

А вот установленные для всех исследованных марок сталей (сталь 20, 35Л, 2Х13, 07Х13Н4АГ20, 12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т, 15Г2АФД, 35ХМФА, 38ХМА, 38Х2НМА, 38Х2Н2МА, ОН9, ЖС6К, ЭП410, ЭП711, ЭП810, ЭП921) единые осредненные корреляционные связи $R_{T,M}(\rho_{\sigma T})$ позволили получить хорошее качество прогноза по выражению (16): $r = 0,965$ (рис. 4).

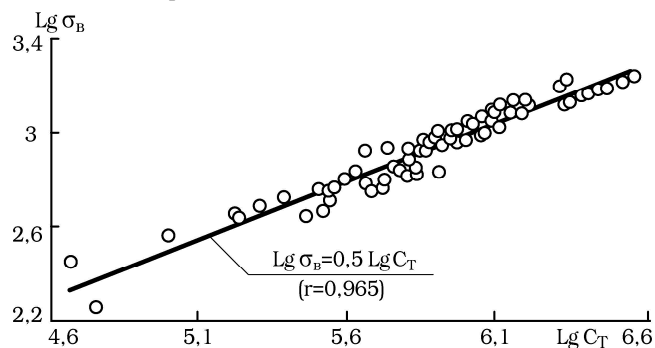


Рис. 4. Зависимость $\sigma_B(C_T)$ для сталей

Был также выполнен анализ результатов испытаний других металлических (17 марок алюминиевых, 2-х марок молибденовых сплавов, 2-х марок латуни, серебра) и полимерных материалов, который показал [6], что энергетический критерий разрушения (2а) удовлетворительно соответствует опыту при различных условиях статического нагружения чистых металлов, ряда конструкционных сплавов и полимерных материалов в широком интервале изменения σ_B и T ; экспериментальное обоснование его применимости к другим материалам и условиям нагружения предстоит выполнить.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сосновский Л.А., Махутов Н.А. Трибофатика: износосталостные повреждения в проблемах ресурса и безопасности. – 2000. – 304 с.
2. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин: Учебное пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1991. – 319 с.
3. Сосновский Л.А. Трибофатика: проблемы и перспективы/ Доклад на тематической выставке АН СССР «Математика и механика - народному хозяйству». – Гомель: БелИИЖТ, 1989. – 65 с.
4. Сосновский Л.А., Махутов Н.А. Предельные состояния силовых систем и процессы их повреждения. Сообщение 1: Энергетические критерии разрушения // Проблемы прочности. – 1993. – № 1. – С. 11 – 23.
5. Сосновский Л.А. Энергетический подход к анализу поврежденности силовой системы. – Изв. АН БССР. Серия физ.-техн. наук, 1991. – № 4. – С. 87 – 92.
6. Трибофатика-98/99. Ежегодник/ Под общ. ред. Л.А. Сосновского. Вып. 1. Теория накопления износосталостных повреждений/ Л.А. Сосновский, А.В. Богданович. Под ред. Н.А. Махутова. – Гомель: НПО «ТРИБОФАТИКА», 2000. – 60 с.
7. Журков С.Н. Дилатонный механизм прочности твердых тел // Физика прочности и пластичности. – Л.: Наука, 1986. – С. 5 – 11.
8. Журков С.Н. Кинетическая концепция прочности твердых тел // Вестн. АН СССР. – 1968. – №3. – С. 46 – 52.
9. Трошенко В.Т. Усталость и неупругость металлов. – Киев: Наук. Думка, 1971. – 268 с.
10. Сопоставление энергий активации процессов термодеструкции и механического разрушения полимеров / А.В. Амелин, О.Ф. Поздняков, В.Р. Регель, Т.П. Санфирова // Физика твердого тела. – 1970. – 12, вып. 9. – С. 2528 – 2534.
11. Сопоставление энергий активации процессов термодеструкции и механических разрушений для полимеров / А.В. Амелин, Ю.А. Глаголева, А.Ф. Подольский и др. // Там же. – 1971. – 13. – С. 2726 – 2731.
12. Черепанов Г.П. Механика разрушения и кинетическая теория прочности // Проблемы прочности. – 1989. – № 11. – С. 3 – 8.
13. Грабар И.Г. Термоактивационный анализ разрушения ОЦК- и ГЦК-металлов и концепции взаимосвязи параметров кривой усталости // Там же. – 1989. – № 11. – С. 61 – 64.
14. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. – М.: Металлургия, 1975. – 456 с.
15. Бартнев Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров. – М.: Химия, 1984. – 280 с.
16. Лозинский М.Г., Перцовский Н.Э. Особенности деформации никеля при различных температурах и скоростях растяжения // Изв. АН СССР. Металлургия и топливо. – 1962. – № 4. – С. 90 – 102.
17. Кошелев П.Ф. Прочность и пластичность конструкционных материалов при низких температурах. – М.: Машиностроение, 1967. – 363 с.
18. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.Р. Справочник по сопротивлению материалов. – Киев: Наук. думка, 1988. – 734 с.
19. Механические свойства конструкционных материалов при низких температурах / Пер. с англ. Под ред. И.Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 1983. – 430 с.
20. Русак И.Ф., Скольцов В.И., Степанов Г.А. Определение временного сопротивления сплавов при низких температурах // Зав. Лаборатория. – 1991. – № 10. – С. 36 – 38.
21. Значковский О.Я., Новогрудский Л.С. Сопротивление разрушению экономнолегированной стали ОН9 при охлаждении до 4,2 К // Пробл. прочности. – 1990. – № 9 – С. 72 – 75.
22. Викулин А.В., Попков А.В. Хладостойкость сталей при статическом нагружении в условиях развитых пластических деформаций // Там же. – 1990. – № 1. – С. 21 – 25.

