

**Фрагменты некоторых ранних  
публикаций Л.В. Альтшулера.  
(1939-1946 гг.)**

\* \* \*

*Начинают данную подборку фрагменты трех статей 1939-1941 гг., в которых предлагается новая аппаратура для проведения рентгеноструктурных исследований. Затем следуют две работы 1940 и 1943 гг., представляющие результаты рентгеноструктурных исследований различных сталей в условиях илифровки и в подшипниках качения. Завершают подборку три в свое время широко цитировавшиеся статьи в ЖЭТФ (1943), Известиях АН СССР (1946) и ДАН СССР (1946).*

\* \* \*

*Л.В. Альтшулер и В.А. Цукерман*

**Новая аппаратура для скоростных рентгеноструктурных  
исследований и рентгенкинографии**

(Московский вечерний машиностроительный институт)  
Заводская лаборатория. 1939 г. VIII. № 4-5. С. 449-458.

Более двадцати лет наука и промышленность успешно используют методы рентгеноструктурного анализа при решении многих научных и технических задач. Однако, несмотря на общепризнанное значение этих методов, до настоящего времени не существует сколько-нибудь нормализованной аппаратуры, позволяющей получать вполне качественные результаты в сравнительно небольшой промежуток времени...

Ставшая классической камера для рентгеноструктурных исследований по методу Дебая сама по себе также далеко не всегда удовлетворяет возросшим требованиям, предъявляемым к рентгеноструктурному анализу, в особенности со стороны заводских рентгеновских лабораторий. Для производственного контроля нужна более простая, во многих случаях специализированная аппаратура позволяющая проводить исследование с минимальной затратой времени и средств. Помимо чисто экономического эффекта при использовании такой аппаратуры, максимальное сокращение экспозиции имеет особое значение при исследовании нестационарных состояний...

*(Далее идет детальное описание способов сокращения экспозиции, предоставляемых «современной радиотехникой» - Сост.)*

.....

Коллективом сотрудников рентгеновской лаборатории Московского вечернего машиностроительного института разработан и изготовлен ряд моделей рентгеновских камер, специально приспособленных для рентгенографирования на разборной трубке конструкции лаборатории [1]. Применение металлической рентгеновской трубки, выполненной с учетом максимального приближения камеры к фокусу трубки, позволило добиться дальнейшего сокращения экспозиции и рационализации методики

---

<sup>1</sup> Л.В. Альтшулер, Методика скоростных рентгеноструктурных исследований. Отчет рентген. лаборатории МВМИ за 1937 г. (не опубликовано).

рентгеноструктурных исследований. Приводим краткое описание разработанной аппаратуры (далее подзаголовки - названия устройств, каждое из которых подробно описано с использованием схем и рисунков – Сост.):

- Камера Дебая для исследования плоских образцов произвольных размеров...
- Вакуумная серийная камера Дебая для исследования образцов при высоких температурах...
- Камера для ускоренных исследований по методу Закса-Веерта...

### **Рентгенокинография с помощью фокусирующих методов с использованием фокуса в качестве щели камер**

Особо сильного сокращения экспозиции, позволяющего фиксировать различные стадии сравнительно быстро протекающих процессов, можно достигнуть, применяя фокусирующие методы с использованием фокуса рентгеновской трубки в качестве щели камеры. В этом направлении наша лаборатория работает, начиная с 1936 г. Приведем краткое описание методики и конструкций, позволяющих совместить фокус с щелью при фокусировке широких пучков по методу аксиальных фокусировок, фокусировке широких пучков плоским образцом и, наконец, фокусировке по методу Болина...

.....

#### **Заключение**

Не претендуя на конструктивную законченность и производственное совершенство описанных конструкций, авторы полагают, что приведенных примеров вполне достаточно для демонстрации тех огромных, обычно неиспользуемых ресурсов экономии времени и средств, которые можно получить за счет тщательного продумывания условий съемок и рационализации рентгеновских приборов. При использовании существующей аппаратуры многие квалифицированные лаборатории совершенно излишне замедляют темпы исследования, неправильно располагая ось камеры по отношению к трубке, неверно выбирая диафрагмы и т. д.

Авторы обращают особое внимание работников рентгеновских лабораторий промышленности на методы фокусировки широких пучков с использованием фокуса трубки, как щели камеры, разработанные лабораторией. Если методы аксиальных фокусировок в их настоящем виде и не могут быть рекомендованы к широкому применению, то несомненно, что другие методы фокусировок найдут самое широкое признание.

Из этих методов наиболее универсальным является разработанный коллективом лаборатории в подарок XVIII партийному съезду метод съемки по Болину с фокусом трубки, расположенным на окружности камеры.

В разработке конструкции и испытании всех описанных приборов непосредственное участие принимал техник института А.И. Авдеенко. Конструкция и испытание навесной камеры Дебая выполнены при участии студента-дипломника института М.П. Сперанской. Все приборы изготовлены механиком института И.Н. Тепловым. Указанным лицам авторы выражают свою глубокую благодарность.

