

РОЛЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ТЕПЛОМ БАЛАНСЕ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Цокур А.К., Цокур В.П.

(ЗНТУ, г. Запорожье, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Введение. Известно, что тепловые процессы в зоне контакта при шлифовании ответственны за недостаточную производительность, низкое качество обработанных поверхностей, повышенный расход абразивного инструмента [1]. До настоящего времени не установлена природа теплового источника, вызывающего высокотемпературный нагрев и создающего предпосылки для адгезионно-диффузионного износа абразивных зерен.

В работах [2, 3,4] высказана гипотеза и приведены теоретико-расчетные подтверждения того, что тепловой источник в зоне контактного взаимодействия имеет природу не чисто механическую, а механо-химическую. При этом механическая составляющая, рассчитываемая по силе резания ($P_z \cdot V$), играет роль энергии активации протекания целого ряда физико-химических процессов. Таким образом, зона контакта должна рассматриваться не только как место превращения (трансформирования) одного вида энергии в другой (механической в тепловую), а местом генерирования тепловой энергии. Руководствуясь такими представлениями о природе теплового источника, был рекомендован целый ряд веществ в качестве наполнителей в абразивные массы для шлифовальных кругов, а также компонентов СОЖ, использование которых дало существенный положительный эффект.

Однако без дальнейших исследований теоретические результаты остаются бездоказательными, что может привести к принципиально неверным научным утверждениям и практическим рекомендациям. К тому же теоретические исследования и попытки физического моделирования весьма затруднены в связи с нетривиальностью схемы, взаимовлиянием одновременно нескольких полей – силового, температурного, деформационного, термодинамической неравновесностью, влиянием трудноконтролируемой среды на всех этапах протекания процессов.

Конечные продукты взаимодействия – шлифовальный шлам, рабочая поверхность абразивного инструмента, обработанная поверхность – являются своеобразным индикатором-свидетелем тех превращений, которые протекают с их участием. К тому же возможности прямого наблюдения за зоной контакта ограничены в связи с быстротечностью процесса, труднодоступностью зоны.

Исследуя конечные продукты контактного взаимодействия, имеется возможность подтвердить сам факт и установить степень химических превращений, инициируемых механической составляющей теплового источника.

Известно [5], что в шлифовальном шламе наряду с витой стружкой имеются тела сферической формы, являющиеся, по мнению авторов, продуктом окисления расплавленных частиц металла. Это предположение в рассматриваемой публикации исследованиями не подкреплено.

Целью данной работы являлось изучение природы частиц сферической формы «глобулей», микроструктуры, минералогического состава абразивных кругов на бакелитовой связке до и после их работы, а также продуктов шлифования в зависимости от содержания эндотермического компонента (сернокислого аммония) в составе абразивного круга.

Основная часть. Исследования проводили на шлифах в отраженном свете и в иммерсионных препаратах в проходящем свете, используя микроскопы типа МБИ – 6, МБС – 10. Отбор проб шлама осуществлялся при шлифовании стали 12Х18Н10Т кругами с зёрнами из электрокорунда 14А, а также титановых сплавов ОТ4-1, ВТ-3, ВТ-8 кругами с зёрнами из карбида кремния зеленого 64С.

В абразивных кругах на бакелитовой связке, последняя имеет буровато-красную окраску, состоит из различных по форме, размерам и составу кристаллических и стекловидных частиц, многофазна. Участки связки, обедненные аморфной составляющей смолы, хрупкие, легко выкрашиваются при изготовлении шлифа. При эксплуатации кругов с такой связкой выкрашивание происходит блоками одновременно с абразивными зёрнами. Связка сохраняется только на контакте с единичными зёрнами электрокорунда. Некоторые из них несут слабые следы механического разрушения – скалывания.

В опытных кругах с добавками серноокислого аммония связки и абразивных зёрен при изготовлении шлифа сохраняется значительно больше. Они более интенсивно раздроблены и прочнее удерживаются связкой. Это подтверждает более высокие эксплуатационные характеристики опытных кругов.

Следует отметить, что связка в зоне резания претерпевает заметные изменения. Кристаллическая микроструктура ее остекловывается. Наблюдается процесс перекристаллизации смолы и превращение ее в стекловидную, что сопровождается изменением окраски – вместо темных, присущих обычной связке, появляются светлые тона желтого и красного цвета. Изменяются также оптические константы – показатель светопреломления понижается с $n = 1,690-1,707$ для обычной смолы до $1,609-1,602$. В некоторых участках метаморфизованной смолы наблюдаются новообразования в виде тонких прожилок или следы улета газовой фазы. Эти изменения являются следствием влияния газовой среды нового состава, образующейся в зоне контакта при шлифовании кругами, содержащими серноокислый аммоний, так как все остальные условия эксперимента были неизменными. Следует отметить, что новые вещества образуются в местах контакта обрабатываемого металла не только с зёрном, но и со связкой. Этот факт подтверждает мнение об участии связки в физико-химических превращениях при шлифовании.

