

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
(СГАУ)

Е.А.НОСОВА

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТАЛЛУРГИИ И
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ**

Электронное учебное пособие

**САМАРА
2012**

УДК 669:001.4

Автор: **Носова Екатерина Александровна,**

Компьютерная верстка Е.А.Носова

Доверстка Е.А.Носова

Носова, Е. А. Современные проблемы металлургии и материаловедения [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Е.А.Носова; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (1,71 Мбайт). - Самара, 2012. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Учебное пособие предназначено для студентов 4 факультета, обучающихся по магистерской программе «Инновационные технологии получения и обработки материалов с заданными свойствами» и изучающих дисциплину «Современные проблемы металлургии и материаловедения» во 2 семестре.

Рассматриваются разделы «Разработка новых материалов», «Технологии получения современных конструкционных материалов и инструмента», «Способы и методы исследования современных материалов» и другие.

Разработано на кафедре ТМиАМ.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

1. Разработка новых материалов на основе чёрных и цветных металлов	4
2. Композитные материалы	10
3. Современные технологии чёрной и цветной металлургии	14
4. Современные технологии в исследовании материалов	25
5. Современные технологии инструментального производства	43

Лекция 1

Разработка новых материалов на основе чёрных и цветных металлов (расчитана на 2 академических часа)

Одним из важнейших направлений практической деятельности человека должно быть создание таких технологий, которые в наименьшей степени влияют на окружающую среду. С вопросами ресурсосбережения и экологическими проблемами в мировом хозяйстве первыми столкнулись металлургические предприятия. В настоящее время, однако, многие проблемы загрязнения окружающей среды предприятиями химико - металлургического комплекса не решены. Например, при производстве алюминия в атмосферу выделяются фтористый водород, твердые фториды и канцерогенные полиароматические соединения, сопровождающие процессы коксования, а электролитическое получение магния связано с выделением хлора и хлористого водорода. Отсюда целесообразно создание таких технологий, которые экономически более выгодны и в меньшей степени влияют на окружающую среду.

Известно, что периодическая или даже непрерывная модернизация оборудования является главным условием совершенствования любого производства. Говорить о переходе промышленности на принципиально новый уровень производства, очевидно, человечество пока не готово, вместе с тем известны многочисленные попытки поиска альтернативных вариантов существующим способам. В этом отношении интересно предложение по способу получения металлов электролизом водных растворов с использованием капающего галлиевого катода [2].

Задачи дальнейшей разработки и промышленного внедрения любого нового метода требуют всесторонней оценки всех аспектов процессов, например, в цветной металлургии исследования плотности и вязкости водных растворов, пригодных для электролитического выделения алюминия и магния. К таким аспектам можно отнести следующие:

- **Активированные алюминиевые порошки** - компоненты твердых топлив и взрывчатых веществ, металлические матрицы композиционных материалов, катализаторы для получения гидридов металлов, антикоррозийные покрытия..

- **Разработка составов лигатур («мастер-сплавов») на основе алюминия**
Разработка теоретических основ эффективных экологически безопасных технологических процессов переработки минерального сырья цветной металлургии (включая техногенные месторождения и текущие отходы предприятий) с созданием «гибких» блочных малотоннажных производств по выпуску высокорентабельных продуктов на основе редких и редкоземельных металлов. – Совершенствование технологии переработки шлама глиноземного производства гидрохимическими способами с привлечением электрохимических процессов в водных растворах и солевых расплавах с выделением наиболее ценных компонентов шлама в виде лигатур (Al-Sc), концентратов (глиноземистоизвесткового, железорудных окатышей, лантаноидов, редких земель) чистого металла (галлий), коагулянтов и пигментов различных цветовых оттенков. – Разработка составов лигатур («мастер-сплавов») на основе алюминия, легкоплавких сплавов и сплавов для термостабилизации приборов ОКГ на основе галлия, диффузионно-твердеющих припоев для соединения разнородных материалов.

- **Нанокристаллические порошки карбида вольфрама WC со средним размером частиц от 20 до 100 нм** - Нанокристаллические порошки карбида вольфрама WC с заданным средним размером частиц 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100 нм. Содержание частиц в порошке наночастиц заданного размера не менее 40%, содержание газовых примесей (кислород, азот) не более 0.1 масс.%, общее содержание металлических примесей менее 0.05 масс.%.

- **Безвольфрамовый твердый сплав** - режущий инструмент, износостойкие детали машин.

• **Газотермические покрытия** - износостойкие $t < 700^\circ\text{C}$, износостойкие $t > 1000^\circ\text{C}$, ударостойкие $t > 1200^\circ\text{C}$. Упрочнение горячих штампов в 2-5 раз!.

• **Криоманипуляторы** - на основе низкотемпературных ферромагнитных полупроводников для систем охлаждения аппаратов в условиях невесомости.

• **Лейкоксеноновый концентрат** - новая технология его переработки с получением SiC и TiO_2 , а также получение из концентрата новых материалов -нагревателей для микроволновых печей, порошков для газотермических покрытий.

• **Пенокерамические материалы (TiC , SiC , TiN)** - фильтры для очистки жидкостей, металлов, газов; электроды при электрохимической очистке сточных вод, шумопоглощающие устройства, наполнитель пустотелых конструкций, пламягасители.

• **Нагреватели из радиопоглощающей керамики** - для муфельных микроволновых печей - снижение удельных расходов электроэнергии за счет сокращения в 1,5-2 раза времени достижения рабочей температуры.

• **Метод создания наноструктурированных нестехиометрических карбидов с помощью превращения беспорядок-порядок**

Проводниковый сплав - повышение прочности и электропроводности за счет введения специальных добавок..

• **Сложнооксидная керамика для поликристаллических пленок ферритгранатовой структуры** - элементы памяти с высокой плотностью записи информации для вычислительной техники.

• **Нанокристаллические порошки карбида вольфрама WC** со средним размером частиц от 20 до 100 нм - Нанокристаллические порошки карбида вольфрама WC с заданным средним размером частиц 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100 нм. Относительное содержание в порошке наночастиц заданного размера не менее 40%. Нанопорошки получены методом высокоэнергетического размола, стабильны на воздухе при нагреве до температуры 500°C , стабильны в вакууме при нагреве до температуры 2500°C , содержание примесей кислорода и азота не более 0.1 мас.%, общее содержание металлических примесей не более 0.05 мас.%.

Инновационное развитие металлургии

В соответствии с утвержденной Стратегией развития металлургической промышленности России на период до 2020 года главной целью развития российской металлургии является обеспечение растущего спроса на металлопродукцию в необходимых номенклатуре, качестве и объемах поставок металлопотребляющим отраслям на внутренний рынок (с учетом перспектив их развития), на рынок стран СНГ и мировой рынок на основе ускоренного инновационного обновления отрасли, повышения ее экономической эффективности, экологической безопасности, ресурсо- и энергосбережения, конкурентоспособности продукции, импортозамещения и улучшения сырьевого обеспечения.

В целом российская металлургическая промышленность – это успешный в инвестиционном отношении сегмент экономики. Предприятия способны реализовывать крупные проекты, в том числе и за рубежом. На большинстве предприятий реализуются инвестиционные программы развития.

Приоритетный сценарий инновационного развития отрасли, наряду с использованием конкурентных преимуществ в энерго-сырьевом секторе, предполагает прорыв в развитии высоко- и среднетехнологичных производств. Инновационный сценарий выступает в качестве целевого для экономической политики, поскольку только он в полной мере позволяет реализовать стратегические ориентиры развития экономики России.

Реализация данного сценария в развитии металлургической промышленности характеризуется опережающим развитием внутреннего спроса на продукцию с высокой

добавленной стоимостью, что, в свою очередь, будет способствовать развитию новых технологий и производства высокотехнологичных видов продукции.

В соответствии с данным сценарием, к 2020 году прирост потребления готового проката на внутреннем рынке по сравнению с 2007 годом может составить 16-24 млн.тонн (до 53 - 61 млн.тонн). При этом вследствие опережающих темпов роста производства продукции с высокой добавленной стоимостью потребление готового проката в металлургическом комплексе вырастет примерно в 1,7 раза, а доля готового проката, потребляемого металлургическим переделом вырастет до 54-55% по сравнению с 47% в 2007 году.

Основными факторами, определяющими рост спроса внутреннего рынка в период до 2020 года будут являться:

- реализация проектов утвержденных отраслевых стратегий развития промышленности;
- развитие инфраструктурных проектов (Сочи-2014, АТЭС-2012, национальные проекты, реформирование ЖКХ);
- развитие оборонно-промышленного отрасли;
- освоение новых проектов топливно-энергетического отрасли.

Также ожидается рост спроса со стороны наиболее металлоемких подотраслей машиностроительного комплекса – железнодорожного, подъемно-транспортного, сельскохозяйственного, строительно-дорожного машиностроения, автомобильной промышленности, оборонно-промышленного отрасли, энергетического и атомного машиностроения. Потенциально высоким может быть спрос на металлопродукцию для железнодорожного транспорта, в том числе на рельсы для высокоскоростных магистралей.

Прогнозируется повышение спроса на прокат из легированных сталей – инструментальных, подшипниковых, нержавеющей. В связи с прогнозируемым развитием листоемких производств опережающими темпами будет расти потребление листового проката (25-31 млн.тонн по сравнению с 18,5 млн.тонн в 2007 году). Потребление холоднокатаного листового проката в 2020 году может составить 8,6-12,1 млн.тонн по сравнению с 5,8 млн.тонн в 2007 году, что будет определяться, в первую очередь, развитием производства листа с защитными покрытиями.

Достаточно мощный инновационный потенциал, созданный в металлургическом комплексе, особенно благодаря резкому увеличению инвестиций в период после 2003 года, является надежной базой для значительного наращивания производства. В 2004-2008 гг. среднегодовой объем инвестиций по металлургическому комплексу составил более 6 млрд. долл. и превысил аналогичный показатель за период 2000 - 2003 гг. в 2,4 раза. В расчете на 1 т выплавленной стали инвестиции по предприятиям черной металлургической промышленности России в 2004- 2008 гг. составили 45 - 48 долл., что почти в 1,5 раза превышало уровень, соответствующий практике высокоразвитых стран.

За последние годы введены в действие ряд крупных современных агрегатов в черной и цветной металлургической промышленности. Создание новых мощностей на металлургических предприятиях России осуществлялось в основном на базе передового импортного оборудования, что создало достаточно прочную техническую базу для успешной конкуренции на рынках металлопродукции.

В результате ускорения темпов внедрения инноваций прогнозируется улучшение производственной структуры металлургической промышленности – в первую очередь, за счет повышения доли конкурентоспособных мощностей (на всех переделах), а также за счет увеличения доли мощностей для выпуска продукции более глубокой степени переработки, доли импортозамещающих и новых производств. Все это позволит улучшить структуру товарной продукции металлургической промышленности, повысить ее конкурентоспособность и адекватность требованиям рынков.

Реализация крупных инвестиционных проектов обеспечит:

- снижение ресурсоемкости производства металлопродукции за счет увеличения объемов разлива стали на машинах непрерывного литья заготовок, практически полного прекращения производства мартеновской стали (к 2020 годам), увеличения объемов производства алюминия в электролизерах с повышенной силой тока, роста объемов производства тяжелых цветных металлов с использованием автогенных процессов;

- снижение вредного воздействия предприятий на окружающую среду (комплекс мероприятий по охране окружающей среды в агломенном и коксохимическом производствах черной металлургической промышленности; на предприятиях алюминиевой и медно-никелевой подотраслей);

- повышение качества и увеличение добавленной стоимости продукции за счет увеличения объемов выплавки стали в электропечах; доли стали, подвергнутой внепечному вакуумированию, роста объемов производства проката тяжелых цветных металлов на машинах непрерывной разлива и отделки; расширения номенклатуры и увеличения доли продукции глубокой переработки металлов;

- увеличение производства высокотехнологичных эффективных видов металлопродукции, в том числе для нужд оборонно-промышленного отрасли: толстого широкого листа, холоднокатаного проката и изделий из него с различными видами покрытий, термообработанных длинномерных рельсов.

Созданный за последние годы производственно-технический потенциал металлургической промышленности (разнообразный объем основных фондов предприятий, развитая инфраструктура большинства предприятий, включающая объекты электроэнергетики и транспорта, достаточно высокий технико-технологический уровень производства большинства металлов, наличие крупного банка разработанных и готовых к внедрению технологий мирового и выше мирового уровня), а также инвестиционные возможности предприятий способны обеспечить инновационное обновление и повысить конкурентоспособность отрасли.

Приоритетными являются инновации, связанные с выпуском новых видов продукции, развитием производства продукции более высокой технической готовности, прокатной продукции из легких и тяжелых цветных металлов, электродной, углеграфитовой, твердосплавной, полупроводниковой продукции, а также инновации, направленные на совершенствование технологий, улучшение экологической ситуации, снижение расходов всех видов ресурсов, поскольку в настоящее время ресурсоемкость российских производств в основном выше, чем за рубежом. Активизация инновационной деятельности ослабит негативное влияние факторов, создающих угрозу развитию металлургической промышленности. Технический прогресс в металлургической промышленности, включая создание прорывных технологий и отрасли перспективных материалов, будет обеспечен, прежде всего, работами отраслевых научных учреждений. Будут модернизированы все сферы производственной деятельности.

На перспективу до 2020 года металлургическая промышленность будет в целом соответствовать мировому уровню. В результате ввода в действие новых современных агрегатов и реконструкции действующих коэффициент обновления основных фондов вырастет до 4-5% против существующих сегодня 2,5%-3%. Снизится ресурсоемкость производства на 13-15% к 2015 году и на 15-17% к 2020 году.

По отдельным металлургическим переделам в результате инновационного развития будет обеспечено:

в доменном производстве:

строительство на ряде металлургических комбинатов установок по вдуванию угольной пыли, с выплавкой с применением этого вида топлива до 15-20% чугуна и сокращением потребления природного газа;

в сталеплавильном производстве:

- увеличение доли стали, полученной с МНЛЗ до 98 –99% против 71% в 2008 г.;

- ликвидация мартеновского производства стали;
- снижение расхода металла на прокат с 1142 кг/т до 1088 кг/т в 2020 г;
- ввод в действие сверхмощных электропечей, что обеспечит расход электроэнергии на уровне 350-380 кВт-ч/т против 500 кВт-ч/т в настоящее время на крупных электропечах металлургических предприятий России;
- увеличение доли выплавки стали в электропечах с 27,1% до 39%;
- увеличение доли стали, подвергнутой внепечному вакуумированию в общем объеме производства стали с 4,4% в 2007 г. до 15% в 2020 г.;

в прокатном производстве:

- рост доли листового металла в общем производстве листового и сортового проката до 62-65%, что соответствует современному уровню промышленно-развитых зарубежных стран, доли холоднокатаного листа в общем выпуске листового проката до 36%

В результате совершенствования техники и технологии к 2020 году на каждую тонну готового проката будет производиться меньше (против уровня 2007 года): железной руды – на 211 кг, кокса – на 107 кг, чугуна – на 124 кг, стали – на 125 кг.; труб- больше на 23%, металла с покрытием и жести- больше в 2 раза. Энергоемкость 1 т стали снизится на 265 кг. условного топлива.

в производстве цветных металлов:

- увеличение доли производства алюминия в электролизерах с повышенной силой тока к 2020 г. до 90%;
- увеличение объемов производства тяжелых цветных металлов с использованием автогенных процессов, рост их доли в общем выпуске к 2020 г. до 95%-97%.

В целях удовлетворения перспективного спроса основных отраслей-потребителей металлопродукции, на период до 2020 года необходимо реализовать ряд научно-исследовательских разработок, в том числе:

1. Для использования в строительстве, автомобильной промышленности, коммунальном хозяйстве и других отраслях:

- Разработка технологии и освоение производства микро- и низколегированных хладостойких сталей с высокими показателями стойкости к процессам локальной коррозии в водных средах, для нефтепромысловых сетей, систем тепло- и водоснабжения, водоводов, тяжело нагруженных строительных конструкций и других назначений;
- Разработка и освоение технологий производства автолистовых сталей с уникальным сочетанием показателей прочности и пластичности при использовании нетрадиционных схем достижения указанных характеристик;
- Разработка технологии производства коррозионностойкого покрытия сплавом Zn, Al, Mg для строительной, автомобильной и других отраслей экономики;
- Освоение производства новых высокопрочных сталей с цинковым покрытием для кузовных деталей автомобилей;
- Разработка технологии токопроводящей грунтовки для цинкования автомобильного листа;
- Создание нового класса огнестойких строительных сталей, отвечающих требованиям пожаростойчивой эксплуатации до 700-800 °С;
- Разработка технологических основ получения наноструктурированных диффузионных промежуточных и поверхностных слоев металлических покрытий, обеспечивающих получение принципиально новых качественных показателей металлопродукции массового производства (жесть, оцинкованных лист и др.);
- Разработка технологии получения наноструктурированных покрытий методом вакуумного нанесения на углеродистые стали;
- Разработка технологии производства нового поколения коррозионно-стойких биметаллов для увеличения ресурса работы металлоконструкций в 1,5-2 раза.

2. Для использования в нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, автомобильной, машиностроительной, коммунальном хозяйстве и других отраслях промышленности :

- Разработка и освоение прорывных технологий производства прогрессивных видов биметаллического проката и труб с предельно высокой прочностью (не менее 350 Н/см²) и сплошностью (0-1 класс по результатам УЗК) соединения слоев, плакированных коррозионностойкими и другими типами стали, титаном, цветными металлами;
- Разработка нового поколения сталей и сплавов устойчивых к разрушению в активных водород и углеродсодержащих газовых средах для установок производства и переработки синтез-газа, каталитического синтеза, термообработки в восстановительных и контролируемых атмосферах, цементации, глубокой переработки нефти и каменного угля, нового технологического оборудования производства водорода в промышленных масштабах;
- Создание нового поколения наноструктурированных нержавеющих сталей на основе комплексного метода криогенно-деформационной и термической обработок;
- Создание нетрадиционно легированных суперэкономичных коррозионностойких сталей с 9-14 % хрома, обладающих повышенной стойкостью в агрессивных средах на уровне хромоникелевых сталей для систем трубопроводного транспорта газо - и нефтепродуктов.

3. Для изучения и освоения континентального шельфа Российской Федерации:

- Разработка стратегических принципов и новых научных подходов к выбору технологий производства сталей, толстолистового проката и плит для морских платформ. Освоение производства металлопродукции, обеспечивающей наиболее высокий комплекс потребительских свойств и экологической безопасности платформ при эксплуатации в условиях континентального шельфа РФ на базе новейших достижений науки и металлургических технологий;
- Разработка комплексных технологий производства качественно новых видов металлопродукции для оборудования нефтегазовой промышленности, эксплуатирующегося в условиях континентального шельфа РФ. Освоение производства сталей для насосно-компрессорных, обсадных, холоднокатаных труб, фонтанной арматуры, скважинного и устьевого оборудования с уникальным сочетанием коррозионной стойкости, износостойкости и других потребительских свойств;
- Разработка концепции и внедрение на отечественных предприятиях нового поколения высокопрочных экономно-легированных конструкционных сталей для ТЭК, в том числе трубных сталей, с повышенными эксплуатационными характеристиками, производимых по инновационным комплексным металлургическим технологиям на основе получения ультра-мелкодисперсных микроструктур, альтернативных вариантов термо-механической обработки стали и использования элементов наноструктурирования, и обеспечивающих высокотехнологичными отечественными материалами освоение континентального шельфа - строительство морских буровых платформ, подводных трубопроводов, емкостей для сжиженного природного газа;
- Разработка состава высокопрочной стали типа X120 для труб и сварных конструкций с улучшенной свариваемостью и эксплуатационными свойствами.

