

Ле Тхань Бинь
В.И. Болобов
Нгуен Кхак Линь

**ВЛИЯНИЕ
ОБРАБОТКИ ХОЛОДОМ
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА
И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ
МАТЕРИАЛОВ ПИК
ГИДРОМОЛОТОВ**

**ГОРНЫЙ
ИНФОРМАЦИОННО-
АНАЛИТИЧЕСКИЙ
БЮЛЛЕТЕНЬ № 12
СПЕЦИАЛЬНЫЙ
ВЫПУСК 25**



**ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ГОРНАЯ КНИГА»**

Ле Тянь Бинь
В.И. Болобов
Нгуен Кхак Линь

**ВЛИЯНИЕ
ОБРАБОТКИ ХОЛОДОМ
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА
И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ
МАТЕРИАЛОВ ПИК
ГИДРОМОЛОТОВ**

ГОРНЫЙ
ИНФОРМАЦИОННО-
АНАЛИТИЧЕСКИЙ
БЮЛЛЕТЕНЬ № 12
СПЕЦИАЛЬНЫЙ
ВЫПУСК 25

МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ГОРНАЯ КНИГА»
2017



Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых» СанПиН 1.2.1253-03, утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ 29.124–94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 77.99.60.953.Д.014367.12.16

А 33 Ле Тянь Бинь, Болотов В.И., Нгуен Кхак Линь

Влияние обработки холодом на механические свойства и износостойкость материалов пик гидромолотов. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2017. — № 12 (специальный выпуск 25). — 12 с. — М.: Издательство «Горная книга».

ISSN 0236-1493

Показано, что обработка холодом (при -75°C) материалов пик гидромолотов – сталей 38ХМ, У8 и Х12МФА приводит к снижению (на $44\pm 82\%$) содержания остаточного аустенита и увеличению (на $26\pm 99\%$) содержания карбидов в закаленной стали, что сопровождается повышением твердости (на $1,4\pm 2,1\%$) и абразивной износостойкости (на $10\pm 31\%$) испытанных материалов при одновременном снижении ударной вязкости (на $19\pm 24\%$). На примере стали Х12МФА показано, что криогенная обработка (при -196°C) и последующий низкий отпуск высокоуглеродистых высоколегированных сталей, использующихся для изготовления пик гидромолотов, приводит к значительному (до 98%) повышению их износостойкости и ударной вязкости (до 32%).

Ключевые слова: пики гидромолотов, углеродистые и легированные стали, обработка холодом, криогенная обработка, повышение износостойкости.

УДК 622.23.05

ISSN 0236-1493

- © Ле Тянь Бинь, В.И. Болотов, Нгуен Кхак Линь, 2017
- © Издательство «Горная книга», 2017
- © Дизайн книги. Издательство «Горная книга», 2017

Введение

Пика – сменная часть гидромолота, непосредственно взаимодействующая с разрушаемой средой. При эксплуатации молота, особенно по крепким и абразивным породам, пика подвергается значительным напряжениям, ударным нагрузкам и интенсивному абразивному изнашиванию [1] (рис. 1). По этой причине пика должна изготавливаться из материала, обладающего повышенной прочностью, твердостью и износостойкостью при достаточной стойкости к ударным нагрузкам. Обычно, для этой цели используют средне и высокоуглеродистые стали различной степени легирования.

Основными технологическими операциями производства пик являются ковка, механическая и термическая обработка. Типовая термическая обработка (ТТО) включает в себя аустенизацию использованной стали, закалку в масле и низкий отпуск. Структура стали после ТО – мартенсит с определенным количеством остаточного аустенита и карбидов. Сохранение аустенита в структуре закаленной стали обуславливается более низкой температурой завершения мартенситного превращения M_k по сравнению с температурой использованной закалочной среды. Значение M_k и количество остаточного аустенита зависят от химического состава стали и параметров термообработки, чем выше содержание углерода в стали, тем ниже значение M_k и большее содержание остаточного аустенита [2–4].

