

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ НА МЕЗОУРОВНЕ В СТАЛИ ПРИ АКТИВНОМ НАГРУЖЕНИИ

С.В.Панин, О.А.Кашин, Ю.П.Шаркеев

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634021, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/1, факс 8-382-2-25-95-76, e-mail ispms@ispms.tomsk.su

Приведены результаты экспериментального исследования с использованием оптико-телевизионного измерительного комплекса TOMSC развития пластической деформации на мезомасштабном уровне и разрушения инструментальной стали 9ХФМ с электроискровыми покрытиями. Установлено, что изменение механических свойств матрицы приводит к существенному изменению характера пластической деформации на мезомасштабном уровне и разрушения. Пластическая деформация матрицы варьирует от однородной без образования трещин в поверхностно упрочненном слое до гетерогенной с образованием квазипериодических трещин в указанном слое. Показано, что оптимизация режимов электроискрового легирования должна проводиться с учетом структуры, состава и состояния матрицы, а также характера границы раздела.

Введение

Проблема получения высокоресурсного штампового и режущего инструмента, как правило, решается путем нанесения покрытий или поверхностного упрочнения. При этом основным вопросом является оптимизация технологических режимов, определяющих структурно-фазовое состояние и свойства покрытия или поверхностно упрочненного слоя. Из литературы известно, что при нагружении материалов с покрытиями, происходящим в процессе эксплуатации, на границах раздела областей с различными механическими характеристиками возникают концентраторы напряжений (КН) различной мощности [1]. Конкретные механизмы релаксации этих концентраторов напряжений в конечном итоге определяют живучесть материала и изделий из него. Для изучения этих вопросов весьма перспективным является использование концепций физической мезомеханики материалов [1].

Согласно основным положениям физической мезомеханики материалов процессы пластического течения в нагруженном твердом теле развиваются на трех масштабных уровнях: микро-, мезо- и макро [1]. В настоящее время установлено, что наиболее опасными с точки зрения разрушения материала являются КН мезо- и макромасштабного уровня. В материалах с покрытиями эта проблема стоит особенно остро, поскольку мезоКН могут возникать уже при малых степенях деформации вследствие различия механических характеристик покрытия и основного материала.

Таким образом, изучение процессов деформации на мезомасштабном уровне для различных классов материалов и покрытий (или поверхностного упрочнения) является актуальной задачей при разработке технологических процессов модификации поверхности с целью упрочнения материалов.

Материал и методика исследований

В качестве объекта исследований была выбрана инструментальная сталь 9ХФМ, применяемая для производства дисковых пил для деревообрабатывающей промышленности. Рабочая часть образцов имела прямоугольное сечение размером $22 \times 2.6 \times 0.8$ мм³. Поверхность образцов была

гирования (ЭИЛ). Этот метод заключается в переносе вещества легирующего электрода на поверхность изделия при электрическом разряде [2]. Электроискровые покрытия имеют градиентное строение: на поверхности материал находится в квазиаморфном состоянии, которое с удалением от поверхности переходит в микрокристаллическое состояние и, наконец, в структуру исходного материала [2]. На металлографических шлифах, подвергнутых травлению, такое изменение структуры отражается в виде слоев различного цвета, которые по установившейся терминологии называют "белым" (верхний, нетравящийся слой), и "серым", лежащим ниже белого и непосредственно примыкающим к основному материалу.

Электроискровая обработка образцов была выполнена с помощью ручной установки электроискрового легирования ЭДГУ, изготовленной по схеме RC-генератора. В этой установке имеется возможность трехступенчатой регулировки режимов мощности единичного импульса, которые обозначены (по нарастанию мощности) как мягкий, средний и жесткий режимы. Варьируя режимы, составы электродов, используя многозатальное легирование, можно получать покрытия с широким спектром технологических свойств. Для того, чтобы проследить влияние свойств материала основы на деформационное поведение материала после ЭИЛ, исследования проводили на двух сериях образцов, имеющих разные механические свойства. ЭИЛ проводили с использованием электродов из графита и твердого сплава ВК6М, которые обычно применяются при упрочнении режущего инструмента.

Испытания на одноосное статическое растяжение проводили на испытательной машине "ИМАШ-2078" со скоростью 0,03 мм/мин. Характер развития деформации образцов изучали на оптико-телевизионном измерительном комплексе TOMSC. Принцип действия TOMSC основан на корреляционном анализе изображений, позволяющем анализировать развитие пластической деформации с помощью компьютерной обработки последовательно снятых снимков.

части деформируемого образца путем построения полей векторов смещений.

Результаты эксперимента и обсуждение

Образцы первой серии имели более высокие пределы текучести и прочности ($\sigma_B=1660$ МПа, $\sigma_T=1560$ МПа) по сравнению с образцами второй партии ($\sigma_B=1360$ МПа, $\sigma_T=1330$ МПа). Заметно отличались и значения относительного удлинения образцов до разрушения: 6% - в первом случае и 3% - во втором. В образцах первой серии при степени деформации $\sim 4\%$ формируется локализующаяся шейка, сопровождающаяся образованием двух макрополос локализованной деформации, и происходит последующее разрушение образца. В образцах второй партии разрушение происходило без образования шейки.