4. Для использования в машиностроении:

- Разработка методов получения наноструктурного перлита в массивных изделиях, а также наноразмерных фаз в безникелевых высокопрочных, конструкционных сталях и создание на их основе технологий производства перспективных экономнолегированных материалов с высоким запасом прочности и вязкости;
- Разработка научных основ и технологии поверхностной обработки промышленных сталей и сплавов с помощью высокоэнергетических воздействий и гомогенно-гетерогенных катализаторов для создания суперпрочных нанокристаллических слоев, стойких к истиранию;

- Разработка технологии ультразвуковой обработки поверхности для создания упрочненных поверхностных слоев с нанокристаллической структурой в аустенитных и мартенситных сталях;
- Разработка самоорганизующихся (адаптирующихся) наноструктурированных, в т.ч. многослойных наноламинатных покрытий для экстремальных условий эксплуатации в различных областях машиностроения;
- Создание опытно-промышленных установок для получения перспективных наноматериалов методами закалки из расплава и интенсивной пластической деформации;
- Создание сверхвысокопрочных свариваемых сталей повышенной износостойкости с пределом текучести до 1600 Н/мм², взамен используемых сталей с пределом текучести не более 800 Н/мм².

5. Для использования в нефтегазовом комплексе, энергетике и других отраслях промышленности:

- Разработка технологии производства крупных слитков (140-650 тонн) из конструкционных высокопрочных сталей и сплавов;
- Создание азотсодержащих низко- и высоколегированных сталей нового поколения и промышленных технологий их производства с увеличенными на 30-40% ресурсом и надежностью эксплуатации оборудования, работающего в экстремальных условиях и средах особо высокой агрессивности;
- Разработка технологии производства трубных заготовок из теплоустойчивых сталей для труб теплоэнергетики с повышенными в 1,5 раза эксплуатационными характеристиками;
- Создание нового класса сплавов, обладающих уникальным сочетанием служебных высокотемпературных характеристик, включающим высокую стойкость к абразивному износу, сопротивление окислению и жаропрочностью для деталей установок переработки газового конденсата;
- Создание модульной технологической линии и разработка карботермической технологии получения кремния сорта SoG-Si («солнечного качества»), для солнечных преобразователей.

6. Для железных дорог:

- Разработка и запуск в серийное производство длинномерных рельс всех типов с востребованными качественными и ценовыми характеристиками;
- Разработка рельсовых и шпальных креплений, позволяющих длительно держать колею в соответствующих параметрах;
- Разработка и освоение производства высокопрочных железнодорожных колес, в том числе из легированных сталей, для грузовых вагонов нового поколения с нагрузкой на ось 30 т.

Лекция 2

Композитные материалы

(Рассчитана на 2 академических часа)

Рубеж 20-21 веков был ознаменован всплеском интереса к материалам глубокой переработки, в том числе к композитным материалам. Появилось новое научное направление по структурированию композитных материалов на металлической и неметаллической основе. Рассмотрим последовательно наиболее интересные группы материалов, используемых в машиностроении а авиационно-космической отрасли.

Металлокерамические подшипники:

Металлокерамические материалы являются в ряде случаев эффективными заменителями антифрикционных подшипниковых сплавов - бронзы, латуни и др.

В подшипниках скольжения находят применение следующие металлокерамические материалы: бронзографит, пористое железо и пористый железуграфит.

Одно из основных преимуществ металлокерамических вкладышей заключается в наличии в них пор, способствующих образованию устойчивой масляной пленки в подшипнике. В результате предварительной пропитки вкладыша (втулки) в нагретом масле большое количество капилляров вкладыша заполняется маслом и благодаря этому трущаяся поверхность обеспечивается смазочной пленкой в течение длительного времени.

Различные режимы работы требуют применения металлокерамических подшипников с различной степенью пористости. Для тяжелых условий работы (ударные нагрузки, высокие скорости), при которых нужна повышенная механическая прочность опоры, следует применять подшипники из мелких порошков (обладающие более высокими механическими и антифрикционными качествами, чем подшипники из крупных порошков) с низкой пористостью. Для средних нагрузок рекомендуется пористость 22 - 28%. Для работы без дополнительной смазки желательно применение подшипников из крупных порошков пористостью 25 - 35%. Чем больше пластичность и чем меньше пористость спеченного порошкового металла, тем больше он приближается по свойствам к компактному металлу.

При нормальной температуре (200С), спокойной нагрузке и достаточной смазке (примерно 3 капли в минуту на 1 см кв поверхности трения) железографитовые подшипники пористостью 22 - 28% удовлетворительно работают при следующих режимах:

V(м/сек)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
P(кг/см кв)	70	65	60	55	55	35	18	8

Для подшипников пористостью 15 - 20% допускаемые удельные нагрузки могут быть повышены против указанных на 20 - 30%. При работе металлокерамических подшипников со скоростью $v < 1$ м/сек применяется консистентная смазка, при больших скоростях – жидкие минеральные масла. Подводить масло рекомендуется через такие же смазочные канавки, как у подшипников из литых металлов.

Для тонкостенных втулок с повышенной пористостью применяется также подпитка подшипника через наружную стенку.

При повышенных температурах (до 300 С железографитовые подшипники могут работать при малых скоростях ($v < 0,1$ м/сек) с графитовой смазкой. Самосмазываемость пористых железографитовых подшипников относится только к малым нагрузкам и скоростям, когда $pv < 1$ кГм/см² сек.

Пористые железографитовые подшипники изготавливают преимущественно в виде цилиндрических втулок и поставляют в готовом к установке виде. При назначении толщины стенки исходят из условий прочности и способности материала впитывать масло.

В общем случае толщина стенки может быть ориентировочно принята равной $0,2d$ (d – диаметр вала). Самосмазывающиеся подшипники лучше изготавливать относительно тонкостенными. При обычной смазке толщина стенки может быть принята примерно равной $0,1d$ (если выполнены условия прочности), но не менее 2 мм. При изготовлении металлокерамических вкладышей допуски на внутренний и наружный диаметры выдерживаются в пределах 3-го, а иногда и 2-го классов точности. Железографитовые втулки запрессовываются в корпус по прессовым посадкам. Для обеспечения зазора в подшипнике необходимо учитывать, что уменьшение внутреннего диаметра втулки равно примерно $0,7 - 1$ величины натяга. Зазор в металлокерамическом подшипнике ориентировочно принимается равным $0,001 - 0,002$ диаметра вала. Доводка внутреннего диаметра до требуемого размера может быть произведена калибровкой, а также протягиванием и развертыванием.

При обработке резанием качество рабочей поверхности получается значительно ниже, чем при калибровке. При $p = 15 + 60$ кГ/см² и $v = 2,5$ м/с минимальное количество масла на 1 см² расчетной поверхности вкладыша составляет (ориентировочно) $1,5 - 5$

капель. При больших удельных давлениях желательное применение кольцевой смазки, масляной ванны или смазки под давлением.

Пористые материалы и возможности их применения в промышленности.

К группе пористых относятся антифрикционные, фрикционные материалы, фильтры и так называемые "потеющие" материалы.

Бронзовые фильтры обычно изготавливаются из порошков со сферической формой частиц, полученных путем распыления жидкого металла. Температура спекания составляет 800 – 900 С. Продолжительность спекания от 30 минут до 1 часа. Бронзовые фильтры с размером частиц порошка 50 – 130 мкм используются для грубой очистки, 2 – 30 мкм – для тонкой. Бронзовые фильтры находят широкое применение в промышленности для очистки жидкого горючего в дизелях и реактивных двигателях, смазочных материалов и сжатых газов от твердых примесей размерами 5 – 200 мкм, а также для очистки разбавленных кислот и щелочей, расплавленного парафина и т.д.

Пористые материалы, изготавливаемые из порошков электролитического и карбонильного никеля методом прессования и последующего спекания при температуре 1000 – 1100 С, предназначены для работы в качестве фильтров и пористых электродов. Последние находят широкое применение в электрохимии и катализе. Так, щелочные аккумуляторы, электроды которых представляют собой высокопористые никелевые пластины, по сравнению с обычными аккумуляторами имеют меньший вес и габариты. Большое применение находят фильтры из нержавеющей стали, которые обладают более высокой коррозионной стойкостью и значительно дешевле чистого никеля. Для изготовления фильтров применяются порошки из нержавеющей стали X17H2, X18H9, X30 и др. Технология их изготовления: прессование или прокатка с последующим спеканием при температуре 1200 – 1250 С в течение 2 – 3 часов. Фильтры из нержавеющей стали показали хорошие результаты при очистке жидкого литья, горячего доменного и мартеновского газов. Как преграда для распространения пламени они находят применение в автогенной технике, в производстве ацетилена, в газопламенной обработке металлов, в резервуарах низкипящих и взрывоопасных жидкостей. Применение пористых материалов для борьбы с обледенением самолетов позволяет снизить на 50% расход антифриза. Использование пористого титана в различных отраслях техники обусловлено рядом его ценных свойств, главным из которых является высокая коррозионная стойкость во многих агрессивных средах и высокая удельная прочность. Титановые пористые материалы получают из порошков с размером частиц менее 60 мкм. С наполнителем, а также из электролитического порошка с размером частиц до 1 мм без наполнителя. Такие изделия спекают в специальной атмосфере при температуре 950 – 1150 С в течение 1,5 – 2 часов. Пористый титан стоек в азотной кислоте и щелочных растворах, обеспечивает тонкость очистки 5 мкм. и менее.

Пористое охлаждение - один из эффективных способов охлаждения высокотемпературных узлов и механизмов. Испарительное охлаждение предусматривает принудительное пропускание жидкости через пористую среду. В этом случае тепло, выделяющееся на поверхности пористого тела, поглощается и рассеивается испарительным охлаждающим устройством. Установлено, что охлаждение испарением более эффективно, чем конвективное или пленочное в равнозначных системах. Так, применение сопловых и рабочих турбинных лопаток позволило повысить температуру рабочего газа с 840 С до 1200 С и увеличить снимаемую мощность на 10%. Возможности использования пористого материала для контроля температуры на поверхности практически не ограничены. Детали из пористого металла могут использоваться для создания условия локального нагрева и одновременно они могут быть использованы для охлаждения локального перегрева механизмов.

Весьма перспективно применение в промышленности тепловых труб, обеспечивающих выравнивание температурного поля в различных аппаратах и установках и изотермические условия обработки тех или иных материалов. Так, использование

низкотемпературных тепловых труб в электрических машинах для охлаждения роторов и статоров двигателей, генераторов, а также обмоток трансформаторов позволило увеличить их мощность на 30 – 50%. Успешно используются тепловые трубы для охлаждения высоковольтных выключателей большой мощности. Тепловые трубы и паровые камеры имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными элементами передачи тепла, например, циркуляционными теплообменниками: они не имеют подвижных деталей, бесшумны, не требуют расхода энергии на перекачку теплоносителя из зоны конденсации в зону испарения, обладают малым термическим сопротивлением по сравнению с металлическими стержнями таких же геометрических параметров и имеют небольшой вес.

Вышеперечисленных примеров достаточно, чтобы показать широкие возможности для использования пористых материалов в различных отраслях техники. Трудно предвидеть все возможные области применения пористых материалов и изделий из них. Одно несомненно: потребность в пористых материалах возрастает.

Классификация наноматериалов

Объемные (3D) наноструктурированные материалы, формируемые в результате термических, механических воздействий (металлы и сплавы с ультрамикрозернистой структурой, спинодальный распад в стеклообразных материалах или твердых растворах) или спекания предварительно компактируемых массивов наночастиц.

Наноструктурированные планарные материалы 2D, включая тонкие и толстые пленки и покрытия, продукты нанопечатной литографии и самособирающиеся монослои.

Наноструктурированные (1D) материалы, в том числе нанотрубки, нановолокна, наноагрегаты и нанопроволоки, формируемые из пересыщенных пара, раствора или в результате электрохимических процессов.

Нанодисперсные (0D) материалы (нанопорошки, нанокристаллы, квантовые точки), получаемые в результате механического измельчения объемных объектов, путем кристаллизации пересыщенных систем (из пара, жидких фаз – водных и неводных растворов или расплавов), а также нанокластеры, создаваемые самосборкой или стабилизируемые благодаря разнообразным темплатам.

Нанокompозиты, состоящие из мезопористой матрицы с 1D - каналами или 2D - слоями, заполненными нанофазой, нитевидными нанокристаллами, нанотрубками и наночастицами, распределенными в полимерной, металлической или керамической матрице.

Супрамолекулярные материалы, формируемые из более простых молекул с целью создания молекулярных устройств или машин, имитирующих биологические процессы в живых организмах.

Конструкционные наноматериалы и наноматериалы со специальными свойствами

- Наноструктурные наполнители, упрочнители и волокна для наноматериалов и композитов конструкционного назначения (фуллерены, нанотрубки, астралены). Технологии их получения, очистки, модифицирования, диспергации и т.п.
- Полимерные конструкционные нанокомпозиты, модифицированные и упрочняемые за счет введения или прививки наночастиц, в том числе и функциональных, обеспечивающих изменение структуры матрицы, приводящие к качественному изменению конструкционных и эксплуатационных свойств.
- Наноструктурные защитные покрытия: тепло-, звуко-, молниезащитные, лакокрасочные, вибропоглощающие и коррозионностойкие.
- Высотемпературные конструкционные композиционные материалы на основе наноструктурированной керамики.
- Физико-химические методы исследования, диагностики и контроля качества наноматериалов, нанокомпозитов конструкционного, специального и функционального назначения.

- Нanomатериалы функционального назначения со специальными физическими свойствами (поглощающие, отражающие или пропускающие излучения различной природы).

Высокопрочные композиты с наночастицами Al_2O_3 и алюминиевые сплавы

Создан новый класс металлополимерных композитов алюминий – углепластик «АЛКАР», превосходящий зарубежный типа GLARE:

- по модулю упругости в 1,5 раза
- по прочности на 30% при плотности на 20% ниже

При создании алюминиевых сплавов с наноструктурными элементами использовали следующие методы:

1 Интенсивная пластическая деформация с формированием ультрамелкозернистой структуры с размером зерен $\sim 10 - 100$ нм:

- при равноканальном угловом прессовании (РКУП),
- при винтовом прессовании (ВП)
- при холодной прокатке .

2 Микролегирование переходными элементами (Sc, Zr и др.), создающие наноразмерные частицы фаз (Al_3Sc , Al_3Zr), обеспечивающие дополнительное упрочнение путем торможения движения дислокаций и сохранения нерекристаллизованной дисперсной субзеренной структуры.

3 Оптимизация многоступенчатых режимов термической обработки, в результате которой регламентируется морфология и объемная доля наноразмерных выделений метастабильных упрочняющих фаз (Al_2Cu , Al_2CuMg , Mg_2Si , $MgZn_2$).

4 Создание термически стабильных наноразмерных композитных частиц метастабильных фаз в Al-Li сплавах (Al_3Li/Al_2Cu , Al_3Li/Al_3Zr , Al_3Li/Al_3Sc).

Лекция 3

Современные технологии чёрной и цветной металлургии

Равноканальное угловое прессование

Применяется для получения высокоплотных наноструктурированных материалов с высокой морфологической однородностью зерна из массивных пластически деформируемых заготовок. Сдвиговая деформация образца происходит при пересечении им области контакта между каналами (см. рис. 1). При неоднократном повторении процедуры РКУП происходит систематическое увеличение деформации, приводящее к последовательному уменьшению размера зерна за счет формирования сетки сначала малоугловых, а затем и высокоугловых границ. Эта особенность метода позволяет подвергать интенсивной пластической деформации не только пластичные, но и труднодеформируемые металлы и сплавы. Угол, под которым пересекаются каналы пресс-формы, имеет большое значение. РКУП может использоваться и для управления кристаллографической текстурой объемных конструкционных материалов.

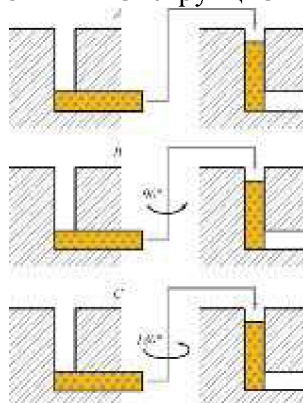


Рис. 1. Схематическое изображение модификаций РКУП: А — ориентация заготовки остается неизменной при каждом проходе; В — после каждого прохода

заготовка поворачивается вокруг своей продольной оси на угол 90° ; С — после каждого прохода заготовка поворачивается вокруг своей продольной оси на угол 180°

Уменьшение до субмикронного размера зерна (рис.2) обрабатываемых металлов и сплавов может приводить к значительному улучшению их механических свойств, в частности, к повышению пределов прочности и текучести, а также к появлению у них способности к сверхпластическому деформированию, что представляет большой интерес для современной аэрокосмической промышленности.



Рис. 2. Схематическое изображение изменения микроструктуры алюминиевого листа (а) при двукратном (б) и четырехкратном (в) повторении равноканальной угловой вытяжки.

Развитие РКУ прессования для получения ультрамелкозернистых металлов и сплавов

В последние годы использование методов интенсивной пластической деформации для получения объемных наноструктурных металлов и сплавов с ультрамелкозернистой структурой в субмикрокристаллическом (размер зерен $d \sim 100-1000$ нм) или нанокристаллическом ($d < 100$ нм) диапазонах становится одним из наиболее актуальных направлений современного материаловедения. Такие УМЗ материалы с новыми свойствами рассматриваются как перспективные конструкционные и функциональные материалы следующего поколения металлов и сплавов.

Как известно, любая пластическая деформация может оказывать существенное влияние на микроструктуру и свойства материалов. Например, при интенсивной прокатке или протяжке происходят измельчение микроструктуры и формирование ячеек, субзерен и фрагментов, что может привести к определенному повышению их прочностных характеристик. Однако материалы, подвергнутые деформации этими традиционными методами, обычно обладают пониженной пластичностью, которая является одной из фундаментальных характеристик, необходимых для разработки новых конструкционных материалов. Как правило, и наноматериалы, получаемые компактированием порошков, обладают также очень низкой пластичностью и, более того, часто бывают хрупкими. Это является причиной растущего интереса к развитию методов интенсивной пластической деформации, позволяющих формировать ультрамелкозернистые (УМЗ) структуры и, как результат, приводить к новым физическим и механическим свойствам.