Присутствие «мягкого» аустенита в структуре материала пики снижает ее твердость, прочность и износостойкость. С другой стороны, под воздействием больших ударных нагрузок, воздействующих на пик при работе гидромолота, часть остаточного аустенита стали в процессе эксплуатации пики превращается в мартенсит. Поскольку ударный объем мартенсита на $4,3\%$ больше, чем аустенита, протекание указанного превращения приводит к искажению размеров пики, что влияет на траекторию движения молота.

С целью уменьшения содержания остаточного аустенита в закаленных сталях в качестве дополнительной операции при термообработке может быть использована обработка холодом или криогенная обработка (при температуре жидкого азота -196°C), при которых изде-



Рис. 1 Вид пика гидромолота JCB HM380 после эксплуатации

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 12 (специальный выпуск 25). С. 3–11.
© Ле Тянь Бинь, В.И. Болотов, Нгуен Кхак Линь, 2017.

охлаждают до температуры ниже M_c использованной стали и выдерживают при этой температуре в течение длительного времени. Поскольку термическая стабильность остаточного аустенита в закаленной стали возрастает в процессе отпуска [5], обработку холодом выполняют сразу после закалки (а затем отпуск).

Другая важная причина благоприятного влияния холода связана с возникновением остаточных напряжений в изделиях, подвергаемых механической обработке. По мере увеличения уровня напряжений, возникающих в результате обработки, возрастает плотность дефектов кристаллической структуры материалов – пустот, дислокаций, укладки и т.д., что приводит к увеличению расстояния между атомами. Когда это расстояние превышает определенное критическое значение, возникают трещины и происходит разрушение изделия [6].

Третий закон термодинамики гласит, что энтропия стремиться к нулю при абсолютной нулевой температуре. Этот принцип используется для снятия остаточных напряжений в металлических материалах обработкой холодом. Длительное воздействие низких температур способствует переводу системы в состояние равновесия, в результате чего снижением плотности дефектов в материале и уменьшению расстояния между атомами в кристаллической решетке. Уплотнение кристаллической структуры приводит к значительному улучшению износостойкости материала, а также повышает его коррозионную стойкость и устойчивость [7].

Более того, обработка холодом приводит к выделению из мартенсита большого количества очень мелких частиц карбида, называемого η -карбидом. По мнению [5], это происходит из-за сжатия кристаллической решетки мартенсита с понижением температуры и перехода его в более неустойчивое термодинамическое состояние.

По этой причине обработка холодом широко используется в качестве дополнительной операции после закалки для улучшения износостойкости инструментальных сталей [2, 8–16]. Целью данной работы являлось изучение влияния обработки холодом и криогенной обработки на структуру, механические свойства и стойкость к абразивному изнашиванию сталей (38ХМ, У8 и Х12МФА), подвергнутых ТО, обычно используемых в качестве материалов пик гидромолотов.

Методика эксперимента

Образцы сталей непосредственно после закалки (с 870°C для сталей 38ХМ, Х12МФА и с 800°C для У8) в масле помещали в криостат с охлаждающей жидкостью ($T = -75^\circ\text{C}$) или с жидким азотом ($T = -196^\circ\text{C}$), где выдерживали в течение 5 и 72 часов, соответственно, после чего подвергали отпуску при 200°C .

Определение содержания карбидов и остаточного аустенита в структуре сталей (с порогом чувствительности 0,1%) проводили с использованием микроскопа Axiorlan-2 и программы KS 300 3.0. Значения КСУ, HV определяли на маятниковом копре Zwick/Roell RKR450 и универсальном твердомере Zwick/Roell ZHU.

