

05;07;12

Сверхтвердость чугуна, индуцированная медью при лазерном воздействии

© Г.И. Козлов

Институт проблем механики РАН, Москва

Поступило в Редакцию 29 июня 1999 г.

Обнаружено новое явление: индуцированное медью образование сверхтвердого чугуна с микротвердостью до 22 000 МПа при лазерной обработке в непрерывном режиме поверхности серого чугуна, покрытой тонким слоем индуктора–меди. Явление индукции заключается в воздействии при плотном контакте кристаллической структуры индуктора на развитие в определенном направлении процессов фазовых превращений, протекающих после лазерного воздействия в приповерхностных слоях металлов и сплавов в ходе процесса их охлаждения.

Процесс лазерного термоупрочнения является одним из самых эффективных методов упрочнения поверхности металлов и сплавов. Отличительной особенностью процесса лазерной закалки от традиционных методов является существенно неравновесный характер этого процесса, так как характерные времена перестройки структуры в металлах и сплавах в условиях лазерной обработки становятся соизмеримыми с временами нагрева и охлаждения. С физической точки зрения процесс упрочнения сплавов сводится к получению структур, затрудняющих протекание процессов пластической деформации, т.е. к созданию препятствий для движения дислокаций. В принципе этого можно достичь путем образования неоднородностей в кристаллической решетке сплавов с помощью примесных атомов или включений новой фазы, а также за счет уменьшения размеров зерна.

В настоящей работе впервые обнаружено интереснейшее явление — индуцированное медью образование сверхтвердой структуры в поверхностном слое серого чугуна при лазерной обработке поверхности, на которую предварительно был нанесен тонкий слой индуктора–меди.

Лазерная обработка осуществлялась на установке, состоящей из непрерывного газоразрядного СО₂-лазера мощностью 6 kW [1], фокусирующей системы и специальной оснастки, обеспечивающей сканирование

луча по обрабатываемой поверхности. Распределение интенсивности по сечению луча было достаточно однородным в центральной части луча с небольшим снижением интенсивности к периферии. Для фокусировки лазерного излучения на обрабатываемой поверхности использовалась соляная линза с фокусным расстоянием 110 см.

На первом этапе исследований были проведены эксперименты по лазерному термоупрочнению образцов серого чугуна с целью определения оптимальных условий обработки и получения максимальных значений микротвердости для этого процесса. Эти данные были важны для последующего сопоставления с результатами, полученными при новом методе лазерной обработки, который был разработан в настоящей работе. Оптимальное значение интенсивности лазерного излучения оказалось равным $2 \cdot 10^4 \text{ W/cm}^2$, что при времени воздействия, равном 0.4 с, обеспечивает глубину упрочненного слоя не менее 0.8 мм с величиной микротвердости, находящейся в пределах 8000–11 000 МПа.

Полученное максимальное значение микротвердости 11 000 МПа при лазерном термоупрочнении поверхности серого чугуна хорошо согласуется с имеющимися в литературе данными [2]. Но оказывается, это не предел и можно получить сверхтвердый чугун (!), используя идею индуцированного воздействия определенной "затравки"–индуктора на кинетику и механизм фазовых превращений, протекающих в ходе процесса охлаждения чугуна после лазерного воздействия. В качестве индуцирующей "затравки" целесообразно было использовать медь.

В экспериментах непосредственно перед лазерной обработкой на поверхность серого чугуна наносился тонкий слой меди. Толщина слоя составляла примерно 100–150 μm . Мощность лазерного излучения при обработке поддерживалась постоянной и равной 5.5 kW, а интенсивность излучения подбиралась такой, чтобы толщина оплавленного слоя на поверхности была небольшой и соответственно перемешивание чугуна и меди в расплаве было незначительным. При указанной мощности луча это достигалось при пятне фокусировки, равном примерно 8 мм, и скорости сканирования луча по обрабатываемой поверхности 40 см/мин.