Равноканальное угловое (РКУ) прессование наряду с кручением под высоким давлением относится к методам ИПД, впервые использованным для получения УМЗ металлов и сплавов. Несмотря на активное развитие в последующие годы нескольких новых методов интенсивной деформации (всесторонней ковки, прокатки с наложением и соединением листов, специального циклического деформирования и ряда других, РКУ прессование остается наиболее широко исследуемым методом ИПД. Более того, становится ясным, что модернизация РКУ прессования, в частности, при создании непрерывного процесса, может обеспечить его широкое практическое использование.

Исторически метод РКУ прессования для получения больших деформаций был разработан В.М. Сегалом и сотрудниками еще в 1970-х годах. Эти работы явились развитием известного в обработке металлов давлением способа бокового выдавливания. Однако, впервые возможность получения УМЗ металлов и сплавов с помощью РКУ прессования была продемонстрирована лишь в начале 90-х годов. Дело в том, что получение УМЗ структур РКУ прессованием, как и другими методами ИПД, является нетривиальной задачей, лежащей на стыке физического материаловедения и обработки металлов, и ее разработка требует специальных экспериментальных и теоретических

исследований механики пластического течения, тщательной аттестации формирующихся УМЗ структур и определения режимов и параметров обработки материалов.

Исследование и развитие метода РКУ прессования

Как уже было упомянуто, наряду с кручением под высоким давлением, равноканальное угловое прессование (РКУП) относится к числу методов, которые были использованы в пионерских работах по получению УМЗ структур в металлах и сплавах с помощью интенсивной пластической деформации. В последние годы этот метод получил дальнейшее развитие.

Как известно, наиболее дисперсные УМЗ структуры с размером зерен около 100 нм и менее могут быть получены интенсивной пластической деформацией кручением. Однако, получаемые образцы имеют небольшие геометрические размеры и обычно имеют форму дисков диаметром от 10 до 20 мм и толщину 0,2-0,5 мм.

Уже в ранних экспериментах по РКУ прессованию использовались значительно более крупные исходные заготовки с круглым или квадратным поперечным сечением, вырезанные из прутков, длиной от 70 до 100 мм. Диаметр поперечного сечения или его диагональ достигали 20 мм.

При реализации РКУ прессования заготовка неоднократно продавливается в специальной оснастке через два канала с одинаковыми поперечными сечениями, пересекающимися обычно под углом 90° . При необходимости, в случае труднодеформируемых материалов, деформация осуществляется при повышенных температурах или при увеличенных углах пересечения каналов. При этом особые требования предъявляются к термостойкости и прочности оснастки. Каждый проход при наиболее часто используемом угле пересечения каналов 90° соответствует накопленной степени деформации, примерно равной 1.

Методом РКУ прессования сильное измельчение микроструктуры может быть достигнуто относительно легко уже после одного или нескольких проходов как в чистых металлах, так и в сплавах. Однако обеспечение формирования однородных УМЗ структур с большеугловыми границами зерен методом РКУ прессования требует заметно большего числа проходов (как правило, 8 и более). Свидетельством формирования ультрамелкозернистых структур могут служить снимки электронной микродифракции с отдельных участков, на которых многочисленные дифракционные пятна, расположенные вдоль колец, указывают на появление высоких разориентировок в структуре. Использование таких современных способов электронной дифракции, как микроскопия ориентационных изображений или дифракция электронов обратного рассеяния является наиболее надежным свидетельством появления преимущественно большеугловых границ зерен после многопроходного РКУП.

Известно, что важнейшим параметром процесса при этом также является выбранный маршрут РКУ прессования. Подробные исследования влияния маршрутов РКУ прессования на характер формирующейся микроструктуры проводились для сплавов Al-Mg и чистого Ti. Было показано, что однородная микроструктура формируется в сплавах только после 4-6 проходов в результате использования так называемого маршрута ВС. При этом заготовка между последовательными проходами поворачивалась в одном и том же направлении вокруг своей оси на угол 90° . Анализ параметров сдвига для разных маршрутов обработки указывает на то, что использование маршрута ВС приводит к восстановлению формы изначально кубического элемента образца до прессования после $4n$ или $2n$ (n - целое число) проходов через оснастку. Это ведет к формированию однородной равноосной структуры. Аналогичные исследования влияния маршрутов РКУ прессования на микроструктуру чистого Ti также свидетельствуют о предпочтительности использования маршрута ВС с точки зрения формирования равноосной зеренной структуры и лучшего качества формы и поверхности заготовок.

Для развития методов важным является также проведение экспериментального и компьютерного моделирования механики РКУ прессования, в частности, напряженно-деформированного состояния материала, анализ контактных напряжений между образцом и стенками оснастки. Результаты исследований влияния коэффициента трения между деформируемой заготовкой и стенками оснастки, а также расчет контактных напряжений в стенках оснастки показали, что пластическая деформация сдвигом образца во время РКУ прессования может быть весьма неравномерной. В то же время была обнаружена существенная зависимость равномерности пластической деформации от условий трения между заготовкой и оснасткой. Были разработаны подходы для достижения большей равномерности РКУ прессования за счет оптимизации условий трения на основе результатов, полученных в эксперименте и компьютерном моделировании методом конечных элементов. На этой основе были изготовлены новые оснастки и получены массивные заготовки с однородными ультрамелкими зёрнами из Ti и его сплавов. При этом был достигнут максимальный размер заготовок диаметром 60 мм и длиной 200 мм.

Еще одним из путей, весьма важным для повышения однородности формирующейся УМЗ структуры, а также снижения повреждаемости заготовок, является применение противодавления при РКУ прессовании. Это позволило также осуществить РКУ прессование таких малопластичных и труднодеформируемых материалов, как вольфрам, закаленные алюминиевые сплавы, некоторые стали. Несмотря на очевидный прогресс в последние годы в развитии метода РКУ прессования с целью формирования однородных УМЗ структур в массивных заготовках из различных металлов и сплавов, актуальными остаются задачи дальнейшего уменьшения получаемого размера зёрен до наноразмеров и увеличения размеров образцов, особенно для низкопластичных материалов. Актуальной задачей для проводимых исследований, направленных на повышение технологической эффективности, также является разработка непрерывного процесса РКУ прессования и его комбинаций с другими методами обработки.

Повышение механических свойств УМЗ материалов, полученных РКУ прессованием

Как свидетельствуют недавние исследования, типично наноструктурные материалы с размером зёрен 100 нм или меньше имеют высокую твердость, но проявляют низкую пластичность во время механических испытаний. В этой связи, большой интерес представляют недавние открытия, демонстрирующие как чрезвычайно высокую прочность, так и пластичность некоторых УМЗ материалов, полученных методами интенсивной пластической деформации. Такие ИПД материалы, полученные измельчением микроструктуры в массивных заготовках, являются полностью плотными, и их большие геометрические размеры позволяют проводить тщательные механические испытания.

В одном из исследований чистая Cu (99,996%) была подвергнута РКУ прессованию при комнатной температуре по маршруту ВС с вращением на 90° по часовой стрелке вдоль оси заготовки между последовательными проходами (всего 16 проходов).

Исходная крупнокристаллическая Cu с размером зёрен около 30 микрон имела низкий предел текучести, но обладала значительным деформационным упрочнением и большим удлинением до разрушения (пластичностью). Такое поведение характерно для крупнокристаллических металлов. Удлинение до разрушения является количественной характеристикой пластичности и определяется предельной деформацией, при которой образец разрушается. Холодная прокатка меди на 60%, значительно, увеличивает прочность, но и существенно снижает пластичность, что типично для механического поведения металлов, подвергнутых пластической деформации.

Эта тенденция характерна и для Cu после РКУ прессования с двумя проходами. Тем не менее, дальнейшее прессование меди с числом проходов до 16 одновременно увеличило как прочность, так и пластичность. Кроме того, увеличение пластичности

является более значительным, чем увеличение прочности. Ранее такие зависимости не наблюдались, и полученные результаты меняют известные представления о механических свойствах металлов, подвергнутых пластической деформации.

Интересно, что подобные закономерности были обнаружены в Ti и некоторых других металлах, которые были подвергнуты ИПД кручением и испытаны на растяжение. В Ti увеличение прочности и пластичности наблюдалось после интенсивной деформации кручением и кратковременных отжигов при температуре, ниже 300 °C. Как показали исследования с использованием высокоразрешающей электронной микроскопии, эта обработка привела к изменению структуры границ зерен, связанному с перераспределением дислокации. Хотя общая интенсивность дислокации снижается при низкотемпературном отжиге после интенсивной деформации, локальная плотность дислокации у границ зерен может расти и, таким образом, увеличивать их неравновесность.

Необычное механическое поведение, обнаруженное в некоторых металлах, подвергнутых ИПД, свидетельствует о принципиальных изменениях механизма деформации после того, как в них произошло формирование УМЗ структуры в результате обработки.

Как известно, перемещение дислокации и двойникование являются основными механизмами деформации для крупнокристаллических металлов. В ультрамелкозернистых металлах происходит затруднение зарождения и перемещения дислокации, что приводит к увеличению прочности. В то же время, наличие ультрамелких зерен может способствовать другим деформационным механизмам, например, таким, как зернограничное проскальзывание и вращение зерен, и, следовательно, повышать пластичность. Мы экспериментально наблюдали значительное зернограничное проскальзывание в ультрамелкозернистой меди, деформированной при комнатной температуре. Повышенная чувствительность к скорости деформации, которая наблюдалась при этом, также указывает на активное зернограничное проскальзывание.

Однако возникает вопрос - почему в ИПД материалах зернограничное проскальзывание может происходить при сравнительно низких температурах? Зернограничное проскальзывание является диффузионным процессом и обычно развивается при повышенных температурах. Здесь может быть предложено следующее объяснение, связанное со свойствами структуры границ зерен в наноструктурных ИПД материалах.

В середине 1990-х годов было высказано предположение, что в зависимости от условий интенсивной деформации, получаемые УМЗ материалы могут иметь очень неравновесные границы зерен. Неравновесные границы зерен - это границы с большеугловыми разориентировками, имеющие высокую плотность внесенных дислокаций и, как результат, избыточную энергию и давящие напряжения. Последующие наблюдения с использованием высокоразрешающего ПЭМ дали прямые доказательства формирования таких неравновесных границ зерен в ИПД металлах. Недавние исследования также свидетельствуют о значительном росте коэффициента диффузии (на два или три порядка) в металлах, полученных методами ИПД, что может быть связано с неравновесностью границ зерен. В этой связи можно полагать, что наличие неравновесных границ в УМЗ металлах способствует развитию зернограничного проскальзывания, и возможность его наблюдения появляется даже при комнатной температуре. Интересно, что ускорение зернограничного проскальзывания вдоль неравновесных границ зерен было отмечено ранее в модельных экспериментах на бикристаллах.

Отсутствие существенного деформационного упрочнения является еще одним интересным свойством, выявленным во время механических испытаний металлов, полученных методами ИПД. Из механики деформации растяжением известно, что проявление стабильного течения и, следовательно, высокой пластичности тесно связано с

деформационным упрочнением. Однако, полученные нами экспериментальные данные позволяют полагать, что высокая пластичность УМЗ металлов не связана со значительным деформационным упрочнением. Недавно подобное поведение было обнаружено при растяжении наноструктурной Cu, где авторы заключили, что критерии стабильности требуют пересмотра при анализе характера деформации УМЗ материалов. В то же время, данные настоящей работы свидетельствуют, что деформация исследуемых ИПД материалов характеризуется повышенной чувствительностью напряжения течения σ к скорости деформации. Известно, что именно высокая чувствительность напряжения течения к скорости деформации обуславливает сверхпластичность материалов. Очевидно, что при растяжении УМЗ материалов повышенное значение σ также способствует увеличению удлинения до разрушения. Увеличение параметра m , в свою очередь, может быть результатом развития зернограницного проскальзывания. Этот факт также хорошо известен из экспериментов по сверхпластичности.

Таким образом, при использовании РКУ прессования существует возможность принципиального изменения свойств металлов и сплавов при формировании в них ультрамелкозернистых структур, что позволяет реализовать сочетание высокой прочности и пластичности. Исследования такой необычной прочности и пластичности наноструктурных материалов имеют весьма важное как фундаментальное, так и практическое значение. С фундаментальной точки зрения, эти исследования интересны для выяснения новых механизмов деформации. С практической стороны, создание наноматериалов с высокой прочностью и пластичностью может резко повысить их усталостную прочность, ударную вязкость, снизить температуру хрупко-вязкого перехода. Как известно, именно усталость, более других факторов, часто снижает срок службы и, следовательно, область применения многих перспективных материалов.

Изготовление штамповок горячим выдавливанием на прессах с подвижным контейнером

Изобретение относится к обработке металлов давлением и может быть использовано при штамповке выдавливанием деталей переменного сечения на гидравлических прессах с подвижным контейнером. Нагретую заготовку подают в контейнер, производят распрессовку заготовки в контейнере пресс-шайбой и прессование части заготовки в матрицу, входящую в состав матричного узла. При этом формируют штамповку с частью постоянного сечения и получают на указанной штамповке утолщение путем осадки оставшейся части заготовки. Часть матричного узла размещают в контейнере из условия обеспечения сопряжения их плоскостей. Осадку оставшейся части заготовки при формировании утолщения осуществляют в полости между сопрягаемыми плоскостями матричного узла и контейнера. Указанную полость образуют путем перемещения матричного узла относительно контейнера перед формированием утолщения. Осадку производят путем синхронного перемещения пресс-шайбы и контейнера. В результате обеспечивается возможность получения за один технологический переход штамповок сложной внутренней и наружной конфигурации, сокращается номенклатура технологического инструмента и улучшается качество полученных изделий.

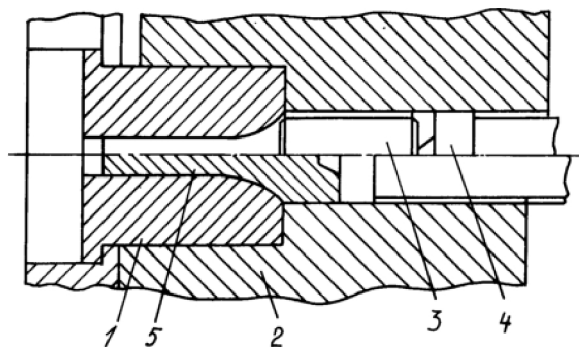


Рис. 1 – Схема процесса

Известно, что на величину пластической деформации, которую можно достичь без разрушения (предельная деформация), оказывают влияние многие факторы, основные из которых механические свойства металла (сплава), температурно-скоростные условия деформирования и схема напряженного состояния. Последний фактор оказывает большое влияние на значение предельной деформации. Наибольшая предельная деформация достигается при отсутствии растягивающих напряжений и увеличении сжимающих. Одной из наиболее оптимальных схем обработки металлов давлением является штамповка выдавливанием, при которой пластическое деформирование происходит в условиях всестороннего, неравномерного сжатия, что позволяет получить без разрушения заготовки весьма большую степень деформации как в направлении, совпадающем с движением пуансона, так и в боковом направлении, не совпадающем с движением пуансона. Горячее выдавливание как технологическая операция объемной штамповки применяется для изготовления широкой номенклатуры деталей (Соколов Н. Л. Горячая штамповка выдавливанием стальных деталей, М., Машиностроение, 1967 г., стр.25-31).

Техническим результатом, достигаемым при осуществлении изобретения, является получение за один технологический переход штамповок сложной внутренней и наружной конфигурации, в т. ч. с утолщением на наружной поверхности, сокращение номенклатуры технологического инструмента, улучшение качества поверхностей и стабильности геометрических размеров изделий, снижение энергоемкости и трудозатрат и увеличение возможностей универсального прессового оборудования.

Указанный технический результат достигается тем, что в предлагаемом способе изготовления штамповок горячим выдавливанием на прессах с подвижным контейнером, включающем подачу нагретой заготовки в контейнер, распрессовку заготовки в контейнере пресс-шайбой, прессование части заготовки в матрицу, входящую в состав матричного узла, с формированием штамповки с частью постоянного сечения и формирование на указанной штамповке утолщения путем осадки оставшейся части заготовки, часть матричного узла размещают в контейнере из условий обеспечения сопряжения их плоскостей, а осадку оставшейся части заготовки при формировании утолщения осуществляют в полости между сопрягаемыми плоскостями матричного узла и контейнера, которую образуют путем перемещения матричного узла относительно контейнера перед формированием утолщения, а осадку производят путем синхронного перемещения пресс-шайбы и контейнера.

Способ позволяет использовать прямое, обратное и боковое выдавливание, а также их комбинации. Матричный узел в составе матрицедержателя и матрицы может компоноваться из нескольких технологичных в изготовлении деталей. При этом формирование штамповки производится с одного нагрева одним комплектом инструмента. Вследствие этого снижаются трудозатраты, энергоемкость технологического процесса и сокращается номенклатура технологического инструмента. Оптимальный подбор процессов обработки металлов давлением, а также применяемого инструмента позволяет расширять номенклатуру изготавливаемых деталей, увеличивать их диапазон по массе и размерам, а также повышать точность размеров штамповок и качества их поверхностей.

Возможно также при изготовлении штамповок, имеющих наряду с указанным утолщением утолщение на боковой поверхности, использовать сборную матрицу, а формирование утолщения на боковой поверхности осуществлять в полость, которую образуют между частями сборной матрицы.

Одна из составных частей матрицы имеет свободное осевое перемещение, которое осуществляется одновременно с перемещением контейнера.

На Рис.1 и 2 представлена технологическая схема штамповки монолитного стержня с фланцем, имеющим углубления на заднем торце штамповки: на фиг.1 - вверху исходное положение перед операцией прессования матрицы 1, контейнера 2, заготовки 3 и пресс-шайбы (с фигурным выступом) 4, внизу - выдавливание стержня 5 и образование

углубления на заднем торце заготовки; на фиг.2 сверху - образование полости 6 между контейнером и матрицей отводом контейнера, внизу - формирование фланца 7 после осадки заготовки с одновременным перемещением контейнера и пресс-шайбы.

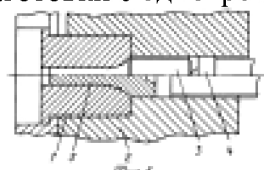


Рис.1

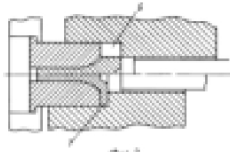


Рис.2

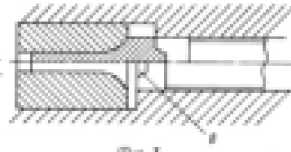


Рис.3

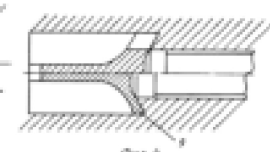


Рис.4

На рис.3 - то же, что на фиг.1 и 2 с формированием выступа 8 на заднем торце штамповки.

На рис.4 - то же, что на фиг.1 и 2 с формированием конического фланца 9.

На рис.5 - то же, что на фиг.1 и 2 с формированием ступенчатого стержня.

