

## Материаловедение

УДК 669.017

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В БУРОВЫХ ДОЛОТАХ ДИАМЕТРОМ ДО 150,0 мм

*Т.М. Пугачева, А.В. Клименко, А.П. Амосов*

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

E-mail: [esperanza@vandex.ru](mailto:esperanza@vandex.ru)

*Выполнен анализ химического состава, механических свойств и прокаливаемости сталей, применяемых при изготовлении шарошек и лап отечественных и зарубежных буровых долот диаметром до 150,0 мм. Проведена идентификация марок сталей лап и шарошек буровых долот, произведенных ведущими зарубежными фирмами. Даны рекомендации по применению аналогов зарубежных сталей для лап и шарошек отечественных буровых долот.*

*Ключевые слова:* буровое долото, шарошка, лапа, долотная сталь, химический состав, прокаливаемость, механические свойства.

#### Введение

Для изготовления шарошек долот сплошного бурения с опорами качения диаметром 46-151 мм отраслевая норма ОН26-02-128-69 «Долота и головки бурильные шарошечные» предписывала применять сталь 15НЗМА-Ш. До 01.01.1975 г. взамен стали 15НЗМА допускалось применять сталь 17НЗМА(ТУ 14-1-3-71).

В настоящее время ОАО «Волгабурмаш» в соответствии с ТУ 3-938-79 (ТУ) делает шарошки долот диаметром до 190,4 мм включительно из стали 17НЗМА-Ш. Отметим, что в справочниках [1,2] также рекомендуется цементуемая сталь 17НЗМА-Ш для долот диаметром 46,0-212,7 мм с опорой скольжения и диаметром 112,0-190,5 мм с опорой качения. По ТУ сталь 17НЗМА содержит 0,15-0,20%С, 0,17-0,37%Si, 0,35-0,65%Mn, 3,20-3,80%Ni, 0,20-0,30%Mo, <0,30%Cr, <0,015%S, <0,020%P, <0,25%Si.

В ТУ помимо определения механических свойств проката был введен контроль прокаливаемости методом торцевой закалки (определение твердости на расстоянии 4,5 и 30 мм от закаленного торца образца). Нормы механических свойств и прокаливаемости для стали 17НЗМА приведены в табл. 1.

*Пугачева Татьяна Михайловна - доцент кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы», к.т.н., доцент.*

*Клименко Андрей Владимирович - аспирант кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы».*

*Амосов Александр Петрович - заведующий кафедрой «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы», д.т.н., профессор.*

**Механические свойства и прокаливаемость (HRC) образцов, изготовленных из термообработанных\* заготовок (ТУЗ-938-79)**

Марка стали	Предел текучести, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )	Предел прочности, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость, МДж/м <sup>2</sup> (кгс*м/см <sup>2</sup> )	HRC на расстоянии от торца, мм	
	не менее					4,5	30
17НЗМА-Ш	833(85)	931(95)	10	50	0,98(10)	35-40,5	22-32

Примечание: Режимы термообработки заготовок - для определения механических свойств: 1-я закалка - от  $890 \pm 15$  °С в масле; 2-я закалка - от  $765 \pm 15$  °С в масле, отпуск при  $170-220$  °С с охлаждением на воздухе; для определения прокаливаемости: нормализация при  $920 \pm 10$  °С, торцевая закалка - от  $860 \pm 10$  °С водой.

Как показал опыт использования стали 17НЗМА, ее основным недостатком является большой разброс механических свойств от плавки к плавке и особенно недостаточная прокаливаемость.

Попытки использовать в шарошках малых долот (например, диаметром 120,6 - 158,7 мм) сталь марки 14ХНЗМА повышенной прочности и прокаливаемости оказались неудачными из-за растрескивания шарошек не только во время их эксплуатации, но и даже в новых долотах после запрессовки зубков.

Соответственно, целью работы было исследование сталей, применяемых для изготовления шарошек зарубежных буровых долот диаметром до 150,0 мм, для обоснования рекомендаций выбора марки стали с повышенной прокаливаемостью для шарошек долот малого диаметра. Одновременно изучали стали, используемые для изготовления лап в этих буровых долотах.

