СТРУКТУРА ПОЛИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ

А. В. Сушкин, Москва

Первоначальные представления о структуре полированной поверхности металлов находятся еще в работах Гершеля[1], отметившего, что полировка является результатом трения микроскопических частиц друг о друга, и Релея[2], указавшего на зависимость качества полированной поверхности от рода применяемых полирующих материалов.

Более обширное предположение о природе полированной поверхности, сделанное на основании исследования с помощью обычного микроскопа, было высказано Бэйльби[3], согласно которому полированная поверхность является аморфной и обязанной своим возникновением перетеканию вещества от одной части поверхности к другой. Вслед за появлением этой гипотезы, носящей теперь имя ее автора, появились многие работы, рассматривающие этот вопрос с различных точек зрения. Однако все эти работы, посвященные косвенному рассмотрению вопроса, ни подтвердить, ни опровергнуть первоначальной гипотезы не могли. Только начиная с работ Г. Томсона[4], делается новый шаг в исследовании полированной поверхности.

Томсон применил широко распространенный теперь метод диффракции электронов, который, как известно, дает возможность изучать весьма тонкие слои вещества. Исследуя этим методом полированную поверхность, Томсон в согласии с гипотезой Бэйльби не получил на электронограммах характерных для поликристаллических структур колец.

Продолжая работу Томсона, Френч[5] обнаружил, что картина диффракции изменяется в зависимости от стадии полировки: резкие диффракционные кольца от шлифованной поверхности с увеличением степени полировки постепенно расплываются, пока не получатся, в конечном итоге, два широких слабо заметных на сравнительно ярком фоне кольца. Это явление могло быть вызвано либо чрезвычайно большим измельчением кристаллов, либо полным разрушением кристаллической структуры с образованием аморфной поверхности. Измеряя радиусы и относительные интенсивности этих кругов и сравнивая с ними соответствующие данные, к которым приводят формулы Вирля[6] для диффракции от молекул, Френч нашел удовлетворительное согласие между этими величинами, откуда и пришлось сделать заключение, что предположение о наличии слоя, состоящего из беспорядочно расположенных атомов, является правильным.

В противовес взглядам Томсона и Френча появились работы, в которых оспаривались их утверждения. Рэндалл и Руксби[7] на основании исследований графита и каменного угля утверждали, что полученные Френчем кольца соответствовали наиболее интенсивным характеристическим кольцам, размытым вследствие уменьшения размеров кристаллов; менее интенсивные кольца затемнялись при этом фоном. Разница между радиусами нормальных и размытых колец, по мнению Рэндалла и Руксби, обусловливалась изменением параметров решетки с уменьшением кристалла. Гермер[8], считая полированную поверхность кристаллической, утверждал, вопреки результатам экспериментов Френча, что внутренний потенциал металлов, достигающий у никеля 15 V, при малом угле паде-

ния электронного луча может вызвать вследствие рефракции полное слияние всех колец. Соглашаясь со взглядами Гермера на роль рефракции, Кирхнер[9] полагал, что полировка представляет собой скалывание выступающих частей кристаллов, благодаря чему полированная поверхность состоит из параллельных ей кристаллических плоскостей, и луч вместо прохождения сквозь выступающие кристаллические „пики" вынужден проходить по более длинному пути в толще металла. Поэтому и наблюдаются на электронограммах расплывчатые и слабо заметные кольца, так как в этом случае должны сильно сказываться повторное рассеяние и рефракция.

Реттер[10], ранее бывший сторонником вышеизложенных взглядов Кирхнера, на основании своих последних опытов пришел к убеждению в справедливости гипотезы Бэйльби. Он нашел, что железо, медь, никель, калий, серебро и золото, будучи подвергнуты волочению, полировке, ковке или давлению полированной матрицей, давали на электронограммах одинаковые расплывчатые кольца. Положение этих колец не зависело ни от рода применяемой обработки, ни от положения соответствующих характеристических колец, как это было бы, если бы размытые кольца являлись результатом слияния характеристических колец, расширенных, например, вследствие измельчения кристаллов. Как и у Френча, радиусы колец, полученных Реттером, совпадали с величинами, рассчитанными из предположения наличия аморфного слоя (интересно заметить попутно, что исследованные Реттером полированные поверхности монокристаллов каменной соли, кальцита, флюорита и пирита не дали картин диффракции, сколь-нибудь отличных от обычных картин, типичных для монокристаллов).