УДК 622.24.051

Монтик С.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА УДАРНО-УСТАЛОСТНОГО ИЗНАШИВАНИЯ ТВЕРДОГО СПЛАВА БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕХАНОТЕРМИЧЕСКИМ ФОРМИРОВАНИЕМ

Введение

Твердые сплавы типа ВК (сплавы карбида вольфрама с кобальтом) обладают высокой твердостью, прочностью и износостойкостью, что определило их широкое применение для оснащения режущего, горного и бурового инструментов.

Одним из способов экономии твердого сплава является использование биметаллических изделий, состоящих из твердосплавной рабочей части и стального основания. Биметаллические изделия возможно изготавливать методом электроконтактного механотермического формирования (МТФ), разра-

Монтик Сергей Владимирович, доцент каф. машиноведения Брестского государственного технического университета. Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

ботанного в Государственной академии нефти и газа имени И. М. Губкина (г. Москва). При МТФ происходит спекание порошка твердого сплава и соединение его со сталью за счет выделения теплоты при пропускании электрического тока, а также приложения формирующего давления.

Для сокращения расхода твердого сплава при оснащении шарошечных долот, которые являются основным породоразрушающим инструментом при бурении нефтяных и газовых скважин, вместо полностью твердосплавных было предложено использовать биметаллические (твердый сплав – сталь) зубки, изготавливаемые МТФ. Процесс МТФ применительно к биметаллическим зубкам для шарошек буровых долот изучался Н. А. Жидовцевым, В. Я. Кершенбаумом, Э. С. Гинзбургом, А. И. Мизиным, И. Г. Барило и Л. А. Резником [1].

Основное твердосплавное вооружение шарошечных долот работает при высоких ударных нагрузках (энергия единичного удара зубка о забой колеблется от 2 до 50 Дж, скорость – от 3 до 5 м/с), его работоспособность ограничивается в основном ударно-усталостным изнашиванием, которое проявляется в сколе и сломах зубков. Поэтому важной задачей является обеспечение высокой износостойкости твердого сплава биметаллических зубков. При этом нужно учитывать, что микроструктура твердого сплава во многом зависит от параметров МТФ.

