

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМООБРАБОТКИ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ СТАЛИ 19ХГНМА

*Т.М. Пугачева, Ю.Б. Соловьева, А.В. Клименко*

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Выполнен анализ влияния двойной закалки и ложной цементации, направления волокна и формы надреза образцов на ударную вязкость долотной стали 19ХГНМА производства ОАО «МЗ «Ижсталь», ОАО «МЗ «Электросталь», ОАО «ОЭМК», ОАО «МЗ «Красный Октябрь». Установлено, что реализация ложной цементации вместо двойной закалки может уменьшать значения ударной вязкости на 4-8 %, изменение продольного волокна на поперечное – от 10 до 65%, изменение U-образного надреза на V-образный – от 16 до 50%. Рекомендовано для повышения качества на входном контроле проката долотных сталей определять ударную вязкость на образцах Шарпи с продольным и поперечным расположением волокна.*

**Ключевые слова:** долотная сталь, двойная закалка, ложная цементация, направление волокна, форма надреза образца.

Для изготовления лап шарошечных буровых долот в конце 70-х годов прошлого столетия была разработана сталь 19ХГНМА (ТУ 3-102-80). Она являлась аналогом стандартной зарубежной стали SAE-AISI 4620-4720, которая применялась и применяется до настоящего времени для лап буровых долот различными фирмами.

Буровые долота работают в чрезвычайно тяжелых условиях: при высоких напряжениях, ударном характере нагружения, в высокоабразивной и коррозионной среде. Для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств лапы и шарошки буровых долот подвергают химико-термической обработке – цементации.

К прокату долотных сталей предъявляют достаточно жесткие требования. При входном контроле металл проката проверяют на соответствие техническим условиям, в которых регламентированы химический состав, макро- и микроструктура, механические и технологические свойства.

Несмотря на то, что реальной термической обработкой деталей буровых долот является цементация, для определения механических свойств заготовки образцов, вырезанные из проката, подвергают двойной закалке. В то же время в соответствии с американскими техническими условиями для этих целей проводят ложную цементацию, при которой имитируют температурный режим химико-термической обработки, но на этапе цементации не применяют науглероживающую среду.

В этой связи была поставлена цель провести сравнительный анализ ударной вязкости (при разном направлении волокна и типе образцов – Менаже, Шарпи) после двойной закалки и ложной цементации (как процесса, более точно моделирующего реальную термическую обработку лап буровых долот) для повышения эффективности входного контроля качества проката из стали 19ХГНМА.

---

*Татьяна Михайловна Пугачева – к.т.н, доцент.  
Юлия Борисовна Соловьева – студентка.  
Андрей Владимирович Клименко – аспирант.*

**Методика исследования.** Для исследования была выбрана ударная вязкость как наиболее структурно чувствительная характеристика.

Ударную вязкость определяли в соответствии со стандартной методикой по ГОСТ 9454 на образцах типа 1 (образец Менаже) и 11 (образец Шарпи) соответственно с U- и V-образной формой надреза при продольном и поперечном направлении волокна. Заготовки для образцов – бруски с размером сторон поперечного сечения 25×25 мм – подвергали следующим термическим обработкам:

– двойной закалке (ДЗ) от 890 и 810 °С с выдержкой в течение 1 часа и охлаждением в масле и отпуску при 185 °С с выдержкой в течение 1,5 час. с охлаждением на воздухе (по ТУ 3-102-80);

– ложной цементации, включающей нагрев до 945 °С с изотермической выдержкой в течение 4 часов и охлаждением на воздухе; закалке от 829 °С с выдержкой в течение 2 часов и охлаждением в масле; отпуску при 191 °С с выдержкой в течение 4 часов и охлаждением на воздухе (по американским требованиям к сталям-аналогам).

Для контроля идентичности проводимой термической обработки перед проведением ударного испытания измеряли твердость образцов.

Было изучено 12 плавок стали 19ХГНМА производства ОАО МЗ «Ижсталь», ОАО «МЗ «Электросталь», ОАО «ОЭМК», ОАО «МЗ «Красный Октябрь». Марочный состав стали приведен в табл. 1.

Таблица 1

**Массовая доля элементов марочного состава, %**

Марка стали	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Никель	Молибден	Сера	Фосфор	Медь
							Не более		
19ХГНМА	0,17-0,22	0,15-0,30	0,60-0,95	0,35-0,65	0,35-0,75	0,20-0,30	0,020	0,020	0,30

Примечание: допускается наличие вольфрама до 0,20%, титана до 0,03% и ванадия до 0,05%.