Позднее Дербишайр и Диксит[11] продолжили исследования Френча, распространив их на металлы некубической структуры, особенно обратив внимание на подбор металлов таким образом, чтобы исключить возможность предполагать слияние характеристических колец вследствие рефракции. Получив специфические электронограммы с двумя слабо видимыми кольцами и подсчитав по формуле Вирля для их радиусов междуатомные расстояния, Дербишайр и Диксит произвели сравнение высчитанных ими величин с величинами междуатомных расстояний b металлов в расплавленном виде, подсчитанных по формуле Кеезома

$$b = 1{,}33\sqrt[3]{\frac{A}{D}},$$

где A — атомный вес, а D — плотность.

Было обнаружено хорошее совпадение этих величин для цинка, золота, серебра, молибдена и некоторых других металлов; для висмута, сурьмы, теллура, кадмия и свинца величины междуатомных расстояний в полированном слое отклонялись от величин междуатомных расстояний в жидком металле приблизительно на 20% в сторону уменьшения. Позднее Мива[12] нашел, что совершенно то же получается для олова, тогда как медь, железо, хром, кобальт и никель дают также хорошее совпадение указанных величин. Приняв во внимание на основании работ Юм-Розери[13] некоторую аномальность металлов, дающих несовпадение величин междуатомных расстояний для полированного слоя и жидкого состояния, Дербишайр и Диксит пришли к заключению, что полученные ими электронограммы обусловлены именно аморфным слоем.

Интересно в связи с этим, что при полировке металлов, атомный объем которых лежит в максимуме кривой, — выражающей периодический закон Менделеева, объем их и, следовательно, плотность меняются значительно, величина атомного объема такого металла приближается к ближайшему минимуму на периодической кривой. Атомный объем элементов, лежащих близко к минимуму упомянутой кривой существенно не меняется. Значение этих выводов вследствие их совпадения с результатами наблюдений Бриджмена над уплотнением металлов под давлением, с одной стороны, и наблюдений над образованием аморфного слоя давлением, с другой, трудно переоценить.

В дальнейшем развитии взгляда на строение полированной поверхности сыграли особо важную роль исследования Финча, Кворелла и Ребука [14]. Эти исследователи производили следующие опыты: в откачанном до высокого вакуума электронографе на хорошо отполированные или протравленные металлические пластинки осаждались конденсацией из пара металлические пленки. Электронограммы сначала от самой подкладки, а потом от пленок наблюдались на флуоресцирующем экране прибора. При этом было замечено, что диффракционная картина, полученная непосредственно вслед за осаждением цинка на полированную поверхность меди и соответствующая кристаллическому цинку, начинала постепенно исчезать и через несколько секунд исчезала бесследно, что свидетельствовало об исчезновении кристаллической структуры цинка. Электронограммы от следующих осаждаемых один за другим слоев (иногда до 12) исчезали так же, как и первая, причем скорость исчезновения с каждым разом уменьшалась. Таким образом, если картина от первого слоя цинка исчезала в несколько секунд, то картины от последних слоев были слабо видны через 4 мин., исчезая окончательно через 5 мин., и только последний осадок давал картину, все еще заметную после четырех часов. Такие же пленки цинка, наносимые на кристаллические (травленые) медные поверхности, давали соответствующие картины диффракции, не изменявшиеся в течение полутора часов ни в яркости, ни в конфигурации. Аналогичные результаты были получены также со слоями цинка, свинца, серебра, олова, кадмия и лития на меди, железе, цинке, свинце и золоте. В дополнение к этому несколько более поздняя работа Финча, Кворелла и Вильмана [15] показала в подтверждение предположения об отличии полированной поверхности от поликристаллической, что при электролизе с током в 0,1 А $дм^2$ на электродах кристаллической меди достаточно 30 сек. для образования определенного цинкового слоя, тогда как для образования такого же слоя на полированных медных электродах необходимо 3 мин. На основании изложенных фактов авторы исследований сделали вывод, что исчезновение диффракционной картины осаждаемых пленок является доказательством их растворения полированным слоем, с образованием твердого раствора, который постепенно с увеличением числа осаждаемых слоев достигает насыщения. Это явление показывает, что полированная поверхность обладает свойством значительно быстрее растворять осаждаемые на нее слои металла, чем поликристаллическая поверхность, и это является сильным доказательством в пользу гипотезы Бэйльби (следует заметить, что описанный эффект наблюдается только на достаточно толстых аморфных слоях).

