

## Физико-механические свойства металла при электрошлаковой наплавке стали 20ХН3А на сталь 45ХН

*Приведены результаты исследований химического состава, распределения неметаллических включений в зоне сплавления и механических свойств при электрошлаковой наплавке близких по химическому составу сталей. Показано, что технология электрошлаковой наплавки позволяет восстанавливать близкими по химическому составу сталями изношенные детали электровозов.*

**Ключевые слова:** электрошлаковая наплавка, зона сплавления, неметаллические включения, механические свойства

Одной из проблем машиностроения Украины является проблема вторичного использования деталей, которые вышли из строя. Очень эффективной технологией восстановления изношенных деталей является технология, базирующаяся на электрошлаковой наплавке (ЭШН). В процессе ЭШН в результате рафинирования активным шлаковым расплавом переплавляемый металл очищается от вредных примесей, газов, неметаллических включений, а направленная снизу вверх кристаллизация обеспечивает формирование плотной структуры [1]. Использование этого метода особенно перспективно для восстановления деталей подвижных составов железнодорожного транспорта [2]. Восстановление детали состоит из наплавки вместо изношенного элемента детали электрошлаковой заготовки с определенными припусками на механическую обработку [3].

В процессе эксплуатации изнашивается только часть детали, масса которой составляет 10-12 % от общей ее массы. Работу восстановленных деталей, их рабочий ресурс, эксплуатационную надежность в некоторых случаях лимитирует качество зоны сплавления и зон термического влияния. Разрушение детали в процессе эксплуатации связано с наличием пор, дефектов газового происхождения, пленочных неметаллических включений и неблагоприятной хрупкой структуры.

В электровозах марок ЧС-2, ЧС-4; ЧС-8 из строя выходит «шестерня» – деталь ходовой части электровоза, которая изготовлена из стали 45ХН, массой 145,5 кг. В ней изнашиваются шлицевое соединение и внутренняя резьба на ступице (рис. 1), в то время как зубчатая передача в большинстве случаев не изнашивается. Шлицевое соединение работает на изгиб с кручением, а разрушение происходит из-за значительных динамических нагрузок.

Для восстановления изношенной детали было предложено провести наплавку сталью с большим уровнем механических свойств с целью повышения ресурса работы восстановленной детали электровоза (то есть продлить межремонтный период). В качестве пары для наплавки было предложено на сталь 45ХН наплавить сталь 20ХН3А, так как этой маркой стали проводятся наплавки на заводе и она имеет больший уровень механических свойств.

Как показали исследования, изменение химического состава проходит от металла основы к наплавленному по зоне сплавления (табл. 1). Химический состав отличается только по углероду и никелю.

В зоне сплавления металл имеет промежуточный химический состав между сталью 45ХН и сталью 20ХН3А. Содержание всех элементов находится в соответствии с ГОСТ 1050-88.

Перед наплавкой на сталь 45ХН стали 20ХН3А провели рентгеноструктурный анализ с целью определения параметров решетки в наплавленном металле, зоне сплавления и металле основы детали, так как было предположение, что разрушение происходит из-за напряжений в зоне сплавления. Данные рентгенограммы представлены в табл. 2.

Как показали расчеты параметров решеток, в зоне сплавления не происходит их искажение. Расхождение в полученных данных можно объяснить погрешностью анализа, которая составляет  $1 \cdot 10^{-4}$ . Следовательно, можно сделать вывод, что в зоне сплавления кристаллическая решетка не имеет дефектов (вакансий, межузельных атомов). Это свидетельствует о том, что уровень механических свойств зоны сплавления будут не ниже уровня основного и наплавленного металлов.



Рис. 1. Деталь привода электровоза – шестерня

## Химический состав наплавки стали 20ХН3А на сталь 45ХН

Марка стали, ГОСТ	Содержание элементов, %							
	C	Si	Mn	Ni	Cr	не больше		
						P	S	Cu
45ХН, ГОСТ 1050-88	0,41-0,49	0,17-0,37	0,50-0,80	1,00-1,40	0,45-0,75	0,035	0,035	0,30
45ХН основа	0,43	0,24	0,53	1,14	0,53	0,024	0,020	0,14
20ХН3А, ГОСТ 1050-74	0,17-0,24	0,17-0,37	0,30-0,60	2,75-3,15	0,60-0,90	0,025	0,025	0,30
Электрод 20ХН3А	0,19	0,22	0,46	2,80	0,59	0,013	0,020	–
Наплавленный металл 20ХН3А	0,20	0,15	0,46	2,71	0,62	0,027	0,022	–

