

5. Арсентьев В.А. Усовершенствование технологии обогащения окисленных железных руд по комбинированной схеме / В.А. Арсентьев, Т.В. Дендюк, Т.П. Алешкина // Обогащение руд. – 1987. – №1. – С. 17-20.

6. Потураев В.Н. Новая технология совместного обогащения магнетитовых и окисленных железных руд на базе процессов магнитной гидросепарации / В.Н. Потураев, В.П. Надутый, В.В. Чельшкіна // Горный журнал. – 2001. – № 1. – С. 42–45.

7. Кармазин В.И. О повышении эффективности высокоградиентного обогащения илистых фракций окисленных железистых кварцитов при использовании матрицы с вертикальным намагничиванием / В.И. Кармазин, Л.Ф. Мостепан, К.А. Левченко // Современное состояние и перспективы развития техники и технологии магнитного обогащения руд и материалов. – Кривой Рог. – 1994. – С. 29-30.

8. Губин Г.Г. Возможности улучшения качества железорудных концентратов на ГОКах Кривбасса / Г.Г. Губин, В.Г. Губина // Горный журнал. – 2001. – № 1. – С.45-47.

9. Булах А.В. Технические решения высокоэффективного обогащения окисленных железистых кварцитов Кривбасса / А.В. Булах, О.А. Корниенко // Розробка родовищ корисних копалин. – 2012. – №95. – Кривий Ріг : КНУ. – С. 293-297.

© Булах О.В., 2019

Надійшла до редколегії 05.09.2019 р.

Рекомендовано до публікації д.т.н. Т.А. Олійник

УДК 622.026

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.18823.34728>

Н.Л. КУРНАТ, В.Ф. ГАНКЕВИЧ, канд. техн. наук

(Украина, Днепр, НТУ «Днепровская политехника»),

О.В. ЛИВАК

(Украина, Днепр, Государственное ВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет»),

М.А. ЖУРАВЛЕВ

(Украина, Днепр, НТУ «Днепровская политехника»)

ПУТИ ИЗЫСКАНИЯ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Постановка задачи. Лазерная термообработка является одним из наиболее распространенных методов в лазерной технологии. Успехи применения лазерного излучения для упрочнения, сверления и других процессов в приложении к сталям и сплавам на основе железа способствовали распространению его при обработке и других видов материалов. Среди таковых являются изделия полученные методом спекания порошков, которые затем применяются в горнорудной и металлургической промышленности. В данном сообщении идет речь об облучении лазером непрерывного действия (CO_2 – лазер «Кардамон» мощность 800 Вт, плотность мощности от 10^4 до 10^5 Вт/см²) твердосплавных пластин ВК6 буровых резцов «МС».

Метод. Облучение проводилось в разных режимах, варьировались плотности мощности, скорости сканирования луча вдоль плоскости резцов. Для повышения эффективности обработки на облучаемую поверхность наносились различные поглощающие покрытия. Исследования структуры обработанных резцов велось на рентгеноструктурных приборах. Для проверки изменения физико-механических характеристик применяли приборы, измеряющие микротвердость. Промышленные испытания проведены в реальных условиях шахт.

В связи с открытием новых месторождений полезных ископаемых требуются и новые нестандартные способы их добычи. Для этого используют разные методы и инструменты. Инструменты и приспособления, применяемые при разработке месторождений, изготовлены из материалов, которые претерпевают различные нагрузки и, вследствие этого, выходят из работы. Для продления срока службы наших различных агрегатов меняются их конструктивные параметры [1,2], наносятся всевозможные покрытия, применяются различные методы упрочнения.

В данной работе идет речь об одном из методов упрочнения, направленном на повышение износостойкости резцов, используемых в горном деле и металлургической промышленности. Данный метод упрочнения основан на поглощении тепла стальными резцами и резцами из спеченных порошков. Нагрев осуществляется лазером непрерывного действия на CO₂ (CO₂ – лазер «Кардамон»).