\* \* \*

*Л.В. Альтишулер*

## **Универсальная установка для скоростного рентгеноструктурного анализа**

(Московский вечерний машиностроительный институт)

*Заводская лаборатория. 1940 Т. IX. № 8. С. 872-876.*

Установка, описание которой мы даем в настоящей статье, предназначена для всестороннего рентгенографического исследования твердых поликристаллических материалов...

*(В статье дается подробное описание, с детальными рисунками в различных проекциях, установки и применяемых в ней камеры Дебая, серийной кассеты для фокусировки узкого интервала углов, камеры Закса, кассеты для съемки текстур диаграмм, камеры Болина. – Сост.)*

...В методе Брентано-Курдюмова и в камерах по Геллеру фокусируется относительно малый интервал углов. В светосильной камере Цукермана и Альтшулера [<sup>2</sup>] при съемке по методу Болина окружность камеры пересекает фокус рентг. трубки, что позволяет сфокусировать весь диапазон линий...

.....

### **Выводы**

На основе введения ряда новых конструктивных и методических принципов разработана комплексная установка из ионной металлической трубки и агрегата камер для скоростного рентгеноструктурного анализа материалов.

Создание специальной модели трубки позволило найти технически простые решения большинства узлов установки и получить наиболее эффективные результаты как в отношении сокращения экспозиций, так и в отношении качества рентгенограмм. С небольшими изменениями прибор рекомендован совещанием по скоростным методам структурного анализа к производству на Московском рентгеновском заводе.

В заключение автор выражает благодарность инж. В.А. Цукерману за постоянный интерес и ценные указания в процессе разработки установки и инж. В.Д. Седову, оказавшему помощь в конструировании ряда узлов прибора.

Установка была разработана автором при участии инж. А.И. Авдеенко в течение 1939-1940 гг. в рентгеновской лаборатории Московского вечернего машиностроительного института.

\* \* \*

*Л.В. Альтшулер*

### **Светосильный шлиф-гониометр**

(Институт машиноведения Академии Наук СССР. Рентгеновская лаборатория)

*Заводская лаборатория. 1941 Т. X. № 3. С. 271-277.*

Успешный ход рентгеновского фазового анализа в большой степени зависит от точности определения постоянных кристаллических решеток. Для прецизионного измерения параметров широко пользуются камерами типа Болина, Престона или Закса.

---

<sup>2</sup> Альтшулер и Цукерман, Заводская лаборатория, VIII, 4-5, 449, 1939. (См. предыдущую статью. – Сост.).

Однако при проведении фазового анализа эти камеры имеют ряд существенных недостатков по сравнению с камерой Дебая...

...В настоящей статье дается описание разработанной автором в 1939 г. светосильной прецизионной дебаевской камеры – светосильного шлиф-гониометра.

Схематический чертеж шлиф-гониометра, смонтированного на установке для скоростных рентгеноструктурных исследований системы автора [<sup>3</sup>], приведен на рис. 2.

(Следом за описанием прибора статья содержит разделы «Расчетная точность прибора», «Экспериментальные результаты»).

### **Выводы**

Светосильный шлиф-гониометр, основанный на сочетании фокусирующих методов с прецизионной методикой Страуманиса и Евинса, позволяет простыми средствами получать двухсторонние прецизионные дебаеграммы от шлифа в широком диапазоне брегговских углов. Устранении необходимости юстировки образца и точной наводки первичного пучка лучей предельно упрощает обращение с прибором.

Относительно короткие экспозиции были достигнуты в результате конструктивного сочетания прибора с рентгеновской трубкой, фокус которой заменяет щель камеры. Как известно, принцип такого сочетания трубки и камеры лежит в основе современной аппаратур для скоростных рентген-структурных исследований. Экспериментальные результаты настоящей работы показывают, что эти принципы с успехом могут быть применены и для прецизионных методов рентгено-структурного анализа.

\* \* \*

*ВЕСТНИК МЕТАЛЛОПРОМЫШЛЕННОСТИ. 1940. № 1. С. 15-21.*

## **Структурные превращения в поверхностных слоях закаленной стали под влиянием шлифовки**

**Инж-ры Л.В. АЛЬТШУЛЕР и М.П. СПЕРАНСКАЯ**  
**(Московский вечерний машиностроительный институт)**

Шлифовка изделий из закаленной стали в производстве мерительного инструмента так же, как и в ряде других отраслей точного машиностроения, представляет основной способ механической обработки металла. Режущий инструмент при изготовлении и во время эксплуатации также периодически подвергается (в процессе заточки) воздействию шлифовального камня.

