

автомобилей ВАЗ, АЗЛК и др. Наибольшая работоспособность (минимальное значение температуры труящихся поверхностей) получена при испытаниях карданных шарниров скольжения, состоящих из запрессованных втулок, с внутренней стороны которых нанесены покрытия антифрикционных самосмазывающихся органоволокнистов, и крестовин, упрочненных напылением самофлюсующимся сплавом ПГ-10Н-01.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Савич Е.Л., Болбас М.М., Ярошевич В.К. Техническое обслуживание и ремонт легковых автомобилей. – Мин.: Выш. шк., 2001.
2. Белоцерковский М.А. Разработка экономичного и высокоеффективного оборудования для газопламенного напыления// Наука производству. – 1999. – № 6 (19).
3. M.Bolbas, V.Iaroshevich, G.Koralevski. Restoring and hardening of car cardan joints// Folia Societatis Scentiarum Lublinensis. Vol. 7. 1998.
4. Ярошевич В.К., Виаратна Дж.Г. Повышение долговечности крестовин карданных передач автомобилей // Конструирование и эксплуатация автомобилей и тракторов. Вып.1. – Мин.: Выш. шк., 1986.

## УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ПОТОКОМ ЧАСТИЦ И НЕИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ, УСКОРЕННЫХ ЭНЕРГИЕЙ ВЗРЫВА

**О.В. Роман, Е.А. Дорошкевич, В.И. Овчинников, О.И. Коваль**  
БГНПК ПМ НАНБ НИИ импульсных процессов с ОП  
(г. Минск, Республика Беларусь)

### Steel reinforcement by high-energy pulse loading method

Results of hardness and wear resistance of composite materials on basis steels 10, 40, P6M5, received by a dynamic doping method are submitted. Increase of wear resistance of strengthened tool steel P6M5 in 1,6-1,8 times in comparison with not processed is registered. The new

method of surface hardening consisting in processing of a steel feedstock surface by high-speed flux of collisional plasma, formed as a result of explosion and is offered to ionization of gas-forming substances of nitrogen and carbon.

В процессе выполнения исследований по динамическому нагружению и высокоскоростному соударению частиц порошка с металлическими преградами установлено, что наряду с кратерообразованием происходит объемная перестройка структуры, изменение химического, фазового состава обрабатываемого материала, механических свойств. Структурные изменения в металлической преграде (образце) происходят за счет ударноволнового нагружения и проникания сравнительно небольшой доли ( $\sim 1 - 1,5\%$ ) микрочастиц, ускоренных энергией взрыва. Технология обработки металлов с использованием энергии взрыва не требует больших материальных, энергетических, временных затрат и является перспективной при обработке металлических материалов с целью их объемного упрочнения.

В качестве модельных материалов металлических преград были выбраны сталь 10, сталь 40, сталь Р6М5. Выбор материалов обусловлен тем, что конструкционные стали имеют много общего и различаются содержанием перлита и феррита. Поэтому сравнение микроструктуры и механических свойств сталей 10 и 40 позволит в дальнейшем достаточно точно прогнозировать тенденции изменения структурных и прочностных параметров в результате динамического нагружения для всех конструкционных сталей. Новый композиционный материал на основе инструментальной стали Р6М5, полученный в результате взаимодействия между потоком микрочастиц SiC и стальной матрицей в процессе взрывного микролегирования, уже нашел практическое применение в качестве материала вставок для резцов соледобывающих комбайнов. С учетом этого дальнейшее исследование параметров материала, формируемого при динамическом микролегировании, позволит оптимизировать разработанный технологический процесс.

Образцы имели длину 100 мм и поперечное сечение диаметром 10 мм (сталь 10), 50 мм (сталь 40).

Динамическую обработку осуществляли по схеме [1] при следующих стандартных параметрах: средняя скорость частиц – 700 м/с, время воздействия  $\approx 200$  мкс. В качестве материала микрочастиц использовали порошок SiC фракции 63 – 70 мкм.

Выбор фракции порошка обусловлен результатами исследований по оценке влияния фракционного состава микрочастиц на изменение структуры обрабатываемого материала и глубину проникания частиц в материал. Ранее было установлено, что при одинаковых параметрах обработки максимальная глубина проникания с изменением микроструктуры в конструкционной стали наблюдается при использовании порошка SiC фракции 63 – 70 мкм.

Исследование микроструктуры образцов показало, что воздействие потока частиц характеризуется значительной неоднородностью в зависимости от глубины проникания и расстояния от центра обработки. Наибольшая плотность канальных зон, как правило, наблюдается в центральной части преграды (диаметр 10 мм). Вблизи канальных зон присутствуют участки локализованной деформации (рис. 1). Структурная неоднородность является причиной изменения и механических свойств. В таблице 1 приведены результаты измерения твердости по методу Бринелля (диаметр стального шарика 5 мм, нагрузка 250 кгс, время нагружения 15 с) для образцов из стали 40 и стали 10. Твердость исходного образца из стали 40 составляет 175 НВ, из стали 10 ~ 121 НВ.



