

Аннотация

Анализ причин неудовлетворительной обрабатываемости корпусных деталей из высокопрочного чугуна и методы совершенствования их качества

Установлены причины плохой обрабатываемости высокопрочного чугуна и рассмотрены направления по совершенствованию процессов модифицирования для устранения этих отклонений. Приведенные рекомендации позволят не только повысить обрабатываемость чугуна сверлением при механической обработке в условиях ремонтных мастерских и сервисных центров, но и повысить эксплуатационные свойства деталей.

Abstract

Analysis of reasons of unsatisfactory workability of cabinet-type details from high-duty cast iron and methods of perfection of their quality

Reasons of bad workability of high-duty cast iron are set considered direction on perfection of processes retrofitting for the removal of these rejections

УДК 539.3:621.81

МОДЕЛЬ И МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЯХ

Игнатьков Д. А., д.т.н., с.н.с.

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

На основе гипотезы, впервые выдвинутой автором в работе [1] и развитой в [2-8], излагается мезофизическая модель и механизм образования остаточных напряжений при формировании тел неоднородной структуры электролитическими покрытиями, а также излагаются некоторые представления на ряд явлений, происходящих на нано-, мезо- и макроуровнях поверхностного слоя при электролитическом осаждении и анодном растворении металлов [1-8].

Гипотеза основывается на положениях современной физической нано- и мезомеханики и состоит в том, что при электролитическом осаждении металлов в движущемся поверхностном слое осаждаемого покрытия существует сильновозбужденное сдвигонеустойчивое состояние, подобное переохлажденной жидкости (квазижидкое состояние), которое возникает вследствие сильных коллективных колебательных движений, смещений и перемещений атомов, является диссипативным и обусловлено воздействиями внешних (ударно-волновое нагружение на атомно-кристаллическом структурных уровнях в связи с перераспределением электронной плотности в моменты импульсных разрядов ионов) и внут-

ренных (связанных с действием в локальных объемах высоких давлений из-за накопления водорода, фазово-структурных переходов и др. факторов) нагрузок. Гипотезой учитывается взаимосвязь между внешним и внутренним силовыми воздействиями, состоянием движущегося поверхностного слоя, изменением фазово-структурного состояния в осаждаемом металле и возникающим вследствие этого поля остаточных напряжений.

Предполагается, что в моменты времени t_k разряда (восстановления) i -го иона при вхождении его в наружный атомный слой импульсивный характер изменения их электронно-энергетического состояния вызывает появление импульсных сил $F(t) = F_i \delta(t - t_k)$ (F_i - импульс, возникающий в момент времени $t = t_k$; $\delta(t - t_k)$ - дельта-функция Дирака). В результате импульсивного перераспределения электронной плотности в каждые моменты импульсных разрядов ионов порождаются волны напряжений, переходящие в процессе нелинейной эволюции в ударные. В движущемся поверхностном слое возникают возмущения различной природы (нагрузки, разгрузки, отражения и т.д.), распространяющиеся с определенными амплитудами и конечными скоростями в виде волн нагрузки, волн разгрузки и отраженных волн. Состояние поверхностного слоя в зависимости от условий и режимов электролитического осаждения металлов, степени интенсивности ударно-волнового нагружения, физико-химических свойств осаждаемого металла и воздействия водорода может быть упругоэластическим, вязкопластическим, вязким и др. Вследствие действия такой внешней поверхностной нагрузки обогащенный водородом движущейся поверхностный слой представляет собой сильно возбужденную систему, далекую от равновесия, в которой кристаллы находятся в сильновозбужденном состоянии. Такой поверхностный слой назван РН-слоем [1] (Р-слоем при анодном растворении металлов [6,7]). Прохождение ударных волн сжатия через микрообъемы осаждаемого металла и действие внутренней нагрузки в виде высокого давления водорода в ловушках приводит к образованию метастабильных гидридных структур подобно их возникновению в объемных системах Me-H при высоких давлениях газообразного водорода или неустойчивых кристаллических структур высокого давления при отсутствии взаимодействия осаждаемого металла с водородом. Интенсивное механическое нагружение создает большие сдвиговые напряжения, вследствие чего в локальных областях возникают сдвигонеустойчивые возбужденные состояния кристаллов с квазижидкой структурой и квазивязким характером течения в гидродинамическом режиме деформации. Ударно-волновое нагружение обуславливает передвижение квазижидкого вещества в РН-слое, фрагментацию объемов структурных элементов разного масштаба с их сдвигом и поворотом, ускоренный массоперенос элементов, деформирование в режиме сверхпластичности и выдавливание квазижидких межкристаллитных прослоек на поверхность. В процессе зарастания движущегося поверхностного слоя переход от сильновозбужденного состояния метастабильных структур к равновесному происходит через стадии промежуточных структурно-фазовых переходов, сопровождающихся образованием смесей разного состава кристаллических фаз с искаженными структурами и аморфной фаз, изменением удельных объемов кристаллических структур, зарождением дефектов кристаллической решетки, испусканием потоков точечных дефектов и т.д. В результате разгрузки осаждаемого металла в процессе электролиза, а также в послеэлектролизном периоде времени переход из упруговязкопластического и метастабильного фазово-структурных состояний к устойчивому приводит к появлению упругих остаточных деформаций и, соответственно, остаточных напряжений.