#### **Анализ химического состава сталей, применяемых в шарошках и лапах зарубежных буровых долот**

Для изготовления лап и шарошек зарубежных долот, так же как и в отечественных шарошечных долотах, применяют низкоуглеродистые легированные цементуемые стали [1, 3, 4, 5]. Для фрезерованных шарошек преимущественно используют никельмолибденовую сталь группы SAE-AISI 48xx (типа 4815), для штыревых шарошек - хромоникельмолибденовую сталь группы SAE-AISI 93xx (типа 9310-9315), для лап - хромоникельмолибденовую сталь группы SAE-AISI 86xx, 87xx (типа 8620, 8720).

Марочный состав наиболее часто используемых в долотах электросталей с гарантированной прокаливаемостью согласно стандарту ASTM A 304 [6, 7] представлен в табл. 2. Такой марочный состав соответствует и стандарту ASTM A 534 для цементуемых сталей, применяемой в антифрикционных опорах и подшипниках [8].

Поставка горячекатаных стальных прутков для изготовления штамповок шарошек и лап горнорудных и нефтяных долот производится по соответствующим спецификациям (техническим условиям), которые устанавливают требования по химическому составу, механическим и технологическим свойствам. По сравнению с отечественными ТУ в зарубежных спецификациях предъявляются более высокие тре-

бования к металлургическому качеству сталей, в частности, сужен диапазон изменения содержания элементов, уменьшено предельное количество серы и меди. Дополнительно указываются желаемые значения содержания компонентов, которые для углерода и большинства легирующих элементов составляют среднеарифметическую величину между граничными количествами, а для серы и фосфора уменьшены на 0,05% по сравнению с максимально допускаемым содержанием.

Таблица 2

Химический состав электросталей по ASTM A 304

Марка AISI	Массовая доля элементов, %								
	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	S<	P<	Cu<
4815H	0,12-0,18	0,30-0,70	0,15-0,30	-	0,20-0,30	3,20-3,80	0,025	0,025	0,35%
8720H	0,17-0,23	0,60-0,95	0,15-0,30	0,35-0,65	0,20-0,30	0,35-0,75	0,025	0,025	0,35%
9315H	0,12-0,18	0,40-0,70	0,15-0,35	1,00-1,45	0,08-0,15	2,95-3,55	0,025	0,025	0,35%

Сталь 4815 (близкий аналог отечественной стали 17НЗМА) была получена в конце 30-х годов прошлого века в результате совместных разработок металлургов и основного производителя буровых долот - компании «Hughes Tool Company» («Хьюз»). С тех пор и до настоящего времени она является стандартной сталью для производства фрезерованных зубчатых шарошек буровых долот [4].

В 1951 г. были выпущены первые буровые долота с зубками из карбида вольфрама. Для штыревых шарошек с твердосплавными зубками компания «Хьюз» использовала сталь 4815H с повышенной прокаливаемостью. Значения твердости, получаемые при торцевой закалке, и полоса прокаливаемости™ стали 4815H представлены и на рис. 1.

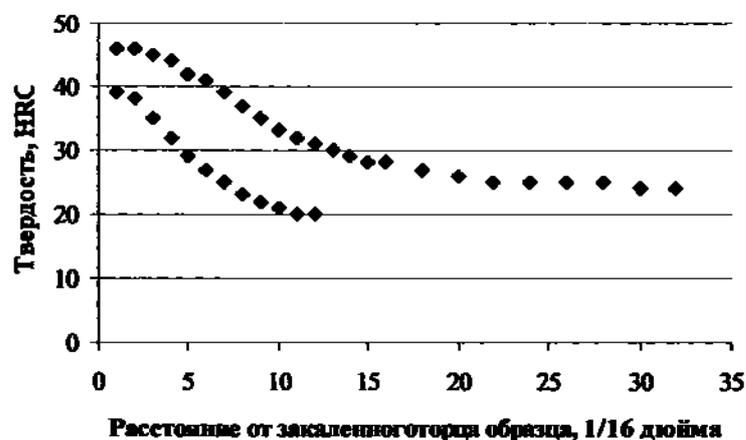


Рис. 1. Полоса прокаливаемости стали 4815H

Немного большую прокаливаемость имеет сталь 4817H (рис. 2), которая от стали 4815H отличается практически только повышенным содержанием углерода (соответственно 0,14-0,20% против 0,12-0,18%).