В большинстве работ, посвященных влиянию шлифовки на качество поверхности, вопрос об износоустойчивости связан преимущественно с микро-геометрией ее рельефа. Несомненно, что качество отделки, определяемое величиной неровностей, является одним из главных критериев износоустойчивости. Однако сопротивление износу зависит и от

---

<sup>3</sup> Л.В. Альтшулер, Заводская лаборатория, IX, 8, 872, 1940. (См. предыдущую статью. – Сост.)

структурных превращений, вызываемых шлифовкой в поверхностных слоях закаленной стали.

.....  
В конце 1938 г. авторами<sup>4</sup> было проведено рентгенографическое исследование поверхностных слоев калибров, причем особое внимание было обращено на изменение структуры под влиянием тонкой и грубой шлифовки...

Рентгенографирование образцов производилось на излучении хромового анода. Расстояние от образца до пленки 57 мм...

Отпуск поверхности, вызванный шлифовкой, особенно ясно виден на образцах, шлифованных непосредственно после закалки (рис. 1, а и б). Старение образцов при температуре 150-200°, в свою очередь, приводило к переходу тетрагонального мартенсита в кубический и к сильному сужению линий. Рентгенограммы с образцов, шлифованных после старения, показали дальнейшее добавочное сужение линий шлифованной поверхности по сравнению с линиями рентгенограммы, снятой с травленной стороны (рис. 2, а и б).

Учитывая кратковременность нагрева во время шлифовки, следует признать, что температурные воздействия на образец были значительны и что его поверхность, по меньшей мере, подвергалась высокотемпературному отпуску...

В процессе исследования было установлено появление аустенита на поверхности образцов закаленной стали в результате шлифовки с большими глубинами и на крупнозернистых камнях. Этот внешне-парадоксальный факт перехода мартенсита в аустенит под влиянием механической обработки шлифовальным камнем проверен на большом количестве образцов стали марки X, углеродистой стали, стали ХШ15 и, наконец, на быстрорежущей стали для резцов — марки РФ1. Чтобы проследить всю гамму превращений, вызываемых грубой шлифовкой, была детально заснята поверхностная структура образца стали ХШ15...

Проведенным исследованием грубой шлифовки установлено, что закаленная сталь при обработке шлифовальным кругом испытывает своеобразную поверхностную закалку на аустенит...

Приведенные в настоящей статье данные рентгеноанализа говорят о разложении мартенсита в поверхностных слоях стали под влиянием выделяющегося при шлифовке тепла...

### **О температурном режиме шлифовки.**

В настоящее время шлифовка закаленных сталей рассматривается один из методов холодной обработки металлов. Однако результаты данной работы обнаруживают наличие связанных с шлифовкой таких чисто термических процессов, как высокотемпературный отпуск и закалка... Несмотря на высокую температуру поверхности сами трущиеся образцы оставались во время испытания совершенно холодными...

Известно, что отдельные зерна камня работают как маленькие резцы, отделяющие стружку. Режущая кромка зерна при движении создает впереди и позади себя на отрезке

---

<sup>4</sup> Авторы выражают особую благодарность за помощь и постоянный интерес к работе инженеру завода «Калибр» Я.И. Львовскому, по инициативе которого было начато это исследование, а также руководителю кафедры металловедения МВМИ доц. В.Н. Махову и инж. В.А. Цукерману за ценные указания и советы. Съёмки образцов и микрофотометрирование рентгенограмм выполнялись на аппаратуре, разработанной в рентгеновской лаборатории МВМИ.

длины  $L$  область, затронутую происходящей в данный момент пластической деформацией... Для скорости камня 20 м/сек и длины отрезка  $L$  в 1 мм время нагрева до температуры выше  $1000^\circ$  составляет  $5^{-5}$  сек. В следующие мгновения тепло быстро отводится в основную массу металла.

Суммарное действие таких высокотемпературных очагов приводит к общему и, в некоторых случаях значительному, нагреву всего поверхностного слоя. Однако действию высоких температур данный участок металла подвергается в течение времени, исчисляемого десятитысячными или даже сотысячными долями секунды. Охлаждение шлифуемой детали жидкостями уменьшает общий нагрев поверхности, но не может заметно повлиять на скорости мгновенных нагревов и охлаждений поверхности, так как основная часть тепла отводится внутрь самого образца...

Структурные превращения в поверхностных слоях закаленной стали вызваны, как это вытекает из всего изложенного, влиянием термических воздействий, доминирующих над явлением механического наклепа.

При полировке аустенитовой стали (работа Барвелла и Вульфа) [5], напротив, преобладают механические процессы.