Наблюдаемое различие связано, по-видимому, с тем, что в первом случае возникающие в процессе деформации мезокН релаксируют за счет пластических сдвигов, а во втором случае возможна пластическая деформация ограничена из-за особенностей внутренней микроструктуры. Из-за невозможности релаксации мезокН пластическими сдвигами происходит возрастание уровня концентрации напряжений. В итоге в нагружаемом образце формируется макрокН, релаксация которого происходит за счет возникновения и развития магистральной трещины, и заканчивается катастрофическим разрушением.

После нанесения электроискровых покрытий независимо от режима легирования и типа электрода все образцы разрушались без образования шовки. Относительное удлинение до разрушения для образцов первой серии уменьшилось примерно в два раза, для образцов второй серии эта величина либо не изменялась, либо также уменьшалась. Напряжение течения, предел текучести и прочности также изменялись в результате нанесения электроискровых покрытий. Причем по сравнению с нелегированными образцами обеих серий в зависимости от режимов ЭИЛ указанные механические характеристики могли, как увеличиваться, так и уменьшаться. Это может быть обусловлено несколькими факторами.

Во-первых, при различных режимах ЭИЛ покрытия отличаются по составу, толщине и морфологии, что, разумеется, сказывается на механических характеристиках как самого покрытия, так и его вкладу в прочность и пластичность композиции "матрица-покрытие". Во-вторых, при ЭИЛ вследствие разогрева материала может происходить изменение свойств областей матричного материала, прилегающего к модифицированному слою. В-третьих, от состава покрытия, его толщины, температурно-временного режима ЭИЛ, соотношения теплофизических и упругих свойств матрицы и покрытия зависят величина и знак остаточных напряжений в покрытии и матрице. В-четвертых, различная толщина и морфология покрытий, полученных при разных режимах ЭИЛ, будут определять как величину, так и местоположение концентраторов напряжений, формирующихся в процессе нагружения материала.

Суммарным воздействием вышеперечисленных факторов, по-видимому, и определяется различное поведение при нагружении образцов с покрытиями, полученными по различным режимам ЭИЛ. Для того, чтобы разделить вклад каждого из факторов в свойства композиции требуется постановка специальных экспериментов.

Характер развития деформации на мезо-уровне для образцов первой и второй серии принципиально отличался.

Образцы первой серии вплоть до самого разрушения деформировались без образования трещин. Оптико-телевизионное исследование пластической деформации на границе раздела “легированный поверхностный слой - матрица” показало, что при нагружении образца ($\epsilon = 4\%$) в поле векторов смещений наблюдается образование промежуточного слоя толщиной ≈ 100 мкм, расположенного ниже “серого” слоя, направление векторов смещений в котором отличается от направления векторов в упрочненном слое и основном материале (рис.1). На оптическом изображении этот слой выделить невозможно. Таким образом, в процессе пластической деформации в образцах первой серии с электроискровыми покрытиями формируется слоистая мезоструктура.

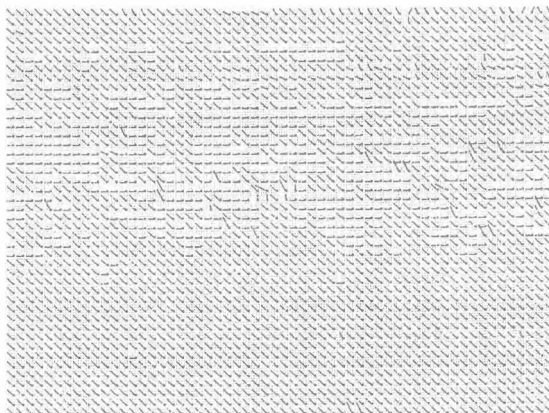


Рис. 1.

Развитие деформации в каждом из слоев такой мезоструктуры происходит с определенными различиями. Такое продольное "расслоение" отражается и на фрактографической картине поверхности разрушения образцов: параллельно гребням с покрытием видны четко ориентированные гребни деформированного материала.

На образцах второй партии после ЭИЛ уже при небольших степенях деформации ($\varepsilon \approx 0,9 \div 1,3\%$) происходит образование трещин в покрытии, нанесенного при всех использованных режимах ЭИЛ. Трещины в покрытии возникают практически при одинаковой степени пластической деформации (0,9 – 1,3%) независимо от режима ЭИЛ. Трещины образуются в произвольных местах независимо от толщины покрытия, хотя элементы трещинной сети очень неравномерны по толщине. Тем не ме-

нее, образование трещин не приводит к катастрофическому разрушению. На картинах векторов смещений для образцов второй партии можно видеть, что после образования трещин развитие деформации идет по различным путям. В образцах с толстыми покрытиями образование трещин сопровождается формированием макрополос локализованной деформации, по которым затем и происходит разрушение (рис. 2). На образцах с более тонкими и равномерными покрытиями при определенных степенях деформации образуется

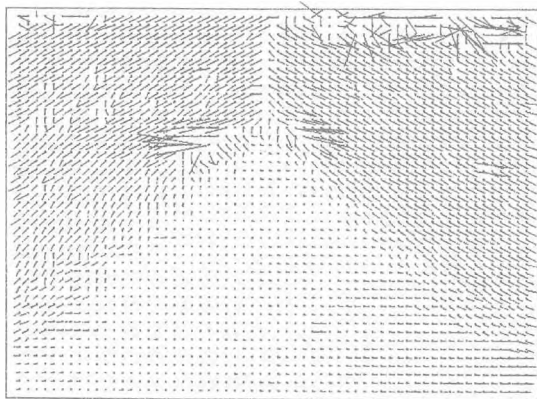


Рис. 2.