Таблица 2

## Расчетные параметры решеток

Образец	2θ	θ	Параметр решетки a, Å	Линия фона, в 1/2 h	в, рад.
20ХН3А (наплавленный металл)	137,20	68,587	2,8684	23,0	2,09 · 10 <sup>-2</sup>
	137,00	68,600	2,8682	24,0	2,09 · 10 <sup>-2</sup>
Зона сплавления	137,20	68,525	2,8697	28,0	2,44 · 10 <sup>-2</sup>
	137,05				
45ХН (основа)	137,12	68,560	2,8690	21,0	1,83 · 10 <sup>-2</sup>

Исследование неметаллических включений на шлифах показало, что в металле основы 45ХН неметаллические включения представлены грубыми сульфидами, окисульфидами и оксидами. Форма включений линзовидная, округлая и глобулярная (рис. 2, а, б, в). Преобладают многофазные включения, их размер колеблется от 10 до 30 мкм, а однофазных от 3-5 до 10-15 мкм. Иногда встречаются включения пленочной формы с эвтектической микроструктурой, которая состоит из сульфидов и оксидов или силикатов. Такие включения характерны для металла деталей, изготовленных ковкой.

Для наплавленного металла характерны четко ограниченные кристаллы глиноземистой шпинели  $Al_3O_4$  вместе с частицами твердого раствора  $AlO-Al_2O_3$ ,

(рис. 2, в). Возле зоны сплавления как основного, так и наплавленного металлов эти включения отсутствуют, а вновь образованные включения имеют глобулярную форму и аморфную микроструктуру (их количество незначительно). В зоне сплавления наблюдаются глобулярные, преимущественно однофазные высокоосновные включения, которые в процессе термической обработки металла имеют несколько фаз (рис. 2, д), а некоторые растворились полностью или частично.

При производстве сталей стремятся получить неметаллические включения минимального размера, глобулярной формы, их количество должна быть минимальным для обеспечения высокого уровня механических свойств. В процессе электрошлакового

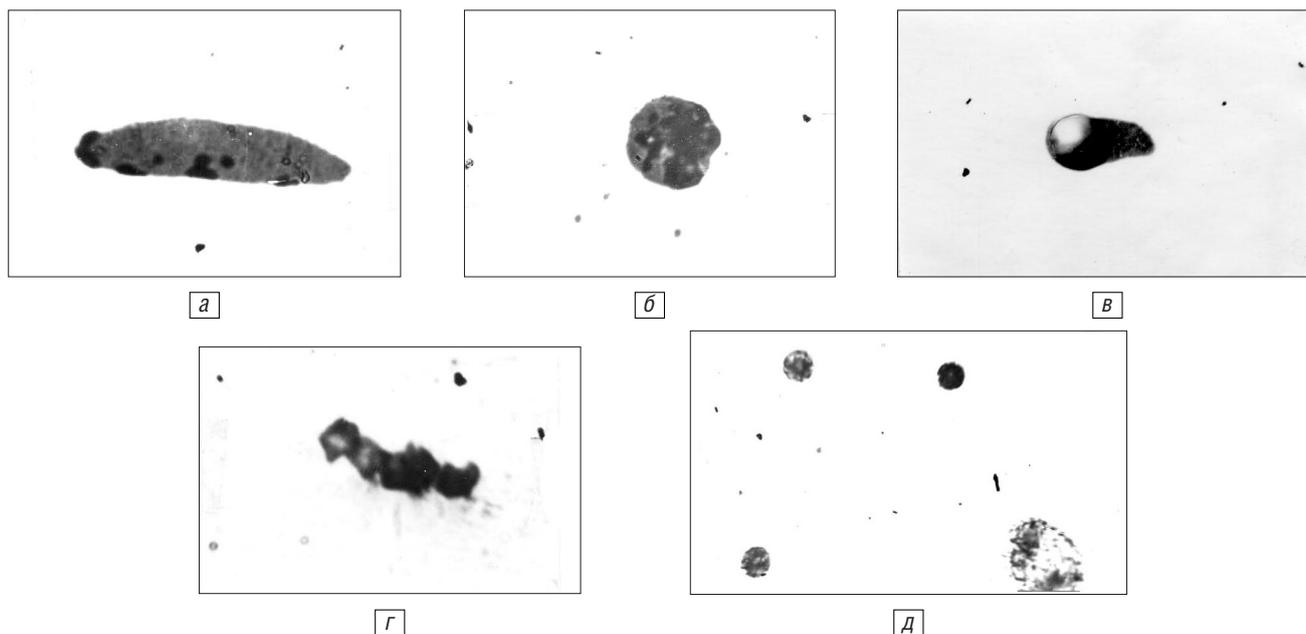


Рис. 2. Неметаллические включения в металле наплавки стали 20ХН3А на сталь 45ХН: а, б, в – окисульфиды в металле основы 45ХН; в – ограниченные кристаллы  $Al_3O_4$  вместе с частицами твердого раствора  $AlO-Al_2O_3$  в наплавленном металле 20ХН3А; д – глобулярные включения в зоне сплавления, ×950