Испытания на абразивный износ проводили по методике [17, 18] на установке, схема которой представлена на рис. 2, при частоте вращения шпинделя станка $7,5\text{ с}^{-1}$. В качестве абразивной среды 1 (рис. 2) использовали гранит, как породу, наиболее часто используемую гидромолотами. При постоянной статической нагрузке P (100 Н) торцевую поверхность образца 2 (цилиндр $D \sim 8\text{ мм}$) стали, подвергнутого той или той ТО, изнашивали в течение 50 мин с размером массы m (точность взвешивания $1,0\text{ мг}$) через каждые 10 мин и расчетом ее убыли Δm . После каждого замера пластину абразивного материала смешали относительно образца, что обеспечивало в каждом цикле контакт металла со свежей поверхностью абразива.

По результатам экспериментов для каждой серии испытаний строили график зависимости суммарной убыли массы $\Sigma \Delta m$ образца от продолжительности абразивного воздействия среды t . Через экспериментальные точки проводили экстраполяционную прямую, тангенс угла наклона которой принимали за скорость изнашивания K , а величину ей обратную – за износостойкость / материала.

Результаты эксперимента

Результаты микроструктурных исследований представлены в табл. 1. Как следует из данных табл. 1, обработка холодом приводит к существенному снижению содержания остаточного аустенита в высокоуглеродистых сталях У8 ($\sim 0,8\%$) и Х12МФА ($\sim 1,5\%$), где он сохраняется после закалки в значительных количествах. Она же приводит к увеличению содержания карбидов в закаленных легированных сталях (38ХМ, Х12МФА). Причем, чем ниже температура обработки холодом, тем выше ее эффективность.

Как показали результаты экспериментов на абразивный износ, для всех испытанных образцов сталей процесс изнашивания описывается линейной зависимостью (рис. 3): $\Sigma \Delta m = K t$, где K – скорость изнашивания, зависящая от марки стали и вида термической обработки.

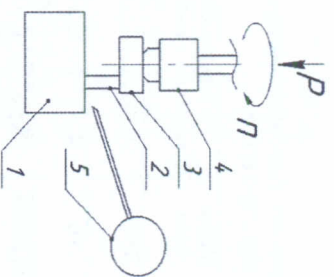


Рис. 2. Схема установки для испытания образцов на абразивный износ: 1 – абразивная среда; 2 – испытуемый образец; 3 – держатель; 4 – шпиндель вертикально-сверлильного станка; 5 – устройство подачи воды

Таблица 1
Влияние обработки холодом на количество остаточного аустенита и карбидов в структуре сталей

Марка стали	% остаточного аустенита		% карбидов	
	без холода	холод при -75°С	холод при -196°С	без холода при -75°С
38ХМ	≤0,10	≤0,10	≤0,10	0,33 (+98,9%)
У8	2,21	1,24 (-43,8%)	0,84 (-61,9%)	0,58 (+243,2%)
Х12МФА	15,65	2,78 (-82,3%)	0,50 (-96,8%)	5,41 (+25,7%)

Установленные значения износоустойчивости ($I = L/K$), ударной вязкости и твердости сталей, как среднее арифметическое из результатов 3-х экспериментов, представлены в табл. 2 и рис. 4.

Таблица 2

Результаты физико-механических испытаний и экспериментов по изнашиванию сталей, подвергнутых ТТО и с применением холода

Марка стали	Вид обработки	Значение параметра		
		KCV, Дж/см ²	HV	I, мин/мг
38ХМ	ТТО	40,6	529	0,50
	ТТО	33,0	536	0,61
	+ холода (-75°С)	(-18,7%)	(+1,4%)	(+23,2%)
У8	ТТО	35,0	539	0,67
	+ холода (-196°С)	(-13,8%)	(+2,0%)	(+34,7%)
	ТТО	5,1	707	0,63
Х12МФА	ТТО	3,9	717	0,68
	+ холода (-75°С)	(-23,5%)	(+1,4%)	(+9,6%)
	ТТО	5,1	730	0,76
Х12МФА	+ холода (-196°С)	(+0,0%)	(+3,2%)	(+21,2%)
	ТТО	3,1	694	1,12
	ТТО	2,5	708	1,47
Х12МФА	+ холода (-75°С)	(-19,4%)	(+2,1%)	(+30,9%)
	ТТО	4,1	750	2,22
	+ холода (-196°С)	(+32,3%)	(+8,2%)	(+97,8%)