Механизм образования остаточных напряжений представляется следующим образом. Если в РН-слое или приповерхностной области возникла метастабильная фаза высокого давления с увеличенным удельным объемом кристаллической решетки (см. рисунок, а), то при зарастании слоев осаждаемого металла в глубь увеличивающегося по толщине покрытия ее превращение в устойчивую фазу сопровождается уменьшением удельного объема решетки. Сокращению объема препятствуют адгезионные связи с подложкой, что

приводит к возникновению временных напряжений растяжения. По мере роста толщины покрытия их значения меняются вследствие наложения напряжений от вышележащих осаждаемых слоев. После электролиза временные напряжения растяжения становятся растягивающими остаточными напряжениями. Образование остаточных напряжений сжатия происходит по обратной схеме: в РН-слое или приповерхностной области возникающая кристаллическая структура стремится сократить свой удельный объем, а в нижележащих слоях обнаруживается стремление их к расширению из-за появления устойчивой кристаллической структуры с большим удельным объемом (рисунок, б). Если установление фазового равновесия происходит с запаздыванием, то процесс релаксации приводит к изменению значений временных напряжений в послеелектролизном периоде времени по сравнению с тем уровнем, который был зафиксирован в момент выключения тока. После установления устойчивого фазового равновесия временные напряжения переходят в остаточные напряжения. Если в момент выключения тока в покрытии действуют временные напряжения сжатия, а после электролиза во множестве локальных объемов осажжденного металла создается высокое давление вследствие перераспределения концентрации водорода, то тем самым обуславливается обратное фазовое превращение с сокращением удельного объема решетки. В таком случае в приповерхностных слоях появляются временные напряжения растяжения. Это может приводить или к снижению уровня временных напряжений сжатия, либо к полному изменению их знака на противоположный. В момент завершения обратного фазового перехода временные напряжения становятся остаточными напряжениями, знак и величина которых определяются степенью завершенности обратных фазовых превращений.