### Литература

1. О. Нибердинг, изнашивание мерительных поверхностей в калибрах. «Русско-германский вестник науки и техники», № 1, 1932.
2. Н.Н. Савин, Парадоксы в инструментальном деле, «Станки и инструмент», № 4, 1937.
3. Н.Н. Савин, Исследование состояния тонких поверхностных слоев материала, «Станки и инструмент» № 13, 1937.
4. Н.Н. Савин, Влияние внутренних напряжений на сопротивление металлов резанию и износу, Machinery, vol. 53, № 138, 1939.
5. I. Burwell u. I. Wulf, Metals Technology, Febr. Techn. Public. № 1032, 1-6, 1939.
6. Reinniger, Metallwirtschaft, № 50, Bd. VIII, 1934.
7. Цукерман, Применение рентгеноструктурного анализа к исследованию явлений, протекающих при резании металлов. Сборник докладов конференции по резанию металлов. АН СССР, ОНТИ, 1937.
8. Bowden a. Ridler, The Surface Temperature of Sliding Metals, The Temperature of Lubricated Surface. Proceedings of the Royal Society, vol. 154, № 883, 1 May, 1936.

\* \* \*

*1943      ЖУРНАЛ ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ      Том XIII, в. 6. С. 265-280*  
*1943      JOURNAL OF TECHNICAL PHYSICS      Vol. XIII, № 6. P. 265-280*

### **ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ И ПОВЕРХНОСТНАЯ УСТАЛОСТЬ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ**

*Л.В. Альтшулер, И.А. Решеткина, А.Г. Спектор, В.А. Цукерман*

Рентгеноструктурным исследованием установлено наличие пластической деформации закаленной стали в поверхностных слоях работавших шариков. Построены полюсные фигуры для текстуры контактного сжатия мартенсита и найдены оси ориентации кристаллитов. Установлен характер изменения степени текстуры и твердости по глубине. Показано влияние отпуска на степень текстуры и твердость пластически деформированного слоя.

Проведено сравнение текстуры контактного сжатия мартенсита с текстурой сжатия чистого железа. Рассмотрен вопрос о перераспределении напряжений по глубине контактной зоны в процессе пластической деформации. Рассматривается роль пластической деформации как фактора поверхностной усталости закаленной стали.

В методическую часть исследования входили разработка камеры для определения ориентации кристаллов в поверхностном слое шарика, а также разработка специального текстурфотометра, позволившего дать численную характеристику степени текстуры.

Взаимное перекачивание металлических тел под нагрузкой является одним из наиболее распространенных способов передачи движения в современных машинах. Обкатываемые детали: тела качения подшипников, зубья шестерен, ходовые колеса кранов и др., воспринимают в местах контакта чрезвычайно высокие удельные давления...

*(Далее дан обзор существующих подходов и нерешенных проблем в данной области. – Сост.)*

... Помимо этих методических трудностей, анализ усталостных явлений осложняется и тем, что закаленная сталь в исходном состоянии содержит чрезвычайно большие внутренние напряжения. Поэтому здесь приходится говорить не столько о темпе их накопления по мере возрастания числа циклов, сколько о более сложном процессе взаимодействия внешних, вносимых переменными нагрузками напряжений с имевшимися ранее внутренними напряжениями...

Предпринятое авторами рентгенографирование шариков, находившихся в длительной эксплуатации, не показало заметного изменения ширины и интенсивности задних линий дебаеграммы. Таким образом, появления или снятия добавочных напряжений второго и третьего рода рентгеновским путем обнаружить не удалось. Однако в процессе исследования было обращено внимание на неравномерное распределение интенсивности вдоль передних линий дебаеграммы. Наличие максимумов и минимумов почернения однозначно устанавливало существование в поверхностных слоях работавших шариков закономерных кристаллических ориентации— так называемой текстуры.

Образование в хрупкой закаленной стали текстуры деформации, свидетельствующей о происшедшем пластическом течении материала, само по себе представляет значительный интерес. Изучение этой текстуры, ее протяженности по глубине, влияния на нее отпуска, а также параллельно проводимые измерения твердости составила экспериментальную часть настоящей работы. Полученные результаты позволили проанализировать протекание пластической деформации мартенсита в поверхностных слоях работавших шариков и сделать некоторые заключения о природе поверхностной усталости закаленной стали.

### **Объект исследования**

Объектом исследования являлись шарики диаметром 18 мм. из длительно работавших двухрядных радиально-сферических подшипников.

Исходным материалом для их изготовления служит хромистая подшипниковая сталь ШХ—15. После закалки в масле при 830°C и последующего трехчасового отпуска при

температуре 150°C сталь приобретает структуру неравноосного тетрагонального мартенсита со следами остаточного аустенита. Твердость ее на поверхности шариков составляет от 60 до 64 единиц Роквелла, давая к центру незначительное снижение. Механическая обработка шариков шлифованием приводит к некоторому добавочному отпуску тонкого поверхностного слоя. Как было показано в работе Альтшулера и Сперанской [5], подобный отпуск закаленной стали имеет место даже при самых осторожных режимах шлифования. Специальной проверкой было установлено, что на поверхности шариков он не превышал 200—240°C и распространялся в глубину не более, чем на несколько сотых миллиметра.