восстановления деталей электровозов в зоне сплавления включения отвечают этим требованиям, поэтому технология электрошлакового восстановления позволяет получить металл зоны сплавления намного чище и качественнее, и, как следствие, с большим уровнем механических свойств. Вместе с правильно подобранными режимами термической обработки это позволяет повысить срок работы восстановленных деталей по сравнению с новыми деталями, изготовленными по обычной технологии ковкой.

Для определения уровня механических свойств провели испытания образцов до и после термической обработки (табл. 3).

лов показало, что изломы до термической обработки мелкокристаллические с очень мелкими блестящими фасетками без следов утяжки. Такой излом является хрупким по зернам металла (рис. 4, а). Также имеются небольшие вырывы по всей поверхности излома.

После термической обработки изломы ударных образцов волокнистые со следами боковой утяжки. На изломах присутствуют мелкие фасетки и вырывы, на боковых гранях образовались скосы с шелковистой поверхностью (рис. 4, б). На противоположной стороне от концентратора излом мелкокристаллический со следами вырывов, что отвечает вязкому характеру

Таблица 3

**Механические свойства металла при наплавке стали 20ХН3А на сталь 45ХН**

Марка стали, ГОСТ	Механические свойства					
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	КСУ, МДж/м <sup>2</sup>	НВ
45ХН ГОСТ 4543-71	717	—	11,0	52,9	0,565	197
20ХН3А ГОСТ 4543-71	950	750	12,0	55,0	1,100	—
Требования для детали (данные СТП)	686	—	10,0	—	—	217-241
Металл ЭШН без термической обработки	798	—	8,0	28,0	0,200	(187-197)/207*
Металл ЭШН после термической обработки	849	—	9,0	43,0	0,420	289/241*

\*Числитель – металл основы, знаменатель – наплавленный металл

В литом состоянии до термической обработки показатели ударной вязкости металла зоны сплавления значительно меньше, чем основного и наплавленного металлов, что можно объяснить неоднородностью структуры металла зоны сплавления. Травление шлифов показало, что образцы разрывались по металлу основы, отсюда можно сделать вывод, что металл зоны сплавления и наплавленной стали имеют большие показатели механических свойств.

Термическая обработка улучшает микроструктуру металла зоны сплавления, и как следствие, повышает механические свойства восстановленной детали.

При исследовании микротвердости выявлено, что до термической обработки металлы основы и зоны сплавления имеют микротвердость 3500-4500 МПа, в наплавленном металле – 3600 МПа (рис. 3). Из рисунка видно, что термическая обработка снижает общие показатели микротвердости. Изменение микротвердости от металла основы до наплавленного металла можно объяснить разницей в содержании углерода в используемых сталях.

Макро- и микрофрактографическое исследование образцов метал-

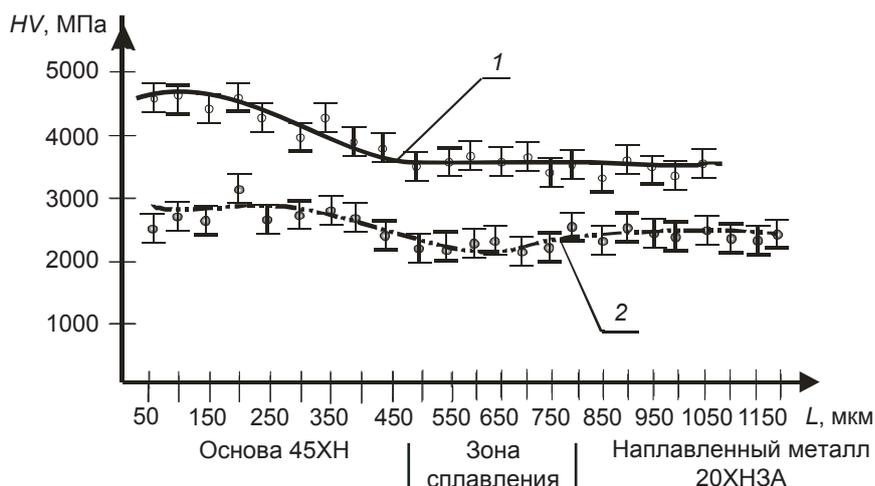


Рис. 3. Микротвердость наплавов: 1 – без термической обработки; 2 – после термической обработки