Особенности лазерной обработки диктуют выбор деталей, для которых можно ожидать положительный эффект, который проявляется в увеличении срока службы, экономии энергетических ресурсов и материалов. такая технология наиболее перспективна для обработки деталей, подверженных износу трением, контактному нагружению и сложному износу, к которым следует отнести нагруженные поверхности режущего инструмента, а также места, труднодоступные для других способов упрочнения.

На поверхность обрабатываемого материала направляется поток лазерного излучения, который частично отражается от неё, а остальная часть поглощается. При поглощении энергии свободными электронами металла увеличивается количество их столкновении с кристаллической решеткой. Таким образом, при соответствующих условиях может происходить изменение и деформация кристаллической решетки металла. Все эти явления очень хорошо описываются классической теорией теплопроводности, и, следовательно, к ним можно применить методы математической физики, т.е. описать воздействие теплового точечного или объемного источника на металл [3].

Расчет тепловых полей при обработке металлов лазером проводится с использованием решений дифференциальных уравнений теплопроводности. При этом принято считать, что коэффициент теплопроводности λ_t не зависит от температуры. Приведем уравнение квазистационарного состояния процесса распространения теплоты точечного источника постоянной тепловой мощности q движущегося с постоянной скоростью V по поверхности полубесконечного

тела, имеет следующий вид [1]

$$T(R, x) = \frac{q}{2\pi\lambda_T R} e^{(-vx-vR)/(2a)} \quad (1)$$

где R – расстояние рассматриваемой точки А от начала подвижной системы; x – абсцисса точки А в подвижной системе координат.

Решения подобных температурных задач хорошо известны в математической физике и их приближенное рассмотрение приведено в работе [5].

для уменьшения отражения лазерного излучения от поверхности металла применяются различные поглощающие покрытия. при использовании CO_2 – лазера «Кардамон» с длиной волны $\lambda = 10,6$ мкм (ИК диапазон) на поверхность обрабатываемой детали наносился слой гуаши, состав сделанный на базе окислов железа. Нанесение осуществлялось с помощью кисти или распылением.

Эффективность лазерного воздействия зависит не только от поверхности данного материала и его состава, но и от самих параметров обработки, таких как: скорость сканирования (движения) луча по поверхности, плотности мощности. Это сказывается на скорости проникновения тепла вглубь металла, что, в свою очередь, приводит к изменению кристаллической решетки металла и упрочнению или разрушению обрабатываемого материала.

Для упрочнения необходимо быстро нагреть и также быстро охладить металл. В нашем случае, нельзя перегревать кромки обрабатываемых резцов, т.к. произойдет их расплавление и разрушение. при скоростном нагреве стали кристаллическая решетка ОЦК перестраивается в ГЦК, насыщаясь углеродом. При скоростном охлаждении решетка ГЦК не успевает перестроиться и деформируется.

Происходит превращение аустенитной структуры в мартенсит [6]. при подготовке и дальнейшем исследовании шлифов обработанных сталей слой от лазерного воздействия не протравливается и является «белым слоем».

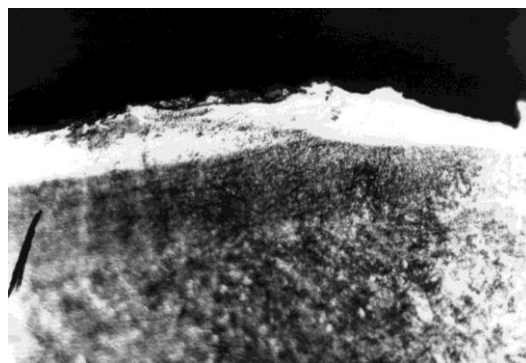


Рис. 1. Полученный слой при воздействии на сталь лазером CO_2 «Кардамон»

Подбор параметров обработки производился экспериментально, с последующим изучением облученных образцов.

Для проведения исследовательских работ была предложена сталь марки 6XB2C. В её состав в качестве легирующих добавок входят вольфрам, хром, кремний.