Исследованные шарики находились на разных стадиях усталостного разрушения. На некоторых не было заметно никаких следов повреждения, другие уже имели крупные развивавшиеся круговые питтинги, часто с полюсами неповрежденной поверхности в центре (рис. 2)...

### Методика исследования

Снимки, необходимые для построения полюсной фигуры, получались в специально сконструированной аксиальной камере. В этой же камере снимались рентгенограммы для определения степени текстуры на различных глубинах. Общий вид камеры приведен на рис. 3. Тубус, жестко укрепленный на светосильной рентгеновской трубке системы Альтшулера [6], вырезает узкий параллельный пучок лучей...

*(Далее идут разделы «Текстура контактного сжатия мартенсита», «Распределение текстуры и наклепа на различных горизонтах поверхностного слоя работавшего шарика», «Процесс деформирования и поверхностная усталость закаленной стали». В статье 15 рисунков и графиков и представлено 5 рентгенограмм).*

### Заключение

Рентгенографическим анализом структурных изменений и исследованием твердости поверхностных слоев длительно работавших шариков подшипников качения установлено:

1. Под действием переменных контактных давлений в рабочей поверхности шарика происходит пластическая деформация зерен мартенсита, в процессе которой возникают две аксиально-симметричные ориентации кристаллитов — [111] и [001]. Направление осей ориентации перпендикулярно поверхности шарика и совпадает с направлением; контактных давлений.

2. Обнаружено значительное повышение твердости поверхностных слоев работавшего шарика. По сравнению с исходной твердостью после закалки увеличение твердости составляет от 4 до 7 единиц Роквелла.

3. Максимум твердости лежит на поверхности шарика. Максимум текстуры расположен либо также на поверхности, либо в самом тонком поверхностном слое толщиной 5-40 микрон. При переходе к более глубоким горизонтальным слоям твердость и интенсивность текстуры уменьшаются.

---

<sup>5</sup> «Структурные превращения в поверхностных слоях закаленной стали под влиянием шлифовки», см. выше. – *Сост.*

<sup>6</sup> «Универсальная установка для скоростного рентгеноструктурного анализа» - см. выше. – *Сост.*



Глубина проникновения текстуры меньше толщины слоя повышенной твердости. Для различных шариков глубина текстуры составляет от 0,04 до 0,7 мм. Слой повышенной твердости составляет от 0,8 до 2 мм.

4. Рентгенографически установлено, что в процессе механической обработки шарики подвергаются поверхностным нагревам, превышающим технологический режим отпуска. Влияние этого дополнительного отпуска на износостойчивость и долговечность подшипников должно явиться предметом специального изучения.

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать следующие выводы:

а) Под действием высоких контактных давлений, создающих в поверхности шарика напряжения всестороннего сжатия, хрупкая структура закаленной на мартенсит стали приобретает пластические свойства. Идентичность текстуры сжатия мартенсита и чистого железа показывает, что механизм пластической деформации последнего сохраняется неизменным и в закаленной высокоуглеродистой стали.

б) Максимум деформации, расположенный в самом тонком поверхностном слое, не отвечает положению максимума касательных, напряжений, рассчитанного для случаев чисто упругого сжатия. Отсюда следует, что пластическая деформация, происходящая в процессе нагружения, приводит к перераспределению напряжений по глубине контактной зоны.

в) В результате пластических смещений твердость поверхностного слоя повышается. Параллельно идущая концентрация напряжений внутри наклепанной зоны и возникновение анизотропии кристаллических ориентаций создают условия усталостного разрушения поверхности.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность директору Института машиноведения АН СССР академику Е.А. Чудакову за постоянный интерес к работе и ряд направляющих указаний при ее выполнении. С благодарностью отмечают авторы также ценные консультации, полученные ими в ходе работы у профессора М.М. Хрущева и профессора С.Т. Конобеевского.

\* \* \*

**Л.В. Альтшулер**

**Теория фокусирования аксиальных пучков и методы  
сверхскоростной структурной рентгенографии**  
*ЖЭТФ. 1943. Т. 13. Вып. 11-12. С. 388-398*

Рассматриваются необходимые условия и возможные методы решения проблемы скоростного и «мгновенного» рентгенографирования структурных состояний. Аналитически исследуются условия фокусирования рентгеновских лучей в аксиальных системах.

Находятся кривая минимальных размывов и новая сферическая форма фокусирующей поверхности, аппроксимирующая совокупность индивидуальных форм фокусирования различных интерференционных линий. На основе развитой теории разрабатывается высокосветосильный метод съемки цилиндрических образцов, позволивший получать рентгенограммы с затратой энергии в 1-3  $\text{mA} \cdot \text{сек}$  при 30—40 kV.

Дается краткое описание конструкции прибора и приводятся первые структурные снимки, полученные за время в сотые и стотысячные доли секунды.