Однако вопрос о структуре полированной поверхности и после появления вышеназванных исследований оставался не решенным окончательно, и значительность его была настолько велика, что на дискуссии, посвященной структуре металлических покрытий и пленок, организованной в марте 1935 г. Фарадеевским обществом в Англии, он был подвергнут серьезному обсуждению [15, 16, 17, 18, 19]. В докладе, посвященном состоянию электронографии, Финч, Кворелл и Вильман [15] указали на возникновение аморфного слоя на внутренних поверхностях цилиндров авиамоторов от трения их поршнем при длительной работе. С рабочих поверхностей снимались электронограммы, давшие у моторов, бывших в обкатке, характерные для аморфной поверхности расплывчатые кольца. После протирки испытывавшихся образцов наждачной бумагой № 0000, на электронограммах появлялись обычные (как у поверхностей необкатанных моторов) кольца, характерные для чугуна (α — Fe).

Выступивший на этой дискуссии Гопкинс [16] сообщил в своем докладе результаты измерений толщины аморфного слоя. Его работа, дающая гипотезе Бэйльби дополнительное доказательство, показала, что при удалении катодным распылением верхних слоев от металла с полированного золота обнаруживались наряду с картиной от аморфного состояния также и тонкие линии кристаллического золота. Эти линии, едва заметные при удалении слоя в 10 Å, становились все более и более яркими по мере удаления дальнейших слоев золота с поверхности, пока, наконец

после снятия слоя в 400—500 Å не получалась отчетливая нормальная электронограмма золота.

Аналогичные результаты были получены и сообщены в докладе на той же дискуссии Лисом [17]. Работая с золотом и медью, он, помимо подобного же изменения на электронограммах, обнаружил наличие под аморфным слоем кристаллов, ориентированных плоскостью (110) параллельно поверхности. Базируясь на этих наблюдениях, Лис высказал возражение против взглядов Кирхнера. Если допустить, что на поверхности имеются кристаллические грани, то согласно его наблюдениям следует считать, что она будет состоять из плоскостей (110), для которых соответствующие максимумы на электронограмме при внутреннем потенциале около 15 V и скорости электронов в 40 kV, как показывает расчет, должны будут вследствие рефракции заметно удлиняться по направлению нормали к поверхности образца. В действительности же Лис этих удлиненных пятен не наблюдал. Обе этих работы по измерению толщины аморфного слоя, подтверждая взаимно друг друга, подтверждают гипотезу Бэйльби еще тем фактом, что при постепенном снятии слоев, т. е. при переходе от аморфной структуры к кристаллической, электронограммы меняются, проходя в обратном порядке все фазы, наблюденные ранее Френчем.

Вопреки успехам всех рассмотренных выше доказательств, Кирхнер [18], продолжая на дискуссии отстаивать противоположную по отношению гипотезы Бэйльби позицию, привел сторонникам гипотезы ряд возражений, заслуживающих подробного анализа. По его мнению с гипотезой об аморфной природе полированной поверхности не согласуются его собственные наблюдения, позволившие обнаружить разницу между электронограммами, полученными методом прохождения электронного пучка сквозь тонкие слои металла, и электронограммами, полученными при „отражении" от поверхности.