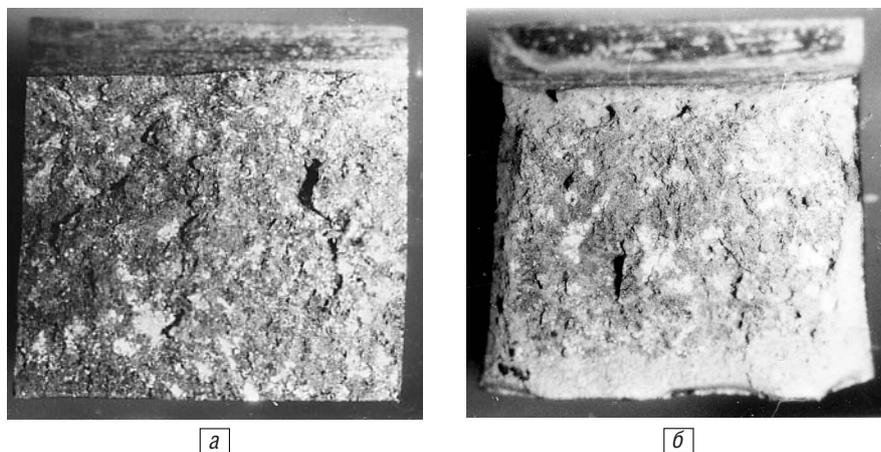


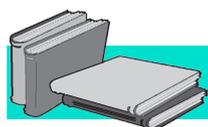
Рис. 4. Макрофрактограммы изломов ударных образцов: до термической обработки (а); после термической обработки (б),  $\times 5$

разрушения на последней стадии разрушения образца (рис. 4, б).

Качество наплавки проверяли с помощью дефектоскопа ДУК-66ПМ. При исследовании образцов наплавки не было найдено каких-либо неоднородностей или дефектов в металле основы детали и зоне сплавления.

Таким образом, восстанавливая шестерню методом электрошлаковой наплавки стали 20ХН3А на сталь 45ХН можно увеличить межремонтный период электровозов за счет наплавки металла с большим

уровнем механических свойств. Также наплавленная часть имеет благоприятную структуру, незначительное количество неметаллических включений в зоне сплавления и наплавленных металлах. Такой результат, кроме других факторов, достигается также благодаря термической обработке восстановленных деталей, режим которой необходимо подбирать в соответствии с маркой стали, которая соответствует химическому составу зоны сплавления. Только тогда возможно получить высокие показатели механических свойств восстановленных деталей.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов. – Киев: Екотехнологія, 2004. – 160 с.
2. Парахневич Е. М., Сперанський Б. С., Петруша Ю. П. Відновлення деталей електрошлаковим методом // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2000. – № 2. – С. 49-51.
3. Электрошлаковая наплавка / Ю. М. Кусков, В. Н. Скороходов, И. А. Рябцев, И. С. Сарычев. – М.: Наука и технология, 2001. – 189 с.

### Анотація

*Парахневич Е. М.*

Фізико-механічні властивості металу при електрошлаковому наплавленні сталі 20ХН3А на сталь 45ХН

*Наведено результати дослідження хімічного складу, розподілу неметалевих вкраплень в зоні сплавлення і механічних властивостей при електрошлаковому наплавленні близьких за хімічним складом сталей. Показано, що технологія електрошлакового наплавлення дозволяє відновлювати близькими за хімічним складом сталями зношені деталі електровозів.*

### Ключові слова

*електрошлакове наплавлення, зона сплавлення, неметалеві вкраплення, механічні властивості*

### Summary

*Parakhnevich E. N.*

The physico-mechanical properties of metal at electroslag hard-facing of steel 45ХН with steel 20ХН3А

*The results of the investigation of chemical composition, distribution of nonmetallic inclusions in fusion zone and mechanical characteristics at electroslag hard-facing of steels with similar chemical composition are given. It is shown that electroslag hard-facing allows to restore worn-out details of electric locomotives by steels with similar chemical composition.*

### Keywords

*electroslag method, fusion zone, nonmetallic inclusions, mechanical characteristics*

Поступила 24.12.12