## Введение

Перемещение фронта детонации во взрывчатом веществе совершается с быстротой нескольких километров в секунду. С теми же «взрывными» скоростями распространяются в металле ударные импульсы, возникающие в момент приложения динамических нагрузок. Чтобы зафиксировать на пленке мгновенные деформации пространственной решетки, время экспозиции не должно превышать нескольких сотых долей секунды.

Изучение механизма перехода аустенита в мартенсит требует сокращения времени съемки но крайней мере до десятитысячных долей секунды.

Существует еще много других вопросов, имеющих большое научное и прикладное значение, изучение которых может быть предпринято только после создания методов мгновенной структурной рентгенографии. Трудности получения рентгенограмм за очень короткие промежутки времени общеизвестны. Интенсивность отраженных пучков, фиксируемых структурным снимком, во много сотен раз меньше интенсивности первичного пучка.

Штеенбек [1], Кингдом и Танис [2], Оостеркампф [3], Слек и Эрке [4], Цукерман и Авдеенко [5] при разряде конденсатора емкостью 0,01-0,04  $\mu\text{F}$  на импульсных трубках разных конструкций пропускали за миллионные доли секунды дозы в 2-4  $\text{mA}\cdot\text{сек}$  при 70-100 kV. При этом удавалось анализировать только такие процессы, которые связаны со съемкой прозрачных и контрастных тел.

Были получены фотографии пули в полете и при прохождении через дерево, деформация кожаного футбольного мяча в момент удара, внешние очертания быстродвигающихся деталей механизмов — электромотора автоматической бритвы, вентилятора, тахометра, — движение продуктов взрывчатого разложения и разлет осколков при взрыве электродетонатора [6]. Мгновенное просвечивание более массивных тел оказалось невозможным.

Насколько велики трудности получения структурных микросекундных снимков показывает табл. 1.

Таблица позволяет сделать следующие выводы: достигнутый прогресс в увеличении светосилы съемочных устройств хотя и очень значителен — 30  $\text{mA}\cdot\text{сек}$  вместо 36000  $\text{mA}\cdot\text{сек}$ , — но недостаточен для перехода к импульсным съемкам с длительностью  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  сек. Для осуществления такого рода съемок необходимо дальнейшее увеличение светосилы хотя бы в 8—10 раз.

*(В таблице приведены параметры экспериментов работ [7]-[11]. Затем в статье анализируются еще неиспользованные пути увеличения светосилы – Сост.)*

...Развитая в настоящей работе теория фокусирования аксиальных пучков позволила найти новый метод фокусирования. Он основан на развертывании фокусирующей поверхности вокруг прямой, проходящей через фокус и центры кривизны интерференционных линий.

При этом оказалось возможным простой цилиндрической формой аппроксимировать совокупность индивидуальных поверхностей фокусирования и, таким образом, одновременно сфокусировать широкую область рентгенограммы.

На базе нового метода нами была разработана и изготовлена высокосветосильная съемочная аппаратура.

Как показали первые приведенные в настоящем сообщении экспериментальные результаты, интенсивность сфокусированных линий возросла до предела, позволяющего осуществить сверхбыстрое структурное рентгенографирование технических объектов...

*(Далее в статье, в которой 14 рисунков, включая 7 рентгенограмм, представляющих результаты проведенных по новому методу экспериментов, дается теоретическое обоснование, «схема и принцип нового аксиального метода фокусирования болюнограмм», методика эксперимента и первые результаты. – Сост.).*

**...Получение первых рентгенограмм за время в сотысячные и миллионные доли секунды.** Достигнутое нами увеличение светосилы уменьшило общее количество энергии, необходимое для получения выдержанных рентгенограмм, до 2-4  $\text{mA} \cdot \text{сек.}$  при 30-35 kV.

Как было показано Цукерманом и Авдеенко [5], эти малые дозы энергии на обычной запаянной электронной трубке или кенотроне могут быть пропущены за время в миллионные доли секунды. Необходимая для этого эмиссия получается за счет кратковременного перекала нити катода. Из-за отсутствия запаянной трубки необходимой конфигурации первые импульсные снимки были осуществлены в разборной трубке вышеописанного образца. Для этого вместо ионного катода в нее был вставлен специальный катод Слека [4] с промежуточным электродом, работающий на эмиссии поля. На этом катоде нам удалось реализовать только незначительные емкости, эквивалентные 0,1-0,2  $\text{mA} \cdot \text{сек.}$

Время разряда, по просьбе автора, было проверено Цукерманом. Для этого в момент вспышки была снята пуля, двигавшаяся со скоростью в 800 м в секунду. Отсутствие какого-либо размытия на снимке показало, что время вспышки не превышало одной миллионной доли секунды.

На рис. 14 приведена рентгенограмма, снятая за 10 вспышек, т. е. за суммарное время экспозиции, не превышающее 0,00001 сек.