В 1972 г. в связи с потребностью в увеличении размеров зубчатых долот и использовании больших карбидовольфрамовых зубков в штыревых шарошках возникла необходимость в новой цементуемой стали с еще более высокой прокаливаемостью, а также повышенным пределом текучести сердцевинны для надежного удержания сильно выступающих твердосплавных зубков.

Начиная с 1970-х годов компанией «Climax Molybdenum Company» для «Хьюз» вместо стандартных сталей 4815Н и 8720Н, применявшихся для основных деталей буровых долот (шарошек и лап), была разработана новая сталь EX 30 как модификация стали 4815Н с уменьшенным содержанием никеля, повышенным содержанием марганца и молибдена и дополнительно легированная хромом (табл. 5). По российской классификации марку этой стали можно идентифицировать как 15ХГНМ.



Р и с. 2. Полоса прокаливаемости стали 4817Н

Таблица 5

Химический состав стали SAE EX 30

Массовая доля элементов, %					
C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni
0,13-0,18	0,70-0,90	0,20-0,35	0,45-0,65	0,45-0,60	0,70-1,00

Было показано, что EX 30 по прокаливаемое™ немного лучше, чем 4815Н, и намного лучше, чем 8720Н. Замена последних двух сталей в лапах и шарошках стальной EX 30 уменьшила расходы и повысила производительность долот [4].

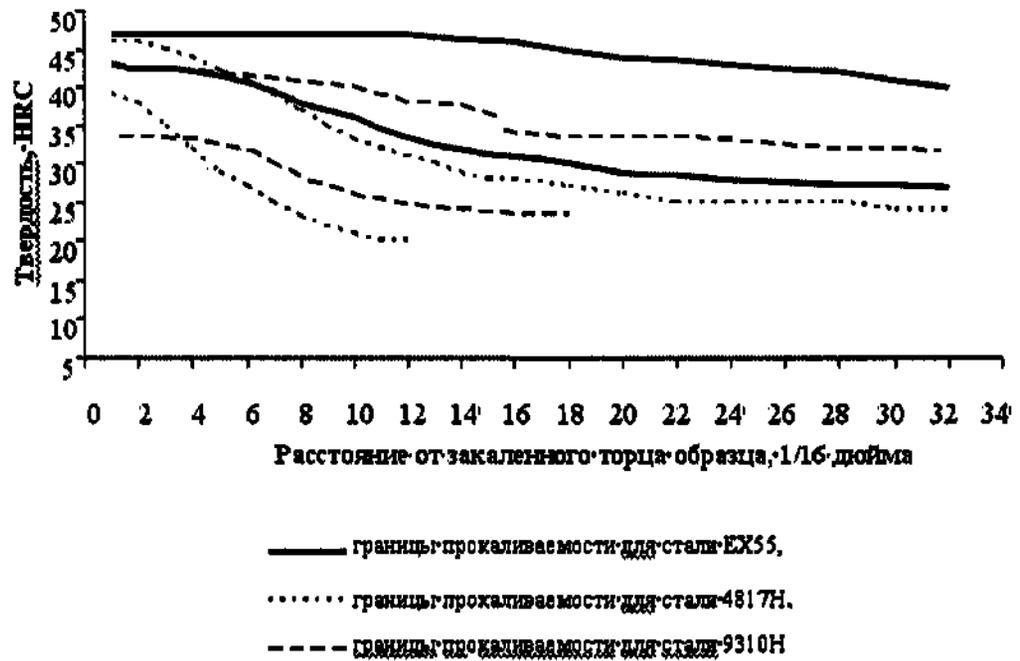
В 1980-е годы в продолжение этих разработок была создана новая цементуемая сталь, которая в настоящее время известна как EX 55. Содержание элементов было выбрано так, чтобы использовать преимущество синергетического эффекта на прокаливаемость путем комбинирования содержания никеля и молибдена с одновременным максимальным увеличением марганца и хрома, чтобы уменьшить стоимость сплава. По сравнению с EX 30 в ней немного повысили количество углерода, марганца, молибдена и почти в два раза - никеля (табл. 6). По российской классификации марку этой стали можно идентифицировать как 17ХГН2М.