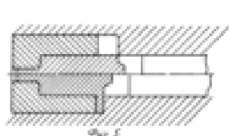


Рис.5

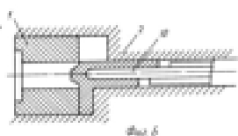


Рис.6

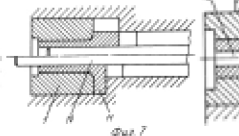


Рис.7

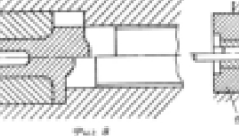


Рис.8

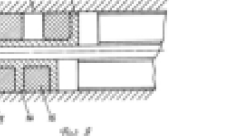


Рис.9

На рис.6 представлена технологическая схема штамповки стакана с фланцем, сверху - формирование стакана методом обратного выдавливания в зазор между пресс-иглой 10 и контейнером 2, внизу - штамповка утолщения, образованного отводом контейнером 2 от матрицы 1.

На фиг.7 штамповка полого изделия с фланцем: сверху - прямое выдавливание полого элемента в зазор между пресс-иглой 10 и фильерой матрицы 13, внизу - штамповка утолщения (фланца) 11.

На фиг.8: сверху - прямое выпрессовывание глухого полого элемента 12, внизу - штамповка утолщения.

На фиг.9: сверху - схема штамповки полого изделия с фланцем 13 в полость, образованную торцевой поверхностью матрицы и контейнера, внизу - штамповка утолщения на боковой поверхности детали в полость 14, образованную между двумя частями сборной матрицы 15 и 16, причем полость 14 образуется путем совместного отвода контейнера 2 и подвижной части матрицы 16. Подвижная часть матрицы разборная, что обеспечивает ее снятие после извлечения детали.

Данный способ позволяет с одного установка заготовки производить оформления сложных внутренних и наружных поверхностей штамповки. Последовательным оформлением внутреннего и внешнего контура детали уменьшают усилие штамповки, увеличивают стойкость инструмента и повышают качество детали. Изобретение обеспечивает безотходность процесса, минимизацию удельных усилий на инструмент и повышение его стойкости, высокое качество изделий, расширение технологических возможностей горячей объемной штамповки по увеличению сложности формы внешнего контура и полости и улучшению служебных свойств деталей с использованием металлов и сплавов повышенной прочности. Также значительно расширяются технологические возможности универсальных гидравлических прессов с подвижным контейнером.

Применение многоциклового прокатки для изготовления многослойного ленточного наноструктурного композита

Большой интерес представляют материалы, содержащие сплавы Nb-Ti и Nb-Zr. Многослойные плоские наноструктурные композиты на основе этих сплавов являются перспективными для создания сверхпроводящих материалов с высокой токонесущей способностью. В ленточном проводнике плоские параллельные сверхпроводящие слои,

толщина которых составляет 10-100 нм и, поэтому, сравнима с длиной когерентности сверхпроводника, позволяют использовать эффект влияния протяженной плоской межслойной границы, параллельной внешнему магнитному полю, на пиннинг (закрепление) вихрей Абрикосова и, следовательно, величину критической плотности тока.

Предлагаемое изобретение решает задачу создания способа изготовления наноструктурного композита с высокой критической плотностью тока, способного нести большой суммарный ток.

Поставленная задача достигается способом изготовления многослойных ленточных наноструктурных композитов на основе сплава ниобий-титан методом многоциклового прокатки, каждый цикл которой включал сборку пакета из чередующихся пластин ниобия и сплава ниобий-титан, скрепление пластин между собой, горячую вакуумную прокатку и холодную прокатку. В первом цикле исходными пластинами были компоненты композита, а во втором и последующих циклах - пластины, полученные в предыдущем цикле. Новизна предлагаемого способа заключается в том, что скрепление пластин между собой в пакет осуществляют с помощью диффузионной сварки при температуре 800-900°C и давлении 20-40 МПа в течение 0,5-3 ч.

Для стабилизации сверхпроводника перед последним циклом прокатки сваренный пакет помещают в медную оболочку. Толщина медной оболочки составляет 3-25% от толщины пакета.

При исследовании микроструктуры поперечных сечений образцов композитов, вырезанных параллельно направлению прокатки, нами было установлено, что критическая плотность тока была тем выше, чем менее волнообразными были слои ниобия и слои сплава ниобий-титан. По аналогии с колебательными процессами для характеристики волнообразности слоистой структуры были взяты длина периода одной волны L и ее амплитуда A . Было также замечено, что в слоях с сильно выраженной волнообразностью (малые L и большие A) отмечались локальные уменьшения (вплоть до нуля) толщины слоев как ниобия, так и сплава ниобий-титан.

Наименее заметно волнообразность структуры проявлялась в том случае, когда прокатывался пакет, предварительно скрепленный с помощью диффузионной сварки, проводимой в заявляемых нами интервалах.

При этом помещение его перед последним циклом прокатки в медную оболочку, заявляемой нами толщины, приводило к стабилизации многослойных ленточных наноструктурных композитов с высокой критической плотностью тока.

Выплавка переплавом легированных отходов

В готовые металлоизделия превращается лишь около половины выплавляемой стали. Уже на металлургических заводах 25—40% выплавленной легированной стали уходит в брак, обрезь, отходы при прокате. Значительное количество отходов образуется и в металлообрабатывающей промышленности. Например, в подшипниковой промышленности коэффициент выхода годного составляет 0,55, в транспортном машиностроении 0,86, в общем машиностроении 0,82. Другими словами, около половины выплавляемой легированной стали возвращается на переплав. Кроме того, на переплав направляют изношенные и устаревшие металлоизделия, изготовленные из легированного металла.

При переплаве отходов легированных сталей необходимо наиболее рационально использовать содержащиеся в них легирующие элементы. Такие элементы, как алюминий и титан, если не принять специальных мер, могут полностью окислиться и уйти в шлак еще в период плавления. Другие (хром, ванадий, вольфрам и др.) окисляются и в окислительный период. С целью максимального извлечения их из шихты плавку целесообразно вести без окисления, т. е. без присадок руды и с ограничением окислительных процессов в период плавления. Такой метод ведения плавки называют переплавом легированных отходов.

При переплаве легированных отходов углерод и фосфор практически не окисляются, поэтому содержание фосфора в шихте не должно превышать допустимых пределов в готовой стали, а содержание углерода ввиду возможного науглероживания от электродов и от шлака должно быть на 0,05—0,10% ниже, чем в готовой стали (но не менее 0,08—0,1%). Поэтому в состав шихты, кроме собственных отходов или отходов близкой по составу стали, вводят мягкое железо или низкоуглеродистые отходы с низким содержанием фосфора.

Экономически более целесообразно использовать менее дорогие низкоуглеродистые отходы, а не заготовку из мягкого железа. При необходимости использования [феррохрома](#) и [ферровольфрама](#) их вводят в завалку, причем ферровольфрам дают под электроды, а феррохром на откосы.

С целью раннего образования шлака для защиты металла от окисляющего действия атмосферы и науглероживания электродами шлакообразующие дают в завалку, а после начала образования колодцев их забрасывают под электроды.

Отсутствие кипения металла исключает возможность удаления газов из металлов. Поэтому при выплавке стали методом переплава легированных отходов качеству шихтовых материалов уделяется особое внимание — они должны быть сухими, лом не должен быть проржавленным, шлакообразующие и легирующие добавки должны быть прокалены. Но даже при соблюдении этих мер предосторожности на плавках методом переплава в металле содержание [азота](#) увеличивается. Предотвратить насыщение металла азотом и даже уменьшить его содержание по сравнению с исходным можно введением в завалку вместо извести известняка в количестве 1,0—1,5% от массы шихты. Образующаяся при его диссоциации двуокись углерода выделяется в виде пузырьков и дегазирует металл. Для этой же цели присаживают до 2% известняка в процессе плавления шихты.

Даже при отсутствии окислительного периода часть легирующих элементов окисляется кислородом воздуха в период плавления и двуокисью углерода известняка, поэтому при выплавке стали с высоким содержанием хрома, вольфрама или ванадия шлак не скачивают. При необходимости науглероживания, получения густого шлака с высоким содержанием MgO или при повышенном содержании марганца скачивание шлака, образовавшегося в период плавления при выплавке стали этих марок, можно проводить лишь после раскисления.

В остальном технологический процесс проводится как обычно.

При выплавке стали методом переплава легированных отходов усвоение легирующих элементов из шихты ориентировочно характеризуется следующими цифрами %:

Al	Ti	Si	V	Mn	Cr	W
0	0-10	50-70	70-80	70-80	85-90	90-95

При этом значительно сокращается расход ферросплавов, уменьшается количество вводимых добавок и длительность восстановительного периода. В связи с отсутствием окислительного периода производительность дуговой печи возрастает на 15—20%. Кроме того, уменьшается расход электроэнергии, электродов, [огнеупоров](#), раскислителей, шлакообразующих, зарплата и общезаводские расходы.

С целью интенсификации плавки и дегазации металла на многих заводах при выплавке стали методом переплава легированных отходов используют газообразный кислород.

При использовании кислорода, шихту подбирают таким образом, чтобы содержание фосфора было меньше допустимых пределов в стали, а содержание углерода на 0,1% и более превышало верхний предел. Для этого в шихту включают до 80% отходов выплавляемой или другой стали подходящей марки и не менее 20% углеродистых отходов, содержащих менее 0,020% фосфора. Для увеличения содержания углерода в

шихту включают необходимое количество кокса или электродного боя, а для раннего шлакообразования 1,5—2,0% извести или известняка и 0,3—0,5% шамотного боя.

За 10—15 мин до полного расплавления отбирают предварительную пробу для химического анализа и начинают продувку металла кислородом. После полного расплавления и нагрева металла, что определяется по началу горения углерода, отбирают пробу и ведут продувку до получения требуемого содержания углерода. Количество окисленного углерода должно быть не менее 0,15%.

По окончании продувки снова отбирают пробу металла и начисто скачивают шлак. При высоком содержании в шихте хрома, вольфрама или ванадия перед скачиванием шлак раскисляют. Восстановительный период проводят как и при обычной плавке.

Усвоение легирующих элементов при переплаве отходов с частичным окислением ниже и примерно составляет, %:

Si	Mn	V	Cr	W
0	20-30	30-40	60-80	85-90

Для уменьшения угара ванадия, хрома и вольфрама в шихту иногда добавляют кремнистые отходы или ферросплавы. Окисление кремния протекает с большим выделением тепла, благодаря чему температура металла быстро возрастает и более дорогие хром, вольфрам и ванадий окисляются в меньшей степени.

Перспективы развития порошковой металлургии

Благодаря структурным особенностям продукты порошковой металлургии более термостойки, лучше переносят воздействие циклических колебаний температуры и напряжения, а также ядерного облучения, что очень важно для материалов новой техники.

Порошковая металлургия имеет и недостатки, тормозящие ее развитие: сравнительно высокая стоимость металлических порошков; необходимость спекания в защитной атмосфере, что также увеличивает себестоимость изделий порошковой металлургии; трудность изготовления в некоторых случаях изделий и заготовок больших размеров; сложность получения металлов и сплавов в компактном состоянии; необходимость применения чистых исходных порошков для получения чистых металлов.

Недостатки порошковой металлургии и некоторые ее достоинства нельзя рассматривать как постоянно действующие факторы: в значительной степени они зависят от состояния и развития как самой порошковой металлургии, так и других отраслей промышленности. По мере развития техники порошковая металлургия может вытесняться из одних областей и, наоборот, завоевывать другие. Развитие дугового, электроннолучевого, плазменного плавления и электроимпульсного нагрева позволили получать не достижимые прежде температуры, вследствие чего удельный вес порошковой металлургии в производстве несколько снизился. Вместе с тем прогресс техники высоких температур ликвидировал такие недостатки порошковой металлургии, как, например, трудность приготовления порошков чистых металлов и сплавов: метод распыления дает возможность с достаточной полнотой и эффективностью удалить в шлак примеси и загрязнения, содержащиеся в металле до расплавления. Благодаря созданию методов всестороннего обжата порошков при высоких температурах в основном преодолены и трудности изготовления беспористых заготовок крупных размеров.

В то же время ряд основных достоинств порошковой металлургии – постоянно действующий фактор, который, вероятно, сохранит свое значение и при дальнейшем развитии техники.

Применение порошковой металлургии, ее развитие имеет важное значение для всего мира. Передовые страны мира такие как США и Япония ежегодно инвестируют и расширяют эту отрасль промышленности. Это можно проследить на следующей схеме:

	1964	1974	1984	1994
США	47тыс т	118тыс т	812тыс т	2045тыс т
Япония	4тыс т	17тыс т	106тыс т	455тыс т

То есть производство спеченных металлов за период с 1964 по 1994 гг. в США возросло в 43,5 раза, а в Японии – в почти в 114 раз.

Не последнее место занимает порошковая металлургия и в нашей стране. Она представлена такими предприятиями как «Уральский завод твердых сплавов», «Краснопахорский завод композиционных изделий из металлических порошков» и многими другими. Неоспоримым доказательством полезности использования порошковых является то, что в период кризиса эти предприятия не только выживают, но и расширяют производство.

С увеличением масштабов выпуска и совершенствованием методов изготовления порошков решаются такие проблемы порошковой металлургии как: дороговизна исходных материалов. При массовом производстве расходы связанные с необходимостью изготовления индивидуальных приспособлений (пресс-форм) для каждого вида деталей сократятся до минимума. С исследованием и использованием на производстве получения чистых порошков распылением расплавленного железа решены такие проблемы как необходимость получения достаточно чистых исходных материалов.

1. Валиев Р. З., Александров И. В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. — М.: Логос, 2000. — 272 с.
2. Валиев Р. З. Развитие равноканального углового прессования для получения ультрамелкозернистых металлов и сплавов // Металлы. 2004. №1. С. 15–22.
3. Горынин В.И. Исследования и разработки ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» в области конструкционных наноматериалов. Часть 2, 01.09.2008 // ИА Neftegaz.RU, 2008–2009. — <http://popnano.ru/analit/index.php?task=view&id=295> (дата обращения: 31.07.2010).
4. Развитие методов ИПД // Информационный портал по наноИПД-материалам. — NanoSPD, 2007– 2009. — http://nanospd.ru/ifpm_nay_napraavl_1.html (дата обращения: 31.07.2010).

Лекция 4

Современные технологии в исследовании материалов

(Рассчитана на 2 академических часа)

Исследование остаточных напряжений

В настоящее время в эксплуатации находится большое количество различных стальных строительных конструкций, значительная часть которых претерпела определенный износ. Помимо этого возникает потребность в усилении элементов при реконструкции, в связи с изменением технологических процессов и нагрузок на конструкции. Наиболее распространенным приемом в практике усиления металлоконструкций является увеличение сечения расчетных элементов, усиление узлов, сопряжений элементов, стыков. Дополнительные элементы крепят к основным посредством сварки. Сварка существенно влияет на работу стержней, как в процессе усиления, так и после усиления. Имеют место тепловые ослабления, временные и остаточные напряжения и деформации. Взаимодействие сварочных напряжений и деформаций с внешней силовой или температурной нагрузкой может способствовать уменьшению несущей способности, коррозионной стойкости и жесткости сварных конструкций. Таким образом, задача определения величины и характера распределения сварочных напряжений и деформаций представляется актуальной на сегодняшний день.

Расчетный путь определения остаточных напряжений является довольно сложным и громоздким. Это объясняет причины измерения остаточных напряжений экспериментальными методами. Существующие экспериментальные методы определения остаточных напряжений обычно разделяют на механические и физические. Механические методы основаны на принципе упругой разгрузки объема металла путем его разрезания. Физические методы определения остаточных напряжений не связаны с обязательным

разрушением металла, в отличие от механических. Они основаны на изменении свойств металла, происходящего под влиянием остаточных напряжений. Рассмотрим наиболее разработанные физические методы, которые в отдельных случаях могут быть применены при измерении остаточных напряжений.

Одним из наиболее распространенных физических методов, является **рентгенографический**. Применение рентгеновских лучей для исследования напряженного состояния в металлах и сплавах основано на явлении дифракции рентгеновских лучей при прохождении их через кристаллическую решетку исследуемого материала. Преимуществом рентгенографического метода является возможность его применения при исследовании напряжений в малых зонах деталей сложной конфигурации без их разрушения. Недостатками метода являются использование сложной аппаратуры и относительная длительность обработки полученных данных [1].

Магнитоупругий метод базируется на магнитоупругом эффекте – свойстве изменения намагниченности ферромагнитного тела, в данном случае стального. Однако ввиду недостаточной изученности различных факторов, оказывающих влияние на изменение магнитоупругого эффекта, измерения полученные данным методом характеризуются разбросом и относительной степенью достоверности. Относительно новым является метод магнитной памяти металла, который основан на использовании магнитоупругого и магнитомеханического эффектов. Основные преимущества нового магнитного способа – исключение подготовки контролируемой поверхности и применение малогабаритных приборов [2].

Ультразвуковой метод также представляет определенный интерес в исследовании остаточных напряжений и основан на зависимости между напряжениями в твердых телах и скоростями распространения продольных и сдвиговых ультразвуковых колебаний. Преимуществами метода являются относительно невысокая погрешность, высокая чувствительность, возможность исследования на значительных глубинах. Но использование дорогостоящего комплекса аппаратуры и трудности ввода колебаний в исследуемый материал усложняют проведение эксперимента [3].

Бесконтактный электростатический метод оценки напряженно-деформированного состояния твердых тел основан на экспериментально установленной зависимости между данным состоянием твердого тела и величиной электрического поля исследуемого объекта [4]. Данный способ позволяет проводить неразрушающий контроль напряжений и деформаций в твердых телах, определять пространственные координаты участков локальных концентраций напряжений и определять его величину. Голографический метод определения остаточных напряжений является бесконтактным методом [5]. Но широкое применение методов голографической интерферометрии для исследования остаточных напряжений натурных конструкций ограничивается в связи с требованиями виброизоляции как исследуемых объектов, так и применяемой голографической установки.

Резистивный электроконтактный метод – это метод, основанный на измерении электрического сопротивления на участке поверхностного слоя металла при подачи к нему переменного тока. Метод был разработан С.Ю.Ивановым, Д.В.Васильковым и В.Э.Хитриком для оценки остаточных механических напряжений, сохраняющихся в металлических изделиях после их изготовления. В работе [6] предложено использовать резистивный электроконтактный метод для оценки напряженно-деформированного состояния стальных конструкций, обусловленного воздействием эксплуатационных нагрузок.