Таким образом, введение серноокислого аммония в зону контакта, который разлагается под действием температуры шлифования с выделением газообразных составляющих, вызывает насыщение смолы газовой фазой и их взаимодействие. Видоизмененная бакелитовая смола приобретает новые физические свойства – становится менее хрупкой, способной к повторному закреплению раздробленного абразивного зерна», дольше удерживает зерно в теле круга.

Газовая среда нового состава в зоне контакта взаимодействует также с абразивным зёрном. При этом зерно изнашивается не только механически, измельчаясь и скалываясь, но и химически. Существенная роль в химическом взаимодействии зерна с технологической средой принадлежит примесям в зерне и его модификациям. Если высокотемпературная модификация $\alpha - Al_2O_3$ имеет небольшие следы взаимодействия, то зерна $\gamma - Al_2O_3$ независимо от обрабатываемого сплава покрыты следами химических преобразований.

Химическое взаимодействие абразива с различными обрабатываемыми титановыми сплавами протекает по-разному. Наименее слабо этот процесс выражен при обработке сплава ОТ4 - 1.

При обработке сплава ВТ3 - 1 зафиксировано образование большого количества окислов сложного состава, указывающих на достаточно активное химическое взаимодействие сплава с абразивом.

Наибольшая степень химического взаимодействия обнаружена при шлифовании сплава ВТ8. Здесь наблюдается сплошная коррозия (разъедание) некоторых зерен корунда, образование окислов молибдена, улетучивание газовой фазы и вынос новообразований. Некоторые зерна, особенно содержащие модификацию $\gamma - Al_2O_3$, "разъедаются" практически полностью, оставляя после себя новообразования окислов молибдена.

Различное поведение исследуемых материалов в зоне контакта хорошо прослеживается по степени окисления металла, налипшего на рабочей поверхности круга – на зернах и межзеренном пространстве. Наиболее интенсивно окисляется поверхность стружки сплава ВТ8 с образованием корочки – окарины. В меньшей степени окисление проявляется у сплавов ВТ3 - 1 и ОТ4 - 1.

Необходимо отметить, что стружка от этих же сплавов, полученная при шлифовании серийными кругами, окисляется значительно интенсивнее и больше. На ее поверхности образуются не плёночки, как в опытном варианте, а корочки окарины. Имеются стружки со следами оплавления, чего нет или почти нет в опытных вариантах. Следовательно, подача в зону взаимодействия серноокислого аммония замедляет окислительные процессы. Это приводит к уменьшению доли экзотермического тепла и снижению контактной температуры, что прогнозировалось расчетами ΔG и ΔH [3].

Термохимически активная среда, формируемая в зоне контактного взаимодействия, изменяет характер стружкообразования, способствует диспергированию стружки. Различие характера стружкообразования, вида стружки и степени ее окисления могут быть следствием нескольких причин. Во-первых, активная технологическая среда проявляет пластифицирующее действие на тонкий поверхностный слой обрабатываемого металла. Во-вторых, в зоне контакта может формироваться защитная микроатмосфера, в частности, восстановительная. Например, роль активного компонента такой среды может играть атомарный водород, образующийся вследствие разложения полимерной связки абразивного инструмента или полимерсодержащих компонентов смазочно-охлаждающих технологических сред. В-третьих, пластифицирующее облегчение процесса диспергирования и уменьшение объема окислительных реакций, имеющих экзотермический характер, приводит к снижению мощности теплового источника и, как следствие, уменьшению контактных температур. Не меньший интерес представляют и абразивные частицы, количество которых в шламе серийных проб больше, чем опытных. Кроме того, здесь присутствуют преимущественно целые или слабо раздробленные зерна корунда, а в опытных пробах подавляющее большинство их носит осколочный характер.