**Результаты исследования и их анализ.** Контроль твердости (табл. 2) показал, что уровень твердости у плавок разных заводов-изготовителей меняется от 20 до 29 HRC для продольного направления волокна и от 19 до 28 HRC для поперечного направления волокна, при этом не имеет значения естественная форма надреза, однако при ДЗ формируются чуть более высокие показатели твердости по сравнению с ЛЦ. Это может быть связано с более дисперсной микроструктурой стали после ДЗ.

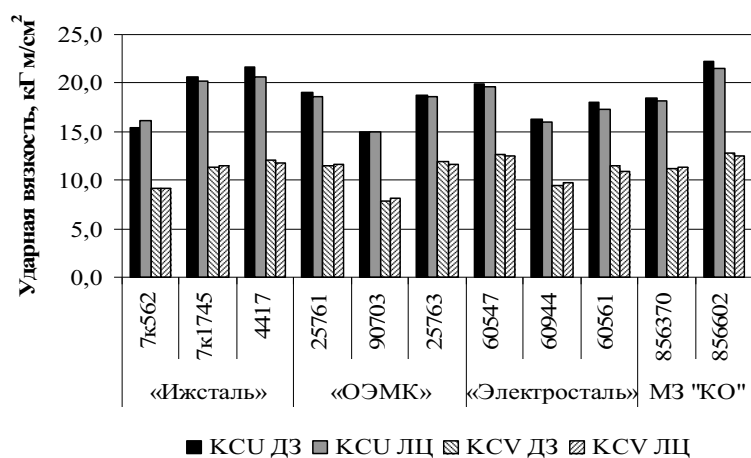
Таблица 2

**Твердость (HRC) различных заводов-изготовителей после двойной закалки**

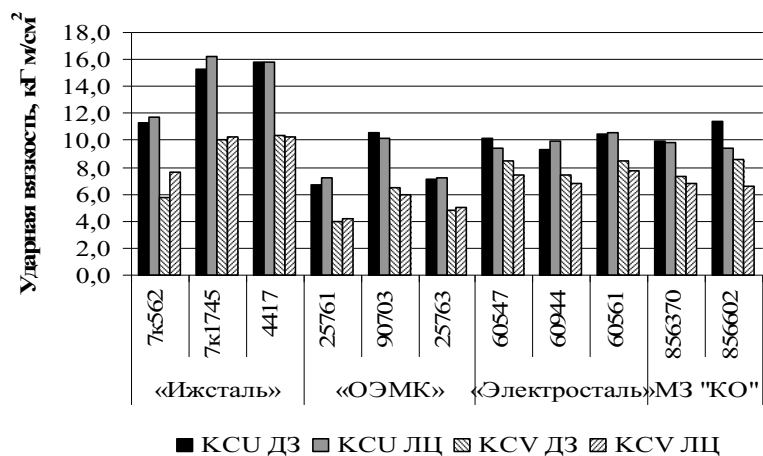
Завод-изготовитель	Плавка, №	Направление волокна							
		Продольное				Поперечное			
		ЛЦ		ДЗ		ЛЦ		ДЗ	
		КСУ		КСV		КСУ		КСV	
«Ижсталь»	7к56	29,2	28,8	29,0	29,8	28,3	29,8	28,2	28,8
	7к17	25,3	25,6	24,8	24,8	26,1	25,6	26,0	25,4
	4417	24,3	24,0	24,3	24,2	24,2	23,7	24,0	24,8
«ОЭМК»	2576	29,8	29,0	37,8	29,5	30,8	30,2	30,7	30,8
	9070	30,8	31,8	39,8	31,3	30,8	32,0	29,8	31,3
	2576	30,9	31,8	31,9	32,3	32,1	32,0	31,8	32,1
«Электросталь»	6054	26,8	28,0	26,4	27,4	24,8	27,7	24,7	27,6

Завод-изготовитель	Плавка, №	Направление волокна							
		Продольное				Поперечное			
		ЛЦ	ДЗ	ЛЦ	ДЗ	ЛЦ	ДЗ	ЛЦ	ДЗ
		КСУ		КСУ		КСУ		КСУ	
	6094	28,5	29,8	28,8	29,5	28,8	29,8	28,7	29,7
	6056	24,0	23,3	23,2	24,0	23,3	24,5	24,3	24,8
МЗ «КО»	8563	26,2	26,3	25,7	26,2	26,1	26,8	25,8	27,5
		8	2	2	2	2	1	2	1

Усредненные результаты исследования (по два-четыре образца на каждый опыт для каждой плавки) приведены на рис. 1, относительное уменьшение ударной вязкости при изменении направления волокна и формы надреза – на рис. 2 и 3.