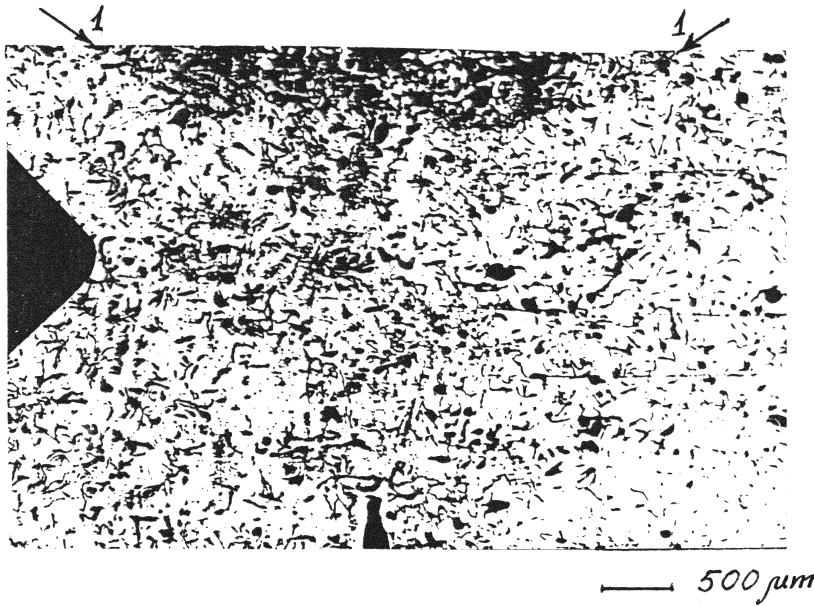
После лазерной обработки проводилось удаление поверхностного слоя меди фрезерованием на глубину 0.5 мм (1-я ступенька) и 1.0 мм (2-я ступенька). Затем для уменьшения влияния деформированной при фрезеровке зоны химическим травлением удалялся слой порядка 10 μm . Фрезерование обнажило зеркальную матрицу, которая, как показали из-

мерния, имела очень высокую твердость. Исследовался фазовый состав, микроструктура и микротвердость матрицы.

Микротвердость измерялась по ширине зоны зеркальной матрицы на приборе ПМТ-3. Значения микротвердости на 1-й ступеньке оказались рекордно высокими и достигали 22 000 МПа, при этом распределение микротвердости по ширине зоны было слабо неоднородным и колебалось в пределах 22 000–19 000 МПа. В более глубоком слое, на 2-й ступеньке, значения микротвердости были несколько ниже, но все еще сохраняли высокие значения в пределах 18 000–16 000 МПа, практически недостижимые для процесса лазерного термоупрочнения чугуна непрерывным излучением.

Столь высокие значения микротвердости несомненно связаны с индуцирующим влиянием меди на механизм и кинетику фазовых превращений, протекающих в ходе процесса охлаждения чугуна после лазерного воздействия. Необходимо было определить структурные составляющие, ответственные за высокие значения микротвердости. С этой целью был проведен анализ фазового состава.

При исследовании фазового состава дифракционная картина обработанной зоны сравнивалась с дифрактограммой из необработанной области, которая состояла в основном из α Fe, Fe₃C и углерода. Дифрактограмма, полученная на 1-й ступеньке из зоны зеркальной матрицы, свидетельствует о том, что фазовый состав соответствует смеси феррита, аустенита, цементита и углерода. По сравнению с необработанной зоной все дифракционные отражения сильно размыты, что свидетельствует о значительной дисперсности структуры этих фазовых компонент. Достаточно четкого расщепления дифракционного отражения в интервале углов, соответствующих мартенситному дуплету, не наблюдается. В более глубоких слоях (на 2-й ступеньке) возрастает интенсивность отражения мартенситного дуплета и несколько уменьшается уширение дифракционных отражений. Из этих измерений следует важное заключение о том, что упрочнение серого чугуна при лазерной обработке с индуцирующей "затравкой" не связано с образованием мартенсита. С другой стороны, индуцирующее влияние меди, имеющей, как и γ Fe, гранецентрированную кубическую решетку, сводится, вероятно, к тому, что она действует как аустенитно-стабилизирующий фактор, снижая температуру превращения аустенита и благодаря этому значительно измельчая образующийся в процессе охлаждения перлит. Но измельчение



Фотография микроструктуры зоны зеркальной матрицы. 1 — граница расплавленной области.

зерна может оказаться лишь одной из причин, объясняющих эффект образования сверхтвердого чугуна в эксперименте.

Второе важное заключение следует из исследования микроструктуры, которое проводилось на торцевой поверхности образца. На рисунке приведена фотография микроструктуры зоны зеркальной матрицы, на которой достаточно хорошо выявлена граница проплавленной области, в пределах которой наблюдается значительное выделение углерода, имеющего глобулярную форму. Помимо черных выделений, связанных с углеродом, наблюдаются темно-серые области с игольчатой структурой (вероятно, бейнит) и светлые области феррита с округлыми дисперсными включениями цементита. Но обнаружить какую-то новую структурную составляющую, ответственную за высокие значения микротвердости, на основании проведенного аналитического материала пока не удалось.

Таким образом, образование сверхтвердого чугуна с рекордным значением микротвердости 22 000 МПа при лазерной обработке поверхности серого чугуна, на которую предварительно нанесен тонкий слой меди, несомненно связан с установленным в настоящей работе явлением индукции меди на кинетику и механизм фазовых превращений, протекающих в ходе охлаждения чугуна после лазерной обработки.

Список литературы

- [1] Козлов Г.И., Кузнецов В.А. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. № 7. С. 1360–1363.
- [2] Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Н.М. // Математическая теория горения и взрыва. 1980. М.: Наука.