

- смешанное суммирование, предлагаемое в [12]

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta_i + K \sqrt{\sum_{i=n+1}^m (K_i \cdot \Delta_i)^2}, \quad (14)$$

где

Δ_i - элементарная погрешность.

Как видно из формул (1) и (11) различие в подходах заключается лишь в том, что в статистическом предельный разброс фактических размеров включает в себя все случайные погрешности, среди которых и погрешности, обусловленные упругими деформациями технологической системы и геометрическими погрешностями станка. А в расчетно-аналитическом эти погрешности рассчитываются для включения тем или иным способом суммирования в Δ_{Σ} . Как при одном, так и при другом подходе имеются существенные трудности для чисто теоретического (расчетного) определения суммарной погрешности обработки.

С точки зрения автоматизации расчетов более предпочтительным, по нашему мнению, является статистический подход, который и следует положить в основу методики автоматизированного определения суммарной погрешности обработки, т.е. в качестве полной математической модели предлагается принять формулу (1).

Преимущества автоматизированного расчета позволяют произвести многовариантный анализ результатов расчета суммарной погрешности обработки с использованием разных подходов к её определению и выдать информацию о границах варьирования ее значений в зависимости от способов определения и суммирования элементарных погрешностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Короблев П.А. Точность обработки на металлорежущих станках в приборостроении. М.: Машгиз, 1962.

УДК 622.24.051

Монтик С.В.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНОТЕРМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ТВЕРДОГО СПЛАВА

Основным породоразрушающим инструментом при бурении нефтяных и газовых скважин являются шарошечные долота. Оснащение их твердосплавным вооружением, состоящим из зубков из твердого сплава ВК (сплав карбида вольфрама с кобальтом), повысило проходку и другие эксплуатационные характеристики долот. Однако твердый сплав используется нерационально, т.к. большая часть твердосплавного зубка находится в корпусе долота и выполняет роль державки. Разработанный в Государственной академии нефти и газа имени И. М. Губкина (г. Москва) метод электроконтактного механотермического формирования (МТФ) биметаллических изделий позволяет изготавливать комбинированные зубки, состоящие из твердосплавной рабочей головки и стального основания, что дает возможность снизить расход твердого сплава.

Твердосплавное вооружение долот подвергается действию абразивного, ударно-абразивного и ударно-усталостного изнашивания. В зависимости от типа долота и

2. Валитов В.З. Расчет точности станочных приспособлений. Изд. Ленинградского института точной механики и оптики, 1963.
3. Кован В.М., Корсаков В.С. и др. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1965.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В двух томах. Изд. 3-е перераб. Том 1. Под ред. канд. техн. наук А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. М.: Машиностроение, 1972.-694 с.
5. Болотин Х.Л., Костромин Ф.П. Станочные приспособления. Изд. 5-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1973.-344 с.
6. Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения. М.: Высшая школа, 1974. - 607с.
7. Ящерицын П.И. Основы технологии механической обработки и сборки в машиностроении. Минск, «Вышэйшая школа», 1974. - 607 с.
8. Егоров М.Е. и др. Технология машиностроения. Учебник для вузов. Изд. 2-е, доп. М.: Высш. школа, 1976. - 534 с.
9. Дипломное проектирование по технологии машиностроения: [Учеб. пособие для вузов / В.В.Бабук, П.А.Горезко, К.П.Забродин и др.] Под общ. ред. В.В.Бабука. – Мн.: Высш.школа, 1979. – 464с., ил.
10. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1983. - 277 с.
11. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. - 496 с.
12. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 /Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. - 656 с.
13. Горохов В.А. Проектирование технологической оснастки: Учебник для студ. машиностроит. спец. вузов. - Мн.: Бервита, 1997. - 344 с.

вида вооружения (основное или калибрующее) преобладает один из видов изнашивания. Важной задачей является исследование влияния технологии механотермического формирования на износостойкость твердого сплава, что позволит осуществлять правильный выбор параметров МТФ и марки твердого сплава в зависимости от конкретных условий работы комбинированных зубков.

В зависимости от назначения для изготовления биметаллических (твердый сплав – сталь) изделий используют двухстадийную или одностадийную технологию 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.

Монтик Сергей Владимирович. Доцент каф. «Машиноведение» Брестского государственного технического университета. БГТУ, Беларусь, г. Брест, ул. Московская 267.