Целью данной работы является исследование механизма изнашивания и разрушения твердого сплава при ударных нагрузках, что позволит выбирать наиболее подходящие твердые сплавы, технологические режимы МТФ и размеры биметаллических зубков.

1. Методика экспериментальных исследований

Для исследования механизма изнашивания и разрушения твердого сплава при ударных нагрузках были изготовлены биметаллические изделия в виде зубков формы Г26 по ГОСТ 880-75 диаметром 12 мм и высотой 14 мм для шарошек буровых долот. Использовались твердые сплавы ВК8-В, ВК10-КС, ВК11-ВК, ВК15 по ГОСТ 3882-74. Для изготовления биметаллических изделий применялась одно- и двухстадийная технология МТФ.

Двухстадийная технология МТФ заключается в спекании под давлением в керамической пресс-форме порошка твердого сплава при одновременном его соединении со стальным основанием за счет теплоты, выделяемой при пропускании электрического тока, с использованием медного, а затем графитового электрода-пуансона. Параметры процесса: давление прессования 25 - 50 МПа, плотность тока 8 - 20 А/мм², время процесса 5 - 7 с для каждой стадии.

При одностадийной технологии МТФ спекание осуществляется под давлением в графитовой пресс-форме за счет нагрева при прохождении электрического тока через порошок твердого сплава, стальное основание и пресс-форму. Давление прессования составляет 9 МПа, плотность тока 4 - 5 А/мм², длительность процесса от 10 до 200 с.

Исследование механизма изнашивания твердого сплава биметаллических зубков проводилось при прямом ударе на установке, разработанной в ГАНГ им. И. М. Губкина (г. Москва), и стенде 7810-1002ПЗ, созданном НИЛ СКБ АО «Волгабурмаш» (г. Самара). Крепление зубков осуществлялось кернением, их вылет соответствовал вылету на шарошечных долотах и составлял 4 мм.

Исследования на установке проводились при энергии удара 10 Дж, что позволяло изучать последовательность изнашивания и разрушения зубков. Исходя из нагрузок, действующих на зубки при работе долота, и для сокращения времени испытаний большая часть исследований проводилась при энергии удара 60 Дж с частотой ударов 4 Гц на стенде 7810-1002ПЗ. Данный режим нагружения соответствует режиму испытаний твердосплавных зубков того же типоразмера, проводимых в НИЛ СКБ.

Поверхность разрушения твердого сплава биметаллических зубков изучалась с помощью растрового микроскопа TESLA BS 300 при увеличении от 200 до 2000 раз.

2. Исследование механизма ударно-усталостного изнашивания твердого сплава

В ходе проведенных исследований установлено, что механизм изнашивания и разрушения биметаллических зубков при ударном нагружении определяется энергией удара и структурой твердого сплава, которая зависит от технологии МТФ.

При энергии удара 10 Дж характерны мелкие выкрашивания и сколы на рабочей поверхности зубка, износ увеличивается постепенно. Рост энергии удара приводит к образованию продольных трещин и крупных сколов, захватывающих значительный объем твердосплавной головки биметаллического зубка.

При разрушении биметаллических зубков, полученных двухстадийным МТФ, в месте контакта головки зубка с навальной происходит пластическая деформация твердого сплава и образуется плоская площадка, от которой развиваются несколько радиальных трещин и происходит скол сектора твердосплавной части биметаллического зубка. С появлением сколов процесс разрушения твердосплавной головки биметаллических зубков ускоряется.

Для разрушения биметаллических зубков, полученных одностадийным МТФ, характерно образование нескольких осевых продольных трещин, как при разрушении твердосплавных зубков. Однако при этом осевые трещины не разрушают биметаллический зубок полностью, а тормозятся в стальном основании, что позволяет ему сохранять работоспособность в течение некоторого времени.