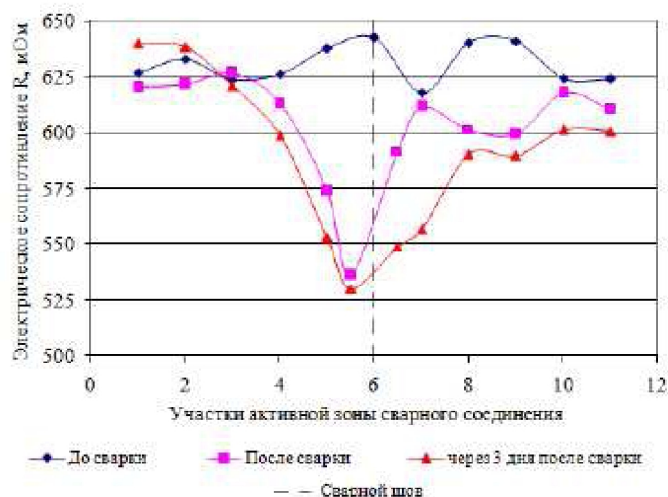


Рис. 1 Распределение электрического сопротивления в активной зоне сварного соединения

Исследование проводится на модели – пластине, отобранной из стенки стального прокатного профиля двутаврового сечения 36М по ГОСТ 19425-74. Сварной шов выполнен ручной электродуговой сваркой. Проведена зачистка сварного шва и прилегающих к нему участков основного металла в каждую сторону от шва с двух сторон. Датчик прибора был установлен непосредственно на сварном шве и на нескольких участках зоны шва в обоих направлениях вдоль пластины. На рис.1 представлены результаты измерения электрического сопротивления в активной зоне сварного соединения, на основе которых можно сделать следующие выводы: – величина электрического сопротивления уменьшается по мере приближения к сварному шву; – зона влияния сварного шва составляет около пяти значений его ширины. Таким образом, резистивный электроконтактный метод представляет определенный интерес в вопросе определения влияния сварочных напряжений и деформаций на элементы конструкций и требует дальнейшего изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корякина В.Е., Новоселова Т.М., Соломатин В.Е. Возможности рентгеновского измерения остаточных напряжений в наплавленном валике и основном металле крупнозернистой аустенистой стали 15х23Н18Л. Сварочное производство № 9, с 37-38, 62; 2000.
2. А.В. Башкатов, А.В. Бондарь, А.Б. Булков. Напряжения и деформации при сварке. Учебное пособие, Воронеж, Изд-во ВГТУ, 1999.
3. Ботаки А.А., Ульянов В.А., Шарко В.А. Ультразвуковой контроль прочностных свойств конструкционных материалов. – М.: Машиностроение. 1983.
4. Антонов А.А., Ифимовская А.А., Чернышев Г.Н. Бесконтактный электростатический метод оценки НДС твердых тел. Сб. Остаточные технологические напряжения». – М.: с.32-38. 1988.
5. Антонов А.А., Бобрик А.И., Морозов В.К., Чернышев Г.Н. Определение остаточных напряжений при помощи создания отверстий и голографической интерферометрии. Механика твердого тела № 2. 1980.
6. Улыбин А.В. Метод измерения электрического сопротивления для контроля механических напряжений в стальных конструкциях [Текст]: автореф. диссерт. на ст. к.т.н. 05.11.01. СПбГПУ, 2010.

Исследование энергии активации (склерометрия)

Анализ результатов многочисленных исследований отечественных и зарубежных ученых показывает, что в основе любых моделей изнашивания лежит соотношение между параметрами внешнего воздействия и критическими свойствами материалов,

характеризующими их реакцию на это воздействие. Чаще всего рассматривают отношение энергии внешнего воздействия к удельной энергоемкости деформируемых объектов, накопленной к моменту образования продуктов изнашивания. Несмотря на кажущуюся обоснованность такого подхода, во многих случаях точность прогнозирования износостойкости материалов по указанному энергетическому соотношению оказывается невысокой. Это имеет место: при фазовых превращениях и рекристаллизации в процессе изнашивания; фазовых превращениях и рекристаллизации в процессе изнашивания; при неучете структурной неоднородности, хрупкости и неоднородности насыщения изнашиваемых объемов внутренней энергией, существенно неодинаковых на различных масштабных уровнях нагружения при соответствующих различных жесткостях напряженного состояния поверхности материалов и в ряде других случаев.

В настоящее время преобладает мнение о том, что локальные периодически повторяющиеся импульсы внешнего воздействия (энергии, давления, скорости и т.п.) в большинстве случаев фрикционного взаимодействия пар трения, а также при контакте твердых поверхностей с жидкими средами и прочими субстанциями имеют динамический характер. При этом изнашивание материалов происходит в результате суммирования повреждений под воздействием спектра импульсов различной интенсивности. Очевидно, что интенсивность внешнего воздействия будет определяться средним значением энергии импульсов, их частотой и продолжительностью, а также масштабным фактором. Анализ показывает, что по мере увеличения объемов, где происходят необратимые структурные изменения, и глубины слоя, испытывающего упругопластические деформации, происходит: увеличение жесткости их напряженного состояния и склонности к охрупчиванию, изменение энергии активации элементарных актов атомно-молекулярных перегруппировок, морфологии диссипативных структур, фрактальной размерности эрозионного рельефа и крупности продуктов изнашивания с неодинаковой плотностью насыщения внутренней энергией. [2]

Если по мере возрастания геометрического масштаба изнашивания выделить пять уровней структурных изменений (атомно-молекулярный, микро-, мезо- и суперструктурный и макроскопический), то разумно предположить, что модель процесса изнашивания материалов на каждом масштабном (структурном) уровне должна учитывать комплекс физико-механических свойств, наилучшим образом отражающих сопротивление активируемых объемов внешнему разрушающему воздействию. Справедливость такого предположения подтверждается многочисленными экспериментальными данными, где износостойкость широкого круга материалов с различной степенью корреляции сопоставлялась с энергией активации химических реакций, интенсивностью экзоэмиссии, поверхностной энергией, работой деформации, плотностью дислокаций, степенью деформационного упрочнения, периодом повреждаемости, плотностью скрытой энергии, твердостью, критическим раскрытием трещин, сопротивлением царапанию и срезу и т.п.

Если весьма широкий диапазон переменных условий повреждаемости материалов, от малоинтенсивного окислительного изнашивания до образования продуктов изнашивания вследствие резания, совместить с перечисленными критериями, то для первой половины указанного диапазона наиболее подходящими окажутся химико-физические характеристики, а для второй – физико-механические свойства изнашиваемых материалов. В настоящее время сложилось единое мнение о том, что изнашивание материалов в большинстве случаев представляет собой результат суперпозиции одновременно протекающих разномасштабных процессов повреждаемости, приводящих в итоге к образованию продуктов изнашивания.

В качестве критериев износостойкости должны фигурировать критические потоковые характеристики материалов, раскрытие которых возможно на основе: анализа особенностей распространения в материалах поверхностей разрыва; решения уравнений механики однородных и гетерогенных сплошных сред, пригодных для описания поведения материалов на мезо-, суперструктурном и макроуровнях, и срачивания

полученных решений с известными термокинетическими закономерностями повреждаемости материалов при оценке их долговечности. Иными словами хочется сказать о том, что энергия активации есть энергия связи между атомами в кристаллической решетке, на которую в свою очередь влияет и термическая обработка. Минимальная энергия активации наблюдается при отжиге – то есть в равновесном, упорядоченном состоянии, а максимальная – при закалке – наиболее неупорядоченном состоянии. То есть по значениям энергии активации можно судить о твердости поверхности а затем в свою очередь и о износостойкости.

Склерометрический программно-аппаратурный комплекс «Склерометр «Ресурс-3Л»

Исследования энергии активации проводились на склерометрическом программно-аппаратурном комплексе «СКЛЕРОМЕТР «РЕСУРС-3Л», предназначенного для оценки накопленной повреждаемости и прогнозирования остаточного ресурса на образцах и деталях из конструкционных металлов и сплавов в лабораторных условиях.

Общий вид склерометров для работы в автономном и стационарном режимах показан на рисунке 2. Более подробно конструкция механической части прибора представлена на рисунке 3.

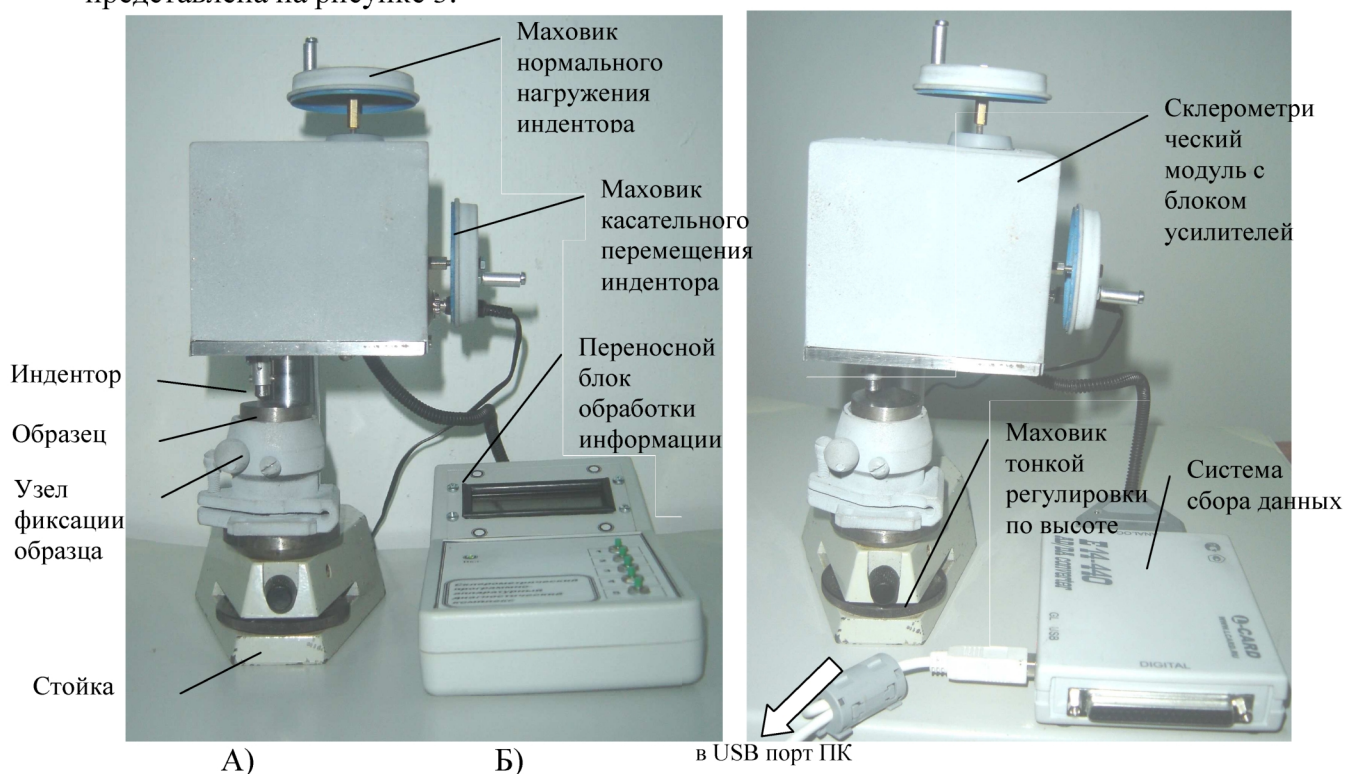


Рисунок 2 - Общий вид склерометров в переносном (автономном) (А) и стационарном (Б) исполнениях.

Измерительная часть склерометрического комплекса, схема электрическая принципиальная и структурные элементы которой приведены на рисунке 4, предназначена для оценки касательной и нормальной нагрузок, действующих на индентор при пропахивании борозды, определения момента касания и глубины заглупления индентора в исследуемый материал.

При контроле серийных изделий из каждой партии отбираются 3...5% деталей (но не менее трех). При единичном производстве контроль проводится на пяти различных участках одной детали. [2]

Обязательному контролю подвергаются участки концентрации напряжений (деформаций), выявляемые расчетными (например, методом конечных элементов) и (или)

экспериментальными методами, включая участки с неоднородными свойствами (прижоги, сегрегации, вмятины, риски, поверхности трения, микротрещины, сварные швы и т.д.).

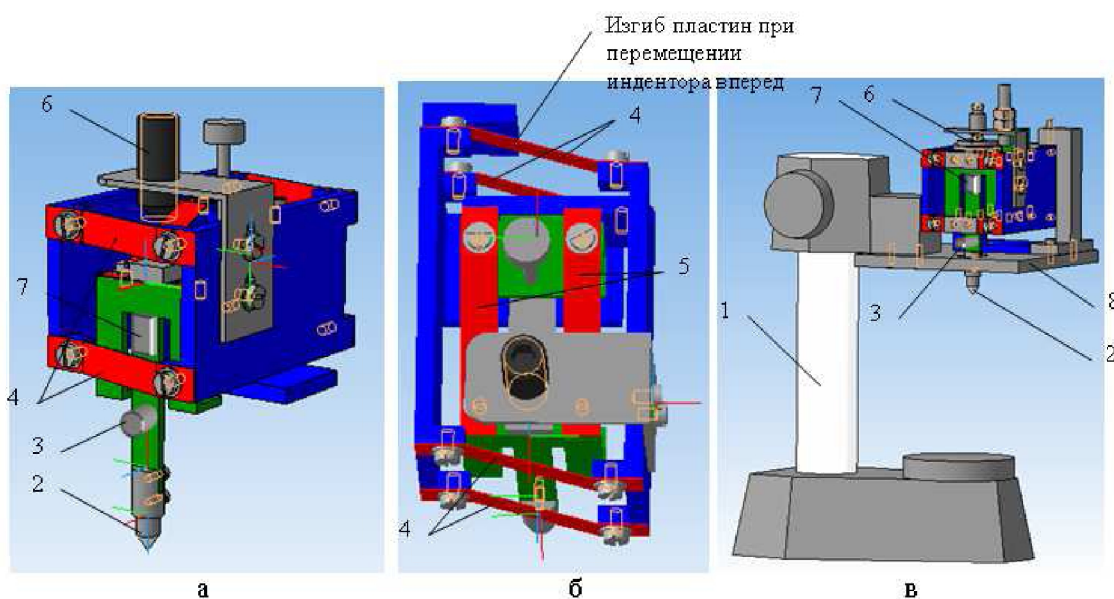


Рисунок 3 - Конструкция механической части склерометра - вид сбоку (а) и сверху (б), с установкой на стойке (в): 1 – стойка; 2 – индентор; 3 – датчик акустической эмиссии (АЭ); 4 – плоскопараллельные пружины для касательных перемещений индентора «вперед-назад»; 5 – плоскопараллельные пружины для нормальных перемещений индентора «вверх-вниз»; 6 – датчик глубины внедрения индентора; 7 – датчик касательной силы при царапании; 8 - платформа.

Испытанию могут подвергаться отдельные детали или специально подготовленные шлифы. Образцы перед испытаниями рекомендуется заделать в оправку диаметром не более 30 мм и высотой не более 15мм с помощью эпоксидного клея или другого быстротвердеющего состава.

При испытаниях борозды на поверхности образцов формируются в направлении действия главных напряжений при эксплуатации изделий.

После транспортировки образцов перед испытаниями их выдерживают при комнатной температуре не менее 30 мин.

Для испытываемых материалов необходимо: на основе известного химического состава рассчитать молярный объем V_m (мм³/моль); оценить энергию активации пластической деформации материала в отожженном (начальном) u_n , а также в критическом u^* состояниях (кДж/моль). Погрешность оценки указанных величин не более $\pm 5\%$. Оценку критического значения энергии активации пластической деформации u^* производят возле краев усталостной трещины, образовавшейся при эксплуатации или выращенной искусственно при усталостных испытаниях.

В завершении анализа проблем, возникающих при прогнозировании износостойкости и долговечности материалов на основе нового структурно-энергетического подхода, следует особо подчеркнуть необходимость учета многомасштабности разрушения материалов при различных видах изнашивания, подчиняющихся синергетическим особенностям возникающих диссипативных структур и закономерностям фрактальной механики разрушения. Все это позволяет не только обобщить и упорядочить накопленный банк данных, но и создать основу для разработки расчетных методов прогнозирования надежности технических средств, используемых в различных отраслях промышленности.

Рентгеноструктурный анализ

В данном разделе рассмотрен метод рентгеноструктурного анализа, применяемого для полной аттестации кристаллической структуры, анализа дефектов и фазового состава материалов. Рассмотрены основные экспериментальные методы и особенности применения для исследования материалов. Рентгеноструктурный анализ (РСА) основан на явлении дифракции рентгеновских лучей, открытом Максом фон Лауэ в 1912 г. Методами РСА по дифракционным картинам, возникающим при рассеянии рентгеновских лучей кристаллическими веществами, можно изучать расположение атомов в этих веществах, процессы, связанные с перестройкой атомов в кристаллах. Можно исследовать диаграммы состояний систем, определять внутренние напряжения, размеры кристаллитов, виды и количество дефектов структуры. Задачи, решаемые методом:

1. Определение периода идентичности при вращении монокристалла.
2. Определение числа атомов в элементарной ячейке.
3. Определение типа твердого раствора
4. Определение коэффициента термического расширения

и в разных фазах композиционного материала.

5. Фазовый анализ и изучение диаграмм состояний При сплавлении различных компонентов возможно формирование различных фаз, наличие которых легко определить с помощью рентгеноструктурного анализа. Если при получении рентгенограммы на ней присутствует только одна система линий, то мы имеем твердый раствор с неограниченной растворимостью. В случае эвтектического типа на рентгенограмме появляются две системы линий в двухфазной области и изменение интенсивности, а в однофазной области имеем только изменение параметров. В случае диаграммы с промежуточной фазой на рентгенограмме она имеет свою собственную систему линий.

6. Исследование границ растворимости Существует два метода: 1. Метод исчезающей фазы. В этом методе измеряют интенсивность рентгеновских линий при различных концентрациях в сплаве для разных температур; далее проводят экстраполяцию на нулевое значение интенсивности. 2. Метод определения изменения периодов решетки. Это метод более точный. В данном случае измеряют параметр решетки (межплоскостное расстояние), который меняется при легировании. Далее проводят интерполяцию, а точка пересечения линий определяет границу растворимости.

7. Методы исследования границ растворимости и установление наличия фаз в исследуемом образце, их идентификация (качественный анализ) и определение относительного содержания (количественный анализ). Качественно фазовый анализ основан на том, что от каждого химического соединения (сплава) на рентгенограмме возникает своя система линий. Набор измеренных относительных интенсивностей линий и межплоскостных расстояний $\{hkl, dhkl\}$ называют «рентгеновской характеристикой вещества». Три самые сильные линии – «реперные». Методы количественного фазового анализа основаны на том, что соотношение интенсивностей линий каждой фазы не зависит от других веществ, присутствующих в образце, но пропорциональна содержанию этой фазы.

Все разработанные до настоящего времени методы основаны либо на устранении, либо на учете причин, вызывающих отклонение от прямой пропорциональности между интенсивностью и объемной долей фазы в смеси.

Методы количественного анализа Метод гомологических пар Используется для двухфазных систем, в которых коэффициенты поглощения фазы и смеси примерно одинаковы (также для трехфазной смеси, если количество третьей фазы менее 5 %). Этот случай реализуется, например, в аустенитно-мартенситных сталях.

