

УДК 621.78:621.791

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА  
ВЫСОКОПРОЧНЫХ СВАРНЫХ ЦЕПЕЙ ДЛЯ ГОРНОШАХТНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ ИЗ СТАЛИ 25ХГНМА**

**Я. В. Олейник, В. А. Олейник, к.т.н., В. С. Чмелева, к.т.н., доц.**

*Национальная металлургическая академия Украины  
Научно-производственное предприятие «Термет»*

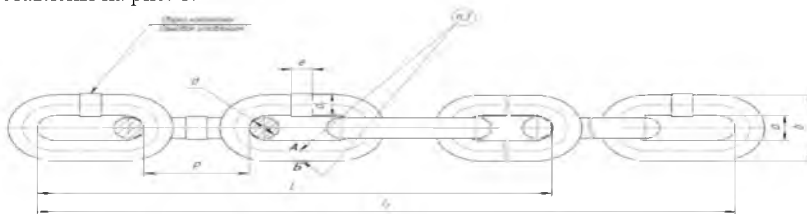
На ЧАО «Артемовский машиностроительный завод «Вистек» цепи для горнодобывающего оборудования преимущественно изготавливаются из сталей марок 23ХГА, 25ХГНМА, 23Г2А, 20МпВ4 и 23Г1А. В табл. 1 приведен химический состав данных марок сталей по ТУ У 27.1-4-531-2002.

Таблица 1

*Химический состав сталей для высокопрочных сварных цепей  
для горношахтного оборудования по ТУ У 27.1-4-531-2002*

Марка стали	Массовая доля элемента, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P	Cu
	в пределах или не более								
23ХГА	0,20- 0,26	0,12- 0,27	1,10- 1,40	0,60- 0,90	0,30	-	0,025	0,025	0,30
25ХГНМА	0,20- 0,26	0,12- 0,27	1,10- 1,40	0,40- 0,60	0,40- 0,70	0,20- 0,35	0,020	0,020	0,15
23Г2А	0,22- 0,27	0,12- 0,27	1,35- 1,65	0,15- 0,35	0,30	-	0,025	0,025	0,30
23Г1А	0,22- 0,27	0,12- 0,27	0,90- 1,20	0,15- 0,35	0,25	-	0,025	0,025	0,30

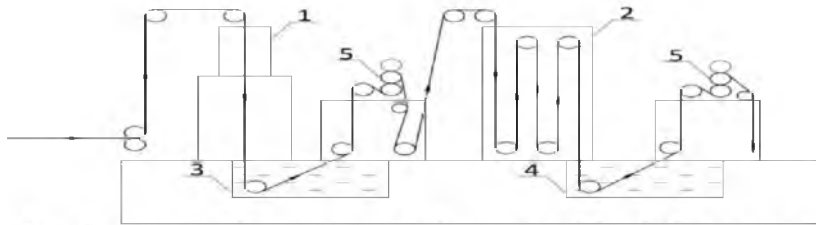
Для цепей класса "С" и "D" преимущественно используется сталь марки 25ХГНМА. Выбор данной марки стали обусловлен, прежде всего, лучшими эксплуатационными характеристиками. Суммарная массовая доля серы и фосфора в готовом прокате для стали марки 25ХГНМА не должна превышать 0,038 %. Алюминий и ферротитан вводят в сталь как технологические добавки. Общий вид и основные параметры цепей для горного оборудования представлены на рис. 1.



d – диаметр прутка цепи, P – шаг звена цепи, а – внутренняя ширина звена цепи, b – наружная ширина звена цепи, d1 – диаметра сварного шва звена цепи, e – ширина сварного шва звена цепи

**Рис. 1** – Общий вид цепей для горного оборудования

Термическая обработка проводится в закалочном-отпускном агрегате АВР-5, обозначенном на рис. 2.