В составе шлама кроме стружки и абразива имеются новообразования в виде глобулей с гомогенной структурой и переменным показателем преломления ($N = 1,960-2,30$ и выше), указывающие на непостоянный состав шлама. Состав и окраска глобулей изменяется от количества присутствующего элемента. Эти новообразования имеют широкую гамму цветовых оттенков – серые тона, золотисто-желтые, розовые, зеленые, характерные для окислов Al, Mo, Ti, Cr соответственно. Так, при обработке сплава ВТ8, легированного алюминием и молибденом, в шламе имеются глобули розовые и золотисто-желтые. В шламе сплава ВТ3 - 1, легированного хромом, присутствуют глобули зеленых оттенков, в сплаве ОТ4 - 1 преобладают серые тона. Правомерно предположить, что эти глобули представляют собой твердые растворы нестехиометрического состава низших окислов Ti, Mo, Al, Cr и др. Наибольшее количество глобулей зафиксировано при обработке сплава ВТ8, наименьшее – при обработке сплава ОТ4 - 1. Размер глобулей колеблется в широких пределах: от нескольких единиц (2 - 5) мкм до

нескольких десятков мкм. Встречаются глобулы размером до 300 мкм.

При шлифовании нержавеющей стали 12X18H10T в шламе также присутствуют глобулы, которые обладают магнитными свойствами, несмотря на то, что сама обрабатываемая сталь является немагнитной. Как показали дальнейшие исследования шлама, эти глобулы состоят из окислов железа, в основном из Fe_3O_4 , за счет чего они приобрели магнитные свойства. Внешне глобулы, полученные при шлифовании стали 12X18H10T, имеют такой же вид, как и глобулы, полученные при обработке титановых сплавов. Они имеют округлую форму, как правило, полые внутри. Наружная поверхность сильно развита, нередко обнаруживаются каналы, соединяющие внутренние полости. В исследованном шламе всех проб не обнаружено частично оплавленной стружки, что говорило бы в пользу версии, что глобулы являются результатом плавления диспергируемого металла. Против такого объяснения их природы свидетельствует и структура глобулы. При больших увеличениях с иммерсионным объективом ($\times 1000$) в структуре глобулы обнаружены частицы восстановленного металла, характерные для структур распада. Наличие таких структур свидетельствует о присутствии низших (газообразных) окислов, которые с понижением температур распадаются на окисел высшей валентности и металл [6]. В глобулах обнаружены при больших увеличениях кристаллы шпинели типа $MeO \dots Me_2O_3$ на основе магнетита $FeO \cdot Fe_2O_3$.

В отличие от глобулей, полученных при шлифовании титановых сплавов, имеющих гомогенную структуру, глобулы из стали 12X18H10T являются неоднородными. В этом, видимо, проявляется влияние железа, как шпинелеобразующего элемента. При шлифовании титановых сплавов, когда в зоне взаимодействия отсутствует железо, окислы титана и легирующих элементов за время контакта не успевают пройти стадию кристаллизации. Присутствие железа во втором случае резко повышает скорость кристаллизации и того же времени контакта оказывается достаточно для появления в глобулах гетерогенной структуры.

На основе этих фактов можно сделать заключение, что обнаруженные в шламе глобулы являются результатом не плавления стружки, а представляют собой газовый конденсат, состоящий, в основном, из окислов железа (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4).

Для выяснения природы глобулы был выполнен химический анализ стружки, глобулей и исходного металла. Разделение стружки и глобулей производилось отмагничиванием. Результаты химического анализа приведены в таблице 1.

Выполненным химическим анализом установлены значительные изменения химического состава объектов зоны взаимодействия. При некотором снижении содержания металлических составляющих (Fe , Ni , Cr) в стружке и глобулах резко увеличился процент серы и особенно азота (числитель – содержание азота после шлифования опытным кругом, в знаменателе – серийным). Так при исходных 0,02% азота в стружке его стало 0,25%, то есть в 12,5 раза больше, в глобулах – 2,05%, т.е. возросло более чем в 100 раз. При обработке стали серийным абразивным кругом, не содержащим серноокислый аммоний, уровень азота в стружке и глобулах изменился незначительно. Вероятно, и сера и азот попали в стружку и глобулы из газовой среды, обогащенной этими элементами в процессе разложения серноокислого аммония. Влияние последнего на химические преобразования можно проследить также по внешнему виду стружки и глобулы при шлифовании абразивным кругом с различным содержанием серноокислого аммония.

Таблица 1. Химический состав исходного металла, стружки и глобулей, полученных при шлифовании стали 12X18H10T в среде серноокислого аммония

	Fe	C	Fe ₃ O ₄	FeO	Cr	Ni	Ti	S	N	O
Образец 12X18H10T	69,00	0,120	–	–	18,00	10,00	0,70	0,020	0,020	–
Стружка	48,61	0,504	–	62,59	11,55	6,85	1,80	0,080	$\frac{0,25}{0,010}$	13,9
Глобули	55,18	0,630	76,14	–	13,26	7,44	0,82	0,013	$\frac{2,05}{0,017}$	20,9

