

К вопросу об основных идеях, парадигмах и методологии науки о материалах

Верхотуров А. Д.

(Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН, 680042, г. Хабаровск, Россия)

Достижения металлловедения, а затем материаловедения (материаловедения) в XX веке предопределили грандиозную революцию в области материалов и технологий, которая по своему влиянию на практическую и духовную жизнь человека и её последствиям не имеет себе равных даже по сравнению с революциями, связанными с появлением и использованием бронзы, а затем железа и его сплавов. Это вызвало к жизни и новую науку о материалах — материаловедение (материаловедение), основной задачей которой является разработка фундаментальной теории создания материалов с заданными свойствами.

Успехи в этом направлении во многом зависят от научного обобщения предыдущих достижений, обоснования и формулировки основных идей, парадигмы и методологии в материаловедении (материаловедении). Исследование основных идей, концепций и методологии становления и формирования науки также необходимо для прогнозирования её дальнейшего развития, что определяет в значительной степени прогноз развития техники и технологий.

В литературе не имеется систематических и обобщённых данных о становлении и развитии науки о материалах, позволяющих определить основополагающие концептуальные, методологические схемы, модели постановки проблем и методов их решения для создания и выбора перспективных материалов с учётом новых требований к их эксплуатационным свойствам, а также условиям экологии и дефициту минерального сырья.

На основании изучения и обобщения описанных данных по формированию и развитию науки о материалах с древнейших времён и по настоящее время, а также собственных исследований^[1] в предполагаемой работе сделаны следующие выводы:

1. Формирование науки о материалах началось с глубокой древности (~ VI — IV в. в. до н. э.) преимущественно работами древнегреческих мыслителей о первоэлементах материи;
2. Процесс формирования науки о материалах можно условно подразделить на два основных периода — ‘инкубационный’ (до ~ IV в. до н. э.) и ‘текущий’ (начиная с ~ IV в. до н. э.), который продолжается и в настоящее время;
3. В ‘инкубационный’ период происходит формирование первых основополагающих идей: ‘познавательной’ — о структуре и свойствах материи и ‘практической’ (неорганической) — о получении, свойствах металлов и сплавов;
4. Разделом между ‘инкубационным’ и ‘текущим’ периодами является появление парадигмы (или

парадигм). В IV в. до н. э. в русле познавательной идеи обозначились практически одновременно две конкурирующие парадигмы: 'атомная' (Демокрит) и 'стихийная' (Аристотель). С появлением этих парадигм начался 'текущий' период в развитии науки о материалах — начался отсчёт новой науки о материалах. Однако потребовалось более тысячи лет, чтобы окончательно победила 'атомная' парадигма;

5. 'Практическая идея' — научные основы получения искусственных материалов пребывала в 'инкубационном' периоде до XVIII в., до работ Д. И. Менделеева (парадигма Менделеева — исследование взаимосвязи 'состав—свойство' элементов);

6. В русле 'практической' идеи возникают последовательно разделы — 'алхимический', 'неорганический' (век железа), 'органический', 'минералогический';

7. Опережающее развитие 'познавательной' идеи привело в прошлом веке к созданию основополагающей фундаментальной научной и педагогической дисциплины для науки о материалах — физики и химии конденсированного состояния и объединению их в одну дисциплину^[2];

8. 'Познавательная' идея развивалась по пути исследования сущности материи и является фундаментальной базой для других идей. Важнейшим достижением 'познавательной' идеи является заключение, касающееся создания принципиальности новых материалов за счёт изменения структуры и установления иерархии структур (макро — микроструктуры, атомной, кристаллической, наноструктуры и электронной);

9. Методологические основы создания материалов имеют общий подход для каждой из идей и должны соответствовать последней парадигме: 'состав — структура — условия и параметры эксплуатация-технология-свойства'. Обязательным элементом методологии является использование банка данных по материалам, технологиям, модели эксплуатации материала, модели создаваемого материала;

10. Можно предположить, что дальнейшее развитие науки о материалах будет продолжаться за счёт создания материалов с различной структурой вплоть до её создания из отдельных атомов ('атом к атому'). В этом направлении представляет интерес создание слоистых материалов, где слои могут быть наноатомными. Также интерес представляет создание изменяющейся заданной структуры после различного рода воздействия на материал в процессе его эксплуатации;

11. В создании перспективных материалов особую роль приобретает 'технология', позволяющая в широких пределах изменять структуру за счёт использования высоких давлений, температур концентрированных источников энергии (плазменных, фотонных и других потоков энергии);

12. В области технологии получения материалов можно сделать вывод о возможности безотходного экологически чистого производства в плазменном котле с испарением минерального сырья и последующем разложением его с получением элементов или их сочетания.