Первоначальное развитие трещин происходит в твердом сплаве биметаллических зубков, поэтому можно предположить, что их износостойкость при ударно-усталостном изнашивании в основном определяется структурой твердого сплава, которая зависит от его состава и параметров МТФ. Проведенные исследования подтвердили данное предположение.

Износостойкость биметаллических зубков, изготовленных одностадийным МТФ, в 4,5 раза выше износостойкости биметаллических зубков после двухстадийного МТФ, что, по нашему мнению, обусловлено структурой твердого сплава и остаточными напряжениями в биметаллическом зубке.

При разрушении твердого сплава, изготовленного двухстадийным МТФ, наряду с развитием основных магистральных трещин в объеме сплава возникает большое количество микротрещин, понижающих его прочность (рис. 1). Трещины проходят по границе WC-WC и WC-Co. Такой механизм разрушения объясняется мелкозернистой структурой сплава (средний размер зерен карбида вольфрама $d_{WC} \leq 2$ мкм), для которой характерны высокая смежность карбидных зерен C_{WC-WC} и малая протяженность участков Co-фазы, что увеличивает вероятность зарождения и скорость распространения трещин.

Твердый сплав, полученный одностадийным МТФ, имеет больший размер карбидных зерен и участков Co-фазы, а также меньшую смежность C_{WC-WC} , чем после двухстадийного процесса, что затрудняет возникновение и развитие трещин. Пластичность твердого сплава выше. Наблюдается как межзеренное разрушение, так и разрушение сколом зерен карбида вольфрама (рис. 2).

Метод МТФ исключает возможность возникновения крупных зерен WC и их скоплений, а также включений η_1 -фазы (двойной карбид вольфрама и кобальта W_3Co_3C) в твердом сплаве, поэтому основными источниками микротрещин при его разрушении являются поры (рис. 1,б). Разрушение сплава КЗ

имеет макрорупкий характер, на что указывают ступеньки скола при развитии магистральных трещин (рис.3).

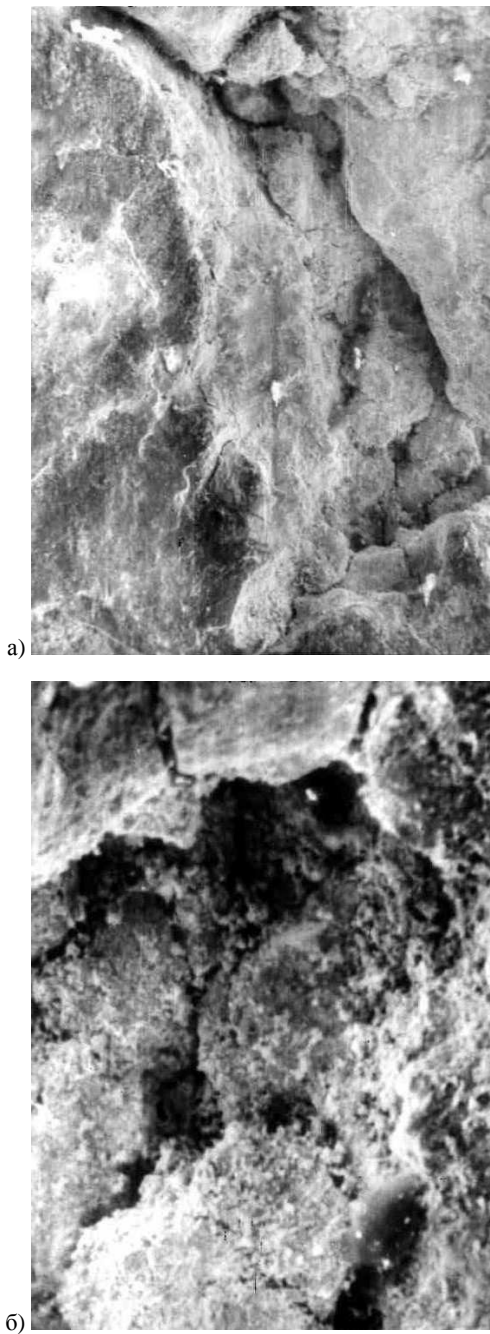
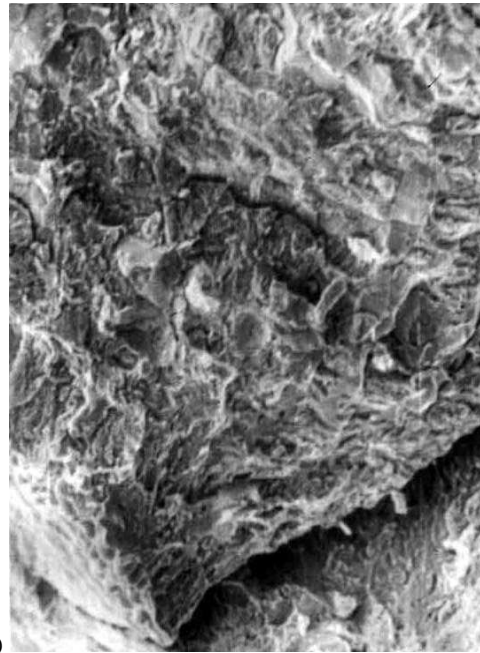