1 - закалочная печь, 2 - отпускная печь, 3 - закалочный бак, 4 - бак для охлаждения после отпуска, 5 - система роликовых приводов

Рис. 2 – Схема закалочного-отпускного агрегата АВР-5

Температура нагрева под закалку для цепей  $\varnothing$  14-20 мм составляет  $950 \pm 50$  °С, а скорость движения цепи, в среднем, составляет 0,44 м/мин. Для цепей более крупных диаметров ( $\varnothing$  22, 24, 26 мм) температура нагрева составляет  $1020 \pm 20$  °С, а скорость движения цепи – 0,36 м/мин. Далее происходит резкое охлаждение цепи в закалочном баке, наполненном водой. После закалки цепь подается по системе роликовых приводов в отпускную печь. Температура нагрева в отпускной печи для цепей всех калибров составляет  $400 \pm 20$  °С. После нагревания цепь проходит через отпусковой бак, наполненный водой и далее по системе роликовых приводов выходит из агрегата. Надо заметить, что в качестве охлаждающей среды после отпуска используется вода для предотвращения появления отпускной хрупкости. Кроме того, вся технология термической обработки построена таким образом, чтобы предотвратить флокенообразование в такой стали как 25ХГНМА. Графики режимов термической обработки приведены на рис. 3, 4.

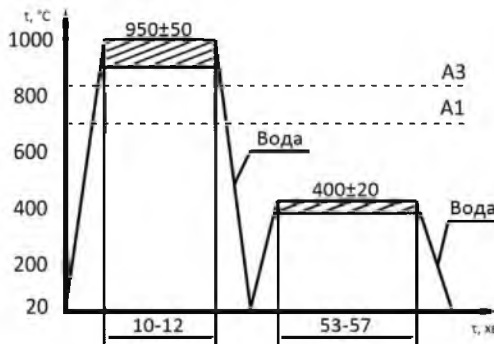
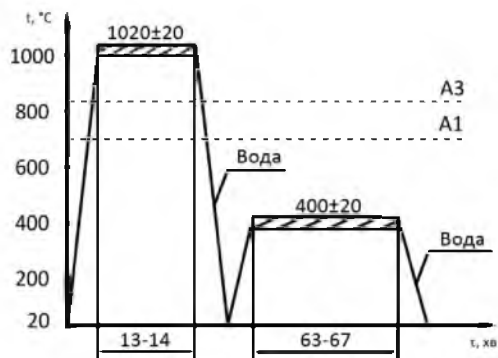
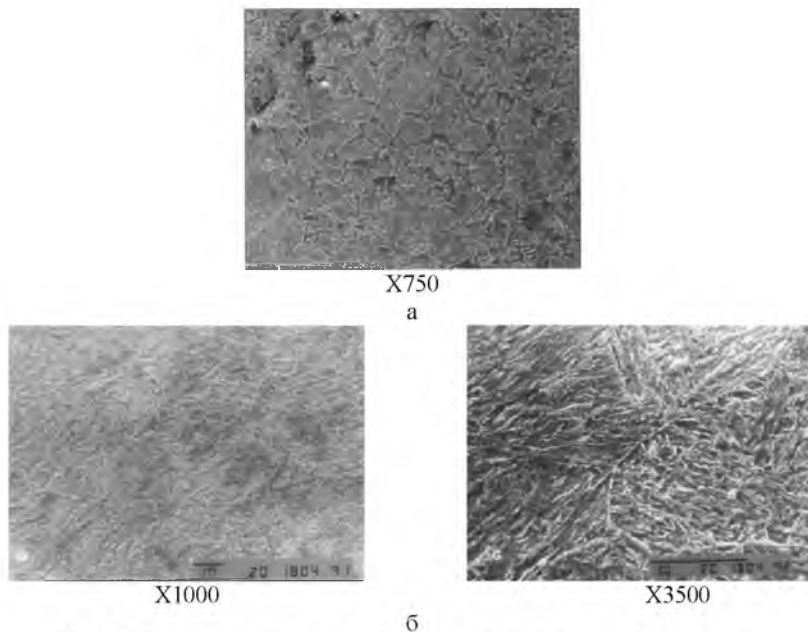


Рис. 3 – График режима термической обработки высокопрочных круглозвенных цепей для горношахтного оборудования ( $\varnothing$  14-20 мм) из стали 25ХГНМА



**Рис. 4** – График режима термической обработки высокопрочных круглозвенных цепей для горношахтного оборудования ( $\varnothing$  22, 24, 26 мм) из стали 25ХГНМА

Перед термической обработкой структура стали состоит из Ф+Б+Пм.пш. После обработки Мотп.+Аост. Структуры до и после термической обработки цепи приведены на рис. 5.