13. В настоящее время построены 'пирамиды' твёрдости и температуры плавления с алмазной (графитной) вершиной. Это породило у некоторых исследователей естественную ограниченность возможностей по созданию перспективных материалов.

Мы предлагаем положение о непрерывном повышении уровня физико-химических, эксплуатационных и др. свойств материалов по мере развития человеческой цивилизации, как за счёт появления принципиально новых материалов, так и за счёт совершенствования известных.

На основании приведённых выше положений и заключений разработаны парадигмы и методология для отдельных разделов материаловедения: инструментального, минералогического и сварочных материалов. Для примера ниже приводится описание разработки новой концептуальной и методологической основы инструментального материаловедения.

Разработка и использование новой концептуальной и методологической основы создания инструментальных материалов

Использование на практике материалов для резания происходило в следующей последовательности: углеродистые стали — легированные стали — быстрорежущие стали — вольфрамосодержащие твёрдые сплавы — тугоплавкие соединения (самсониды) — керамика — слоистые композиционные материалы. В начале создание новых материалов осуществлялось преимущественно за счёт изменения химического и фазового составов, а с середины XX века — за счёт создания новой структуры как в объёме материала или его ограниченных зонах, так и на поверхности материала, что потребовало разработки и использования новой концептуальной и методологической основы их создания.

В настоящее время для разработки и создания новых режущих инструментов назрела насущная необходимость формирования отдельного раздела материаловедения — инструментального, выделения его в отдельную область материаловедения, что связано с рядом его специфических особенностей. Инструментальное материаловедение позволит объединить в одну область знаний научные и практические достижения по созданию новых инструментальных материалов с заданными свойствами, вытекающими из требований их функционального назначения.

Инструментальное материаловедение мы определяем как область науки о принципах, методах и технологии получения и выбора ИМ. Предметом изучения инструментального материаловедения является взаимосвязь состава, структуры, свойств и технологии получения инструментальных материалов.

В области наук о материалах ранее мы определили парадигмы, показывающие развитие материаловедения [1]. На начальном этапе становления материаловедения как науки изучение взаимосвязи ‘состав — структура — свойства’ являлось важным этапом в его развитии и составляло одну из парадигм — парадигму Тананаева — ‘состав — структура — свойства’ — (вслед за парадигмами Менделеева и Курнакова) в соответствии с разработанной нами иерархией парадигм. Дальнейшим шагом стала четырёхзвенная схема: ‘состав — структура — технология — свойства’, (парадигма Самсонова), которая позволяла уже на современном этапе решать вопросы создания материалов с заданными свойствами с использованием фундаментальных достижений физики и химии твёрдого тела, а также достижений ‘технологии’. Для создания функциональных материалов, например, инструментального назначения, необходимо учитывать условия и параметры эксплуатации материала. При формировании инструментального материаловедения необходимо разработать его парадигмы, в пределах которых должна создаваться методология и теория получения ИМ. Нами предложена новая парадигма в материаловедении, состоящая из пятизвенной (рис. 1) схемы, в рамках которой ИМ должен разрабатываться с учётом конкретных условий эксплуатации (внешняя среда, колебания сил, скорости резания, температуры и других).

Важным элементом предлагаемой схемы является наличие банка данных по параметрам эксплуатации того или иного материала, либо литературных данных по этому вопросу. Предложенная парадигма создания функциональных материалов требует дальнейшей конкретизации, описания концепций, способов, критериев, форм и методов, позволяющих на современном уровне решать основные задачи инструментального материаловедения. Новая парадигма предлагает модель постановки проблемы создания инструментальных материалов и пути их решения, связанные с определением основных функций F_1 — F_{10} , являющихся связями её составляющих звеньев.

