© А.А. Морев, С.Я. Рябчиков, 2014

УДК 622.24

А.А. Морев, С.Я. Рябчиков

СПОСОБЫ ОБЪЕМНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ИХ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приведен анализ способов объемного упрочнения породоразрушающего инструмента и разработана оригинальная классификация этих способов. Предложены перспективные направления дальнейшего исследования в области объемного упрочнения породоразрушающего инструмента: влияние исходной температуры обрабатываемого материала перед криогенной обработкой на эффективность его упрочнения; влияние комплексной радиационно-криогенной и криогенно-магнитной обработки на ресурс алмазного и твердосплавного инструмента; оптимизация режимных параметров бурения скважин (осевая нагрузка, частота вращения, интенсивность промывки) упрочненным твердосплавным и алмазным инструментом.

Ключевые слова: породоразрушающий инструмент, упрочнение бурового инструмента, криогенная обработка, магнитно-импульсная обработка, классификация.

Эффективность бурения скважин, особенно в крепких горных породах, в значительной степени определяется эксплуатационными показателями породоразрушающего инструмента (ПРИ). Повышение износостойкости ПРИ является существенным резервом увеличения производительности труда (за счет сокращения затрат времени на непроизводительные операции, повышения непрерывности рабочего процесса), снижения энергозатрат и материальных затрат при сооружении скважин.

Значительное влияние на ресурс ПРИ оказывают его конструктивные особенности, режимные параметры бурения (частота вращения, осевая нагрузка, интенсивность очистки забоя), соответствие физико-механических свойств разбуриваемых пород прочностным показателям ПРИ. Однако определяющим фактором здесь является износостойкость ПРИ – способность инструмента противостоять изнашиванию в процессе разрушения горной породы, которая в значительной степени определяется физико-механическими свойствами материалов, из которых изготовлен инструмент. Проблему повышения износостойкости ПРИ можно решить или путем создания новых материалов, значительно превосходящих по свойствам современные, или модификацией существующих, приводящей к существенному улучшению их прочностных свойств. Создание новейших сверхпрочных материалов должно сопровождаться рядом предшествующих научных открытий, в связи с чем достаточно сложно будет определить конкретное направление исследовательских работ. Тогда как в области упрочнения уже имеющихся материалов за счет модификации их свойств уже существуют определенные достижения, основываясь на которых, можно обозначить некоторые направления дальнейшего исследования.

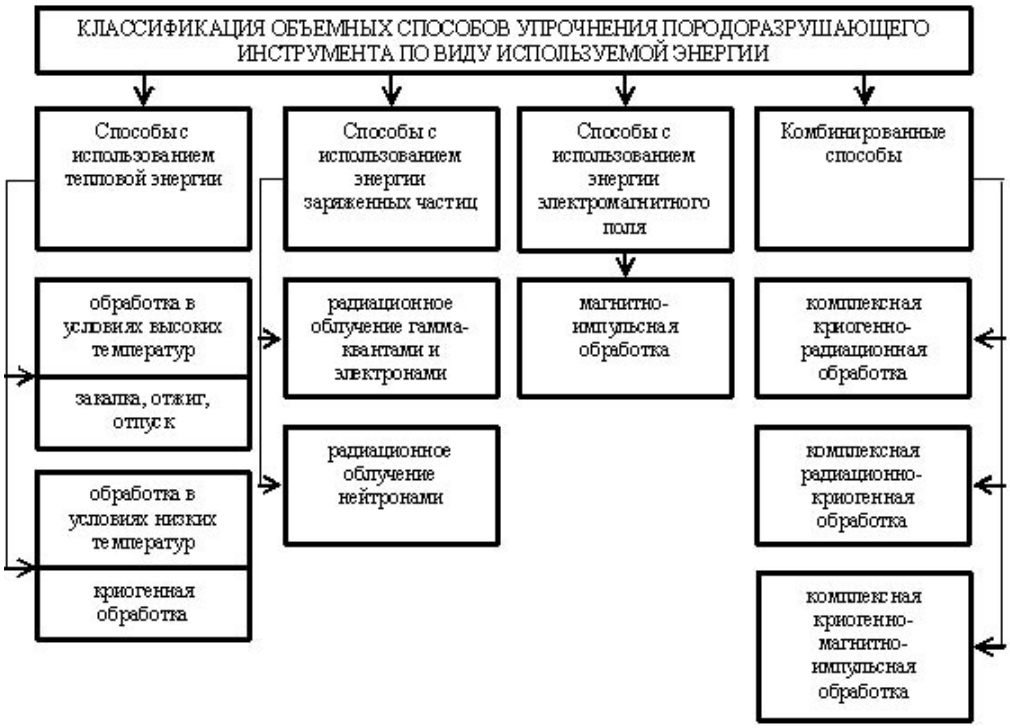
Практически все физические свойства твёрдых тел в конечном итоге определяются взаимным расположением, характером взаимодействия и интенсивностью движения атомов кристаллической решётки, а также поведением свободных электронов [1]. В связи с чем, существенное изменение свойств изготовленных твердых сплавов и композиционных алмазосодержащих материалов (КАМ) можно реализовать воздействуя на его структуру [2].