Слабая, но явно фиксируемая глазом линия была получена за одну вспышку, т. е. за время, меньшее миллионной доли секунды.

На этом мы заканчиваем изложение экспериментальной части. Применения методов импульсной рентгенографии к изучению мгновенных структурных состояний должны явиться предметом специальных исследований, выходящих за рамки настоящей работы.

В заключение автор выражает искреннюю благодарность директору Института машиноведения Академии Наук СССР академику Чудакову Е.А., по инициативе которого было предпринято и выполнено настоящее исследование, и инж. Цукерману В.А. и Сперанской М.П., которым принадлежит разработка схемы импульсного возбуждения рентгеновской трубки и проведение основной серии экспериментов.

Институт машиноведения Академии Наук СССР,  
Рентгеновская лаборатория

Поступило в редакцию  
10 июля 1942 г.

### Литература

- [1] M. Steenbeck. Wiss. Veroffentlich. a. d. Siemenswerken, Bd. 17, No 4, 363, 1938.
- [2] K. Kingdom a. H. Tanis. Phys. Rev., **53**, 128, 1938.

- [3] W.S. Oosterkampf. Phillips Techn. Rev. vol. 5, No 1, 225, 1940.  
[4] Ch. Slack, E.F. Ehrke. Journ. of Appl. Phys., **12**, 165, 1941.  
[5] В.А. Цукерман и А.И. Авдеенко. ЖТФ. XII, 185, 1942.  
[6] В.А. Цукерман. ДАН СССР, 1943 (в печати).  
[7] H. Seemann. Phys. ZS. H. 20, 755-763, 1932  
[8] Schmidt. ZS f. Physik. Chemie, Bd. 23, H. 5/6, 1936.  
[9] Fournier, Condet, Mathiew. Journ. de Phisique et le Radium, 1937.  
[10] Альтшулер и Цукерман. Зав. лабор., VIII, 449. 1939.  
[11] Л.В. Альтшулер. Зав. лабор., IX, № 8, 1940.  
[12] В.А. Цукерман. Зав. лабор., IX, № 10, 1940.

\* \* \*

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР  
Отделение технических наук  
1946, № 4, стр. 603-610

**Л.В. Альтшулер**

**Графическая классификация многокомпонентных сплавов**  
*Представлено академиком Е.А. Чудаковым*

Качественные легированные стали, жароупорные стали, сплавы из легких металлов, так же как и целый ряд других, имеющих широкое распространение материалов, отличаются исключительным разнообразием и сложностью химического состава.

В их сравнительном изучении и классификации большую роль играют методы наглядного графического изображения, позволяющие пространственно объединить или во всяком случае представить подобными геометрическими символами группы сплавов, близких по своей химической композиции.

В двойных диаграммах состояний химические составы определяются их положением на горизонтальной оси, длина которой принята равной единице.

Для изображения тройных сплавов обычно используется двумерное поле равностороннего концентрационного треугольника.

Четверные системы могут быть представлены точкой с тремя независимыми перемещениями внутри пространственной фигуры — правильного тетраэдра.

В общем случае фигуративная точка, изображающая состав  $n$ - мерной системы, должна иметь  $n-1$  степеней свободы, определяющих то же число независимо задаваемых концентраций...

*(Далее излагаются известные методы Шпинделя [1] и Бочвара [2] графического представления многокомпонентных сплавов)*

Основные достоинства методов А.А. Бочвара и М. Шпинделя заключаются в простоте построений и в большой точности отсчетов химического состава, которые могут быть сняты с чертежа. Однако их нельзя признать достаточно наглядными.

Действительно, уже для четверных систем заключение о химическом составе сплава может быть получено только после обследования положения двух точек, расположенных на разных полях диаграммы. Вследствие этого сравнение и классификация обширной группы сплавов требуют последовательного сопоставления и удержания в памяти координат двух многочисленных семейств точек.

С увеличением числа систематизируемых сплавов, а особенно при переходе к 6- и 7-компонентным системам, каждая из которых передается тремя точками, в трех разных диаграммах, эта задача становится практически невыполнимой.

Ниже мы излагаем другой метод, с несколько иными целями применявшийся в металловедении и ранее [3].

### **Основы метода фигуративных окружностей.**

В основу предлагаемого метода графической классификации положена крайне простая идея, с давних времен реализованная в земной и звездной картографии, применение которой к плоскостному изображению трехмерного пространства было впервые дано великим русским геометром и кристаллографом Е.С. Федоровым [4].

По мысли последнего каждая точка пространства изображается на чертеже кругом, диаметр которого пропорционален ее удалению от плоскости рисунка, а центр совпадает с обычной ортогональной проекцией этой точки. Этим открывается возможность, не прибегая к третьей координате пространственных моделей и не вводя ассоциированных диаграмм, характеризовать систему не только по ее положению на плоскости, но и по размерам представляющей ее «фигуративной окружности», т. е. фиксировать ее три независимых параметра, например две концентрации и какое-либо свойство...