Как видно из табл. 2 и рис. 4, с понижением температуры обработки твердость всех марок сталей возрастает, причем наиболее заметно для стали Х12МФА (на 8,2% при -75°С). Для этого же материала наблюдается и наибольшее возрастание износоустойчивости (на 97,8%). Ударная вязкость всех материалов в результате обработки при -75°С снижается, а при -196°С возрастает, превышая для стали Х12МФА значение KCV после ТТО (4,1 по сравнению с 3,1 Дж/см²).

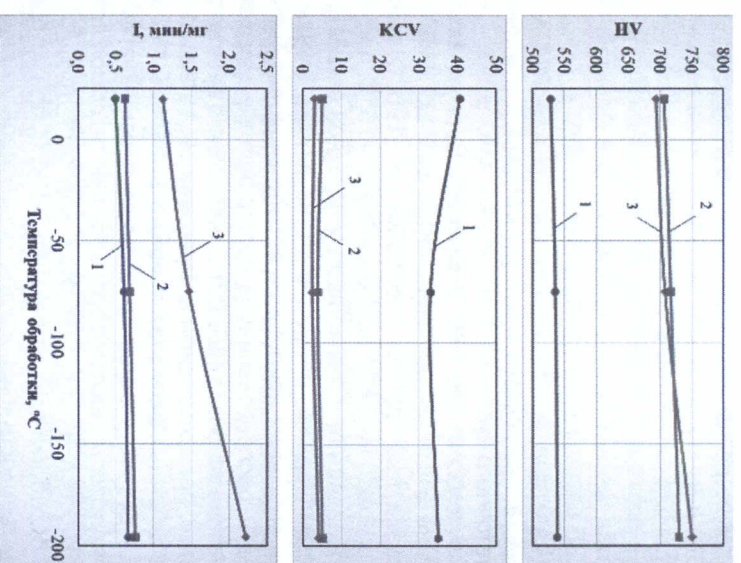


Рис. 1. Влияние температуры обработки холодом на механические свойства и износоустойчивость материалов пик гидромолов - сталей 38ХМ (1), У8 (2) и Х12МФА (3)

Обсуждение результатов

Отличие в степени влияния обработки холодом на износоустойчивость сталей объясняется тем обстоятельством, что эта характеристика зависит не только от твердости стали, но и от типа, объема, формы карбидов, в ней присутствующих.

Сталь Х12МФА демонстрирует наиболее заметное улучшение твердости и износоустойчивости поскольку содержит после закалки значительное количество остаточного аустенита (более 15%), практически полностью переходящего в мартенсит после обработки холодом при -196°С. Кроме того, она отличается и наибольшим содержанием углерода (~1,5%) и легирующих элементов (~13%) из анализируемых сталей, что обеспечивает после обработки холодом увеличение до 10,8% количества мелких частиц карбидов.

Сталь Э8ХМ не показывает столь заметного улучшения твердости (только на 2,0%) и износостойкости (на 34,7%) из-за практического отсутствия остаточного аустенита в своей структуре после закалки. Увеличение HV_1 в результате обработки обуславливается только увеличением количества мелких частиц карбидов. Хотя повышение износостойкости в 1,35 раза также является значительным.

У стали У8 повышение твердости (на 3,2%) и износостойкости (на 21,2%) в результате обработки наоборот связано с превращением в мартенсит остаточного аустенита в структуре стали.

