішеною задача, щодо ефективної роботи гичко збиральної техніки і зокрема механізмів копіювання головок коренів цукрових буряків, особливо, під час збирання їх при