Рис. 1. Фрактограммы поверхности разрушения твердого сплава ВК8-В, полученного двухстадийным МТФ (а - при увеличении в 300 раз, б - при увеличении в 2000 раз).

Анализ фрактограмм поверхности разрушения твердых сплавов при ударном нагружении показывает, что трещины проходят по межзерненным границам в мелкозернистых сплавах ($d_{WC} \leq 2$ мкм) и по зернам карбида вольфрама, которые разрушаются сколом после пластической деформации и разрушения связки в крупнозернистых сплавах ($d_{WC} = 3 - 5$ мкм).



а)



б)

Рис. 2. Фрактограммы поверхности разрушения твердого сплава ВК8-В, полученного одностадийным МТФ (а - при увеличении в 300 раз, б - при увеличении в 2000 раз).

3. Анализ напряжений, возникающих в биметаллическом зубке при ударе

Напряжения, возникающие в биметаллическом зубке при ударе в значительной степени определяют его долговечность. Биметаллический зубок состоит из материалов, значительно отличающихся по своим физико-механическим характеристикам. Так модуль упругости стали более чем в 2 раза меньше модуля упругости твердого сплава, что должно сказаться на напряжениях в твердосплавной части биметаллического зубка. Сравним напряжения, возникающие при ударе в полностью твердосплавном зубке и в твердосплавной части биметаллического зубка.

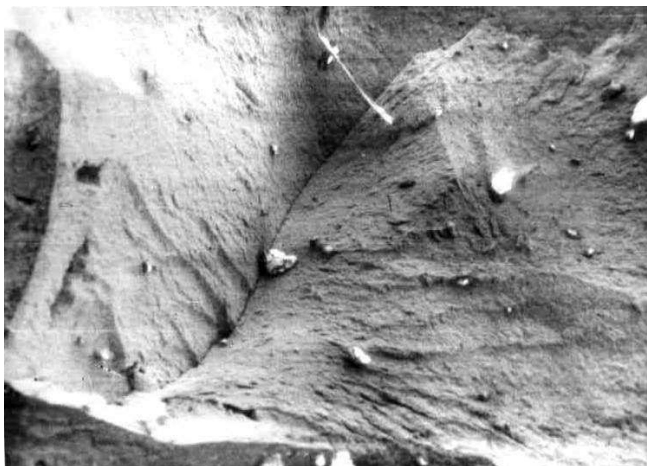


Рис. 3. Характер развития магистральных трещин в твердом сплаве биметаллического зубка.