Значительные результаты в области упрочнения ПРИ получены С.Я. Рябчиковым, В.И. Власюком, В.И. Спириным и др. Например, по итогом работ С.Я. Рябчикова по упрочнению алмазного и твердосплавного серийно выпускаемого ПРИ, были получены весьма существенные результаты. Так, в среднем удалось повысить ресурс ПРИ приблизительно в 2 раза, а по отдельным типам ПРИ повышение составило порядка 350–400 % [3]. Благодаря развитию технологий изготовления материалов, на сегодняшний день износостойкость производимого серийно ПРИ увеличилась в десятки раз по сравнению с ранее выпускаемым инструментом. Проходка на коронку может достигать, в зависимости от геолого-технических условий, нескольких сотен метров. Однако и этот инструмент имеет огромные резервы для совершенствования, пределом которых может быть соответствие реальных прочностных характеристик материалов, применяемых при изготовлении ПРИ, теоретическим, которые могут быть у материалов с идеальной структурой.

Необходимо учитывать то обстоятельство, что при изготовлении инструмента могут существенно изменяться свойства исходных материалов. Так, например, пайка, сварка, плавление существенно повышают внутренние напряжения в твердом сплаве и в КАМ. Из этого следует, что целесообразно проводить упрочнение готового инструмента, а не его отдельных рабочих элементов до сборки. Способы поверхностного упрочнения металлов и твердых сплавов не нашли применения в практике упрочнения ПРИ в связи со спецификой его работы (абразивный износ, динамические, знакопеременные нагрузки и т.д.). Положительный эффект от упрочнения поверхностного слоя рабочих элементов ПРИ безусловно проявляется, но на непродолжительное время. С износом упрочненного слоя, физико-механические свойства ПРИ возвращаются к своим исходным значениям. Сопоставив затраты (стоимость, трудоемкость изготовления) на такое упрочнение и ее эффективность можно сделать вывод, что применять такие способы не целесообразно. Больший практический интерес представляют объемные способы упрочнения металлов и твердых сплавов. Авторами предложена классификация объемных способов упрочнения ПРИ (рисунок), классификационным признаком которой является вид используемой энергии.

По данному признаку все способы объемного упрочнения ПРИ можно разделить на 4 группы – с использованием тепловой энергии (термическая обработка), энергии заряженных частиц, энергии электромагнитного поля и комбинированные способы.

По характеру воздействия термическую обработку можно разделить на два вида: обработка в условиях высоких температур (закалка, отжиг, отпуск) и обработка в условиях низких отрицательных температур (криогенная обработка). Обработка в условиях высоких температур позволяет повысить ресурс некоторых твердосплавных инструментов в 1,2–2 раза [4]. Однако такой способ упрочнения



Классификация объемных способов упрочнения ПРИ

оказывает малое, либо вообще не оказывает влияние на некоторые материалы, в том числе КАМ и имеет ряд недостатков (разрушение паяных швов, повышение хрупкости материалов, и т.д.), что в совокупности не позволяет применять его для упрочнения ПРИ. Криогенная обработка является более эффективным способом термического упрочнения алмазного и твердосплавного ПРИ, которая реализуется путем быстрого охлаждения (термического удара) обрабатываемого изделия.

Процесс криогенной обработки осуществляется следующим образом: обрабатываемое изделие (ПРИ) быстро погружают в жидкость с низкой отрицательной температурой (обычно используют жидкий азот) на определенное время, в результате чего происходит «ударное» охлаждение изделия. Вследствие чего происходит значительное изменение в структуре обрабатываемых материалов, приводящее к заметным изменениям физико-механических характеристик. Эффект упрочнения твердосплавного инструмента при термоударе обусловлен изменением тонкой кристаллической структуры твердого сплава за счёт наклепа кобальтовой связки в локальных областях по периметру карбидных включений из-за большого различия в коэффициентах термического расширения. Этими же факторами можно объяснить повышение качества закрепления алмазов в матрице алмазного ПРИ [5].