Из этой стали были изготовлены образцы размерами 15×30×30 мм, которые подвергались лазерному облучению с помощью CO₂ – лазера непрерывного действия ($\lambda=10,6$ мкм) при плотности мощности излучения $10^4 - 10^5$ Вт/см². Фокусное расстояние линзы 200 мм, диаметр фокального пятна 1,5-2 мм. Для подборки оптимального режима облучения менялась скорость перемещения образцов в пределах от 0,5 до 2,6 мм/с и смещение образцов из фокальной плоскости (диаметр пятна 3-4 мм). В исходном состоянии некоторые образцы подвергались закалке с последующим отпуском в воду или солевую ванну.

При облучении на образцы наносились единичные полосы воздействия лазером, несколько полос на расстоянии 2-3 мм друг от друга и перекрывающиеся полосы.

Для сравнения в этих же режимах обрабатывались образцы из сталей У8 и ст 45. Для увеличения поглощения излучения с указанной длиной волны ик-диапазона поверхность образцов покрывали слоями различных поглощающих обмазок: слой гуаши на основе окислов железа, слой пекового лака.

Исследования проводили на установке ДРОН-2 с излучениями Fe и Co. Металлографические исследования выполнены на микроскопе «Neofon», контрольные измерения проводились на электронном микроскопе РЭМ – 200, микротвердость измеряли на установке ПМТ – 3.

Проведенные исследования показали, что при работе в указанных режимах на всех образцах, покрытых поглощающими составами, в результате лазерного воздействия возникает термическая зона. Глубина этой зоны составляет для ст 45 – 0,2-0,4 мм, для У8 – 0,2-0,6 мм, для стали 6XB2C – 0,2-0,4 мм соответственно. На поверхностях обработанных пековым лаком, было замечено закипание и выгорание лака. При этом поверхность оказывалась без поглощающего покрытия и резко увеличивалась отражение лазерного излучения, поэтому в этих случаях зона термического воздействия оказывалась минимальной.

Повысить эффективность добычи полезных ископаемых можно несколькими способами. Один из них – уменьшить сопротивляемость горной породы [7, 8], другой – повысить износостойкость и надежность применяемых инструментов [9], которые при взаимодействии с обрабатываемыми поверхностями деформируются, ломаются и т.д. Методы повышения надежности инструментов разные, например: легирование поверхности, различные виды наплавки, химико-термическая обработка и пр.

Интересным и перспективным видом упрочнения поверхности режущего и бурового инструмента является лазерная обработка, причем здесь возможно и лазерное напыление поверхности, и лазерное сплавление легирующих покрытий, и лазерная термообработка.

Инструмент для резки, дробления и крошения, применяемый в горнорудной промышленности может быть получен и другим методом, например, мето-

Загальні питання технологій збагачення

дом порошковой металлургии. В этом случае тоже возможно применение лазерного воздействия для повышения износостойкости резцов.

Последний способ основан на поглощении обрабатываемой поверхностью части падающей энергии и на образовании в объеме тела (инструмента) теплового источника. Характеристики такого источника зависят от условий фокусировки и параметров лазера, физических свойств обрабатываемого материала и условий обработки. В нашем случае воздействию концентрированного потока энергии, которым является лазер, подвергались твердосплавные резцы, созданные методом спекания порошков, таких как монокристалл вольфрама WC и кобальта Co. Температура спекания таких порошков в зависимости от состава колеблется в пределах 1600 – 1780 К. Из этого следует, что в процессе нагрева лазерным источником нежелательно превышать указанные выше температуры, потому что это приведет к необратимым результатам, к разрушению резца. В то же время повысить износостойкость возможно путем дробления карбида вольфрама WC и увеличения его растворимости в кобальте Co [10].

Проникновение лазерного излучения в спеченные порошковые сплавы зависит от их физико-механических свойств, таких как неоднородность, пористость, различие между температурами плавления химических компонентов.