Физико-механические свойства твердых сплавов

Марка сплава	Технология изготовления	Твердость по Роквеллу, HRA	Плотность, г/см ³	Трещиностойкость K_{Ic} , МПа·м ^{1/2}	Коэффициентная сила, кА/м
BK8-B	Свободное спекание	87	14,69	17,0	6,1
	Двухстадийное МТФ	89,0	14,75	5,3	7,5
	Одностадийное МТФ	88,0	14,70	17,1	6,3
BK10-KC	Свободное спекание	86,5	14,55	18,7	5,6
	Двухстадийное МТФ	88,5	14,69	5,9	6,8
	Одностадийное МТФ	87,0	14,56	18,9	5,7

Таблица 2

Микроструктура твердых сплавов

Марка сплава	Технология изготовления	Средний размер зерен WC, мкм	Средний размер участка Co-фазы, мкм	Относительная доля контактной поверхности зерен WC
BK8-B	Свободное спекание	4,2	1,6	0,54
	Двухстадийное МТФ	2,7	0,9	0,61
	Одностадийное МТФ	4,2	1,5	0,55
BK10-KC	Свободное спекание	4,3	1,9	0,40
	Двухстадийное МТФ	1,7	0,7	0,60
	Одностадийное МТФ	4,2	1,9	0,41

При одностадийной технологии МТФ спекание осуществляется под давлением в графитовой пресс-форме за счет прохождения 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.

Физико-механические свойства и структура твердого сплава, а значит, и его износостойкость зависят от технологии МТФ.

Твердый сплав, полученный двухстадийным МТФ, имеет более высокую твердость (на 2 - 2,5 единицы HRA), плотность и коэффициентную силу, а его трещиностойкость снижается в 2 - 3 раза по сравнению со сплавом, полученным свободным спеканием. В сплаве увеличивается количество мелких зерен карбида вольфрама. Средний размер зерен и величина кобальтовой прослойки снижается, а их смежность (относительная доля контактной поверхности зерен) возрастает (см. таблицы 1, 2). Включения графита отсутствуют, а пористость уменьшается.

Износостойкость при абразивном изнашивании твердого сплава, полученного двухстадийным МТФ, в 2 - 3 раза превышает износостойкость такого же сплава, полученного свободным спеканием. Это объясняется более высокой твердостью сплава, меньшим размером карбидных зерен и кобальтовой прослойки между зернами. Вследствие диффузии кобальта в графитовый электрод-пуансон на второй стадии МТФ износостойкость поверхностного слоя сплава глубиной до 0,3 мм выше в 5 - 6 раз, чем в остальном объеме [1].

Физико-механические свойства и структура твердого сплава, изготовленного одностадийным МТФ, практически не отличается от параметров сплава, полученного свободным

спеканием (см. таблицы 1, 2). Можно отметить существенное понижение пористости вследствие спекания под давлением. Рост длительности процесса ведет к росту зерен карбида вольфрама, их средний размер линейно увеличивается, а смежность падает, что повышает пластичность сплава.

Износостойкость твердого сплава при ударно-усталостном изнашивании оценивалась количеством циклов ударного нагружения до состояния, при котором вылет твердосплавной части комбинированного зубка в результате его разрушения уменьшился на 3 мм. Первоначально вылет зубка составлял 4 мм и соответствовал вылету на шарошках долот. Износостойкость твердого сплава, изготовленного одностадийным МТФ, при ударно-усталостном изнашивании в 4,5 раза выше, чем после двухстадийного МТФ.

Установлено влияние структуры и состава твердого сплава, изготовленного одностадийным МТФ, на его износостойкость при ударно-усталостном изнашивании, которая линейно возрастает в логарифмических координатах с увеличением среднего размера карбидных зерен в сплаве. Можно выделить две группы сплавов, внутри которых рост содержания кобальта в сплаве ведет к линейному повышению его износостойкости (см. рисунок 1). Это крупнозернистые сплавы (BK8-B, BK10-KC, BK12-KC) со средним размером зерен 4 - 5 мкм и мелко- и среднезернистые сплавы (BK15, BK20 и BK8-BK, BK11-BK) со средним размером зерен 2 и 3 мкм.

Для правильного выбора технологии МТФ и параметров твердого сплава в зависимости от конкретных условий его работы без проведения продолжительных испытаний необходимо определение критерия износостойкости сплава. Для этого рассмотрим механизм изнашивания твердого сплава.

