

УДК 669-1

П. С. ХАРЛАШИН (д-р техн. наук, проф.), **М. А. ГРИГОРЬЕВА,**
В. Г. ГАВРИЛОВА, А. Н. ЯЦЕНКО

Приазовский государственный технический университет

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ДЕЗАРСЕНАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ НИОБИЙСОДЕРЖАЩЕЙ СТАЛИ

В статье рассмотрено влияние мышьяка на свойства низколегированной стали, выполнен анализ микроструктуры и фрактограмм изломов исследуемой стали с различной степенью дезарсенации, приведены результаты механических испытаний и выполнена оценка склонности стали к хрупкому разрушению.

дезарсенизация, мышьяк, ниобий, сталь, разрушение, микроструктура

Руды, содержащие мышьяк, нередко в своем составе содержат некоторое количество легирующих элементов, которые при восстановлении переходят в чугуны и при дальнейшем переделе - в сталь. В частности, руды керченского месторождения содержат небольшое количество ванадия, хрома, никеля, титана, ниобия, церия и других элементов, что явилось основанием для вывода, сделанного авторами некоторых работ, о том, что высокие характеристики изготавливаемой на базе этой руды стали обусловлены наличием в ней именно этих природнолегирующих элементов, снижающих влияние мышьяка, который, по их мнению, является нежелательной примесью, подлежащей удалению из стали [1].

С целью проверки целесообразности удаления мышьяка из низколегированной стали проведены исследования свойств металла, содержащей ниобий, после различной степени дезарсенации, достигнутой отдельным введением в каждую плавку расчетных количеств дезарсенирующих присадок в процессе выплавки опытных слитков массой 18 кг [2]. Было выполнено 8 плавок сталей с постепенным снижением массовой доли мышьяка в сталях с 0,148 до 0,003 %. Кроме мышьяка состав исследуемых сталей был следующим, %: С - 0,14-0,60; Мп - 1,24-1,30; Si - 0,13-0,17; P - 0,017-0,022; Cr - 0,06-0,08; Ni - 0,05-0,06; Cu - 0,13-0,14; Al - 0,022-0,035 и Nb - 0,017-0,026.

Опытные слитки после полного остывания, извлечения из чугунных изложниц, маркировки и нагрева в силитовой печи прокатаны на лист 12-14 мм на лабораторном стане «ДУО-300» с обжатием 6-8 мм за 5 пропус-

ков. Из полученных пластин изготовлены образцы для испытания механических свойств в соответствии с ГОСТ 1497-84 и ГОСТ 9464-78.

Результаты механических испытаний представлены в таблице. Из них следует, что стали изученного класса с различной степенью дезарсенации характеризуются практически одинаковыми свойствами при испытании на растяжение и ударный сгиб: значения предела прочности σ_B колеблются от 510 до 560 МПа, что сравнимо с этим показателем исходной стали с массовой долей As 0,148 %, равным 520-530 МПа, а предел текучести σ_T сталей всех опытных плавок, включая исходную сталь, составляет 390-415 МПа.

Стабильны также показатели пластичности исследованных сталей - независимо от степени дезарсенации значения относительного удлинения δ находятся в пределах 29-36 %, а относительного сужения ψ - 55-65 % и практически не отличаются от соответствующих показателей исходной стали, не подвергавшейся дезарсенирующей обработке.