распространение тепла в пористых телах также описывается методами математической физики, в данном случае, в дифференциальных уравнениях должны учитываться структурные особенности.

Модель простого тела можно представить как ряд капилляров, которые располагаются по всем направлениям, пересекая друг друга [11]. Радиусы и длины этих капилляров могут быть различными. Это значительно усложняет постановку задачи и её решение.

Рассмотрим распространение тепла Q , которое сообщается движущимся со скоростью V вдоль оси x лазерным пучком диаметром d (рис. 2)

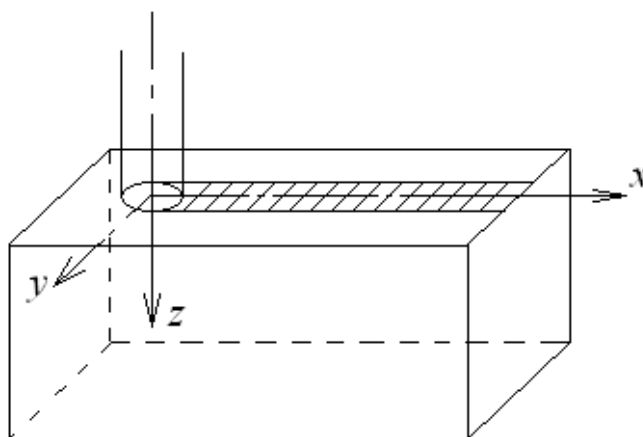


Рис. 2. Схема движения лазерного луча вдоль образца ВК6

Запишем уравнение распространения тепла в координатных осях (x, y, z) в виде (2)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\Theta(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Theta(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\Theta(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) = C_v(T) \left(\frac{\partial T}{\partial t} - V \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (2)$$

$$T(\vec{r}, t) = T_0,$$

где $T(\vec{r}, t)$ – температура, \vec{r} – радиус-вектор, t – время, Θ – коэффициент теплопроводности, $C_v(T)$ – объемная теплоемкость, T_0 – начальная температура. Добавим к данным допущение, что поры спеченного порошкового тела имеют вид узких капилляров, направленных параллельно оси z и имеющих размеры меньше длины волны λ используемого лазера ($\lambda = 10,6 \text{ мкм}$).

Тогда в нашу задачу нужно внести условие $\Theta = f(\Pi)$ и $C_v = f(\Pi)$, где Π – пористость тела, это можно записать в безразмерных величинах как $\Pi = \frac{S}{\lambda}$, где S – линейный размер поры. Следует также отметить, что излучение внутри капилляра поглощается и частично отражается от стенок, т.е. имеется зависимость от размеров тела по вертикали.

Решение задачи для движущегося источника здесь не приводится из-за его громоздкости. Для величин температур $T \approx 1000\text{К}$ и пористости $\Pi = 0,5 \dots 0,6$ скорость движущегося источника должна быть не меньше $V \geq 2 - 3 \text{ мм/с}$.

Экспериментальная проверка с использованием CO_2 – лазера «Кардамон» с плотностью мощности порядка $10^5 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$ показала, что для стандартных твердосплавных резцов ВК6 скорость должна быть больше 3 мм/с, в противном случае резцы перегреваются до температуры выше 1600К, что негативно влияет на их прочностные свойства.

Для повышения прочностных свойств режущего инструмента, работающего в абразивных средах, предложена технология лазерной обработки кромки твердосплавных пластинок. Упрочненный слой показан на рис.3.