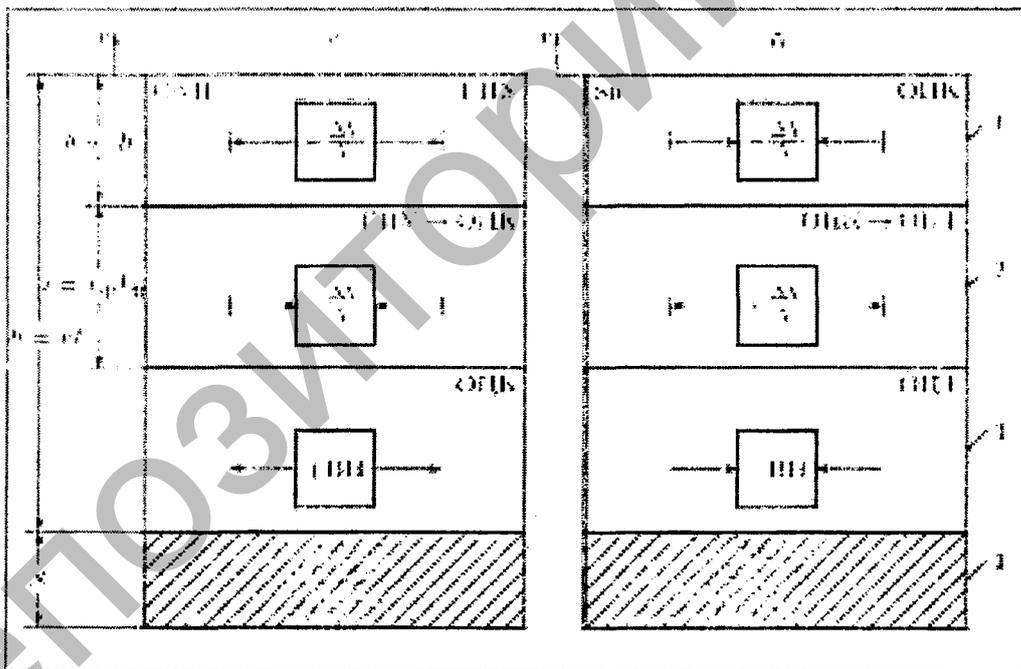


Рисунок – Схема образования растягивающих (а) и сжимающих (б) остаточных напряжений соответственно в электролитических покрытиях Cg и Sn , VH - временные напряжения; 1 – РН-слой; 2 – область фазового перехода (ФП); 3 – зона завершившегося ФП; 4 – подложка; v - скорость роста покрытия; t – время; V – объем

Последняя схема поясняет возможные причины появления остаточных напряжений того или иного знака из-за обратных неравномерных фазовых превращений в результате перераспределения значений давления водорода во множестве ловушек, как во время электро-

лиза, так и в послеэлектролизном периоде времени. Наряду с этим, объемные изменения могут происходить в условиях механического нагружения вследствие стока вакансий, выхода дислокаций на поверхность, а также диффузии элементов из-за наличия градиента концентрации элементов и градиента химического потенциала.

Правомочность модели и механизма образования остаточных напряжений в электролитических покрытиях из различных металлов, входящих согласно критерию знака напряжений в три характерные группы, подтверждена детальным анализом на основе экспериментальных данных литературы, учитывающей влияние превращений метастабильных фаз высокого давления на формирование остаточного напряженного состояния [1-7]. Кроме того, модель дает объяснение таким явлениям, как образование на поверхности и ее краях сфероидов и дендритов, нитевидных кристаллов, выброс пылевидных облаков частиц при катодной поляризации и др. Предполагается, что как РН-слой при электролитическом осаждении металлов, так и Р-слой при анодном растворении металлов [6, 7], выполняют функции регулирующих (клапанных) механизмов в синергетической автоколебательной электрохимической системе, чем, по-видимому, обусловлено появление периодических и стохастических осцилляции потенциала и (или) тока, а также развитие их неустойчивости. Полагается, что на основе установления кооперативных взаимосвязей в электрохимических процессах могут быть разработаны способы оптимизации электротехнологических воздействий по критериям сильновозбужденного и электронно-энергетического состояний поверхностного слоя и управления процессами посредством организации обратных связей между характеристиками эволюции его электронно-энергетического и структурного состояний и выходными параметрами источника питания. Предложенный подход к рассмотрению природы образования остаточных напряжений при электролитическом осаждении металлов и возникающих в электрохимических процессах ряда явлений соответствует современным положениям физической мезомеханики [8]. Выдвинутая концепция может быть применена для создания аналитических и численных моделей процессов, происходящих при электрохимическом осаждении, растворении и нагреве металлов, а также разработки оборудования и эффективных технологий на основе принципов синергетики, учитывающих состояние поверхностного слоя в комплексе кооперативных (согласованных) эффектов при прохождении электрического тока в синергетической системе электролит - катодная (анодная) пленка (оболочка) - поверхностный слой - металлическое твердое тело.

ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатьков, Д.А. Механизм образования остаточных напряжений в электролитических покрытиях / Д.А. Игнатьков // Письма в ЖТФ. – 1993. – Вып. 1. – С. 70-74.
2. Игнатьков, Д. А. Остаточные напряжения в электролитических покрытиях / Д.А. Игнатьков // Электронная обработка материалов. – 1993. – №. 2. – С. 45-53.
3. Игнатьков, Д.А. О механизме возникновения остаточных напряжений в электролитических покрытиях / Д.А. Игнатьков // Известия акад. наук Республики Молдова. Физика и техника. – 1993. – №. 1. – С. 83-94.
4. Игнатьков, Д.А. О происхождении остаточных напряжений в электролитических покрытиях / Д.А. Игнатьков // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1994. – №. 1. – С. 113-123.
5. Игнатьков, Д.А. О природе остаточных напряжений в электролитических покрытиях / Д.А. Игнатьков // Электронная обработка материалов. – 1994. – №. 2. – С. 18-37.
6. Игнатьков, Д.А. К образованию остаточных напряжений в электролитически осаждаемых металлах / Д.А. Игнатьков // Электронная обработка материалов. – 2001. – №. 5. – С. 21-31.

7. Игнатьков, Д.А. К образованию остаточных напряжений в электролитически осаждаемых металлах / Д.А. Игнатьков // Электронная обработка материалов. – 2001. – №. 6. – С. 16-34.

8. Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов: в 2 т. / В.Е. Панин (отв. ред.) [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1995. – 2 т.

Аннотация

Модель и механизм формирования остаточных напряжений в электролитических покрытиях

Излагаются модель и механизм формирования остаточных напряжений в электролитических покрытиях, а также некоторые представления на ряд явлений, происходящих при электролитическом осаждении и анодном растворении металлов.

Abstract

Model and the mechanism of formation of residual pressure in coverings

The model and the mechanism of formation of residual stresses in electrolytical coatings, and also some representations on a number of the phenomena occuring at electrolytical sedimentation and anode dissolution of metals are stated.

УДК 621.81

ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ И ПЛАЗМОХИМИКОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Игнатьков Д. А., д.т.н., с.н.с.

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Работа посвящена исследованию фазово-структурных превращений и остаточных напряжений (ОН) после плазмохимикотермической обработки (ПХТО) в условиях анодного плазменного электролитного нагрева (ЭН) поверхностных слоев, полученных методом электроискрового легирования (ЭИЛ). Эксперименты проводились на образцах из углеродистых сталей в исходном (Ст3) и предварительно нормализованном (сталь 35) состоянии. Образцы изготавливались из стали Ст3 в виде пластин (20×20×3 мм) и стержней из сталей Ст3 и 35 с диаметром 10 и длиной 100 мм. ЭИЛ осуществлялось электродами из Fe, Ni, Cr, Al и графита с удельным временем легирования 1 мин/см² на режимах установок с энергией разряда 0,1 Дж (МРД-103А, режим В2) и 3,14 Дж (ЭФИ-10М, режим 5). ПХТО в условиях плазменного электролитного нагрева проводилась на установке УХТО-5 в растворе электролита 10% NH₄NO₃. Время нагрева составляло 30 с, после чего охлаждение проводилось на воздухе или выполнялась закалка в том же растворе электролита. Микроструктура образцов изучалась на микроскопе МИМ-8М, а рентгеноструктурные исследо-