Таблица – Влияние степени дезарсенации на механические свойства низколегированной стали

№ пл.	Массовая доля As, %	Степень удаления As α_{As} , %	Предел текучести σ_T , МПа	Предел прочности σ_B , МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость КСУ, мДж/м ² , при температуре, °С				
							+20	0	-20	-40	-60
1	0,148	0,0	405	520-530	33-36	58-65	1,11-1,17	1,06-1,13	1,04-1,08	0,95-1,00	0,69-0,81
2	0,105	29,0	410-415	550-560	55-63	55-63	1,01-1,23	1,04-1,08	0,95-1,01	0,87-0,92	0,57-0,70
3	0,091	36,5	410	550	57	57	1,08-1,18	1,00-1,15	0,94-1,00	0,90-0,97	0,57-0,71
4	0,065	58,0	400-410	530-540	55	55	1,03-1,09	1,03-1,05	0,94-1,01	0,90-1,01	0,68-0,81
5	0,047	68,0	390	520	55-62	55-62	1,11-1,24	1,09-1,16	1,03-1,05	0,88-0,94	0,59-0,70
6	0,026	83,5	390	510-520	60-65	60-65	1,09-1,26	1,05-1,20	0,97-1,01	0,73-0,93	0,61-0,72
7	0,021	86,0	390-440	530	59-61	59-61	1,15-1,27	1,08-1,20	1,00-1,09	0,78-0,89	0,59-0,70
8	0,003	100,0	405-410	530-550	57-66	57-66	1,01-1,12	0,99-1,05	0,90-1,00	0,79-0,91	0,59-0,71

Ударная вязкость КСЧ образцов стали со степенью дезарсенации 29-58 % несколько ниже исходной во всем интервале температур испытаний, за исключением температуры $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, где при степени дезарсенации 58,0 % ударная вязкость становится равной исходной и составляет $0,76\text{ мДж/м}^2$. При больших степенях дезарсенаций ($\alpha_{\text{As}} \geq 68\%$) ударная вязкость образцов при температуре испытаний $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет $1,11-1,27\text{ мДж/м}^2$, т. е. находится на уровне и даже с небольшим превышением значений КСЧ стали с исходным содержанием мышьяка, равных $1,11-1,17\text{ мДж/м}^2$. Небольшое повышение ударной вязкости наблюдается у этих сталей и при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Исследование микроструктуры опытных плавок низколегированной стали показало, что она независимо от степени дезарсенации α_{As} состоит из феррита и перлита (рис. 1). Однако при малой α_{As} в пределах ее значений от