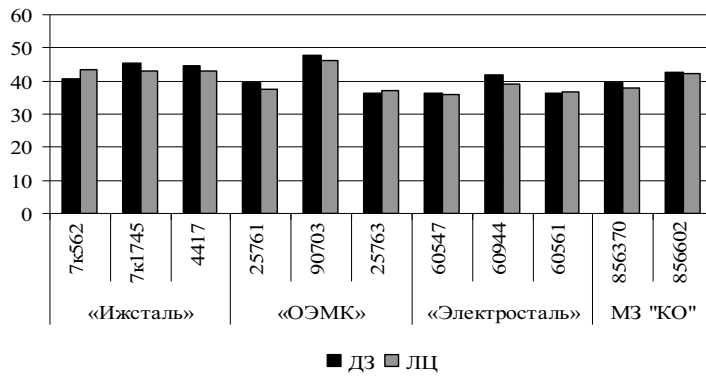


a

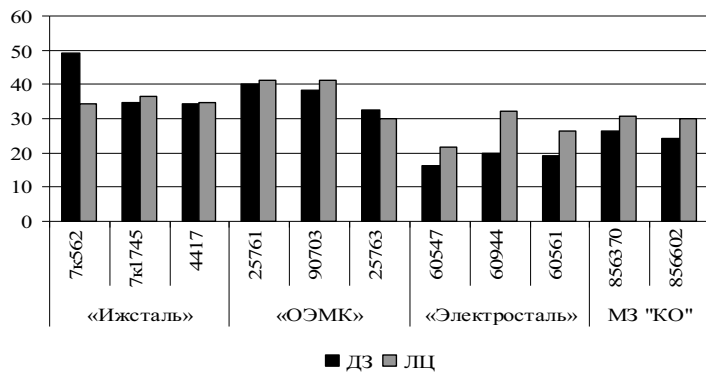


b

Р и с. 1. Ударная вязкость (КСУ, КСВ) различных производителей после двойной закалки (ДЗ) и ложной цементации (ЛЦ):  
 а – продольное направление волокна; б – поперечное направление волокна

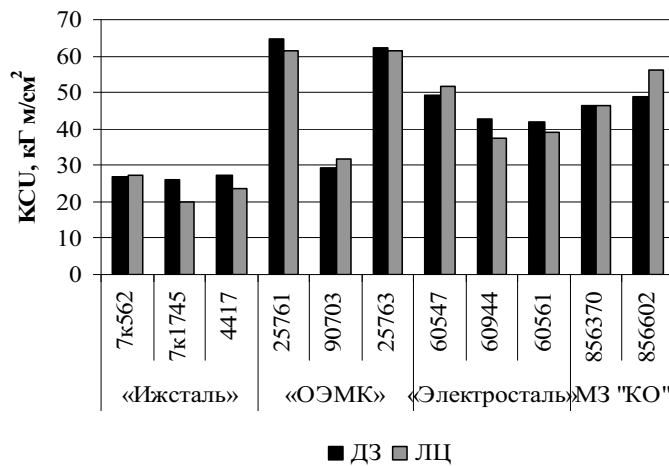


*a*

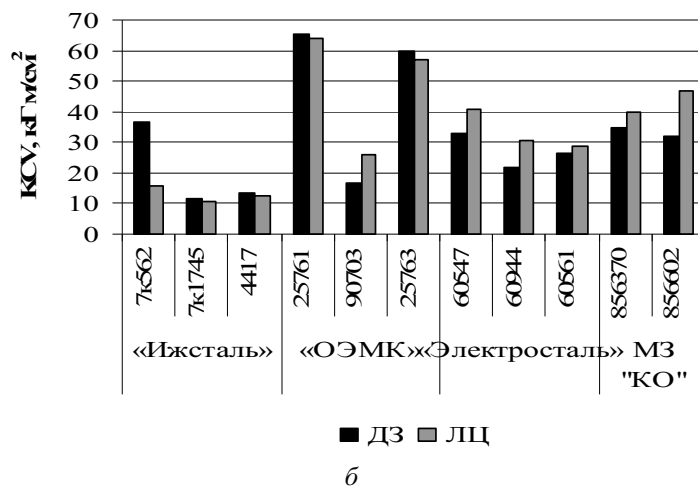


*b*

Р и с . 2. Гистограмма уменьшения ударной вязкости (%) различных производителей после двойной закалки (ДЗ) и ложной цементации (ЛЦ) при изменении надреза образца с U- на V-образную форму: *a* – продольное направление волокна; *b* – поперечное направление волокна



*a*



Р и с . 3. Гистограмма уменьшения KCU и KCV (%) различных производителей после двойной закалки (ДЗ) и ложной цементации (ЛЦ) при изменении направления волокна в образцах с продольного на поперечное

Корреляционный анализ, представленный в табл. 3, показал, что коэффициент регрессии для ударной вязкости при продольном направлении волокна вне зависимости от формы надреза для ДЗ и ЛЦ изменяется в пределах от 0,88 до 0,99, а при поперечном направлении волокна – в пределах от 0,78 до 0,96. Это свидетельствует о сильной функциональной зависимости, которая, однако, не прослеживается в той же степени между показателями ударной вязкости при смене направления волокна.