При шлифовании серийным кругом стружка стали 12X18H10T имеет вид сливной достаточно большой длины. Введение в абразивную массу одного процента сернокислого аммония приводит к изменению и размеров, и вида стружки. Она становится более короткой и по виду приближается к стружке скалывания. При увеличении количества сернокислого аммония до 10% эти изменения в стружке еще более заметны. Такие же изменения наблюдаются в структуре глобулей. При работе серийным кругом в структуре глобулей наблюдается кристаллов шпинели не более 15% по объему. Остальное – субокислы. При работе кругом с однопроцентной концентрацией сернокислого аммония содержание шпинели в глобуле достигает 35%. При увеличении концентрации сернокислого аммония до 10% количество шпинели повышается до 70%. Это отражается и на внешнем виде глобуля, который изменяется от плотного монолитного до рыхлого, некомпактного. Результаты исследования рабочей поверхности абразивного круга и шлифовального шлама, выполненных с помощью петрографического и химического анализов, свидетельствуют о том, что в зоне контакта протекают с большой интенсивностью физико-химические превращения, которые могут повлечь за собой значительные энергетические изменения системы. Существенное влияние на эти процессы оказывает и вид абразивного зерна, его химический состав и модификация, и компоненты связи и наличие в ней специальных наполнителей, и состав шлифуемого материала, его основа и наличие в нем легирующих элементов. Как отмечалось ранее, достаточно простым технологическим приемом, изменяющим в желательном направлении химические преобразования, является подача в зону взаимодействия веществ специального назначения. На примере сульфида аммония показано, что с помощью этих веществ можно управлять химической обстановкой и, следовательно, эффективностью процесса резания.

Выводы

1. Экспериментально подтверждена гипотеза о механо-химической природе теплового источника, возникающего в зоне контактного взаимодействия.
2. Путем подачи в зону контакта термохимически активных веществ представляется возможным в широких пределах изменять мощность теплового источника. Это открывает принципиально новые пути повышения эффективности процесса резания материалов.

Список литературы. 1. Худобин Л.В., Веткасов Н.И., Михайлин С. М. Моделирование теплонапряженности круглого наружного врезного шлифования композиционными кругами/ Сучасні технології у машинобудуванні: Збірник наукових статей/ За заг. ред. А.І. Грабченка. Т. 2. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2006. – С. 285-296. 2. Цокур А.К. Исследование механо-химической природы теплового источника при резании металлов // Новые конструкционные материалы и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности: Тез. докл. Всесоюз. научн. техн. конф. 10-14 октября 1986. – Запорожье, 1986. – С. 235-236. 3. Цокур А.К. Термодинамическое описание процессов контактного взаимодействия при механической обработке // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. № 1-2, Запорожье, 1997. – С. 77-78. 4. А.С. 406715. МКИ В24Д 3/34. Абразивная масса/ Цокур А.К. (СССР). – Заявлено 09.07.1973. Опубл. 1974., Бюл. №10. – 2 с. 5. Магафуров А.М., Пицына Л.Г., Ивашинников В.Г., Зубов А.С. Исследование продуктов взаимодействия кругов с металлом при силовом обдирочном шлифовании/ Научн.-техн. реф. сб. «Абразивы». – М.: НИИМаш, 1979. – Вып 3. – С. 2-4. 6. Кожевников Г.Н., Водопьянов А.Г. Низшие окислы кремния и алюминия в электрометаллургии. – М.: Наука, 1977. – 144 с.

РОЛЬ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ЯВИЩ У ТЕПЛОВОМУ БАЛАНСІ ПРИ ШЛІФУВАННІ

Цокур А.К., Цокур В.П.

Приведено результати досліджень шламу при шліфуванні нержавіючої сталі 12X18H10T и титанових сплавів, у якому окрім стружки є з'єднання, що утворені з газоподібного середовища. Досліджений вплив сірчаноокислого амонію на знос зерен і склад шламу.

РОЛЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ТЕПЛОВОМ БАЛАНСЕ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Цокур А.К., Цокур В.П.

Приведены результаты исследований шлама при шлифовании нержавеющей стали 12X18H10T и титановых сплавов, в котором кроме стружек имеются и соединения, образованные из газообразной среды. Исследовано влияние сернистого аммония на износ зерен и состав шлама.

ROLE OF PHYSICAL AND CHEMICAL PHENOMENA IN THERMAL BALANCE AT GRINDING

Tsokur A.K., Tsokur V.P.

The results of researches of slime got at grinding of stainless steel 12X18H10T and titanium alloys, in which there are present besides chip the compounds formed from a gaseous medium, are cited. Influence of sulfurous ammonium on the grain wear and slime composition is explored.

Рецензент: д.т.н., проф. Калафатова Л.П.