Рентгенографическое определение внутренних напряжений в материалах

Металлический образец, если к нему приложить напряжение, превосходящее предел упругости, пластически деформируется. При этом изменяются и другие физические и физико-химические свойства металла. С увеличением степени пластической деформации

повышается внутренняя энергия металла, искажается его кристаллическая структура, меняются свойства: металл упрочняется, понижается сопротивление коррозии, увеличивается скорость диффузии и фазовых превращений, понижается плотность, появляется анизотропия свойств, связанная с предпочтительной ориентацией кристаллитов (текстурой). Различают следующие типы внутренних напряжений, отличающихся объемами, в которых они уравниваются.

1. Макронапряжения (зональные напряжения, напряжения I рода). Эти напряжения уравниваются в объеме всего образца или изделия. Они имеют ориентацию, связанную с формой изделия. При наличии макронапряжений удаление какой-либо части детали приводит к нарушению равновесия между остальными ее частями, что вызывает деформирование (коробление и растрескивание) изделия. Разрушение происходит большей частью под действием растягивающих напряжений. Сжимающие напряжения (их можно создавать специальными технологическими процессами) снижают чувствительность материала к концентраторам напряжений и повышают усталостную прочность материала.

2. Микронапряжения (микроискажения, напряжения II рода). Эти напряжения уравниваются в пределах отдельных кристаллов или блоков и могут быть как неориентированными, так и ориентированными (в направлении усилия, производящего пластическую деформацию).

3. Статические искажения решетки. Уравниваются в пределах небольших групп атомов. В деформированных металлах статические искажения уравниваются в группах атомов, лежащих у границ зерен, плоскостей скольжения и т. д. Такие искажения могут быть связаны с дислокациями. Смещения атомов из идеальных положений (узлов решетки) могут также возникать в кристаллах твердого раствора из-за различия размеров атомов и химического взаимодействия между одноименными и разноименными атомами, образующими твердый раствор. При наличии микронапряжений и статических искажений удаление части тела не приводит к их перераспределению. Напряжения разных типов приводят к различным изменениям рентгенограмм и дифрактограмм, что позволяет изучать внутренние напряжения рентгенографическими методами.

Макронапряжения вызывают сдвиг интерференционных линий, особенно заметный под большими брэгговскими углами. Микронапряжения приводят к уширению линий. Наибольшее изменение ширины интерференционных линий наблюдают при больших брэгговских углах. Ориентированные микронапряжения могут также вызывать смещение линий. При наличии статических искажений, связанных со смещениями атомов из идеальных положений, уменьшается интенсивность интерференционных линий и возрастает диффузный фон. Эффект уменьшения интенсивности особенно заметен для линий с большими индексами. Дефекты в кристаллах, связанные с микронапряжениями и статическими искажениями, делятся на два класса: ограниченные и бесконечно большие в одном или в двух направлениях. Дефекты относятся к первому классу, если создаваемые ими смещения убывают с расстоянием, как $1/r^2$ (или быстрее), и ко второму классу, если смещения убывают, как $1/r^{2/3}$ (или медленнее). Прямолинейные дислокации, проходящие через весь кристалл, являются бесконечно протяженными дефектами и вызывают уширение линий. К этому эффекту приводят также хаотически распределенные по кристаллу дефекты упаковки или системы дислокаций, образующие границы блоков в бесконечном кристалле. При рассеянии рентгеновских лучей поликристаллическими образцами может также наблюдаться эффект уширения линий, связанный с флуктуациями числа дефектов в различных кристаллитах. Определение макронапряжений. Макронапряжения возникают при неоднородном нагреве или охлаждении (например, при сварке, огневой резке), в процессе холодной прокатки или правки готовых изделий, в результате структурных превращений, при химической и механической обработке поверхности (точении, шлифовке, полировке), а также при нанесении электролитических покрытий. Контроль макронапряжений имеет важное значение в практике, так как

позволяет значительно повышать надежность изделий в эксплуатации. Рентгенографический метод определения макронапряжений основан на точном измерении периодов решетки. Исследование проводится без разрушения изделий, напряжения определяются в очень тонком поверхностном слое металла. Однако рентгенографический метод исследования позволяет получить сведения о напряженном состоянии только определенным образом ориентированных кристаллитов, в то время как механические методы дают средние величины деформации для всех зерен металла. По этой причине результаты, полученные механическими и рентгенографическими методами, не всегда совпадают. Рентгенографические методы позволяют изучать напряжения на очень небольшой площади и, следовательно, устанавливать распределение напряжений по образцу. С помощью этих методов можно исследовать металлы как в линейно-напряженном, так и в плосконапряженном состоянии. Линейно-напряженное состояние. При теоретическом рассмотрении условий отражения монокристаллических рентгеновских лучей от узловых плоскостей в линейно-напряженном поликристаллическом агрегате показано, что его упругая деформация должна приводить к смещению линий на рентгенограммах, полученных методом порошков. Определение напряжений в рассматриваемом случае производится с помощью двух рентгенограмм с напряженного и ненапряженного образцов.

Как указано выше, микронапряжения возникают вследствие: 1) пластической деформации поликристаллов; 2) неоднородности поля температур (разные КТР у разных фаз); 3) распада твердых растворов (некогерентность решеток); 4) локальных структурных превращений (например, цементация). Микроискажения приводят к уширению рентгеновских линий, которое может быть охарактеризовано величиной $\Delta d/d$, где Δd – максимальное отклонение межплоскостного расстояния от среднего значения. Ранее было показано, что $\Delta d/d = -\operatorname{ctg}\theta \Delta\theta$, т. е. эффект уширения линий растет с увеличением брэгговского угла.

Статические искажения Статические искажения кристаллической решетки, возникающие вокруг дислокаций, вокруг внедренных атомов и вокруг вакансий также приводят к уширению рентгеновских линий. Рентгенографическое определение величины кристаллитов Некоторые кристаллиты в поликристалле оказываются ориентированными под брэгговскими углами. Каждый из таких кристаллитов дает на дебаеграмме отражение в виде точки или двух точек, отвечающих дублету $K\alpha_1, 2$ под большими брэгговскими углами. При размерах кристаллитов $L < 10^{-3}$ см эти точки сливаются в сплошные интерференционные линии. В случае же крупнокристаллического образца с размерами зерен $L > 10^{-3}$ см интерференционные линии имеют точечную структуру. Число точек на этих линиях пропорционально вероятности нахождения кристаллита в отражающем положении и числу кристаллитов в освещенном объеме, которое зависит от их размеров. Для исследования тонких образцов можно использовать метод съемки на просвет (образец не должен иметь текстуры). Пучок рентгеновских лучей должен иметь известное сечение S , чтобы можно было определить облучаемый объем V , который равен Sd , где d – толщина образца.

Для исследования массивных образцов применяют метод съемки на отражение (обратной съемки). Облучаемый объем образца V не может быть определен непосредственно, так как он зависит от максимальной глубины d , на которую проникает излучение, способное выйти из образца после отражения от кристаллографических плоскостей (hkl) кристаллитов. Для преодоления этой трудности предложен метод двойных экспозиций. От образца получают две рентгенограммы с экспозициями t_0 и t_1 . Экспозиция t_1 мала, и поэтому в отражении принимают участие лишь кристаллиты, расположенные на поверхности образца и близко к ней. Экспозиция t_0 более длительная, вследствие чего на рентгенограмме регистрируются отражения от кристаллитов, находящихся на большей глубине. Затем производят сравнение полученных рентгенограмм и подсчитывают разность Δn числа пятен на обеих рентгенограммах с почернением, превышающим

определенную величину D_0 (для одной и той же линии с индексами hkl). Вероятность отражения кристаллов равна $Whkl = [p(\gamma + \Delta\varphi)\cos\Theta]/2$, (67) где $\Delta\varphi$ — дополнительная угловая ширина отраженного пучка, связанная с мозаичностью зерен, дифракционным уширением, естественной шириной спектральной линии и другими факторами. Для определения величины кристаллов малых размеров часто используют уширение дифракционных линий. Однако надо помнить, что найденная таким образом величина — это размер кристалла, а не размер частицы, так как частица может состоять из нескольких микрокристаллов.

Электронная микроскопия

Чтобы понять поведение материалов и облегчить задачу создания новых материалов или материалов с улучшенными свойствами, их состав и микроструктура должны быть изучены при возможно более высоком разрешении. Такое исследование материалов требует сложных и совершенных методик анализа, включая микроскопические, дифракционные и спектрографические исследования. Это делает электронную микроскопию незаменимым методом, обеспечивающим все потребности физического и химического анализа. Используется два основных вида рассеяния: а) упругое — взаимодействие электронов с полем эффективного потенциала ядер, при котором не происходит энергетических потерь и которое может быть когерентным или некогерентным; б) неупругое — взаимодействие электронов пучка с электронами образца, при котором происходят энергетические потери, и имеет место поглощение. Дифракция электронов была открыта в 1927 г. К. Девиссоном и Л. Джермером. Если рентгеновские лучи рассеиваются электронами атомов, т. е. они чувствительны к распределению электронной плотности в веществе, то электроны рассеиваются под действием электрического поля электронов и атомных ядер. При этом интенсивность рассеяния почти в 10^6 раз выше, чем у рентгеновского излучения. Поэтому для получения дифракционной картины равной интенсивности следует брать образцы намного более тонкие — 10^{-7} ... 10^{-5} см при работе на просвет, а при работе на отражение изучаемая глубина составляет 3...20 нм.

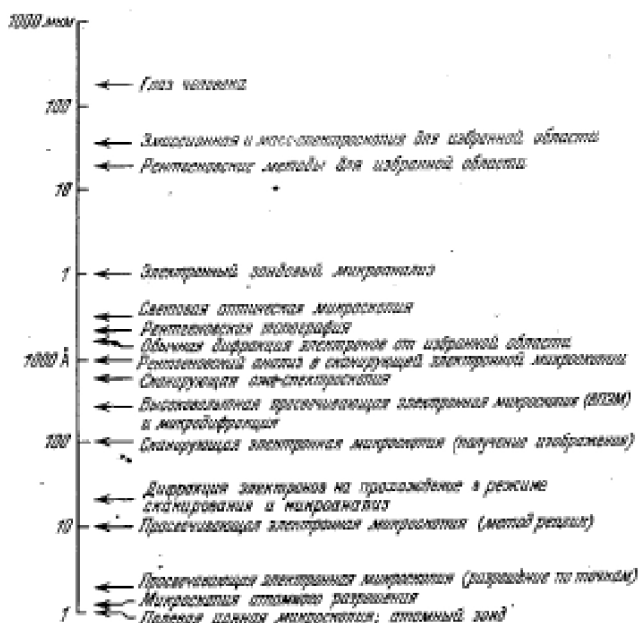


Рис.4. Пределы пространственного разрешения при исследовании материалов

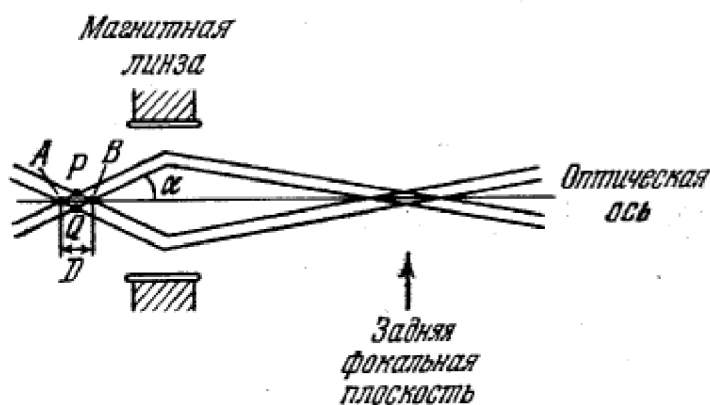


Рис.5 – Глубина поля и глубина резкости электронных линз

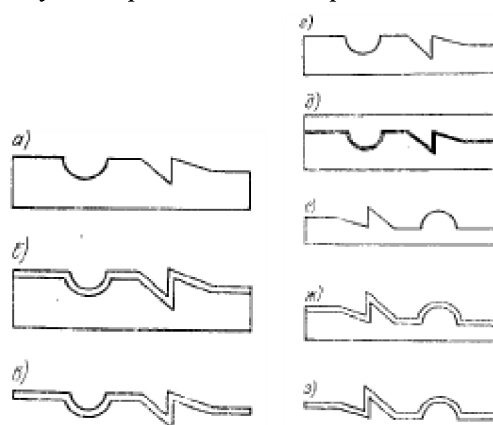


Рис.6. Схемы получения реплик с поверхности образцов

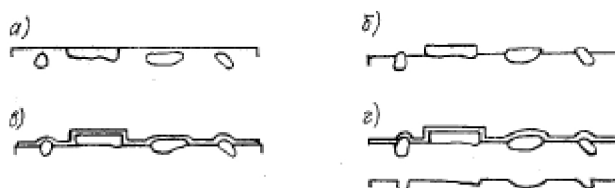


Рис.7 Реплики с экстракцией частиц

Приготовление образцов для электронной микроскопии

Образец обычно представляет собой диск диаметром 3 мм. Участок для исследования должен иметь толщину 10...100 нм и площадь, не превышающую несколько десятков квадратных микрон, поскольку увеличение достигает 20000х. Получение столь тонких образцов представляет существенные технические трудности.

Методы, используемые для получения образцов для электронной микроскопии.

1. Реплики с поверхностей объемных образцов.
2. Скалывание тонких слоев.
3. Микротомия (сверхтонкие срезы).
4. «Отбор» малых частиц.
5. Испарение материалов с осаждением на подложку.
6. Осаждение с помощью химической реакции из жидкой или газовой фазы.
7. Утонение (химическое, электрохимическое, ионное).

Реплики – это слепок с поверхности образца, полученный с помощью углеродной пленки. Реплик бывают одноступенчатые, двухступенчатые, оттененные; реплики с экстракцией рис. 6 и 7.

Электролитическая полировка. Она применяется для электропроводных образцов. Для получения качественного образца первоначально необходимо построить вольт-амперную

диаграмму процесса и полировку проводить в режиме «плато» (участок А–Б). Рекомендуется охлаждать раствор для лучшего контроля процесса.

Ионное утонение (распыление) Ионы, летящие с энергией 3...6 кэВ, проникают вглубь на несколько нанометров, выбивая один или несколько атомов. Коэффициент распыления зависит от соотношения масс иона и атомов мишени, энергии иона, типа структуры мишени, угла. Коэффициент распыления растет с энергией, но растет и повреждаемость образца.

Для применения всех этих методов необходимо механически подготавливать фольгу толщиной 50...100 мкм. Для этого используют: прокатку (с последующим отжигом), резку алмазным инструментом, шлифовку и полировку. К сожалению, все механические методы вносят дефекты, поэтому образец тоньше 50 мкм приготовить нельзя.

В зависимости от состояния образца электронограммы могут быть либо кольцевыми, либо точечными, рис. 48. В соответствии с этим проводят индентирование полученных электронограмм. Прежде всего, измеряют радиус (диаметр) получившегося кольца или расстояние от центра электронограммы до какого-либо пятна. Зная постоянную прибора, легко рассчитать межплоскостное расстояние, соответствующее данному кольцу или пятну. Как и в случае с индентированием рентгенограмм, его начинают с самой симметричной структуры – кубической. Используют метод отношений для определения индексов Миллера.

Растровая электронная микроскопия

Раздел посвящен изучению растровой электронной микроскопии. Здесь даны принцип работы, области применения метода при исследовании материалов. Рассмотрен микрорентгеноспектральный анализ материалов. Получение информации об исследуемых объектах с помощью электронного зонда возможно на основе физических явлений, возникающих при взаимодействии электронов с веществом объекта. При взаимодействии электронов с веществом, как показано на рисунке, появляется много вторичных излучений. Падающий электронный пучок может быть поглощен, упруго рассеян, может пройти через вещество, испытав при этом дифракцию, возбудить рентгеновское излучение, вызвать появление низкоэнергетичных вторичных и Оже-электронов.

Принцип работы РЭМ основан на движении тонкого электронного луча (зонда) вдоль поверхности образца вдоль близко расположенных друг к другу линий, образующих растр. Способ получения изображения во вторичных электронах в РЭМ является наиболее распространенным. Сам процесс формирования изображения в растровом микроскопе подобен процессу формирования оптического изображения, видимого в оптическом микроскопе. Это обуславливает сходство по внешнему виду изображений, полученных в РЭМе, и в оптическом микроскопе. Следует отметить, что световые лучи, формирующие изображение, распространяются по прямым линиям, в то время как вторичные электроны могут достигать детектора по искривленным траекториям. Таким образом, для формирования изображения в РЭМе важны не пути электронов к детектору, а только количество электронов, попадающих на детектор от данной точки объекта.

Наряду с прикладным значением Э. м. является самостоятельным научным направлением, предмет и цели которого включают: усовершенствование и разработку новых МЭ и других корпускулярных микроскопов (например, протонного микроскопа) и приставок к ним; разработку методик препарирования образцов, исследуемых в МЭ; изучение механизмов формирования электроннооптических изображений; разработку способов анализа разнообразной информации (не только изображений), получаемой с помощью МЭ.

Объекты исследований в Э. м. — большей частью твердые тела. В просвечивающих МЭ (ПЭМ), в которых электроны с энергиями от 1 кэВ до 5 МэВ проходят сквозь объект, изучаются образцы в виде тонких пленок, фольги (рис. 8), срезов

и т. п. толщиной от 1 нм до 10 мкм. Поверхностную и приповерхностную структуру массивных тел с толщиной существенно больше 1 мкм исследуют с помощью непросвечивающих МЭ: растровых (РЭМ) (рис. 9), зеркальных, ионных проекторов и электронных проекторов.

Можно изучать порошки, микрокристаллы, частицы аэрозолей и т. д., нанесённые на подложку: тонкую плёнку для исследования в ПЭМ или массивную подложку для исследования в РЭМ. Поверхностная геометрическая структура массивных тел изучается и методом реплик: с поверхности такого тела снимается отпечаток в виде тонкой плёнки углерода, коллодия, формвара и др., повторяющий рельеф поверхности и рассматриваемый в ПЭМ. Обычно предварительно на реплику в вакууме напыляется под скользящим (малым к поверхности) углом слой сильно рассеивающего электроны тяжёлого металла (например, Pt), оттеняющего выступы и впадины геометрического рельефа. При исследовании методом так называемого декорирования не только геометрической структуры поверхностей, но и микрополей, обусловленных наличием дислокаций (рис. 10), скоплений точечных дефектов, ступеней роста кристаллических граней, доменной структуры и т. д., на поверхность образца вначале напыляется очень тонкий слой декорирующих частиц (атомы Au, Pt и др., молекулы полупроводников или диэлектриков), осаждающихся преимущественно на участках сосредоточения микрополей, а затем снимается реплика с включениями декорирующих частиц.

Специальные газовые микрокамеры — приставки к ПЭМ или РЭМ — позволяют изучать жидкие и газообразные объекты, неустойчивые к воздействию высокого вакуума, в том числе влажные биологические препараты. Радиационное воздействие облучающего электронного пучка довольно велико, поэтому при исследовании биологических, полупроводниковых, полимерных и т. п. объектов необходимо тщательно выбирать режим работы МЭ, обеспечивающий минимальную дозу облучения.