**Рис. 5** – Структуры стали до (а) и после (б) термической обработки

В табл. 2 приведен режим термической обработки и основные механические характеристики, регламентированные ТУ У 27.1-4-531-2002 на поставку стали 25ХГНМА.

Таблица 2  
Механические свойства проката из стали 25ХГНМА по ТУ У 27.1-4-531-2002

Марка стали	Режим термообработки			Н/мм <sup>2</sup> , разрыв	Н/мм <sup>2</sup> , удлинение	Э <sub>т</sub> , %	Относительное сужение, Ч, %	Дж/см <sup>2</sup> , КСУ
	Вид	Температура, °С	Среда охлаждения					
25ХГНМА	Закалка	880-900	Вода	не менее				
	Отпуск	400±20	Вода	980	1180	10	50	78

При поставке высокопрочных сварных цепей для горношахтного оборудования из стали 25ХГНМА в высоконагруженные угольные лавы, были отмечены периодические массовые хрупкие разрушения цепей отдельных партий при эксплуатации на конвейерах.

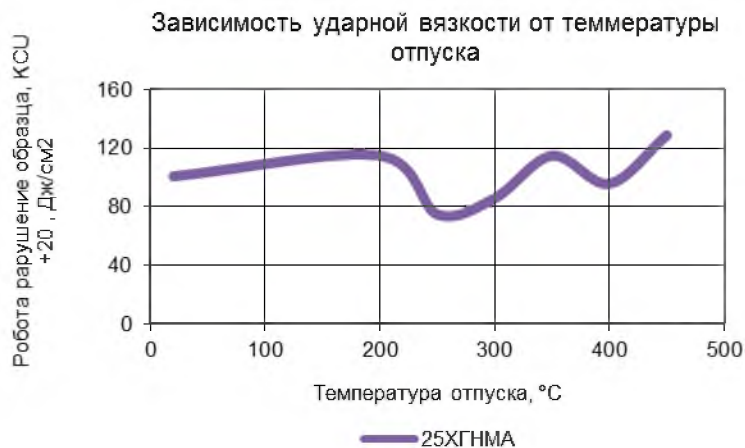
При поставке цепей с менее легированных марок сталей 23Г2А, 23ХГА хрупкие массовые порывы звеньев практически не встречались. Было высказано предположение, что одной из причин охрупчивания цепей в процессе эксплуатации может быть не оптимально-выбранный режим термической обработки, а именно температуры отпуска.

На основе этого, согласно анализу условий эксплуатации готовой продукции, была поставлена задача по совершенствованию температурного режима отпуска цепей, что приведет к снижению порывов и снижению затрат для горнодобывающей промышленности в целом.

В конвертерном цехе ПАО «ArcelorMittal Кривой Рог» была проведена опытная плавка (212905) стали 25ХГНМА, предназначена для изготовления высокопрочных сварных цепей для горнодобывающего оборудования.

После проведения всех испытаний, регламентированных планом исследования, были построены графики зависимости ударной вязкости от температуры отпуска образцов из стали 25ХГНМА. График зависимости при испытании образца с U-образным надрезом приведены на рис. 6.

На образцах после ударных испытаний после всех температур отпуска была измерена твердость (НВ10/3000). Общие результаты испытаний механических характеристик приведены в табл. 3.