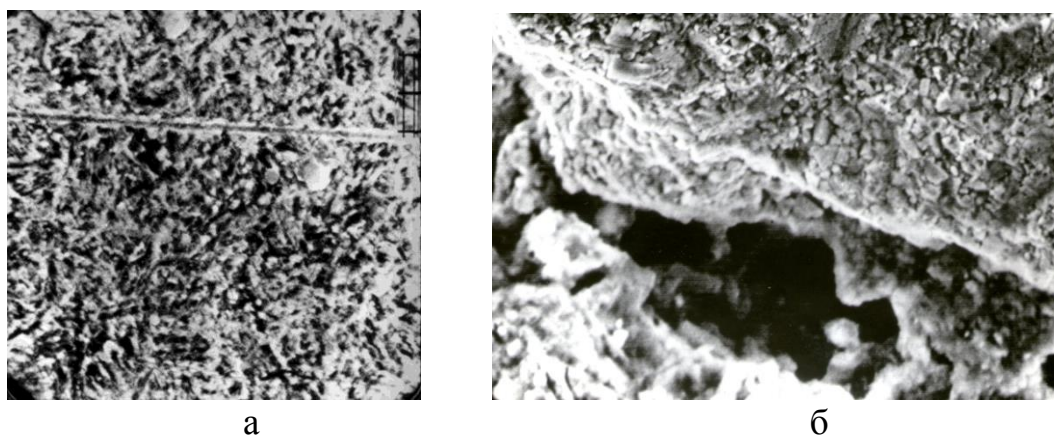


Рис. 3. Микрофотография действия лазерного луча на твердый сплав:
а – увеличение $\times 500$; б – увеличение $\times 750$

Выводы. В результате проведенных исследований получены результаты свидетельствующие об измельчении зерна, показывающие перспективное направление для повышения износостойкости и других механических свойств спеченных твердосплавных резцов.

Список литературы

1. Пат. 125672 Україна, МПК E21B 10/46, E21B 7/14. Термомеханічний породоруйнуючий інструмент [Текст] / Кожевников А.О., Кравець В. І.; Вахалін Ю. М.; Лівак О. В. /№ u201709427; заявл. 26.09.2017; опубл. 25.05.2018, Бюл. №10.
2. Пат. 131521 Україна, МПК E21B 10/46, E21B 7/14. Термомеханічний породоруйнуючий інструмент [Текст] /Ганкевич В. Ф.; Вахалін Ю. М.; Лівак О. В./ № u201804859; заявл. 03.05.2018; опубл. 25.01.2019, Бюл. №2.
3. Лыков. А. В. теорія теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
4. Григорьянц А. Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.:Машиностроение, 1989. – 304 с.
5. Дьюли У. Лазерная технология и анализ материалов: Пер. с англ. М.: Мир, 1986.– 504 с.
6. Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов/В.С. Коваленко, А.Д. Верхотуров., л.Ф.Головко и др.. М.: Наука, 1986. – 276 с.
7. Волошин О.І., Потапчук І.Ю., Жевжик О.В. Перспективи використання термоінструмента з дуговим електричним розрядом в процесі руйнування гірських порід//Геотехнічна механіка: Наук.-техн. зб. – 2016. – Вип. 131. –С. 43-49
8. Ганкевич В.Ф., Кравець В.І., Ливак О.В. Исследование температурных полей на поверхности горной породы при трении плоского элемента для термоциклического ослабления поверхностного слоя.// Геотехнічна механіка: Наук.-техн. зб. – 2017. – Вип. 135. – С. 26-32
9. Загора В.В., Ганкевич В.Ф., Лисяк А.Г. Повышение надежности деталей горнах машин методом поверхностного упрочнения// Геотехнічна механіка: Наук.-техн. зб. – 2016. – Вип. 131. – С. 33-40
10. Влияние лазерного излучения на надежность режущего инструмента горнах машин/В.Ф.Ганкевич, А.А. Пащенко, Н.Л. Курнат, В.Я. Киба// Геотехнічна механіка: Наук.-техн. зб. – 2017. – Вип. 137. – С.25-31.
11. Углов А.А., Гребенников В.А. Воздействие лазерного излучения на пористые материалы//Квантовая электроника. – 1981. – Т.8, №11. – С.2479-2485.

© Курнат Н.Л., Ганкевич В.Ф., Ливак О.В., Журавлев М.А., 2019

*Надійшла до редколегії 05.09.2019 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*