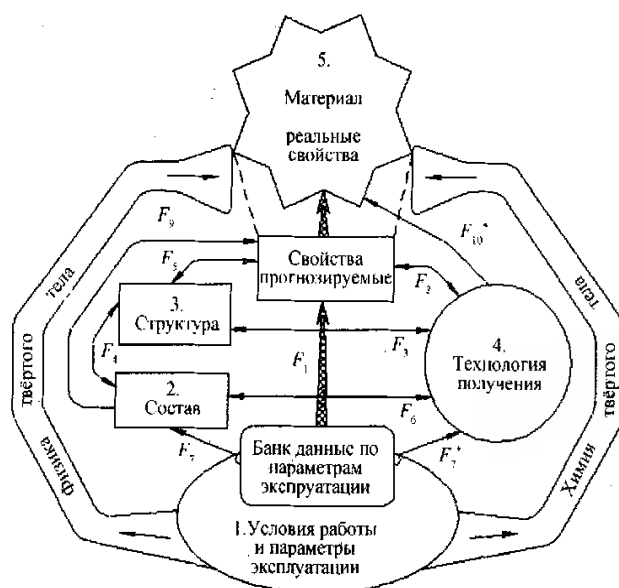


Рис. 1 Общая пятизвенная схема получения материалов (парадигма В.Ф.)

1—5—составляющие звенья; F1—F10*—связи составляющие звенья

В настоящее время требуется принципиально новый подход к созданию ИМ, основанный уже не на изменении химического, фазового состава ИМ, а на преимущественном изменении его структуры. Разработанные в 1970 годах технологии нанесения износостойких покрытий делают возможным формирование на рабочих поверхностях инструмента износостойких и жаростойких покрытий определенного состава и структуры, так называемых слоистых материалов.

При создании нового или выборе требуемого функционального ИМ среди известных отмечаются два основных направления: (1) директивное; (2) стратегическое (материалы на перспективу), оба из которых являются следствием потребностей человеческой практики.

В данной работе рассматривается преимущественно стратегическое направление создания ИМ, используются элементы как теоретического, так и экспериментального подхода. Применительно к обозначенным условиям разработанная методологическая схема создания ИМ слоистой структуры с градиентом свойств по глубине слоя (рис. 2) содержит ряд новых положений:

1. Методологическая схема отражает положения по созданию ИМ как по директивному, так и стратегическому направлениям.
2. В качестве эталонов выбирается режущий инструмент с покрытиями TiC, TiCN, TiN на твердых сплавах, полученные по стандартной технологии.
3. За модель процесса резания принимается известная модель Т. Н. Лоладзе [3].
4. Твердость и температура слоистого материала должна быть больше твердости и температуры плавления основы (WC).
5. Теплопроводность материала должна плавно повышаться от режущей кромки к материалу основы.
6. Модуль упругости E должен плавно увеличиваться, а коэффициент линейного температурного расширения (должен плавно уменьшаться к материалу основы).

На основе этих положений разработана физическая модель слоистого материала с градиентным распределением свойств на поверхности вольфрамсодержащих твердых сплавов и оксидной керамики (рис.

3), обеспечивающая получение плавного изменения свойств, что приводит к снижению усталостного и хрупкого разрушения режущего инструмента.

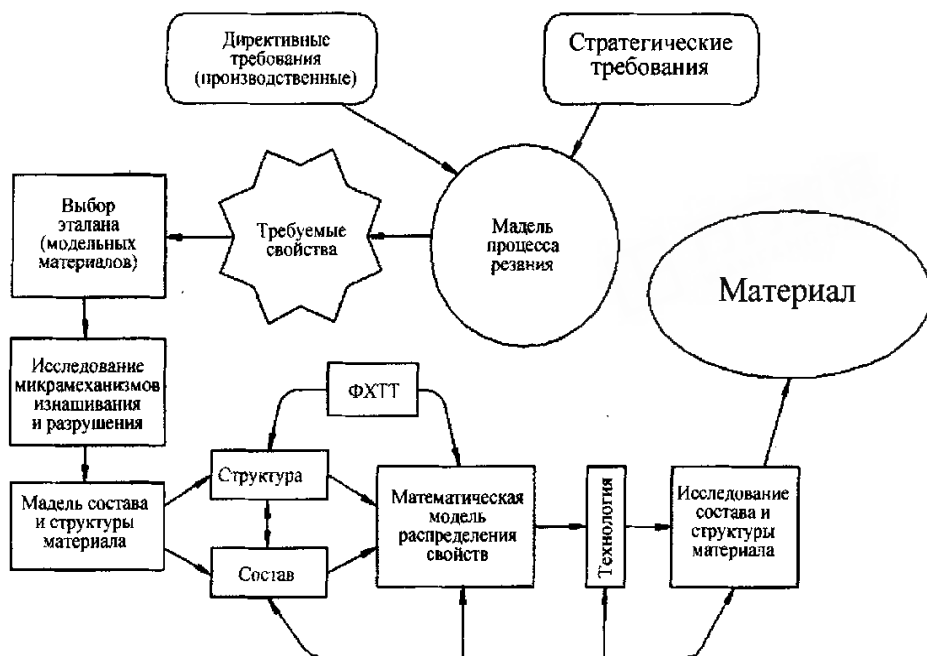


Рис. 2 Методологическая схема получения слоистых материалов с градиентным распределением свойств (ФХТТ — физика, химия твёрдого тела)