Опыты состояли в следующем: с полученной конденсацией в вакууме золотой пленки толщиной $\sim 10^{-6}$ *см* снимались электронограммы методом прохождения и методом „отражения". В первом случае на электронограмме были получены резкие кольца, причем кольца (111) и (200) были ясно отделимы. Во втором случае были получены два расплывчатых кольца такого же вида, как и получаемые обычно на электронограммах от полированной поверхности. Более обширные эксперименты Пансдорфа [19] подверждают это явление. Оказалось далее, что с увеличением толщины слоя различие в резкости интерференционных колец сглаживается. Однако нормальной резкости кольца при „отражении" появляются при бо́льшей толщине слоя, чем при прохождении электронного пучка. Объяснение этому давалось такое: предполагая идеально гладкую подкладку (например слюду) с неровностями только атомных размеров, при малых величинах толщины осажденного металла можно получить слой с неровностями порядка размеров кристаллов. Следовательно, при съемке электронограмм по методу отражения, т. е. при скользящем прохождении электронного луча по исследуемой поверхности, кристаллы должны почти закрывать друг друга, так что в образовании картин должны принимать участие только выступающие части („пики"). Приняв действующую величину кристалла в $\frac{1}{4}$ его действительного размера, следует ожидать, что при отражении некоторое уменьшение резкости колец может наблюдаться при бо́льшем кристалле, чем при методе прохождения, и если при проходящем луче можно судить о действительном размере кристалла по ширине колец, в случае отражения даже при естественном росте кристаллов о действительном размере их судить трудно. Поэтому расширение колец на электронограммах, снятых для полированной поверхности, не может являться достоверным доказательством сильного измельчения кристаллов или образования аморфного слоя. Исследования Пансдорфа показали, далее, что аморфной поверхности здесь в действительности не существует, так как исследованная заведомо аморфная пленка селена на электронограммах, снятых по методу прохо-

ждения, давала сильно расширенные интерференционные кольца, а на электронограммах, снятых „отражением", давала только равномерно убывающий от центра к краям фон; исследованная поверхность жидкой ртути также не давала интерференционных колец. Отсюда следует, что от настоящей аморфной поверхности при отражении электронного луча нельзя вообще ожидать на электронограмме каких-либо максимумов, и появление их в этих случаях следует принимать как аргумент о наличии сравнительно больших неровностей, бо́льших, чем неровности аморфной поверхности или поверхности одноатомной жидкости.

Возражая против вышеизложенной концепции Кирхнера, Томсон[20] заявил, что при снятии электронограмм по методу отражения действительного отражения нет, так как при обычных углах падения электронного луча, не больших 5°, и максимальном пути электронов в металле около $4 \cdot 10^{-6}$ *см* глубина погружения электронов от поверхности должна быть не меньше $2 \cdot 10^{-7}$ *см*, а этого должно быть достаточно при наличии действительно кристаллического материала для появления более резких колец, чем получаемые обычно на электронограммах с полированной поверхности. Подводя итоги дискуссии, Томсон, так же как Финч и другие, заявил, что он считает установленным факт наличия на полированном металле аморфного слоя.

Несмотря на такой результат дискуссии, Добинский[21] в более поздней работе утверждал, что обычную электронограмму от полированной поверхности можно считать обусловленной окисными пленками, легко возникающими на металлах, находящихся в воздухе. В подтверждение этого предположения Добинский, ссылаясь на отсутствие во всех работах по данному вопросу специальных мер предосторожности, привел собственные наблюдения. Применяя при полировке в качестве смазывающего вещества бензин, он тотчас после полировки получил (с образцов меди) электронограмму с расплывчатыми полукольцами, соответствующими междуатомным расстояниям, меньшим, чем обычно получаемые для полированной меди. Этот же образец, оставленный на воздухе, постепенно окисляясь, стал давать через некоторое время электронограммы, не отличающиеся от обычных электронограмм полированной меди. Истолковывая полученную вначале электронограмму как результат слияния характеристических колец меди (111) и (200) для внутреннего расплывчатого кольца и (220), (331) и (222) для внешнего кольца, Добинский пришел к выводу, что обычные электронограммы полированной меди могут быть отнесены к закиси меди Cu_2O. Так как многие металлы (например никель и железо), имея различные кристаллические структуры, почти все имеют для окислов структуры, одинаковые с Cu_2O, то вышеуказанные соображения об интерпретации электронограмм могут быть распространены на большинство металлов. С этими выводами Добинского согласился и Каллендер[22], базируясь на своих экспериментах по растворению, произведенных над полированным алюминием. Каллендер утверждал, что все прежние исследования были произведены в действительности на окисной пленке[1]).