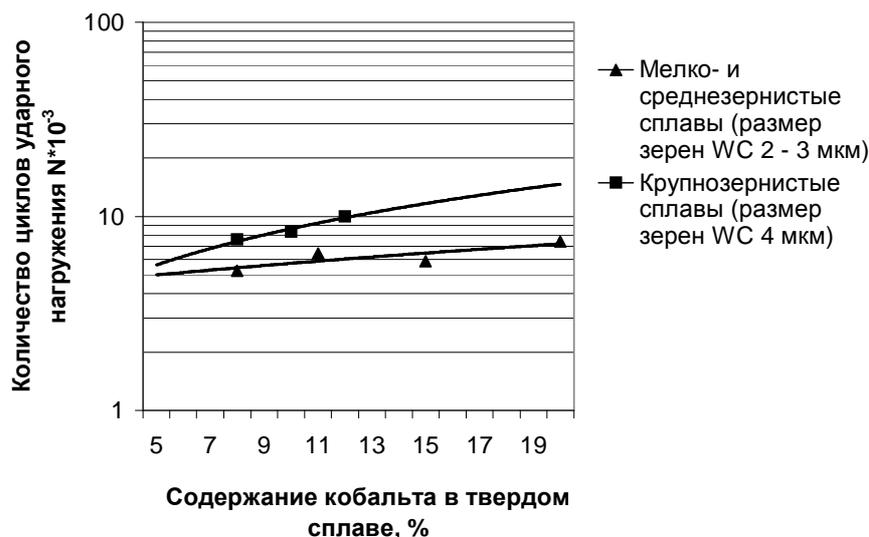


Рисунок 1. Зависимость износостойкости твердого сплава при ударно-усталостном изнашивании от содержания кобальта (прямой удар, энергия удара 60 Дж, комбинированные зубки формы Г26 по ГОСТ 880-75)



Рисунок 2. Зависимость износостойкости твердого сплава при ударно-усталостном изнашивании от величины пластической зоны (прямой удар, энергия удара 60 Дж, комбинированные зубки формы Г26 по ГОСТ 880-75)

Анализ фрактограмм поверхности разрушения твердых сплавов при ударно-усталостном изнашивании показывает, что усталостная трещина проходит по межзеренной границе в мелкозернистых сплавах (средний размер зерен карбида вольфрама 2 мкм) и по зернам карбида вольфрама, которые разрушаются сколом после пластического деформирования и нарушения связи, в крупнозернистых сплавах (средний размер карбидных зерен 3 - 5 мкм). В работе [2] предполагается, что развитие трещин в твердом сплаве происходит в том случае, когда величина пластической зоны у ее вершины равна величине среднего свободного расстояния в кобальтовой фазе.

Установленные закономерности разрушения твердого сплава, а также данное предположение позволяет объяснить рост износостойкости при ударно-усталостном изнашивании сплава, изготовленного одностадийным МТФ. Увеличение среднего размера карбидных зерен или содержания кобальта в сплаве приводит к росту размера кобальтовой прослойки и для развития трещины требуется большие напряжения и энергия. При этом также уменьшается протяженность границ зерен карбид вольфрама - карбид вольфрама, которая является слабым звеном сплава.

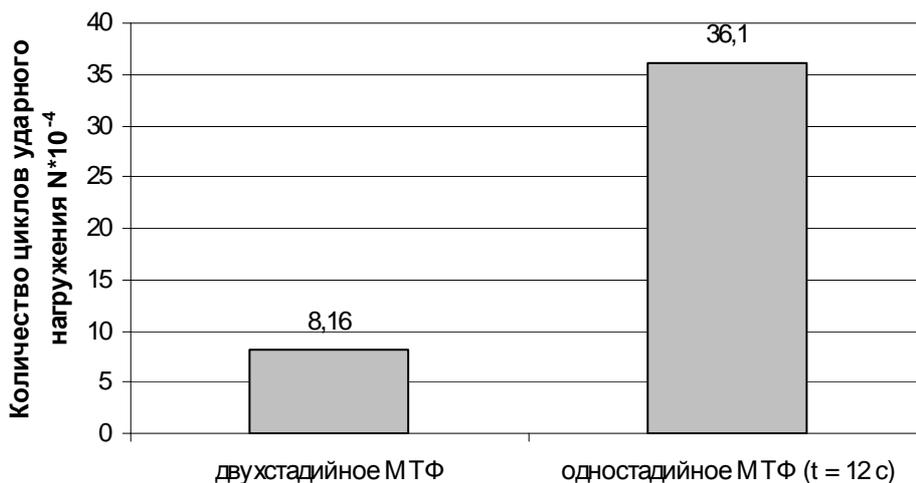
Исходя из рассмотренного механизма развития трещины, можно предположить наличие связи между износостойкостью твердых сплавов при ударно-усталостном изнашивании и величиной пластической зоны у вершины трещины.