Наряду с исследованием статическим, не меняющихся во времени объектов Э. м. даёт возможность изучать различные процессы в динамике их развития: рост плёнок, деформацию кристаллов под действием переменной нагрузки, изменение структуры под влиянием электронного или ионного облучения и т. д. (исследования «in situ»). Вследствие малой инерционности электрона можно исследовать периодические во времени процессы, например перемагничивание тонких магнитных плёнок, переполаризацию сегнетоэлектриков, распространение ультразвуковых волн и т. д., методами стробоскопической Э. м.: электронный пучок «освещает» образец импульсами, синхронными с подачей импульсного напряжения на образец, что обеспечивает фиксацию на экране прибора определенной фазы процесса точно так же, как это происходит в светооптических стробоскопических приборах (рис. 11). Предельное временное разрешение при этом может, в принципе, составлять около 10^{-15} сек для ПЭМ (практически реализовано разрешение Электронная микроскопия 10^{-10} сек для ПЭМ и РЭМ).

Для интерпретации изображений аморфных и других тел (размеры частиц которых меньше разрешаемого в МЭ расстояния), рассеивающих электроны диффузно, используются простейшие методы амплитудной Э. м. Например, в ПЭМ контраст изображения, т. е. перепад яркостей изображения соседних участков объекта, в первом приближении пропорционален перепаду толщин этих участков. Для расчёта контраста изображений кристаллических тел (рис. 12), имеющих регулярные структуры (при рассеянии частиц на таких телах происходит дифракция частиц, и решения обратной задачи — расчёта структуры объекта по наблюдаемому изображению — привлекаются методы фазовой Э. м.: решается задача о дифракции электронной волны на кристаллической решетке. При этом дополнительно учитываются неупругие взаимодействия электронов с объектом: рассеяние на плазмах, фонах и т. п. В ПЭМ и растровых ПЭМ (ПРЭМ) высокого разрешения получают изображения отдельных молекул или атомов тяжелых элементов; пользуясь методами фазовой Э. м.,

восстанавливают по изображениям трехмерную структуру кристаллов и биологических макромолекул. Для решения подобных задач применяют, в частности, методы голографии, а расчеты производят на ЭВМ.

Разновидность фазовой Э. м. — интерференционная Э. м., аналогичная оптической интерферометрии: электронный пучок расщепляется с помощью электронных призм, и в одном из плеч интерферометра устанавливается образец, изменяющий фазу проходящей сквозь него электронной волн. Этим методом можно измерить, например, внутренний электрический потенциал образца.

С помощью лоренцовой Э. м., в которой изучают явления, обусловленные силой Лоренца, исследуют внутренние магнитные и электрические поля или внешние поля рассеяния, например поля магнитных доменов в тонких пленках (*рис. 13*), сегнетоэлектрических доменов, поля головок для магнитной записи информации и т. п.

Состав объектов исследуется методами микродифракции, т. е. электронографии локальных участков объекта, рентгеновского и катодолюминисцентного спектрального микроанализа: регистрируются характеристические рентгеновские спектры или катодолюминисцентное излучение, возникающее при бомбардировке образца сфокусированным пучком электронов (диаметр электронного «зонда» менее 1 *мкм*). Кроме того, изучаются энергетические спектры вторичных электронов, выбитых первичным электронным пучком с поверхности или из объема образца.

Интенсивно разрабатываются методы количественной Э. м. — точное измерение различных параметров образца или исследуемого процесса, например измерение локальных электрических потенциалов (*рис. 14*), магнитных полей (*рис. 15*), микрогеометрии поверхностного рельефа и т. д. МЭ используются и в технологических целях (например, для изготовления микросхем методом фотолитографии).

Литература.

1. Хокс П., Электронная оптика и электронная микроскопия, пер. с англ., М., 1974;
2. Стоянова И. Г., Анашкин И. Ф., Физические основы методов просвечивающей электронной микроскопии, М., 1972;
3. Утевский Л. М., Дифракционная электронная микроскопия в металловедении, М., 1973;
4. Электронная микроскопия тонких кристаллов, пер. с англ., М., 1968;
5. Спивак Г. В., Сапарин Г. В., Быков М. В., Растровая электронная микроскопия, «Успехи физических наук», 1969, т. 99, в. 4;
6. Вайнштейн Б. К., Восстановление пространственной структуры биологических объектов по электронным микрофотографиям, «Изв. АН СССР. Сер. физическая», 1972, т. 36, № 9;
7. Quantitative scanning electron microscopy, L. — N. Y. — S. F., 1974.

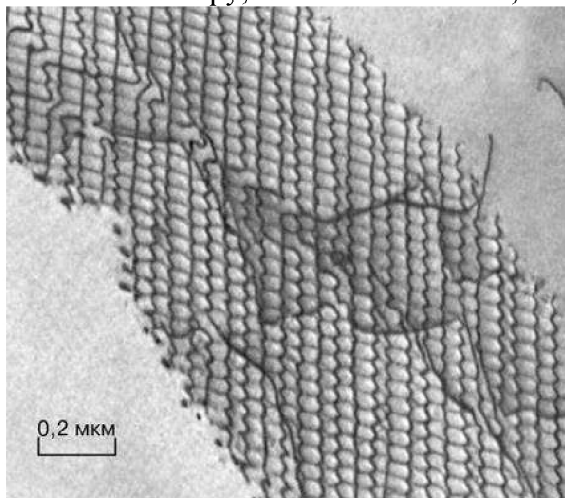


Рис. 8. Полученное в просвечивающем электронном микроскопе изображение сетки дислокаций на границах зёрен в тонкой молибденовой фольге, деформированной при высокотемпературном нагреве.

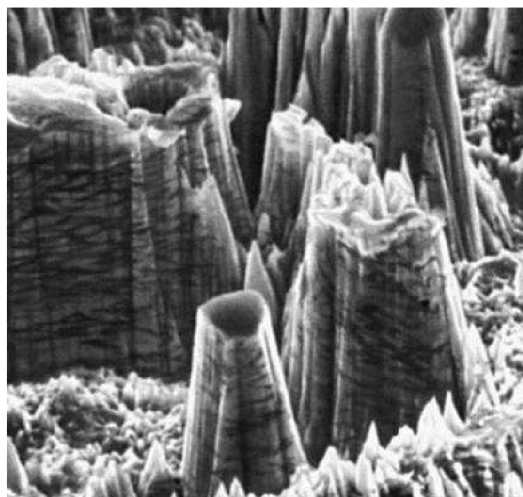


Рис. 9. Изображение предварительно отполированной, а затем подвергнутой ионной бомбардировке поверхности монокристалла меди. Снято в растровом электронном микроскопе. Увеличение 3000.

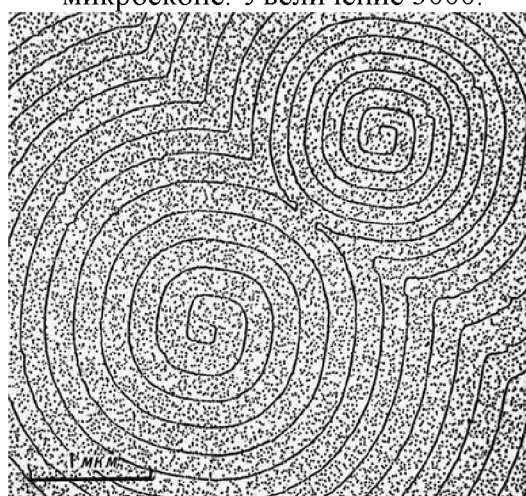


Рис. 10. Винтовые дислокации на поверхности кристалла NaCl, подвергнутого термическому травлению при температуре 500 °С. Изображение получено методом декорирования.

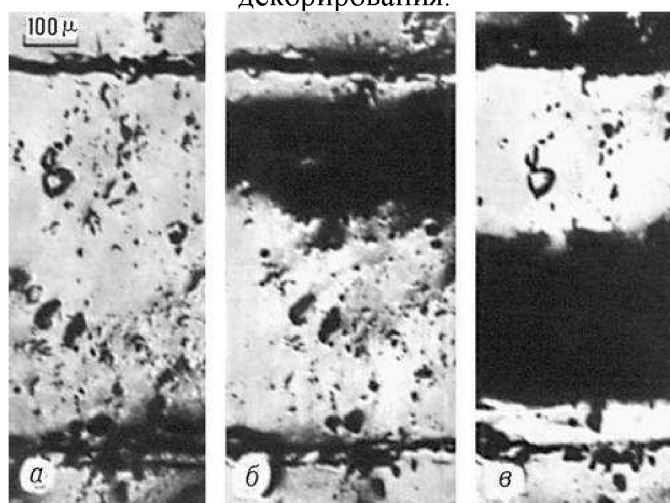


Рис. 11. Изображения поверхности кремниевого полупроводникового диода, полученные в стробоскопическом эмиссионном электронном микроскопе: а — напряжение на диоде отсутствует; б — на диод подано запирающее напряжение 40 в, появившаяся тёмная область — падение напряжения на р — n-переходе; в — кратковременное (менее 40 нсек) прямое падение напряжения (широкая тёмная область) на базе диода при переключении его в состояние, при котором он «отперт».

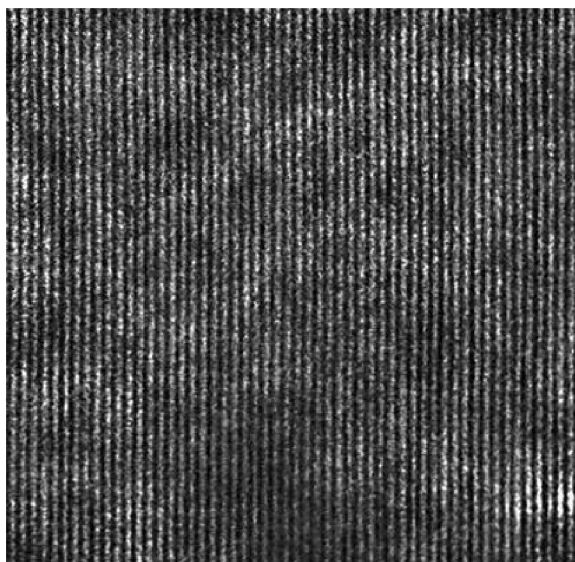


Рис. 12. Изображение атомной решётки плёнки золота. Расстояние между кристаллографическими плоскостями $2,04 \text{ \AA}$. Снято в просвечивающем электронном микроскопе ЭМВ-100Л при электроннооптическом увеличении 350000 с последующим оптическим увеличением снимка.

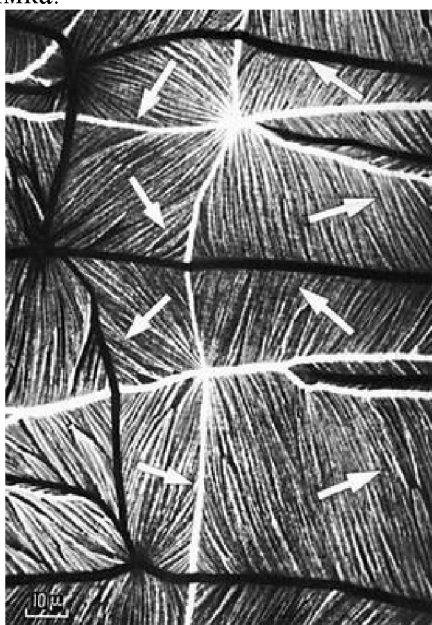


Рис. 13. Изображение доменной структуры тонкой однородной по толщине пермаллоевой плёнки. Снято в просвечивающем электронном микроскопе при дефокусировке изображения (метод лоренцевой электронной микроскопии). Светлые и тёмные узкие полосы — границы доменов. Видна «рябь» намагниченности, возникающая вследствие малых изменений направлений векторов намагниченности (отмечены стрелками) внутри доменов.

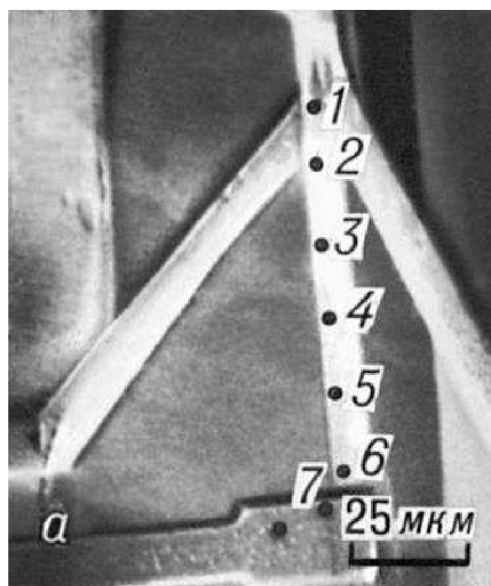


Рис. 14. Полученное с помощью растрового электронного микроскопа изображение участка интегральной микросхемы.

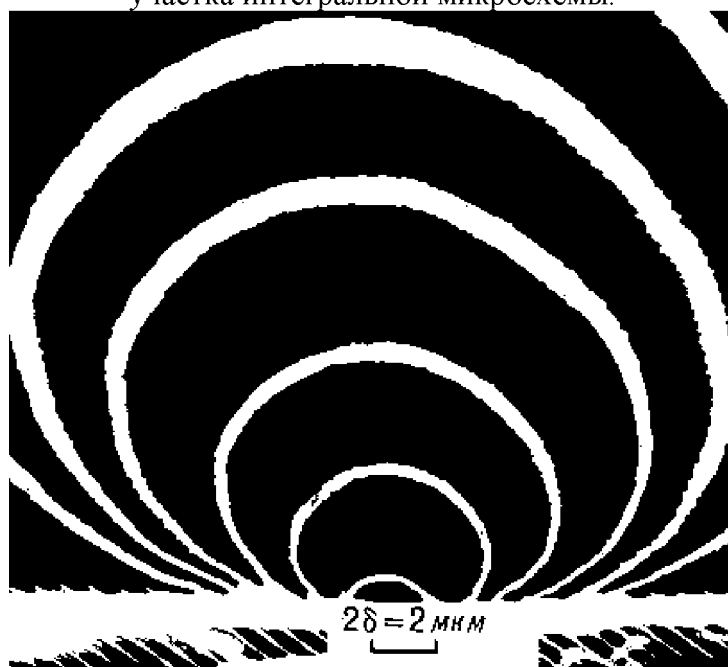


Рис. 15. Изображение линий равной напряженности поля (от 25 до 150 гс через 25 гс) над зазором магнитной головки (ширина зазора $2\delta = 2$ мкм) для магнитной записи информации. Получено в растровом электронном микроскопе со специальной приставкой.

Нейтронография

В этом разделе изучается нейтронография. Приведена сравнительная характеристика метода по отношению к рентгенографии, рассмотрены различные области применения метода. В настоящее время в связи с развитием реакторостроения начала успешно развиваться новая область науки — нейтронография, использующая явление дифракции нейтронов на кристаллических веществах. Нейтронография не может полностью заменить рентгеноструктурный анализ, так как уступает последнему по разрешающей способности, но в некоторых случаях позволяет получить данные, которые не могут быть получены с помощью рентгеноструктурного анализа. Взаимодействие нейтронов с веществом имеет следующие особенности: • для движущегося со скоростью V нейтрона его длина волны может быть выражена как: $\lambda = h/mV = h/p = h/2mV$ — длина волны частицы де Бройля, где V — скорость, p — импульс, E — кинетическая энергия

частицы; $\lambda = 0,287/E$ (где E измерено в электронвольтах, длина волны в ангстремах). При взаимодействии потока нейтронов с веществом существует два вида рассеяния: а) Ядерное рассеяние в поле ядерных сил. Оно определяется амплитудой рассеяния для ядра с нулевым спином и двумя независимыми амплитудами для ядер, обладающих спином (вверх и вниз). б) Магнитное рассеяние. Нейтрон взаимодействует с магнитным моментом атома. Сечение взаимодействия, кроме того, зависит от изотопа.

Взаимодействие нейтронов с веществом имеет следующие особенности:

1. Нейтроны мало поглощаются веществами: в тяжелых веществах поглощение нейтронов в 104 раз меньше, чем рентгеновских лучей. Однако поглощение нейтронов в некоторых веществах, например в В и Cd велико.
2. Рассеяние рентгеновских лучей растет с увеличением атомного номера вещества, интенсивность рассеянных лучей зависит от брэгговского угла. Нейтроны практически одинаково рассеиваются под всеми углами Θ , и строгая зависимость рассеяния от атомного номера (фактор Лоренца) отсутствует. Интегральное сечение рассеяния σ_s связано с амплитудой рассеяния f соотношением: $\sigma_s = 4\pi f^2$. Некоторые легкие вещества рассеивают нейтроны так же эффективно, как и тяжелые, а иногда обнаруживаются значительные различия в рассеянии соседними элементами. Часто значительно различается рассеивающая способность изотопов одного и того же элемента. Водород и углерод рассеивают нейтроны почти так же, как и тяжелые элементы.
3. Рассеяние нейтронов вызывается их взаимодействием с ядрами рассеивающего вещества (а не с электронами, как у рентгеновских лучей). Однако, если строение электронной оболочки таково, что атом обладает постоянным магнитным моментом (у элементов с недостроенной электронной оболочкой), то вследствие наличия у нейтрона собственного магнитного момента будет наблюдаться диполь-дипольное взаимодействие, которое сравнимо и во многих случаях может даже превосходить взаимодействие нейтрона с ядром. Таким образом, нейтронное рассеяние дает возможность получить сведения о расположении магнитных моментов атомов в кристаллах. Эти данные нельзя получить с помощью рентгеноструктурного анализа.

Области применения нейтронографии

С помощью нейтронографии успешно проводят следующие исследования:

1. Изучение кристаллической структуры веществ, содержащих атомы легких элементов, наряду с тяжелыми атомами (водорода в гидриде циркония, углерода в аустените и др.), а также структур из легких элементов (льда, гидрида натрия, дейтерида натрия, графита). Такие структуры нельзя исследовать с помощью рентгеновских лучей из-за незначительного рассеяния их легкими элементами. На рентгенограммах дифракционные максимумы почти полностью обусловлены рассеянием на тяжелых атомах, тогда как на нейтронограмме они возникают и за счет рассеяния легкими атомами.
2. Исследование упорядочения в системах с близкими атомными номерами. С помощью рентгеновских лучей невозможно изучить, например, систему Fe-Co, так как интенсивность основных (структурных) отражений пропорциональна структурному множителю: $F_{c2} = 16[f_{Fe} + f_{Co}]^2 \sim 45000$, а интенсивность сверхструктурных линий: $F_{sc2} = 16[f_{Fe} - f_{Co}]^2 \sim 16$, т. е. $F_{c2}/F_{sc2} \approx 2800$.

Естественно, что такие слабые сверхструктурные отражения на рентгенограмме зарегистрировать не удастся. Так как амплитуды нейтронного рассеяния для Fe и Co резко различаются: $f_{Fe} = 0,96 \cdot 10^{12}$ см, $f_{Co} = 0,28 \cdot 10^{12}$ см, отношение $F_{c2}/F_{sc2} \approx 3,3$ небольшое. Следовательно, на нейтронограмме структурные максимумы будут только примерно в три раза интенсивнее сверхструктурных.