Таблица 6

Химический состав стали SAE EX 55

Массовая доля элементов, %				
C	Mn	Cr	Mo	Ni
0,15-0,20	0,7-1,00	0,45-0,65	0,65-0,80	1,65-2,00

Сталь EX55 характеризуется (рис. 3) сверхвысокой прокаливаемостью по сравнению с 4817Н и 93 ЮН и практически таким же сопротивлением разрушению в цементированном состоянии. Кроме того, сталь EX 55 показывает высокую стойкость при повторном ударном нагружении. Так, при использовании ударной нагрузки в 4 Дж цементированные образцы из стали EX 55 выдерживали 1000 ударов до разрушения, из стали 4817Н - только 550, а из стали 8620Н - всего 8 ударов [4].



Р и с 3. Прокаливаемость сталей EX55, 9310Н, 4817 [4]

### Идентификация марок сталей в зарубежных буровых долотах

Основными фирмами-производителями буровых шарошечных долот в США являются Hughes Christensen Co. (Хьюз); Smith International, Inc. (Смит.); Reed Tool Co. (Рид); Security DBS, Dresser Industries, Inc. (Секьюрити); Varel Manufacturing Co. (Варел) [1, 12].

К ведущим фирмам-производителям буровых шарошечных долот в других зарубежных странах следует отнести такие фирмы, как Sandvik Coromant, Швеция (Сандвик); Tsukamoto Seyku, Япония; Kingdream Public Limited Co., Китай (Киндрим); Industrialexport S.A., Румбимв; Dunantuli Koolajipari Gepquar Rt, Венгрия. [1].

Анализ химического состава шарошек и лап зарубежных долот фирм США Хьюз, Смит, Рид, Секьюрити, Варел, Сандвик, Вилию, а также китайского, индийского и канадского производства, по данным ЦЗЛ ОАО «Волгабурмаш» за 1996-2006 годы, позволил определить марки сталей, используемых для лап и шарошек в малых буровых долотах диаметром до 165 мм (табл. 7). В таблице указана фирма-производитель, а если фирма неизвестна, то - страна происхождения. Стандартный марочный состав всех упоминаемых в статье зарубежных сталей приведен в табл. 8.

## Марки сталей\*, используемых в зарубежных буровых долотах диаметром до 165 мм

№	Фирма-производитель или/и страна происхождения	Диаметр долота, мм	Марки стали		
			лапа	шарошка	
				штыревая	фрезерованная
1	Рид	120,7	-4119	-EX55	
2		142,9	-4119 с завышенным Мп	-EX55	
3	Варел	-	-		4817Н
4		114,0	8720Н/8620Н		4817Н
5	США	149	8720Н/8620Н	E9314	
6	США	98	8720Н/8620Н с высоким Si		-4817Н
7	Канада	124	8720Н/8620Н с высоким Si		-4817Н
8	США	139,7	4817Н	E9314/E9315	
9	Вилио, США	165	-	E9315	-

Примечание: \* Знаком ~ показано, что состав практически совпадает с приведенной маркой (отклонение по одному-двум элементам - не более 0,05%). Заметные отклонения отражены в таблице текстом. Знаком / показана принадлежность химического состава стали сразу двум маркам.