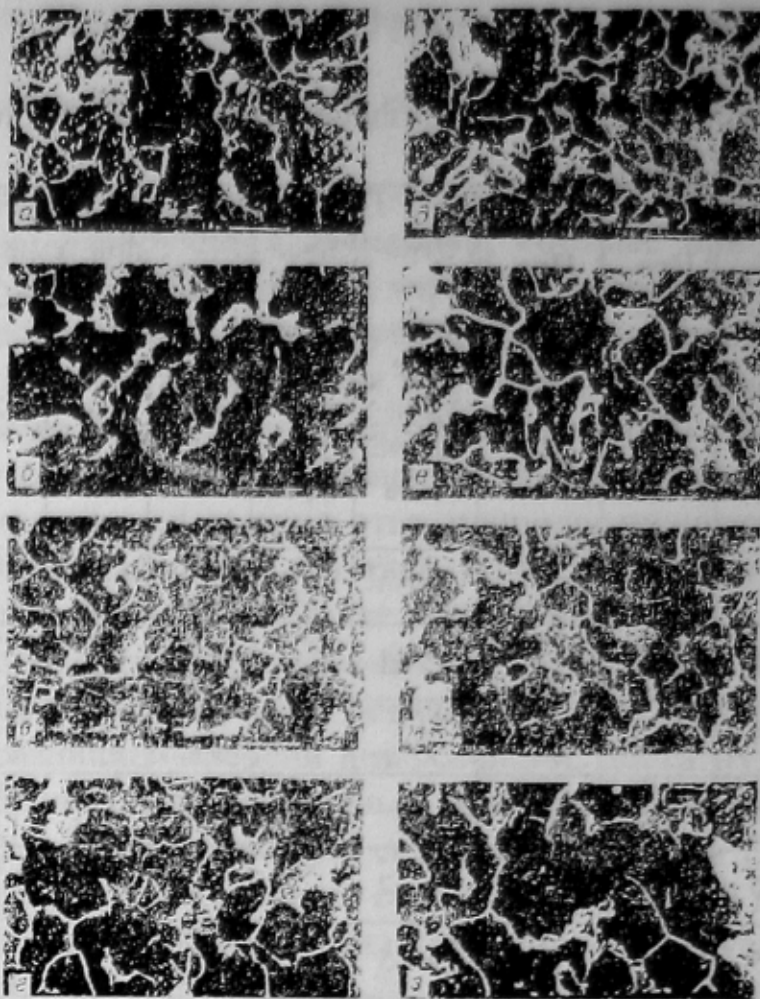


Рисунок 1 – Микроструктура исследуемых марок стали в отраженных электронах ($\times 2020$) с различной степенью дезарсенации: *а* - $\alpha_{\text{As}} = 0,0\%$; *б* - $\alpha_{\text{As}} = 29,0\%$; *в* - $\alpha_{\text{As}} = 36,5\%$; *г* - $\alpha_{\text{As}} = 58,0\%$; *д* - $\alpha_{\text{As}} = 68,0\%$; *е* - $\alpha_{\text{As}} = 83,5\%$; *ж* - $\alpha_{\text{As}} = 86,0\%$; *з* – из криворожских руд без мышьяка

0 до 29,0 % перлитная составляющая имеет малое межплоскостное расстояние, которое при увеличении $\times 2020$ практически не разрешается (рис. 1, а, б). При увеличении степени дезарсенации до $\alpha_{As} \geq 36,5$ %, а следовательно, при уменьшении массовой доли мышьяка в стали до $\alpha_{As} \leq 0,091$ % в перлите обнаружены чередующиеся пластины цементита и феррита, что наблюдается и в стали аналогичного состава, выплавленной из криворожской руды и не содержащей мышьяк (рис. 1, з).