3. Определение магнитных структур кристаллических веществ. Это уникальное использование дифракции нейтронов в настоящее время развилось в область науки, называемую магнитной нейтронографией. Нейтроны, благодаря собственному магнитному моменту, могут взаимодействовать с любыми магнитными моментами, локализованными в веществе, и это взаимодействие проявляется на нейтронограммах.

Для парамагнитных веществ, в которых атомные магнитные моменты распределены хаотически, рассеяние нейтронов некогерентное (диффузное) и зависит от угла рассеяния (интенсивность рассеяния убывает с увеличением угла). Из интенсивности парамагнитного рассеяния нейтронов можно определить атомный магнитный момент и радиальное распределение электронов в оболочке атома.

Нейтронографическими исследованиями установлены новые типы магнитных структур веществ – антиферромагнетики и ферромагнетики. В антиферромагнетиках магнитные моменты расположены антипараллельно, поэтому результирующий магнитный момент такого вещества равен нулю. В другом типе веществ (ферромагнетиках) намагниченность первой подрешетки превышает намагниченность второй подрешетки (нескомпенсированный антиферромагнетизм). Такие вещества называются ферритами. Они обладают большой самопроизвольной намагниченностью и широко используются в радиотехнике для изготовления сердечников катушек индуктивностей.

4. Изучение глубинных слоев материалов. Нейтроны проникают очень глубоко и удается определить предпочтительные ориентации в крупных образцах. С помощью рассеяния нейтронов удастся исследовать текстуры в крупных образцах. Например, проведен анализ текстур в образце железа толщиной 2,5 см, достаточно прозрачном для нейтронов. В отличие от рентгенографического исследования анализ ориентации оказался справедливым не только для поверхностного слоя, но и для всего объема образца. Нейтронография успешно используется для различных исследований, и области ее применения постоянно расширяются. В частности, представляет интерес исследование неупругого рассеяния нейтронов. Некоторые работы показывают, что этот эффект позволяет изучить силовое взаимодействие между атомами металла и получить численные значения силовых констант.

Лекция 5

Современные технологии инструментального производства

Современные инструментальные материалы

От назначения инструмента зависят требования, предъявляемые к механическим и эксплуатационным свойствам материалов. Нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации инструмента, зависят от технологического процесса формообразования, что определяет следующие виды инструмента: для холодного деформирования, для горячего деформирования и литья, режущие инструменты, измерительные инструменты.

Основные виды инструмента для холодной деформации: штампы вырубные, вытяжные, для деформации материала выдавливанием, для холодной штамповки, гибочные, инструменты для холодной прокатки и инструменты для холодной резки.

Инструменты для горячей деформации и литья: ковочные и прессовые штампы, инструменты для выдавливания прутков и труб, инструменты для жидкой штамповки и литья.

Сегодня в машиностроении и инструментальном производстве выделяются две тенденции. С одной стороны – увеличение требований к стойкости режущего инструмента, повышение скорости резания и производительности. После замены инструмента из быстрорежущей стали твердосплавным для операций сверления, фрезерования и точения, уделяется серьезное внимание развитию производства новых инструментальных материалов для высокоскоростной обработки с целью снижения себестоимости металлообработки. С другой стороны, новые обрабатываемые материалы, включая композитные кевлары и углепластики, предъявляют более новые требования к режущему инструменту. Требуются новые инструментальные материалы с повышенными физико-механическими свойствами и особенно с более высокой износостойкостью.

Основные факторы, влияющие на эффективность работы режущего инструмента – материал режущей части, конструкция инструмента и условия его эксплуатации. Режущая часть инструмента выполняется из инструментальной стали, твердого сплава, режущей керамики, поликристаллического алмаза или сверхтвёрдого синтетического материала (СТМ).

Оптимальная конструкция (цельный, составной, сборный) определяется его размерами, характеристиками станка, требованиями по производительности и точности изготовления деталей.

Форма режущей кромки и схема резания взаимосвязаны и формируются на основе величины снимаемого припуска, режимов резания, формы детали, способа обработки. Способы дробления и отвода стружки зависят от вида обработки (черновая, чистовая, резание в сплошном материале), свойств материала, режимов резания. Способы крепления режущих элементов и всего режущего инструмента выбираются с учетом типа инструмента, его размеров, режимов резания, вида обработки и типа станка.

Подвод в зону резания смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС) зависит от условий обработки и осуществляется в основном по двум схемам: внешний подвод СОТС и по каналам в корпусе режущего инструмента. В процессе резания из-за нестабильности сил резания возникают вибрации, что приводит к ухудшению качества обработанной поверхности. Для устранения вибраций в конструкциях инструментов применяются различного типа устройства для уменьшения амплитуды колебаний режущей кромки.

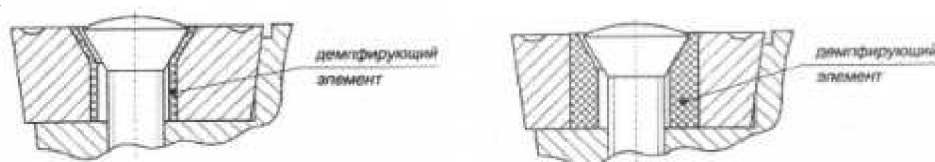


Рис. 1. Сборная СМП с демпфирующим элементом

Проблемы повышения виброустойчивости инструмента, оснащенного твердосплавными пластинами, решаются за счет применения сборных твердосплавных пластин с демпфирующими свойствами. Для этого в отверстие сменной многогранной пластины устанавливается вставка, которая может иметь различные формы в зависимости от метода и конструкции крепления пластины (рис. 1).

Материал вставки – сплавы систем Cu-Mn, Fe-Cr, Fe-Al, которые имеют высокую демпфирующую способность и низкий коэффициент линейного расширения. Таким образом, под действием переменных сил резания в стыке между механизмом крепления и пластиной демпфируются колебания (патент РФ №2323064).

Основное преимущество разработки – универсальность метода, возможность применения на сборных инструментах с креплением через отверстие твердосплавной пластины без изменения их конструкции. Демпфирующая способность вставки может подбираться под конкретные условия обработки.

Испытания демпфирования вставок из различных материалов показали уменьшение автоколебаний твердосплавной пластинки относительно корпуса инструмента от 10% до 40%.

Сборный режущий инструмент, оснащенный такими пластинами, применяется в условиях повышенных вибрационных нагрузок (обработка фасонных, резьбовых, прерывистых поверхностей, прерывистое резание и др.).

Другим направлением совершенствования сборного твердосплавного инструмента является конструирование инструментов с твердосплавными пластинами, расположенных по контуру сложного профиля детали. В зависимости от размеров исходного инструментального профиля и возможных размеров пластин, последние располагаются по контуру. На расположение и форму пластин влияет диаметр самой фрезы и количество зубьев. Пластины располагаются по контуру детали в шахматном порядке со сдвигом

относительно предыдущего ряда на некоторую величину, которая устанавливается в зависимости от требований к шероховатости изделия и количества зубьев фрезы. Пластины и их расположение возможно комбинировать по форме и размерам. Например, при стыковке криволинейного участка профиля с прямолинейным участком или при пересечении под некоторым углом двух криволинейных или прямолинейных участков профиля.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что роль режущего инструмента все больше возрастает на операциях механической обработки, характеризующихся повышенными теплосиловыми нагрузками – при высокоскоростном резании, при обработке деталей из закаленных, коррозионностойких, жаропрочных сталей и сплавов, а также различных композиционных материалов.

Постоянно идёт работа в направлении создания максимально универсальных инструментальных материалов, которые смогли бы обеспечить высокие эксплуатационные показатели металлообрабатывающего инструмента при разнообразном характере условий его эксплуатации. Современные инструментальные материалы специализированы для определенных условий работы и имеют различные физико-механические свойства – например, быстрорежущие стали характеризуются высокими прочностными свойствами, но имеют сравнительно невысокую твердость и теплостойкость, а режущая керамика, напротив, имеет высокие значения твердости и теплостойкости, но обладает низкими прочностными свойствами.

Поскольку создание нового материала является чрезвычайно дорогостоящим процессом, порой растягивающимся на десятилетия, сегодня во всем мире очень активно развивается направление, связанное с улучшением свойств поверхностных слоев режущих инструментов, изготовленных из традиционных материалов. Такой подход основан на том, что при самых разнообразных условиях работы инструмента во всех случаях наиболее нагруженным оказывается его поверхностный слой и, в первую очередь, именно его свойства определяют работоспособность инструмента в процессе механической обработки.

Практическая реализация описанного подхода достигается применением различных методов поверхностной упрочняющей обработки – нанесением покрытий (химическими, физическими и другими способами) и модификацией свойств поверхности и поверхностного слоя инструмента (химико-термической, деформационной обработкой и другими способами). Их применение позволяет существенно увеличить время до смены инструмента и решить основные задачи современного металлообрабатывающего производства – снижение себестоимости обработки с повышением точности и качества обрабатываемых деталей.

Современные инструментальные материалы: учебное пособие. / С.Н. Григорьев, В.А. Гречишников, А.Р. Маслов, А.Г. Схиртладзе. - М.: Издательский центр МГТУ «Станкин», 2011.-104 с.: ил.

Порошковые твёрдые сплавы являются инструментальными материалами, состоящими из высокотвёрдых и тугоплавких карбидов вольфрама, титана, тантала и цементирующего металла – кобальта, выполняющего роль связки. В качестве связующего материала в ряде сплавов используется также никель с молибденом. Твёрдые сплавы изготавливают методами порошковой металлургии.

Из имеющихся разнообразных способов обработки металлов порошковая металлургия занимает особое место, так как позволяет получать не только изделия различных форм и назначений, но и создавать принципиально новые материалы, которые другим путем получить или очень трудно или невозможно. У таких материалов можно получить уникальные свойства, а в ряде случаев существенно повысить экономические показатели производства. При этом способе в большинстве случаев коэффициент использования материала составляет около 100%.

Порошковая металлургия находит широчайшее применение для различных условий работы деталей изделий. Методами порошковой металлургии изготавливают изделия, имеющие специальные свойства: антифрикционные детали узлом трения приборов и машин (втулки, вкладыши, опорные шайбы и т.д.), конструкционные детали (шестерни, кулачки и др.), фрикционные детали (диски, колодки и др.), инструментальные материалы (резцы, пластины резцов, сверла и др.), электротехнические детали (контакты, магниты, ферриты, электрощетки и др.) для электронной и радиотехнической промышленности, композиционные (жаропрочные и др.) материалы.

Основные преимущества использования порошковой металлургии:

- снижает затраты на дальнейшую механическую обработку, которая может быть исключена или существенно уменьшена. Получает готовое изделие точное по форме и размерам. Обеспечивает высокое качество поверхности изделия.

- использует энерго и ресурсосберегающие технологии. Уменьшает количество операций в технологической цепи изготовления продукта. Использует более чем 97% стартового сырья. Реализует многие последующие сборочные этапы ещё на стадии спекания.

- позволяет получать изделия с уникальными свойствами, используя многокомпонентные смеси, объединяя металлические и не металлические компоненты. Изделия различной пористости (фильтры) с регулируемой проницаемостью; Подшипники скольжения с эффектом самосмазывания.

- получает более высокие экономические, технические и эксплуатационные характеристики изделий по сравнению с традиционными технологиями.

- упрощает зачастую изготовление изделий сложной формы.

- обеспечивает прецизионное производство. Соответствие размеров в серии изделий.

Режущий керамический инструмент характеризуется высокой твёрдостью, в том числе при нагреве, высокой износостойкостью, химической инертностью к большинству металлов в процессе резания. При изготовлении режущего инструмента используется керамика на основе оксида алюминия с добавками диоксида циркония, карбидов и нитридов титана, а также на основе бескислородных соединений – кубический нитрид бора β -BN и нитрид кремния Si_3N_4 .

В обеспечении прочности эксплуатационных характеристик изделия ведущая роль принадлежит свойствам его поверхности. Получение поверхности с высокими функциональными параметрами требует, как правило, дополнительной обработки с использованием комбинированного энергетического и физико-химического воздействия.

Улучшение свойств поверхностного слоя достигается поверхностной термической обработкой (закалкой ТВЧ), ХТО, лазерным термоупрочнением и наплавкой, плазменным термоупрочнением и наплавкой, ХТО с лазерным воздействием или с последующей лазерной или плазменной закалкой, нанесением тонких плёнок.

Это позволяет повысить стойкость инструментов в 1,5-3 раза и более при следующих условиях:

1. видоизменённый слой прочно связан с матричным металлом и имеет более высокую твёрдость, теплостойкость, коррозионную стойкость, лучшие антифрикционные свойства, чем подложка.
2. учитывается характер износа, переточки и сечение инструментов
3. учитывается вид действующих нагрузок (статические, динамические, знакопеременные).

Обработка целесообразна для инструментов, сохраняющих улучшенный слой после преточки полностью (резьбовые, червячные фрезы, долбяки, протяжки, фасонные резцы, метчики и другие) и частично (свёрла, зенкеры, многие виды штампов).

Не следует применять традиционную ХТО для повышения твёрдости поверхности инструментов небольшого диаметра (до 5 мм) или с очень тонкой кромкой, чтобы не вызвать излишней хрупкости.

Повышение стойкости таких инструментов, например, свёрл, достигается, если карбонитрированный или другой упрочнённый слой создаётся только на главных гранях инструмента. Для этого до поведения насыщения на инструмент наносят защитный слой цинкового, а затем медногальванического покрытия (толщиной по 0,01 мм каждого), снимаемого с режущих граней перед упрочняющей обработкой.

Выбор способа упрочнения поверхности обусловлен не только требованиями, предъявляемыми к поверхностному слою, но и температурой, при которой выполняется эта обработка, и теплостойкостью инструментальной стали.

Перечислим основные виды ХТО:

- азотирование (традиционное и ионное),
- нитроцементация (в том числе вакуумная),
- сульфазотирование
- оксидирование
- хромофосфатирование
- цементация
- борирование
- хромирование

К перспективным процессам упрочнения относятся плазменные технологии, которые могут производиться по двум направлениям:

1. получение необходимой структуры и свойств поверхности плазменной закалкой ПЗ (без изменения состава материала)

2. создание поверхностного слоя с новым химическим составом и структурой, отличающейся от материала основы.

Сущность ПЗ состоит в высокоскоростном нагреве потоком плазмы поверхностного слоя металла и быстром его охлаждении в результате передачи тепла в глубинные слои материала детали. Толщина упрочнённого слоя около 2 мм, средняя ширина закалённой зоны 6-12 мм. Плазменной закалке подвергаются многие материалы: инструментальные стали, твёрдые сплавы, стали после ХТО.

Для получения плазменных порошковых покрытий используются три основные технологии:

1. плазменно-дуговая наплавка (ПДН) – нанесение покрытий из расплавленного порошкового материала на металлическую поверхность слоями толщиной 1-4 мм, шириной наплавляемого валика до 10 мм, источник нагрева – сжатая (плазменная дуга), горящая между электродом плазмотрона и изделием;
2. плазменное напыление (ПН) – нанесение покрытий толщиной до 1 мм из отдельных частиц порошкового материала (металлические, керамические, композитные порошки), нагретого и ускоренного с помощью высокотемпературной плазменной струи, горящей между катодом и анодом плазмотрона, диаметр пятна напыления 10-25 мм;
3. совмещённый процесс наплавки и напыления (СПНН) – покрытие толщиной 0,5-4 мм, одновременно используется плазменная струя (способствует расплавлению и направленному движению порошка) и сжатая дуга (способствует высококачественному сцеплению и уплотнению покрытия).

Такие покрытия могут быть использованы при изготовлении:

- вырубных штампов х.д. с использованием основы из конструкционной стали, а режущих кромок – из нанесённого покрытия (ПДН, СПНН)

- режущего инструмента из конструкционных сталей с наплавкой на рабочие поверхности быстрорежущих составов (СПНН)
- вытяжных, формовочных и гибочных штампов с износостойким покрытием (исключение – детали с ударно-абразивным изнашиванием), имеющих высокий коэффициент трения и обеспечивающих адгезию и лёгкий съём изделия
- гравюр штампов г.д. путём нанесения износостойкого и жаропрочного покрытия.

Режущий инструмент с алмазным и алмазоподобным покрытием. Обладает минимальным абразивным износом, качество поверхности соответствует свойствам синтетических алмазов. Позволяет не использовать СОЖ. Наиболее распространены методы CVD – газофазное осаждение с применением термической и химической активации газовой среды, а также создание на ней плазмы электрического разряда, распыление мишеней с использованием ионных пушек или лазерного облучения. Рабочая среда – смеси, содержащие углеводородные соединения, водород, кислород, азот, галогены, и их соединения. Смеси подаются в рабочую камеру под давлением 10-400 Мбар (1МБр – 10^5 Па), температура подложки 400-1000 °С. Структура плёнки – смесь поликристаллических алмазных областей с прослойками алмазоподобной фазы или аморфного углерода. Толщина покрытия 1,5 – 20 мкм.

Лазерное термоупрочнение сталей и сплавов включает такие методы:

- лазерная закалка с оплавлением поверхности,
- лазерная закалка без оплавления поверхности: углеродистых и легированных сталей и сплавов, штампов прессов для холодной штамповки, изготовленных из половинчатого чугуна,
- комплексное лазерное и криогенное упрочнение
- лазерное легирование с использованием традиционных методов ХТО
- лазерная обработка покрытий, полученных методами химического или физического осаждения
- комплексные виды обработки (вакуумная закалка или вакуумная нитроцементация с последующей лазерной обработкой)
- лазерная наплавка,

Аэротермоакустическая обработка (АТАО) включает использование возможности управления характеристиками металлов и сплавов (твёрдостью, износостойкостью, пластичностью, хладостойкостью, коррозионной стойкостью) с помощью их структурных и фазовых изменений, которые протекают в металлах под воздействием мощных акустических полей. АТАО инструментальных материалов является комбинированным средством воздействия на материалы. При её проведении осуществляется воздействие температурных и акустических полей с целью формирования требуемых свойств как во всём объёме металла, так и в поверхностном слое. Основным технологическим оборудованием являются электропечи (мощностью 4-5 кВт) и газоструйные генераторы звука (динамические сирены и статические сирены (свистки).

Основные операции в технологии АТАО: нагрев деталей (заготовок), до требуемых температур и последующее охлаждение, включая криогенное воздействие, в мощном акустическом поле звукового диапазона дискретных частот с уровнем звукового давления 150-170дБ в потоке газа.

В промышленных условиях возможны следующие варианты технологических процессов, использующие операции стандартной ТО и АТАО:

- нагрев под закалку с последующим охлаждением в акустическом поле + стандартный отпуск,
- стандартная закалка+нагрев для отпуска с последующим охлаждением в акустическом поле,
- полная СТО, нагрев для отпуска с последующим охлаждением в акустическом поле.