Величина пластической зоны r_p у вершины трещины определялась для плоского деформированного состояния [3]:

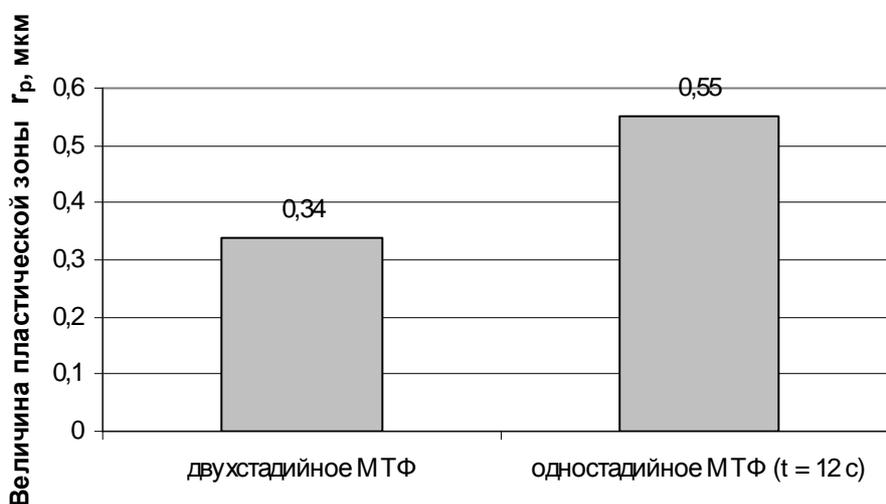
$$r_p = \frac{K_{Ic}^2}{2\pi\sigma_T^2} (1 - 2\nu)^2,$$

где K_{Ic} - критический коэффициент интенсивности напряжений (трещиностойкость) твердого сплава, σ_T - условный предел текучести твердого сплава, ν - коэффициент Пуассона.

Установлено, что с ростом величины пластической зоны твердого сплава износостойкость при ударно-усталостном изнашивании в логарифмических координатах линейно возрастает (см. рисунок 2). Можно отметить две группы сплавов, существенно отличающиеся по износостойкости. Это крупнозернистые сплавы и мелко- и среднезернистые сплавы.



а)



б)

Рисунок 3. Зависимость износостойкости при ударно-усталостном изнашивании (а) и величины пластической зоны (б) от технологии МТФ твердого сплава (твердый сплав ВК10-КС, энергия прямого удара 10 Дж, комбинированные зубки формы Г26 по ГОСТ 880-75)

Величина пластической зоны была предложена Резником Л. А. [1] в качестве критерия износостойкости твердого сплава при абразивном изнашивании. Следовательно, величина пластической зоны у вершины трещины может использоваться как критерий износостойкости твердого сплава при абразивном и ударно-усталостном изнашивании. Увеличение пластической зоны сопровождается ростом износостойкости сплава при ударно-усталостном изнашивании и одновременным снижением износостойкости при абразивном изнашивании.

Применение величины пластической зоны как критерий износостойкости твердого сплава позволяет определять оптимальные параметры МТФ в зависимости от условий работы сплава.

Установлено, что после одностадийного МТФ твердый сплав имеет большую пластическую зону и большую износостойкость, чем после двухстадийного МТФ (см. рисунок 3). Увеличение длительности одностадийного МТФ приводит к росту пластической зоны и износостойкости сплава.

Исходя из этого, для изготовления комбинированных зубков, используемых для основного вооружения долот и работающих при высоких ударных нагрузках, необходимо применять одностадийную технологию МТФ, а для комбинированных зубков, используемых в калибрующем вооружении долот и работающих в условиях абразивного изнашивания, - двухстадийную технологию МТФ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Резник Л. А. Износостойкость твердосплавного вооружения породоразрушающего инструмента при абразивном изнашивании и разработка метода ее оценки на основе энергетического критерия: Дисс. канд. техн. наук. – М., 1988. – 113 с.
2. Murray M. J., Perrott C. M. Fracture toughness of sintered carbide measured by the double torsion method. – In: Advance In Hard Material Tool Technology / Carnegie Mellon Univ. – Pittsburgh (PA), 1976. – P. 222.
3. Коцаньда С. Усталостное разрушение металлов. Пер. с польск. – М., Металлургия. – 1976. – 456 с.