Обработка холодом при -75°C снижает ударную вязкость всех сталей примерно в одинаковой степени (от 18,7 до 23,5%). В то же время понижение температуры обработки до -196°C приводит для всех сталей к возрастанию КСЧ по сравнению с -75°C , причем, для У8 ударная вязкость достигает значения КСЧ исходной закаленной стали, а для стали Х12МФА даже превышает ее (на 32,3%). Улучшение ударной вязкости в результате криогенной обработки может быть объяснено равномерным распределением в пространстве выделяющихся оксидных и мелких карбидов [19, 20] или связано с микроструктурными изменениями, происходящими внутри самого мартенсита [13].

Из представленных результатов можно заключить, что обработка холодом может рассматриваться в качестве перспективной доплатной операции термической обработки пик гидромолотов для увеличения их износостойкости. При этом наиболее предпочтительной температурой обработки следует признать -196°C , при которой наряду с повышением твердости и износостойкости материала пикки возрастают и его ударная вязкость.

Вывод

1. В результате обработки холодом при температуре -75°C большинство остаточного аустенита в структуре закаленных высокоуглеродистых сталей У8 и Х12МФА, использующихся для изготовления пик гидромолотов, превращается в мартенсит, что приводит к повышению твердости и износостойкости стали, а так же к незначительному снижению ее вязкости.

2. На примере стали Х12МФА показано, что криогенная обработка (при -196°C) и последующий низкий отпуск высокоуглеродистых высоколегированных сталей, использующихся для изготовления пик гидромолотов, приводит к значительному (до 98%) повышению износостойкости и ударной вязкости (на 32%). Положительный эффект обработки может быть объяснен выделением большого количества мелких частиц карбидов, равномерно распределенных в структуре стали.

3. Дополнение типовой термической обработки пик гидромолотов криогенной обработкой при -196°C (между операциями закалки и низким отпуском) будет способствовать повышению твердости, износостойкости и ударной вязкости использованной стали.

1. Болобов В. И. и др. *Свойства сталей и сплавов в машиностроении*. // Горное оборудование и электромеханика. - М.: Машиностроение, 1969. - 248 с.
2. Кириченко А. П. и др. *Холод в машиностроении*. - М.: Машиностроение, 1978. - 392 с.
3. Чулаков Е. А. *Машиностроение. Энциклопедический справочник. Раздел 2* Материалы машиностроения. Том 3. М.: ГОНТИ, 1947. - 341 с.
4. Новиков И. И. *Теория термической обработки металлов*. - М.: Металлургия, 1978. - 392 с.
5. Уил Донг и др. *Деер Стюгенит Treatment of High-speed Steel and Its Mechanism* // Heat Treatment of Metals. - 1998. - №. 3. - pp. 55-59.
6. Patel P. I. и Tated R. G. *Comparison of Effects of Cryogenic Treatment on Different Types of Steels: A Review* // International Conference in Computational Intelligence (ICCI) - Proceedings published in International Journal of Computer Applications@ (IJCA). - 2012. - pp. 10-29.
7. Tated R. G. и др. *Improvement in Tool Life of Cutting Tool by Application of Deerp Cryogenic Treatment* // 7th International Tooling Conference Held, Roitescio di Torino, Italy. - 2006. - pp. 135-141.
8. Collins D. N. *Deerp Cryogenic Treatment of Tool Steels: A Review* // Heat Treatment of Metals. - 1996. - pp. 40-42.
9. *Sub-zero Treatment of Steels - Technology/ Processes/ Equipment*. Linde Gas. 2010. 20 p.
10. *ASM Handbook. Том 4 Heat Treating*. ASM International, 2002. 2173 p.
11. Sandane D. и др. *Effect of Cryogenic Treatment on Microstructure and Wear Characteristics of AISI M35 HSS* // International Journal of Materials Science and Applications. - 2013. - Vol. 2. - pp. 56-65.
12. Collins D. N. *Cryogenic Treatment of Tool Steels* // Advanced Materials and Processes. - 1998. - pp. 23-29.
13. Collins D. N. и Dormer J. *Deerp Cryogenic Treatment of a D2 Cold-work Tool Steel* // Heat Treatment of Metals. - 1997. - pp. 71-74.
14. Katsi N. S. и др. *Cryogenic Treatment of Tool Materials: A Review* // Materials and Manufacturing Processes. - 2012. - Vol. 25. - pp. 1077-1100.
15. Paulin P. *Sold Cuts* // Cutting Tool Engineering. - 1992. - pp. 61-66.
16. Yagandhar T. и Krishnan P. K. *Cryogenic Treatment and Its Effect on Tool Steel* // 6th International Tooling Conference, Karlstad University. - 2002. - pp. 671-684.
17. Болобов В. И. и др. *Износостойкость стали 110Г13А в различных абразивных средах* // Записки горного института. - 2014. - Т. 209. - С. 17-22.
18. Болобов В. И. и др. *Износостойкость стали Гадфильда при больших ударных нагрузках* // Горное оборудование и электромеханика. - 2012. - № 10. - С. 12-14.
19. Bensey A. и др. *Influence of Deerp Cryogenic Treatment on Alloy Carbide Prescriptions and Mechanical Properties of AISI M2 High Speed Tool Steel* // Oil Facts. - 2012. - 28 (2). - С. 4-9.
20. Das Debdihi и др. *Influence of Sub-zero Treatments on Fracture Toughness of AISI D2 Steel* // Materials Science and Engineering: A - 2010. - Vol. 528. - pp. 589-603. **[Табл]**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Ле Тянь Бинь – аспирант,
Болобов В.И. – профессор, boloboff@mail.ru,
Нгуен Кхас Линь – аспирант,
Санкт-Петербургский Горный университет.