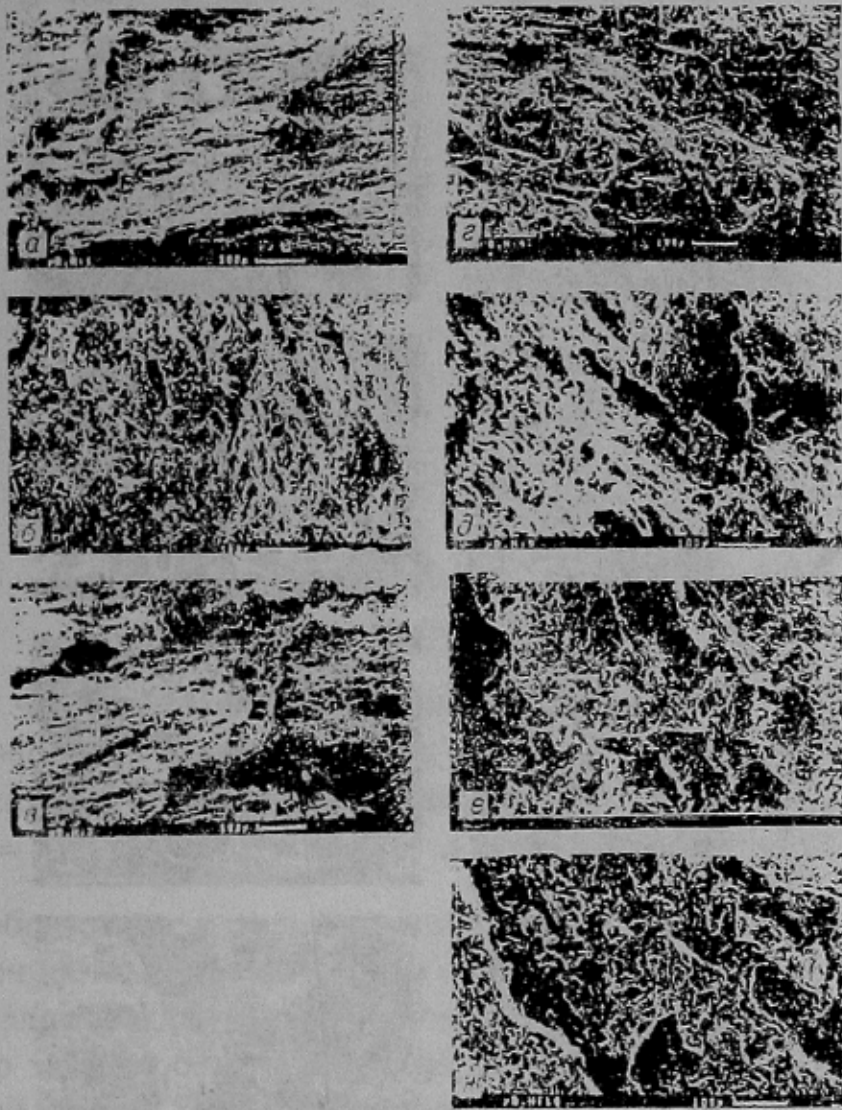


Рисунок 2 – Фрактограммы изломов исследуемой стали с различной степенью дезарсенации в отраженных электронах ($\times 350$) при температуре испытаний 0 °С: а - $\alpha_{As} = 0,0\%$; б - $\alpha_{As} = 29,0\%$; в - $\alpha_{As} = 36,5\%$; г - $\alpha_{As} = 58,0\%$; д - $\alpha_{As} = 68,0\%$; е - $\alpha_{As} = 83,5\%$; ж - из криворожских руд без мышьяка

Для оценки влияния степени дезарсенации низколегированной стали на ее склонность к хрупкому разрушению проведено определение доли волокнистой составляющей в изломе исследуемых образцов, по которой оце-

нивались верхняя критическая температура T_K^0 соответствующая 90 % волокнистого излома, и нижняя критическая температура T_K'' соответствующая 10 % волокнистого излома [3]. Результаты испытаний приведены на рис. 4, из которого следует, что критические температуры практически не изменяются от степени дезарсенации и составляют $T_K'' = 17^\circ\text{C}$ и $T_K' = -60^\circ\text{C}$.