**Рис. 6** – Зависимость ударной вязкости от температуры отпуска на образце с U-образным надрезом

*Таблица 3*  
*Механические характеристики проката Ø 18,5 мм из стали 25XГНМА после закалки и отпуска*

Темп-ра отпуска, °С	Предел текуч., $\sigma_{тк}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Врем. сопр., $\sigma_{тк}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Отн. удли., $\delta_2$ , %	Отн. суж., $\Psi$ , %	Ударная вязкость			Твердость, НВ
					KCU +20	KC2U +20	KCV +20	
без отп.	1390-1400	1500-1520	4-5	10-12	101	71	83	440-460
200	1320-1340	1420-1440	11-12	46-52	115	107	90	415-430
250	1200-1250	1310-1350	11-13	50-56	75	72	58	380-400
300	1180-1190	1290-1300	12-14	59	86	74	75	375-400
350	1140	1240-1250	12-13	60-62	115	84	85	363-380
400	1110	1210	13	59-64	96	64	65	360-370
450	1030-1004	1130-1140	14-15	62-63	129	154	104	329-347

Из таблицы 3 следует, что с увеличением температуры отпуска твердость падает. Полученные данные коррелируют с изменением прочностных свойств при разрыве натуральных образцов.

На основании проведенных исследований было сделано подтверждение наличия технологических проблем, связанных со снижением ударной вязкости цепных сталей, а именно стали 25ХГНМА при определенных температурах отпуска. Установлено, что существенное снижение ударной вязкости наблюдается при температурах отпуска 250 °С и 400 °С. Такое снижение объясняется явлением отпускной хрупкости, характерной для данной марки стали.

На основании этого, с учетом действующей технологической карты, на ЧАО «Артемовский машиностроительный завод «Вистек» были предложены рекомендации по совершенствованию технологического процесса, а именно корректировка режима термической обработки. Было предложено увеличить температуру отпуска с  $400\pm 20$  °С до  $430\pm 10$  °С, во избежание попадания в зону отпускной хрупкости и, как результат, снижению эксплуатационных характеристик готовых изделий.

При дальнейшем производстве высокопрочных сварных цепей для горнодобывающего оборудования данные рекомендации были учтены и внесены в технологическую инструкцию ПАО «Артемовский машиностроительный завод «Вистек».

### **Выводы**

1. Проведено изучение эксплуатационных характеристик цепей для горношахтного оборудования. Экспериментальные данные показали существенное снижение ударной вязкости при температурах отпуска 250 °С и 400 °С. Такое снижение показателей ударной вязкости связано с явлением отпускной хрупкости.
2. На основе изученных данных были разработаны рекомендации по совершенствованию режима термической обработки высокопрочных сварных цепей для горношахтного оборудования, а именно повышение температуры отпуска до  $430\pm 10$  °С, что позволит снизить порывы цепей при эксплуатации и будет иметь положительный экономический эффект для горнодобывающей отрасли.

1. А. М. Поникарчук, В. И. Грачев, А. Н. Гарбуз (ОАО «Ковельсельмаш», г. Ковель), В. А. Олейник, В. И. Биба (Институт черной металлургии НАН Украины), Я. В. Олейник (ООО НПП «Термет»): Новая технология термообработки сварных круглозвенных цепей для горного оборудования, 2006.
2. Патент Украины № UA 101827 C2 / Способ и устройство для термообработки круглозвенных цепей / В. А. Олейник, Я. В. Олейник, В. И. Биба, В. Ю. Полуэктов, А. М. Поникарчук, В. И. Грачев / заявл. 17.08.2010; опубл. 13.05.2013, Бюл. № 9.
3. Патент на полезную модель Украины № UA 67379 U / Устройство для термообработки круглозвенных цепей / В. А. Олейник, Я. В. Олейник, В. И. Биба, В. Ю. Полуэктов, А. М. Поникарчук, В. И. Грачев / заявл. 30.08.2010; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 4.
4. Патент на полезную модель Украины № UA 67380 U / Устройство для термообработки круглозвенных цепей / В. А. Олейник, Я. В. Олейник, В. И. Биба, В. Ю. Полуэктов, А. М. Поникарчук, В. И. Грачев / заявл. 30.08.2010; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 4.
5. Гольдштейн М. И., Грачев С. В., Векслер Ю. Г. Специальные стали: Учебник для вузов, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСиС, 1999.
6. Материаловедение: Учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин и др. Под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина – 3 изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001.
7. Машиностроение. Энциклопедия /Ред. совет К. В. Фролов и др. Стали. Чугуны. Т.П-2. Под общ. ред. Банных О. А. /Г. Г. Мухин, А. И. Беляков, Н. М. Александров и др. – М.: Машиностроение, 2001.