Этим способом Гебхардт [3] с большой наглядностью изобразил внутри концентрационного треугольника Cu-Al-Zn сплавов объемные изменения исследованных образцов при старении.

Построение четверных систем также удобнее всего базировать на использовании концентрационных треугольников тройных диаграмм.

Как указывалось, фигуративная точка в этом случае определяет взаимные соотношения в сплаве трех произвольно выбранных элементов, стоящих в его вершинах.

Для обозначения их абсолютных количеств вокруг фигуративных точек, как вокруг центров, описываются окружности (фиг. 5, а), диаметр которых пропорционален суммарному процентному содержанию тройной подсистемы в сплавах. Построенная на этом принципе диаграмма совершенно подобна географической карте, карте звездного неба или кристаллографической сетке, в которых те или иные свойства — населенность городов, яркость звезд или плотность кристаллических плоскостей — с предельной наглядностью представлены окружностями разного диаметра.

В нашем случае размеры кружка определяют легированность сплава, т. е. общий вес легирующей присадки, а его положение — как этот вес распределяется между отдельными компонентами...

Основными преимуществами предлагаемого метода являются:

1) его большая наглядность, объясняемая тем, что и размеры окружности, определяющие степень общей легированности сплава, и ее положение в концентрационном треугольнике воспринимаются при рассматривании диаграммы одновременно, в качестве единого геометрического образа;

2) возможность представления многокомпонентных составов с помощью уменьшенного числа сопряженных диаграмм, что в ряде случаев впервые делает возможным их наглядное графическое представление; так, с помощью фигуративных окружностей это число уменьшается с 2 до 1 для четверных систем, с 3 до 2 для шестерных и семерных систем и с 4 и 5 до 3 для составов из 8, 9 и 10 компонентов;

3) замкнутый характер каждой диаграммы, дающей при любом общем числе компонентов, без обращения к другим концентрационным полям, все данные о суммарном весе и частных концентрациях элементов, стоящих в ее вершинах.

Рассмотрим теперь целесообразные модификации метода, которые понадобятся нам в дальнейшем...

... Кончая на этом изложение основ метода, покажем его применение на примерах классификации сложных многокомпонентных сталей...

... В заключение автор отмечает большую помощь и ценные указания, которые были получены им в процессе написания настоящей работы от члена-корр. А.Н. СССР А.А. Бочвара.

Институт машиноведения  
Академии Наук СССР

Поступила в редакцию  
30 октября 1945 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Spindel M. Beton und Eisen, H. I. S. 16, 1928.
2. Бочвар А.А. Известия ОТН АН СССР, № 12, 1944.
3. Gebhardt. Die Giesserei, № 24, S. 397-403, 1942.
4. Федоров Е.С. Записки горного института. СПб, т. I, вып. 1, 1908.

\* \* \*

Доклады Академии Наук СССР  
1946. Том LII, № 3, стр. 199-202.

МЕХАНИКА

**Л.В. Альтшулер**  
(Институт машиноведения АН СССР)

**О ВЗРЫВЕ В СЖИМАЕМОЙ ПЛАСТИЧНОЙ СРЕДЕ**  
*Представлено академиком Е.А. Чудаковым 30 X 1945*

Движение сферической волны «звуковой амплитуды» в идеально жидкой и вязкой средах математически исследовалось Lamb'ом [1]. Им же развита теория взрыва в несжимаемой жидкости. Распространение деформации в твердом теле при внезапном приложении сферически-симметричного давления разобрано Власовым [2], ограничившимся весьма малыми смещениями чисто упругого характера.

В настоящей работе рассматривается пластическое течение металла, развивающееся вокруг очага взрыва при приложении достаточно больших давлений и скоростей, и определяется относительная роль инерционного и механического сопротивления для различных моментов распространения взрывной волны. Для получения математически обозримых результатов реальный металл заменен идеализированной пластично-сжимаемой средой, плотность которой колеблется незначительно, а модуль объемного сжатия и сопротивление пластическому течению сохраняют постоянные значения. В момент взрыва шарового заряда радиуса  $a$  вокруг него возникает сферическая волна, приводящая материю среды в состояние пластического течения. На ее поверхности выполняется внешнее граничное условие... *(Эта чисто теоретическая работа перекликается с теми «сферическими» задачами, которые Л.В. Альтшулеру пришлось вскоре решать при конструировании атомных зарядов – Сост.)*

Автор выражает благодарность акад. С.Л. Соболеву за ценные советы и большой интерес, проявленный им к настоящему исследованию.

Институт машиноведения АН СССР

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Lamb, Lehrbuch der Hydrodynamik, Berlin, 1931.
2. О.Е. Власов, Вестник Военно-инженер. Академии, **30** (1940).
3. Л. Ландау и Е. Лифшиц, Механика сплошных сред, М., 1944.