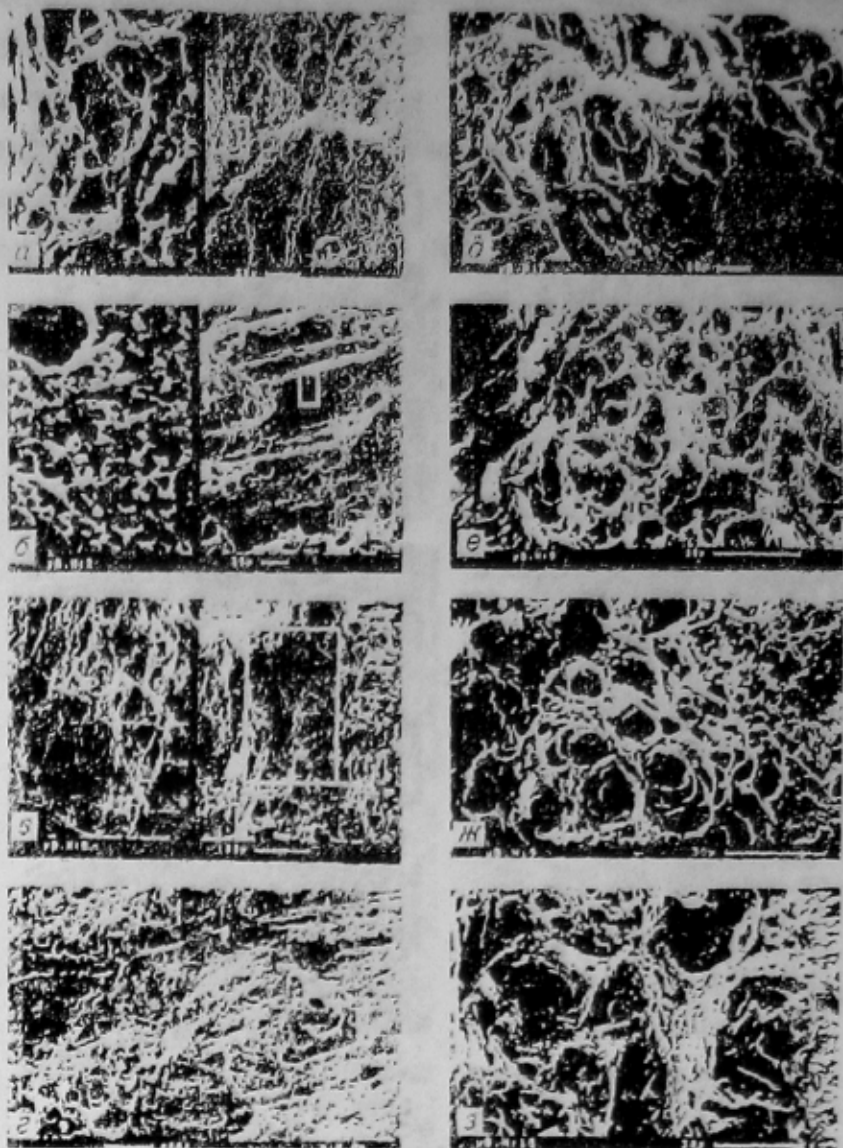


Рисунок 3 – Фрактограммы изломов исследуемой стали с различной степенью дезарсенации в отраженных электронах ($\times 350$) при температуре испытаний -40°C : *a* - $\alpha_{\text{As}} = 0,0\%$; *б* - $\alpha_{\text{As}} = 29,0\%$; *в* - $\alpha_{\text{As}} = 36,5\%$; *г* - $\alpha_{\text{As}} = 58,0\%$; *д* - $\alpha_{\text{As}} = 68,0\%$; *е* - $\alpha_{\text{As}} = 83,5\%$; *ж* - $\alpha_{\text{As}} = 86,0\%$; *з* - из криворожских руд без мышьяка