ISSN 0236-1493. Горнун информатионно-аналитически буллетен'. 2017.
No. 12 (specialnyi выпуск 25), pp. 3-11.

Le Thanh Binh, V.I. Bolobov, Nguyen Khac Linh

INFLUENCE OF CRYOGENIC TREATMENT ON MECHANICAL PROPERTIES AND WEAR RESISTANCE OF MATERIALS OF HYDRAULIC BREAKERS CHISELS

It has been shown that the cold treatment at -75°C of materials of hydraulic breakers chisels - steels 38XM, Y8 and X12MФA, leads to a decrease in the content of retained austenite (by 44-82%) and an increase in the content of carbides (by 26-99%) in hardened steel, which is accompanied by an increase in hardness (by 1.4-2.1%) and abrasive wear resistance (by 10-31%) of the tested materials, while reducing the toughness (by 19-24%). The example of steel X12MФA shows that cryogenic treatment (at -196°C) and subsequent low tempering of high-carbon high-alloy steels leads to a significant increase in wear resistance (up to 98%) and toughness (up to 32%).

Key words: hydraulic breakers chisels, carbon and alloy steels, cold treatment, cryogenic treatment, increase in wear resistance.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-25-3-11

AUTHORS

Le Thanh Binh, graduate student of Department of mechanical engineering,
Bolobov V.I., professor of Department of mechanical engineering,
Nguyen Khac Linh, graduate student of Department of mechanical engineering,
Saint-Petersburg Mining University, Russia.

REFERENCES

1. Bolobov V. I. i dr. *Gornoe oborudovanie i elektromehanika*, 2017, no 6, pp. 43-48.
2. Klimenko A. P. i dr. *Holod v mashinostroenii* (Cold in mechanical engineering). Moscow: Mashinostroenie, 1969, 248 p.
3. Chudakov E. A. *Mashinostroenie. Jenciklopedicheskiy spravochnik* (Engineering Encyclopedic reference). Razdel 2 Materialy mashinostroenija. Tom 3. Moscow: GONTI, 1947, 341 p.
4. Novikov I. I. *Teorija termicheskoj obrabotki metallov* (Theory of heat treatment of metals). Moscow: Metallurgija, 1978, 392 p.
5. Yun Dong I. dr. *Deep Cryogenic Treatment of High-speed Steel and Its Mechanism. Heat Treatment of Metals*, 1998, no 3, pp. 55-59.