Таблица 8

## Стандартный химический состав зарубежных марок сталей, используемых в лапах и шарошках буровых долот

Марка стали	Массовая доля элементов, %					
	C	Si	Мп	Cr	Ni	Mo
4119	0,17-0,22	0,20-0,35	0,70-0,90	0,40-0,60	-	0,20-0,30
4815	0,13-0,18	0,15-0,30	0,4-0,6	-	3,20-3,75	0,2-0,3
4815Н	0,12-0,18	0,15-0,30	0,3-0,7	-	3,20-3,80-	0,2-0,3
4817	0,15-0,20	0,15-0,30	0,4-0,6	-	3,20-3,75	0,2-0,3
4817Н	0,14-0,20	0,15-0,30	0,3-0,7	-	3,20-3,80	0,2-0,3
9310	0,08-0,13	0,20-0,35	0,45-0,65	1,0-1,40	3,0-3,5	0,08-0,15
9310Н	0,07-0,13	0,15-0,35	0,4-0,7	1,0-1,45	2,95-3,55	0,08-0,15
9313	0,11-0,15	0,2-0,26	0,65-0,75	1,4-1,5	3,15-3,35	0,1-0,14
E9314	0,11-0,17	0,2-0,35	0,4-0,7	1,0-1,4	3,0-3,5	0,08-0,15
E9315	0,13-0,18	0,15-0,30	0,45-0,65	1,0-1,4	3,0-3,5	0,08-0,15
8620	0,18-0,23	0,2-0,35	0,7-0,9	0,4-0,6	0,4-0,7	0,15-0,25
8620Н	0,17-0,23	0,15-0,30	0,6-0,95	0,35-0,6	0,35-0,75	0,15-0,25
8720	0,18-0,23	0,15-0,30	0,7-0,9	0,4-0,6	0,4-0,7	0,2-0,3
8720Н	0,17-0,23	0,15-0,30	0,6-0,95	0,35-0,65	0,35-0,75	0,2-0,3
EX30	0,13-0,18	0,20-0,35	0,7-0,9	0,45-0,65-	0,70-1,00	0,45-0,60
EX55	0,15-0,20	0,15-0,35	0,7-1,0	0,45-0,65	1,65-2,00	0,65-0,80

Таблица 9

**Марки сталей, используемых в зарубежных долотах диаметром более 215,9 мм**

Фирма или страна-изготовитель	Диаметр долота, мм	Марки стали		
		Лапа	Шарошка	
			штыревая	фрезерованная
1	2	3	4	5
Дрессер	215,9	EX30	-	EX30
	215,9	EX30	E9315	-
	215,9	-EX30	E9315	-
	215,9	-EX30	-E9315 с повышенным Ni	-
Секьюрити	311,0	8620H/8720H	E9315	-
	311,0	-EX30	E9315	-
Смит	-	8720H	9310H/E9314	-
	215,9	4817H	-E9314	-
	251,0	8720H	93 ЮH/9313	-
	270,0	8720H	-E9314/9313	-
	215,9	-4817H	-9313	-
	215,9	4817H	E9314	-
	215,9	4817H	-9313	-
	295,3	4817H	-E9314	-
	295,3	8720H/8620H	E9314	-
Сандвик	251,0	8720H	E9315 с пониженным Ni и высоким Mo	-
Сандвик	251,0	8720H	E9315 с пониженным Ni и высоким Mo	-
	250,8	-	-9313	-
Хьюз	251,0	8620H	E9315	-
	311,0	EX30	-	-4817H
	311,0	EX30	4817H с завышенным Mл	-
	215,9	EX30	4817H с завышенным Mп	-
	215,9	EX30	4817H с завышенным Mп и Mo	-
Рид	215,9	-4119	-EX 55 с завышенным Ni	-
	444,5	-4119 с завышенным Mп	-	EX30
Варел	-	-	-	4817H
	215,9	8720H/8620H	9313	-
	215,9	8620H	9313	-
	215,9	8720H/8620H	9313	-
	251,9	8720H	9313	-
Китай	215,9	EX30	-4817H	-
Бидиа, Индия	251,0	-8720H	-	-8720H с высоким Ni

Примечание: \* Знаком - показано, что состав практически совпадает с приведенной маркой (отклонение по одному-двум элементам - не более 0,05%). Заметные отклонения отражены в таблице текстом. Знаком / показана принадлежность химического состава стали сразу двум маркам.

Из табл. 7 видно, что для всех фрезерованных шарошек была использована сталь 4817Н в сочетании с лапами, сделанными из стали 8620Н/8720Н, для штыревых шарошек - сталь EX 55 с лапами из безникелевой стали 4119 (Рид) либо сталь E9314/9315 (Вилио, США) с лапами из 8620Н/8720Н или 4817Н (США).

Для сравнения был проведен аналогичный анализ для шарошек и лап долот большего диаметра (табл. 9).