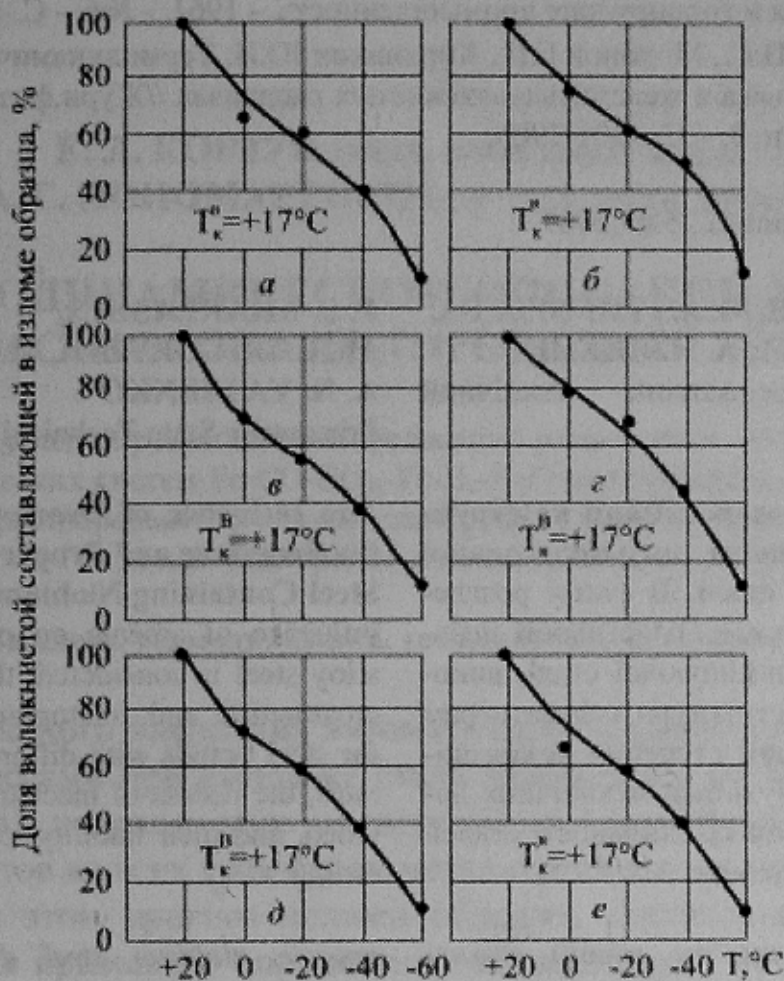


Рисунок 4 – Изменение доли волокнистой составляющей от температуры испытаний в изломах образцов исследуемой стали различной степени дезарсенации: *a* – из криворожских руд без мышьяка; *b* - $\alpha_{\text{As}} = 86,0\%$; *в* - $\alpha_{\text{As}} = 83,5\%$; *г* - $\alpha_{\text{As}} = 58,0\%$; *д* - $\alpha_{\text{As}} = 29,0\%$; *е* - $\alpha_{\text{As}} = 0,0\%$

Таким образом, в результате исследований выявлено, что микроструктура, прочностные, пластические свойства и ударная вязкость, а также характер изломов ударных образцов при различных температурах испытаний слабо зависят от степени дезарсенации низколегированной ниобийсодержащей стали. Это служит доказательством того, что мышьяк в количествах, переходящих в сталь из исходных руд (массовая доля до 0,15%), не оказывает вредного влияния на качество такой стали, что дает основание расширить круг ее применения без дополнительной дезарсенации.

Список литературы

1. Некоторые особенности поведения мышьяка при рафинировании железоуглеродистых расплавов / Г. Д. Молонов, П. С. Харлашин, А. И. Кириленко и др. // Физико-химические основы производства стали. - М., 1978. - Ч. 1. - С. 60-61.
2. Тарасова Л. П. Качество стали, выплавленной на базе керченских руд // Металлургия.

лургическая и горнорудная промышленность. - 1961. - №6. - С. 17-19.

3. Харлашин П.С., Молонов Г.Д., Кирюшкин Ю.И. Термодинамические характеристики мышьяка в железомышьяковистых расплавах //Журн.физ.химии. – 1983. – Т. XVII, вып. 8. – С. 1901-1905.

Надійшла до редколегії 25.09.2009.

**П. С. ХАРЛАШИН, М. А. ГРИГОРЬЄВА,
В. Г. ГАВРИЛОВА, А. Н. ЯЦЕНКО**
Приазовський державний технічний
університет

**P. S. KHARLASHIN,
M. A. GRIGORYEVA, V. G. GAVRILOVA,
A. N. YATSENKO**
Priazovsky State Technical University

Вплив ступеню дезарсенізації на структуру та властивості низьколегованої ніобійвміщуючої сталі. В статті розглянуто вплив миш'яку, на властивості низьколегованої ніобійвміщуючої сталі, виконано аналіз мікроструктури і фрактограм зломів сталі з різним ступенем дезарсенізації, наведені результати механічних дослідів, виконано оцінку схильності сталей до хрупкого руйнування.

The Influence of Dearsenication Rate on the Structure and Properties of Low-Alloy Steel Containing Niobium. In the article the influence of arsenic on properties of low-alloy steel is considered, the analysis of microstructure and fractographs is carried out for steel brands with different dearsenication rates, the results of mechanical tests are provided, and their liability to brittle fracture is estimated.

дезарсенізація, миш'як, ніобій, сталь, руйнування, мікроструктура

arsenic, niobium, steel, destroying, micro-structure

© П. С. Харлашин, М. А. Григорьєва,
В. Г. Гаврилова, А. Н. Яценко, 2009