10

6. Patil P. I. i Tated R. G. *Comparison of Effects of Cryogenic Treatment on Different Types of Steels: A Review*. International Conference in Computational Intelligence (ICCA) - Proceedings published in International Journal of Computer Applications@ (IJCA), 2012, pp. 10-29.
7. Tated R. G. i dr. *Improvement in Tool Life of Cutting Tool by Application of Deep Cryogenic Treatment*. 7th International Tooling Conference Held, Politecnico di Torino, Italy, 2006, pp. 135-141.
8. Collins D. N. *Deep Cryogenic Treatment of Tool Steels: A Review*. Heat Treatment of Metals, 1996, pp. 40-42.
9. *Sub-zero Treatment of Steels - Technology*. Processes. Equipment. Linde Gas, 2010. 20 p.
10. ASM Handbook. Tom 4 Heat Treating. ASM International, 2002. 2173 p.
11. Candane D. i dr. *Effect of Cryogenic Treatment on Microstructure and Wear Characteristics of AISI M35 HSS*. International Journal of Materials Science and Applications. - 2013, Vol. 2, pp. 56-65.
12. Collins D. N. *Cryogenic Treatment of Tool Steels*. Advanced Materials and Processes, 1998, pp. 23-29.
13. Collins D. N. i Dormer J. *Deep Cryogenic Treatment of a D2 Cold-work Tool Steel*. Heat Treatment of Metals, 1997, pp. 71-74.
14. Kalsi N. S. i dr. *Cryogenic Treatment of Tool Materials: A Review*. Materials and Manufacturing Processes, 2012, Vol. 25, pp. 1077-1100.
15. Paulin P. *Cold Cuts*. Cutting Tool Engineering, 1992, pp. 61-66.
16. Yugandhar T. i Krishnan P. K. *Cryogenic Treatment and Its Effect on Tool Steel*. 6th International Tooling Conference. Karlstad University, 2002, pp. 671-684.
17. Bolobov V. I. i dr. *Zapiski gornogo instituta*, 2014, T. 209, pp. 17-22.
18. Bolobov V. I. i dr. *Gornoe oborudovanie i elektromehanika*, 2012, no 10, pp. 12-14.
19. Bensely A. i dr. *Influence of Deep Cryogenic Treatment on Alloy Carbide Precipitations and Mechanical Properties of AISI M2 High Speed Tool Steel*. Cold Facts, 2012, 28 (2), pp. 4-9.
20. Das Debudulal i dr. *Influence of Sub-zero Treatments on Fracture Toughness of AISI D2 Steel*. Materials Science and Engineering: 2010, Vol. 528, pp. 589-603.



11

Ле Тхань Бинь
В.И. Болотов
Нгуен Кхак Линь

**ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ХОЛОДОМ
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ
МАТЕРИАЛОВ ПИК ГИДРОМОЛЮТОВ**

Горный информационно-аналитический
бюллетень (научно-технический журнал) № 12
(специальный выпуск 25)

Режим выпуска «стандартный»

Выпущено в авторской редакции

Компьютерная верстка и подготовка
оригинал-макета И.А. Вершинина
Обложка И.А. Вершинина

Подписано в печать 20.10.2017.
Формат 60х90/16.
Бумага офсетная № 1.
Гарнитура «Franklin Gothic Book».
Печать цифровая.
Усл. печ. л. 0,75. Тираж 500 экз. Изд. № 3166

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»

Отпечатано в типографии
издательства «Горная книга»

119049 Москва, Ленинский проспект, 6,
издательство «Горная книга»
тел. (499) 230-27-80; (495) 737-32-64