Из табл. 9 видно, что для фрезерованных шарошек более крупных долот (диаметром от 215 до 311 мм) наряду со сталью 4817Н (Хьюз, Варел) используют сталь EX 30 (Дрессер) и сталь 8720Н с повышенным Ni (Бидиа, Индия) в сочетании с лапами из стали 8720Н (Бидиа, Индия) либо более прочной стали EX 30 (Дрессер, Хьюз). Для штыревых шарошек в основном используют стали типа 93xx: 9310Н/9313 и 93 ЮН/9314 (Смит), 9313 (Смит, Сандвик, Варел), E9314 (Смит), E9315 (Секьюрити), E9315 и E9315 с повышенным никелем (Дрессер), E9315 с высоким молибденом и пониженным никелем (Сандвик). При этом для лап применяют стали 8720Н/8620Н (Варел, Хьюз, Сандвик, Смит, Секьюрити), либо 4817Н (Смит) или EX30 (Дрессер, Секьюрити). Кроме того, в штыревых шарошках используют сталь 4817Н (Китай) или 4817Н с завышенным марганцем или одновременно марганцем и молибденом (Хьюз) с лапой из EX 30.

У долота диаметром 444,5 мм фирма Рид для фрезерованной шарошки использовала сталь EX 30, а для лапы - безникелевую сталь 4119.

Таким образом, наряду с традиционными марками долотных сталей из групп 93xx, 86/87xx и 48xx в зарубежных буровых долотах малых и средних (215,9 мм) диаметров для штыревых шарошек применяют сталь EX 55, а в долотах средних и больших диаметров (444,5мм) для фрезерованных шарошек и лап используют сталь EX30.

#### Заключение

1. Сталь типа 17ХГН2МА (аналог EX55), характеризующаяся сверхвысокой прокаливаемостью и высоким сопротивлением ударному нагружению, может быть рекомендована для изготовления штыревых шарошек, требующих наибольшей прокаливаемости™.

2. Сталь типа 15ХГНМА (аналог EX30), характеризующаяся повышенными сопротивлением хрупкому разрушению и прокаливаемостью, может быть рекомендована для изготовления лап долот вместо стали 19ХГНМА и 15НЗМА и фрезерованных шарошек вместо стали 17НЗМА.

3. Стали типа 10ХНЗМА или 14ХНЗМА при содержании углерода на ниже уровне (аналоги 93 ЮН), характеризующиеся высоким сопротивлением ударному нагружению и повышенной прокаливаемостью, могут быть рекомендованы для изготовления малых шарошек, требующих повышенной прокаливаемости, вместо стали 17НЗМА.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амосов А.П., Ищука А.П., Пугачева Т.М. Долотная сталь. - М.: Машиностроение, 2008. - 291 с.
2. Международный транслятор-справочник «Шарошечные долота» / Под ред. В.Я. Кершенбаума и А.В. Торгашова. (Международная инженерная энциклопедия. Серия "Нефтегазовая техника и технология"). - М.: АНО «Технонефтегаз», 2000. - 248 с.
3. Палий П.А., Корнеев К.Е. Буровые долота: Справочник. Изд. 3-е. - М.: Недра, 1971. - 446 с.

4. Scales S.R., Diesburg D.E. A new rock bit steel // Petrol. Int. (Ital), 1982. - 28. - №9. - P. 37-47.
5. Корнеев К.Е., Палуи П. А. Буровые долота: Справочник. Изд. 2-е. - М.: Недра, 1965. - 496 с.
6. Annual Book of ASTM Standards, Parts. 1978. - 888 p.
7. ASTM Standard A 304-78 «Steel Parts, Alloy, Subject to End-Quench Hardenability Requirements».
8. ASTM Standard A 534-94 «Standard Specification for Carburizing Steel for Anti-Friction Bearings».
9. Бадковский Н.А. Технический прогресс в совершенствовании долот для бурения скважин // Нефть. х-во.-1992.-№12.-С. 38-41.

*Статья поступила в редакцию 17 июня 2009 г.*

**УДК 669.017**

## **STEEL ANALYSIS FOR ROCK BITS UP TO 150,0 MM DIAMETER**

***T.M. Pugacheva, A.B. Klimenko, A.P. Amosov***

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

*Chemical composition, mechanical properties, and hardenability analysis performed for cones and legs of domestic and imported rock bits up to 150,0 mm diameter. Steel grades identification of cones and legs of rock bits produced by leading foreign companies has been conducted. Recommendations for application of analogs of foreign steels for legs and cones of rock bits produced by domestic companies have been provided.*

***Key words:*** rock bit, cone, leg, rock bit steel, chemical composition, hardenability, mechanical properties.