Для этого воспользуемся следующей упрощенной моделью. Будем рассматривать биметаллический зубок как составной стержень, состоящий из твердосплавной и стальной частей. Проанализируем случай прямого удара и предположим, что при ударе кинетическая энергия зубка K полностью переходит в потенциальную энергию деформации твердосплавной и стальной частей (деформации упругие). Тогда получаем [3]:

$$K = \frac{\lambda_1^2 E_1 F}{2h_1} + \frac{\lambda_2^2 E_2 F}{2h_2}, \quad (1)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, h_1, h_2, E_1, E_2$ - соответственно перемещения при ударе, высоты и модули упругости твердосплавной и стальных частей биметаллического зубка; F - площадь поперечного сечения биметаллического зубка.

Из условия равенства сил, возникающих в биметаллическом изделии при ударе, получаем [3]:

$$\frac{\lambda_1 E_1}{h_1} = \frac{\lambda_2 E_2}{h_2}. \quad (2)$$

Преобразуя выражения (1) и (2), находим формулу для определения напряжения σ_1 в твердосплавной части биметаллического зубка при ударе

УДК629.463.3

Сенько В.И., Шимановский А.О., Путято А.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ КРЕПЛЕНИЙ КОТЛА К РАМЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЦИСТЕРНЫ

Значительную долю парка грузовых вагонов Белорусской железной дороги составляют вагоны-цистерны. Выполненный ОНИЛ «ТТОРЕПС» Белорусского государственного университета транспорта анализ состояния парка цистерн показал, что значительная их доля достигла нормативного срока службы. При этом объем закупок новых вагонов не позволяет восполнить существующую потребность в наливном подвижном

составе [1]. Дальнейшее сокращение парка вагонов-цистерн может привести к перебоям в работе Белорусских нефтеперерабатывающих заводов. В связи с этим необходимо предпринимать эффективные меры по проведению капитально-восстановительных работ.

Статистические данные обследования цистерн показали, что в ходе эксплуатации одним из наиболее частых видов

Сенько Вениамин Иванович, д.т.н., профессор, ректор Белорусского государственного университета транспорта.

Шимановский Александр Олегович, к.т.н., доцент каф. «Техническая физика и теоретическая механика» Белорусского государственного университета транспорта.

Путято Артур Владимирович, аспирант каф. «Вагоны и вагонное хозяйство» Белорусского государственного университета транспорта.

Беларусь, БелГУТ, 246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{2KE_1}{h_1 F \left(1 + \frac{E_1 h_2}{E_2 h_1}\right)}}. \quad (3)$$

Аналогично определяем напряжения, возникающие в полностью твердосплавном зубке при ударе

$$\sigma = \sqrt{\frac{2KE_1}{h F}}, \quad (4)$$

где $h = h_1 + h_2$ - высота твердосплавного зубка.

В случае равенства энергии удара K , отношение напряжений в твердосплавной части биметаллического зубка и в твердосплавном зубке при ударе равно

$$\frac{\sigma_1}{\sigma} = \sqrt{\frac{E_2(h_1 + h_2)}{E_2 h_1 + E_1 h_2}}. \quad (5)$$

Расчеты показывают, что напряжения, возникающие при ударе в твердом сплаве биметаллического зубка, в 1,25 – 1,6 раза меньше (в зависимости от высоты твердосплавной части).

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что износостойкость при ударно-усталостном изнашивании твердого сплава, изготовленного одностадийным МТФ в 4,5 раза выше, чем сплава, изготовленного двухстадийным МТФ. Это объясняется структурой и механизмом разрушения твердого сплава.

Наличие стального основания приводит к тому, что напряжения, возникающие при ударе в твердом сплаве биметаллического зубка, меньше, чем в твердосплавном зубке, что должно повышать износостойкость твердого сплава.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Долговечность шарошечных долот/ Н. А. Жидовцев, В. Я. Кершенбаум, Э С. Гинзбург и др. – М.: Недра, 1992. – 271 с.
2. Монтик С. В. Влияние технологии механотермического формирования на микроструктуру твердого сплава //Вестник Брестского государственного технического университета. – 2002. – № 4 (16): Машиностроение, автоматизация, ЭВМ.
3. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов: Учебник для вузов. – М.: Наука, 1986. – 512 с.