слоистая структура, аналогичная структуре образцов первой партии.

Такое различие в деформационном поведении образцов первой и второй партии может быть обусловлено следующим. Поскольку режимы ЭИЛ и структура получаемых покрытий для образцов обеих партий были практически одинаковыми, то можно с большой уверенностью можно утверждать, что и механические свойства покрытий близки. Кроме того, судя по результатам испытаний образцов первой партии прочность и предел текучести покрытий, по крайней мере, не

ниже таковых для исходных образцов первой серии. Если же учесть, что в электроискровых покрытиях имеются значительные остаточные напряжения [3], то эти характеристики должны быть существенно выше. Поэтому разница в характере деформации не связана со структурой и свойствами покрытия. Можно предположить, что на границе раздела между покрытием и подложкой в процессе деформации формируются мезокН. Для второй серии образцов эти концентраторы достигают критических значений, при которых происходит разрушение покрытия, при более низких значениях внешних напряжений. Это, по-видимому, обусловлено микроструктурой матрицы, поэтому для однозначного ответа на этот вопрос необходимо подробное исследование структуры и развития деформации на микроуровне.

Заключение

Полученные в настоящей работе экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что при нагружении материала с электроискровыми покрытиями на границе раздела матрицы с покрытием возникают мезоконцентраторы напряжений, релаксация которых происходит либо за счет пластической деформации, либо за счет образования трещин. Это определяется различием свойств покрытия и подложки.

Применение оптико-телевизионного измерительного комплекса TOMSC позволяет исследовать особенности развития деформационного поведения материалов с покрытиями и использовать эту информацию для оптимизации процессов нанесения покрытий.

Список литературы

1. Панин В.Е. // Изв. Вузов. Физика. - 1998. - С.7.
2. Верхотуров А.Д. Физико-химические основы процесса электроискрового легирования металлических поверхностей. - Владивосток: "Дальнаука", 1992. - 180 с.
3. Коваленко В.С., Верхотуров А.Д., Головкин Л.Ф., Подчерняева И.А. Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов. - М.: "Наука", 1986. - 276 с.

THE INFLUENCE OF ELECTRO-SPARK COATINGS ON THE DEVELOPMENT OF DEFORMATION AND FAILURE PROCESSES AT MESOSCALE LEVEL IN STEEL DURING LOADING

S.V.Panin, O.A.Kashin, Yu.P.Sharkeev

*Institute of physics of materials science SO RAN, 634021, Russia, Tomsk, pr.Academicheskii, 2/1,
fax 8-382-2-25-76, e-mail: ispm@ispm.tomsk.su*

The experimental investigation results of plastic flow at mesoscale level and failure of the tool 9CrVMo steel with the electro-spark alloyed coating are presented. The opportunity to produce the coatings having the various morphologies and mechanical properties by the electro-spark alloying technology has allowed to investigate the influence of the electro-spark alloying on the development of plastic flow at mesoscale level and finally on the failure of a material. The investigation was carried out on two series of specimens having the various mechanical properties. The specimen surfaces were subjected to the electro-spark alloying with using graphite and hard-alloy (WC6) electrodes. The mechanical tension tests were carried out on the IMASH-2078 testing machine. The plastic flow behavior at the mesoscale level and the failure were studied on the lateral faces of the specimen working part within the "strengthened surface layer - matrix" interface area with the use of the TOMSC television - optical measuring system. The set of the displacement vector fields of surface patches was constructed for various strains up to specimen failure. Moreover the distribution of the plastic deformation tensor components was calculated. The behavior of mechanical properties of specimens during the plastic deformation was estimated by analysis of the stress - strain curves. It was established that the change in the matrix mechanical properties leads to the essential change in the plastic flow behavior at the mesoscale level and failure. The matrix plastic flow varies from homogeneous without the crack formation in the surface strengthened layer up to heterogeneous with quasi-periodic cracking of the layer. Depending on the electro-spark alloying regime the classification of the plastic flow behavior and failure of the tool steel with the electro-spark alloyed coating was carried out. It was shown that the state and geometry of the interface between a matrix and surface strengthened layer is one of the main factors to determine the strength properties of steels with the surface strengthened layer. It was shown that the optimization of the electro-spark-alloying regime should be carried out in view of the structure, the composition and the matrix state as well as the "strengthened surface layer - matrix" interface.



This document has been
edited with **Infix PDF Editor**
- free for non-commercial use.