Последней из большого ряда работ, посвященных данному вопросу, является статья Финча[23], опубликованная в 1937 г. В ней, подводя итоги, Финч пишет, что взгляды Бэйльби подтверждаются анализом и сопоставлением всех сделанных до настоящего времени исследований. Только в части гипотезы, касающейся полированной поверхности неметаллов, Бэйльби был неправ: полированная поверхность кальцита, например, представляет собой (это подтверждают в особенности последние экспе-

---

[1]) Насколько серьезными являются выводы Добинского и Каллендера, можно видеть еще из целого ряда работ, связанных с обнаружением пленки окиси, возникающей при комнатной температуре и на других металлах. Такая пленка наблюдалась Штейнгейлем[24] и Бичингом[25] на аммонии, Ридмиллером[26] на никеле, Финчем и Кворреллем[27] на цинке и, наконец, Нельсоном[28] и многими другими авторами на железе. *Ред.*

рименты самого Финча) монокристаллическую структуру, появляющуюся при рекристаллизации аморфного слоя.

Можно вполне согласиться с авторитетным утверждением известного исследователя, так как рассмотрение всех вышеизложенных точек зрения показывает, что утверждения противников гипотезы Бэйльби опровергаются рядом чрезвычайно веских фактов, открытых ее многочисленными сторонниками. Даже возражения Добинского и Каллендера, являющиеся по существу модификацией наиболее веских возражений Кирхнера, находят себе опровержение в вышеразобранных работах. Действительно, не говоря уже о невозможности совпадения структур окислов всех металлов и об обязательном удалении их с исследуемых поверхностей при катодном и электролитическом удалении слоев, позволяющих очищать истинную структуру полированного слоя, даже предполагая замену всего аморфного слоя окисью, вряд ли возможно объяснить расширение колец на электронограмме иначе, как измельчением кристаллов.

Таким образом можно считать, что гипотеза Бэйльби в настоящий момент завоевала, повидимому, прочное положение у большинства исследователей, работающих над вопросом о полированной поверхности. Работы многочисленных исследователей не только подкрепили предположение Бэйльби, но и дали материал для формирования современного взгляда на структуру полированной поверхности и процесс полировки. Этот взгляд можно сформулировать следующим образом.

Полированная поверхность металлов состоит либо из сильно измельченных (до размера элементарной ячейки) кристаллов, либо, что более вероятно, из отдельных максимально сближенных атомов, образующих некоторый аналог жидкости — аморфный слой.

Помимо высказанных суждений о строении полированной поверхности, можно также установить ее толщину и охарактеризовать структуру ближайших к ней слоев металла, которая непосредственно связана со структурой полированной поверхности.

Первоначальные попытки определить толщину аморфного слоя, произведенные Бэйльби с помощью микроскопа, заключались в последовательном протравливании полированной поверхности, но они не позволили установить даже порядка могущих интересовать величин. Реттер на основании обобщения своих опытов дал для аморфного слоя металлов порядок толщины $10^{-6} - 10^{-7}$ *см*.