Рис. 1. Микроструктура стали 40, подвергнутой динамическому микролегированию,  $\times 2000$

Таблица 1. Твердость образцов из стали 40 и стали 10, подвергнутых динамическому микролегированию

Глубина обработки, мм	Твердость НВ стали 40 (центр образца)	Твердость НВ стали 40 (расстояние от центра образца 20 мм)	Твердость НВ стали 10 (центр образца)
1	2	3	4
исходный образец	175	175	121
5	200	185	163
20	185	180	145

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
40	185	175	145
60	185	175	145
80	185	175	145

Существенное повышение твердости до глубины  $\sim 20$  мм от поверхности при динамическом нагружении можно объяснить упрочнением за счет пластической деформации. В диапазоне глубин обработки 20 – 80 мм значение твердости практически не изменяется. Твердость образцов после динамического нагружения складывается из исходной твердости феррито-цементитной смеси и приращения твердости за счет объема металла с искаженной решеткой, которая пропорциональна суммарной площади поверхности раздела фаз. Таким образом, регистрируемое повышение твердости обработанного материала можно считать результатом увеличения поверхности раздела фаз за счет комплексного изменения микроструктуры:

- образования канальных зон;
- дробления зерен;
- измельчения феррито-цементитной смеси;
- формирования новых поверхностей раздела вблизи проникших частиц.

Структура исходного образца из стали 40 представляет собой пластинчатый перлит. На глубине 5 – 10 мм, т.е. в зоне максимального комплексного влияния процессов импульсной обработки (действие ударной волны и потока микрочастиц) материал имеет максимальную твердость и представляет собой сорбитаобразный перлит. В диапазоне глубин обработки 20 - 80 мм зарегистрирован промежуточный уровень твердости, который соответствует структуре пластинчатого перлита (табл. 1, рис. 1).

Динамическое легирование стали 10 приводит к более значительным изменениям твердости, чем для стали 40. Это, на наш взгляд, связано с тем, что в конструкционных сталях с феррито-перлитной структурой при приложении нагрузки деформация начинает развиваться в феррите, а перлитные колонии являются "барьерами" для такой деформации. В стали 10 количество перлитной составляющей меньше, чем в стали 40.

Натурные испытания износостойкости резцов со вставками из стали Р6М5, подвергнутой динамическому микролегированию, проведенные в г. Солигорске, показали, что разработанный материал обладает высокой эксплуатационной стойкостью (расход

5 – 6 резцов на 1000 т добытой калийной руды, вместо 8 – 10 резцов). Износостойкость упрочненной инструментальной стали Р6М5 в 1,6 – 1,8 раз повышается по сравнению с аналогичной необработанной. Исследования микроструктуры обработанной стали Р6М5 свидетельствуют о том, что одной из причин повышения износостойкости является образование структуры композиционного материала, упрочненного канальными зонами, играющими роль армирующих элементов. Упрочнение быстрорежущей стали Р6М5 осуществляется за счет введения в технологический процесс операции динамического микролегирования в сочетании с традиционной для Р6М5 термической обработкой.

Высокоскоростные импульсные методы обработки металлических материалов позволяют также получать поверхностные упрочненные слои толщиной 30 – 40 мкм (рис. 2).

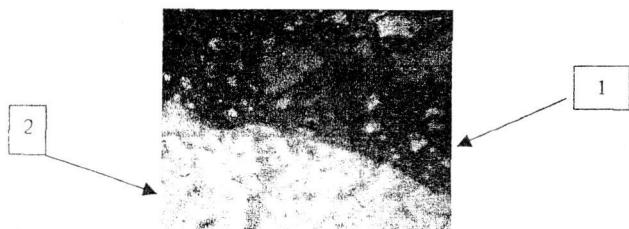


Рис. 2. Сталь 40, обработанная высокоскоростным потоком неидеальной плазмы,  $\times 500$ : 1 – упрочненный поверхностный слой, 2 – сталь 40

Такой эффект достигается обработкой высокоскоростными потоками неидеальной плазмы, образующейся в результате взрыва и ионизации газообразующих веществ N и C при их одновременной диффузии в сталь, и позволяет получать  $\epsilon$ -фазу карбонитридного характера (карбонитридной структуры Fe-N-C). Карбонитридная фаза, полученная при одновременной диффузии в сталь азота и углерода, по сравнению с чисто азотной обладает меньшей хрупкостью, повышенной твердостью (HV 400 – 450), высокими химической стойкостью и износостойкостью в 1,6 – 1,8 раза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Динамическая перестройка структуры материалов / Коллек. монография под ред. С.М. Ушеренко. – М.: НИИ ИП с ОП, 2000.