В группу способов объемного упрочнения ПРИ с использованием энергии заряженных частиц вошли методы радиационного облучения (гамма-квантами, электронами, нейтронами). Практический интерес

представляют методы облучения малыми дозами гамма-квантов или электронов, обеспечивающие объемное упрочнение материала не вызывая остаточной радиации. Облучение твердых сплавов нейтронами дает положительный эффект, но приводит к большой радиоактивности обработанного материала, что исключает использование такого метода для обработки ПРИ [6]. Механизм упрочнения различных материалов при радиационном облучении объясняется эффектом малых доз ионизирующего излучения, впервые открытым учеными ТПУ [7]. Слабое воздействие ионизирующего излучения вызывает коренную перестройку кристаллов и резкое улучшение его физических свойств. Оказалось, что облучение гамма-квантами и электронами с поглощённой дозой ионизирующего излучения, превышающей 105 Дж/кг металлов и сплавов приводит не к накоплению дефектов (как считалось ранее), а, наоборот, к их устранению и упорядочению структуры материала. Структурные изменения в твердом кристаллическом теле происходят за счет освобождения запасенной энергии в результате инициированных облучением цепных реакций между дефектами.

Большой интерес для объемного упрочнении ПРИ представляет метод магнитно-импульсной обработки. Сущность такого упрочнения состоит в том, что при магнитно-импульсном воздействии вещество меняет свои физические и механические свойства. Улучшение свойств у ферромагнитных материалов, прошедших магнитно-импульсную обработку, достигается за счет направленной ориентации внешним полем свободных электронов вещества, вследствие чего увеличивается его тепло- и электропроводность. Взаимодействие импульсного магнитного поля с ферромагнитным веществом тем интенсивнее, чем выше его структурная и энергетическая неоднородность [8]. После обработки ПРИ таким способом повышается его усталостная и общая прочность, уменьшаются остаточные термические напряжения. Все это ведет к повышению износостойкости ПРИ.

В группе комбинированных способов объемного упрочнения ПРИ можно выделить комплексную криогенно-радиационную обработку. В данном случае криогенная обработка рассматривается как низкотемпературная закалка, а облучение малыми дозами гамма-квантов – как радиационный отпуск. Комплексная криогенно-радиационная обработка обеспечивает более высокую износостойкость ПРИ по сравнению с этими же способами, применяемыми по отдельности. Известно [9,10], что при криогенно-магнитной обработке инструмента из быстрорежущей стали его ресурс повышается в 6–8 раз. Это дает теоретические предпосылки для проведения масштабных экспериментальных исследований с твердыми сплавами и КАМ, используемыми для изготовления различных типов ПРИ.

Таким образом, проанализировав существующие методы упрочнения ПРИ, были обозначены несколько наиболее перспективных направлений дальнейшего исследования:

– влияние исходной температуры обрабатываемого материала перед криогенной обработкой на эффективность его упрочнения;

– влияние комплексной радиационно-криогенной и криогенно-магнитной обработки на ресурс алмазного и твердосплавного ПРИ;

– оптимизация режимных параметров бурения скважин (осевая нагрузка, частота вращения, интенсивность промывки) упрочненным твердосплавным и алмазным ПРИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рябчиков С.Я.* Объемное упрочнение твёрдосплавного и алмазного породоразрушающего инструмента с целью повышения его эксплуатационных показателей: дис. … д-ра техн. наук. – Томск, 2002. – 309 с.
2. *Лошак М.Г., Александрова Л.И.* Упрочнение твердых сплавов. – Киев: Наукова думка, 1977. – 147 с.
3. *Рябчиков С.Я., Мамонтов А.П., Власюк В.И.* Повышение работоспособности породоразрушающего инструмента методами криогенной обработки и радиационного облучения. – М.: «Геоинформмарк», 2001. – 92 с.
4. *Лошак М.Г.* Прочность и долговечность твёрдых сплавов. – Киев: Наукова думка, 1984. – 326 с.
5. *Спирин В.И.* Создание эффективного алмазного породоразрушающего инструмента с повышенными эксплуатационными показателями: дис. … д-ра техн. наук. – Москва, 2000. – 266 с.
6. *Конебаевский С.Т.* Действие облучения на материалы. Введение в радиационное материаловедение. – М.: Атомиздат, 1967. – 250 с.
7. *Явление* упорядочения структуры кристаллов малыми дозами ионизирующего излучения: открытие Рос. Федерация. Диплом № 173 /Мамонтов А.П., Черданцев П.А., Чернов И.П. //БИ. – 2001. – № 9.
8. *Аракчеев С.Н.* Обоснование параметров и способа повышения стойкости буровых коронок: дис. … канд. техн. наук. – Москва, 2006. – 129 с.
9. *Гаркунов Д.Н.* О природе повышения износостойкости деталей и инструмента магнитной обработкой // Трение и износ. – 1982. – № 2. С. 496–498.
10. *Малыгин Б.В.* Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 96 с. МАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Морев Артём Алексеевич – ассистент, аспирант, e-mail: ar_morev@mail.ru..
Рябчиков Сергей Яковлевич – доктор технических наук, профессор,
e-mail: kafedrabs@mail.ru.
Институт природных ресурсов Томского политехнического университета.