Таблица 3

**Значения коэффициентов корреляции**

Характеристики образцов				KCU		KCV		KCU		KCV			
				Направление волокна									
				Продольное				Поперечное					
				Вид термообработки									
				ДЗ	ЛЦ	ДЗ	ЛЦ	ДЗ	ЛЦ	ДЗ	ЛЦ		
KCU	Направление волокна	Продольное	Вид термообработки	ДЗ	1								
				ЛЦ	<b>0,99</b>	1,00							
KCV				ДЗ	<b>0,88</b>	<b>0,88</b>	1,00						
				ЛЦ	<b>0,90</b>	<b>0,90</b>	<b>0,99</b>	1,00					
KCU	Направление волокна	Поперечное	Вид термообработки	ДЗ	0,40	0,38	0,05	0,05	1,00				
				ЛЦ	0,28	0,26	-0,05	-0,04	<b>0,96</b>	1,00			
KCV				ДЗ	0,54	0,49	0,31	0,29	<b>0,86</b>	<b>0,78</b>	1,00		
				ЛЦ	0,37	0,34	0,12	0,11	<b>0,95</b>	<b>0,96</b>	<b>0,88</b>	1	

Установлено:

- после двойной закалки по сравнению с ложной цементацией твердость имеет несколько более высокие (на 1-2 HRC) или равные значения;
- после двойной закалки по сравнению с ложной цементацией ударная вязкость в большинстве случаев выше (максимальное повышение составляет

- при продольном волокне 4,0-5,5%, при поперечном –7,0-8,0%);
- изменение направления волокна с продольного на поперечное понижает ударную вязкость от 10 до 65%, а изменение формы надреза с U-образной на V-образную – от 16 до 50%. Причем ложная цементация, как правило, изменяет ударную вязкость более заметно, чем двойная закалка;
  - при продольном направлении волокна, так же как и поперечном, КСU и КСV имеют сильную функциональную зависимость как при двойной закалке, так и при ложной цементации;
  - при близких значениях КСU с продольным расположением волокна значения КСU и КСV с поперечным волокном могут существенно отличаться.

Таким образом, проведение ложной цементации (по регламентируемому американскими техническими условиями режиму) вместо двойной закалки (в соответствии с отечественными техническими условиями) не существенно снижает (до 4,0-8,0%) ударную вязкость стали 19ХГНМА. Соответственно, при входном контроле нет необходимости в проведении более длительной и дорогостоящей термообработки – ложной цементации, хотя она и более близка к реальной термической обработке лап буровых долот. При этом следует учитывать, что после цементации готовых изделий значения ударной вязкости будут несколько ниже, чем у образцов при входном контроле.

Для повышения эффективности входного контроля качества проката следует проводить испытания ударной вязкости как продольных, так и поперечных образцов, используя при этом V-образную форму надреза.

*Статья поступила в редакцию 10 марта 2011 г.*

UDC 669.017

## **INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON IMPACT STRENGTH OF CHISEL STEEL**

***T.M. Pugacheva, A.V. Klimenko, Y.B. Solovyeva, A.P. Amosov***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*The analysis of influence of double hardening and false cementation, direction of a fibre and the form of a cut of samples on impact strength chisel steels (0,19% C, 0,35-0,65% Cr, 0,6-0,95% Mn, 0,35-0,75% Ni, 0,2-0,3% Mo) Open Society MZ «Izhstal» manufactures, Open Society MZ «Electrostal», Open Society «OEMK», Open Society MZ «Krasnyi Oktyabr» is made. It is established that implementing false cementation instead of double heat hardening can reduce the values of impact strength – by 4-8 %, change of a longitudinal fibre on cross-section – from 10 to 65 %, change of an U-shaped cut on V-shaped – from 16 to 50 %. It is recommended for improvement of quality entrance control of finished chisel steels to define impact strength on samples of Sharpi with a longitudinal and cross-section arrangement of a fibre.*

**Keywords:** *the chisel steel, double quenched, false cementation, a fibre of direction, form of a cut of the sample.*

---

*T.M. Pugacheva – Candidate of Technical Sciences, Associate professor.*

*Y.B. Solovyeva – student.*

*A.V. Klimenko – Postgraduate student.*