Исследование напряжённого состояния проводили по направлениям:

1. Решение упругой задачи без учета температурных факторов;
2. Решение задачи термоупругости без учета силовых факторов;
3. Решение задачи с учетом силовых и температурных факторов.

Численно задача расчета напряженного состояния решалась методом конечных элементов

Повышение теплопроводности от режущей кромки к ИМ обеспечивает отток тепла в глубь ИМ и приводит к снижению температуры в зоне резания, а, следовательно, и к меньшему снижению твёрдости материала в зоне резания, меньшим значениям термических напряжений, в целом — повышению работоспособности РИ. Этому же способствует увеличение в глубь режущего инструмента модуля упругости, являющегося удобным модельным параметром для расчёта изменения свойств по глубине слоистого материала.

Предложен критерий стойкости первого (в ряде случаев и второго) слоя:

$$B = \frac{H \cdot T}{E},$$

где H — твёрдость, T — температура плавления, E — модуль упругости материала. Показано, что наибольшей стойкостью обладают карбиды металлов — IV группы, а также ZrB_2 , VB_2 , TiN , которые рекомендуются в качестве первого слоя материала покрытия.

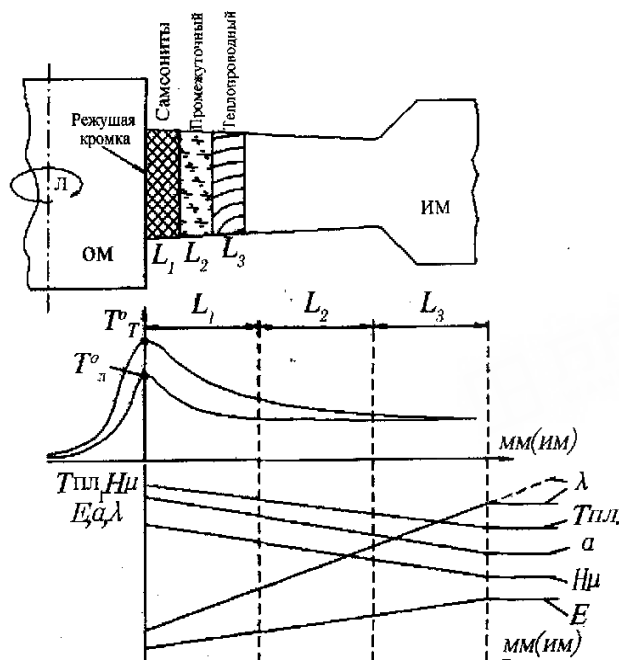


Рис. 3 Модель слоистого ИМ с градиентным распределением свойств
 L_1 — слой, контактирующий с ОМ; L_2 — слой промежуточный; L_3 — слой высоко-
 теплопроводный; $T_{пл}$ — температура плавления; T°_T , T°_P — до и после покрытия;
 H_μ — микротвёрдость; E — коэффициент тепловой линейной расширения; λ —
 теплопроводность

Выводы

1. Обоснован и сформулирован новый раздел материаловедения — инструментальное материаловедение, дано определение его стратегических задач, основных проблем и путей их решения.
2. Разработана методология создания функциональных материалов инструментального назначения, основанная на новой парадигме, включающей пятизвенную схему: 'условия эксплуатации — состав — структура — свойства — технология'.
3. Предложена физическая модель строения инструментального материала слоистой структуры на поверхности вольфрамсодержащих твёрдых сплавов и оксидной керамики, согласно которой ИМ с повышенными физико-химическими и эксплуатационными свойствами должен быть композиционным многослойным, полученным различными методами и их сочетаниями.

Литература

- [1] А. Д. Верхотуров, В. С. Фадеев. Некоторые вопросы современного состояния и перспективы развития материаловедения. Владивосток. Дальнаука. 2004. 320 с.
- [2] В. И. Фистуль. Физика и химия твёрдого тела. М.: Металлургия. 1995. 480 с.
- [3] Т. Н. Локадзе. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение. 1982. 320 с.