UDC 622.24

METHODS OF VOLUME HARDENING OF DRILLING TOOLS AND ASSESSMENT OF PROSPECTS FOR FURTHER RESEARCH

Morev A.A., assistant, graduate student of Department of Well Drilling of Institute of Natural Resources at Tomsk Polytechnic University, e-mail: ar_morev@mail.ru.
Rjabchikov S.Y., Doctor of Technical Science, professor of Department of Well Drilling of Institute of Natural Resources at Tomsk Polytechnic University. E-mail: kafedrabs@mail.ru.

Actuality of work is associated with the necessity of solving the problem of increasing the efficiency of drilling by increasing resource of rock cutting tools and reducing the energy and labor costs, which provoke its premature wear.

The purpose of work is studying the most effective ways of strengthening the rock cutting tool, identifying the theoretical prerequisites for the development of new combined methods of strengthening and searching for promising areas for further research.

Research methods: a literature review and comparative analysis of the existing methods of hardening rock cutting tool.

Results: This article shows methods of volume hardening of drilling tool and includes original classification of these ways. Perspective directions of further research in the field of volume hardening of drilling tools were offered in this article.

Some of these are:

- *the impact of the initial temperature of processed material before cryogenic processing on efficiency of its hardening;*
- *the impact of complex radiation-cryogenic and cryogenic magnetic processing on resource of diamond and carbide tools;*
- *optimization of regime parameters of drilling (axle lift, rotational speed, intensity of flushing) reinforced hard-alloy diamond tools.*

Key words: *core bit, hardening drilling tool, cryogenic processing, magnetic pulse processing, classification.*

REFERENCES:

1. Rjabchikov S.Ja. *Obemnoe uprochnenie tvjordosplavnogo i almaznogo porodorazrushajushhego instrumenta s cel'ju povyshenija ego jekspluatacionnyh pokazatelej* (Volumetric hardening of carbide and diamond rock- destructive tool in order to increase achieving its operational performance), Doctor's thesis, *Tomsk,* 2002, 309 p.
2. Loshak M.G., Aleksandrova L.I. *Uprochnenie tverdyh splavov* (Hardening of hard alloys), *Kiev: Naukova dumka,* 1977, 147 p.
3. Rjabchikov S.Ja., Mamontov A.P., Vlasjuk V.I. *Povyshenie rabotosposobnosti porodorazrushajushhego instrumenta metodami kriogennoj obrabotki i radiacionnogo obluchenija* (Increasing operational state among rock cutting tool by the methods of cryogenic treatment and radiationonnogo irradiation), *Moscow, Geoinformmark,* 2001, 92 p.
4. Loshak M.G. *Prochnost' i dolgovechnost' tvjordyh splavov* (The strength and longevity of hard alloys), *Kiev: Naukova dumka,* 1984, 326 p.
5. Spirin V.I. *Sozdanie jeffektivnogo almaznogo porodorazrushajushhego instrumenta s povyshennymi jekspluatacionnymi pokazateljami*: Doctor's thesis, *Moscow,* 2000, 266 p.
6. Konebaevskij S.T. *Dejstvie obluchenija na materialy. Vvedenie v radiacionnoe materialovedenie* (Effect of irradiation on materials. Introduction to radiationonnoe Materials), *Moscow, Atomizdat,* 1967, 250 p.
7. Mamontov A.P., Cherdancev P.A., Chernov I.P. *Javlenie uporjadochenija struktury kristallov malymi dozami ionizirujushhego izluchenija*: *otkrytie Ros. Federacija*, (Phenomenon of ordering structure of crystals with small doses of ionizing radiation) the opening of Russia Federation, *Diplom № 173, BI*, 2001, No. 9.
8. Arakcheev S.N. *Obosnovanie parametrov i sposoba povyshenija stojkosti burovyh koronok* (Justification of parameters and a method for increasing resistance of drilling bits) dis. … kand. tehn. Nauk, Moscow, 2006, 129 p.
9. Garkunov D.N. *O prirode povyshenija iznosostojkosti detalej i instrumenta magnitnoj obrabotkoj* (On the nature of the higher durability of parts and tools magnetic treatment), Trenie i iznos, 1982, No. 2. pp. 496–498.
10. Malygin B.V. *Magnitnoe uprochnenie instrumenta i detalej mashin* (Magnetic hardening tion tools and machine parts), Moscow, Mashinostroenie, 1989, 96 p.