Точно установить толщину аморфного слоя и глубинные структуры металлов для различных условий полировки ввиду малочисленности экспериментальных данных еще и теперь не представляется возможным. Однако имеющиеся данные позволяют по отдельным случаям определить границы изменений глубины проникновения полировки, зависимость которой от многих факторов теперь несомненна. Наблюдения производились над нижними слоями полированных различными способами поверхностей меди и золота. Снятие наружных слоев металла производилось последовательно небольшими порциями в одном случае электролизом (Лис), в другом — катодным распылением (Гопкинс). Несмотря на видимое различие этих способов, разницы в результатах наблюдений не получалось. Было обнаружено, что верхний слой порядка 20—40 Å толщины представляет собой аморфный слой (либо слой дезориентированных кристаллов меньше 15 Å). Непосредственно за этим слоем обнаруживался слой толщиной от 200 до 800 Å для меди и до 10 000 Å (1 μ) для золота, в котором наблюдалась ориентация кристаллов плоскостью (110) почти параллельно поверхности (угол между нормалями к плоскости 110 и исследуемой поверхности был равен 20°), причем размер кристаллов в этом слое был меньше, чем в более глубоких слоях. Весьма замечательным свойством этого слоя является независимость ориентации кристаллов в нем от направления движения полируемого образца металла при полировке. За слоем ориентированных кристаллов наблюдался слой несколько измельченных кристаллов,

непосредственно переходящий в обычную структуру металла. Таким образом видно, что с удалением от поверхности величина деформации уменьшается, и, естественно, что для мягких металлов глубина проникновения деформации должна быть больше, несмотря на то, что общая картина деформации для металлов одной группы должна быть одинакова.

Вышеописанные структурные особенности, без сомнения, определяют, правда еще не в явном виде, и свойства полированной поверхности, которая, помимо общеизвестного (но не специфического) свойства „зеркальности", обладает рядом замечательных свойств. Давно известно, что полированная поверхность сравнительно слабо поддается окислению и что твердость и электрическое сопротивление ее больше, чем у кристаллической поверхности. Некоторые из этих свойств более или менее достоверно можно объяснить следующим образом. Зеркальность является следствием сглаживания неровностей, больших, чем длина волны световых лучей; химическая пассивность полированной поверхности не является собственным ее свойством, а является результатом пассивирования — образования окисных пленок, легко возникающих на полированной поверхности в воздухе, сама же полированная поверхность чрезвычайно химически активна; повышенная твердость находит себе объяснение в беспорядочной и плотной упаковке атомов в аморфном слое, обладающем с термодинамической точки зрения высоким уровнем потенциала и находящемся в очень напряженном состоянии. На особом месте находится описанное выше свойство растворения полированной поверхностью осаждаемых на нее тонких слоев металла, полное объяснение которому не может быть дано; форма существования твердого раствора в полированной поверхности также неизвестна.

Связь свойств полированной поверхности с условиями полировки несомненна, и поэтому отчетливое представление о механизме этого процесса чрезвычайно важно. Начиная со времен Бэйльби, вопросу о механизме полировки уделялось внимание почти в каждом исследовании, но несмотря на это, многое в этом вопросе остается неясным. Бэйльби считал, что процесс полировки происходит так: под давлением и трением микроскопических выступов частиц полирующего материала верхний слой полируемого металла испытывает большие деформирующие усилия, от которых выступающие углы кристаллов сламываются, кристаллическая решетка разрушается, металл как бы размазывается, течет, заполняя углубления на поверхности. Лис в упомянутой выше работе, в подтверждение изложенного, высказал предположение, что в образовании аморфного слоя и следующего за ним слоя ориентированных кристаллов играет основную роль давление. Это убеждение базируется на том факте, что как бы ни менялось направление движения образца по плите во время полировки, направление ориентации остается постоянным, причем ориентация оказывается такой же, какую наблюдал Тейлор [23а] и др., в сильно сжатых кристаллах. Правда, для проведения этой параллели и принятия этого толкования нужно допустить, что площадь металла, соприкасающаяся с суммарной площадью выступов микроскопических частиц полирующего материала, равняется 1/5000 общей площади образца, так как применяемое давление при полировке вручную — 0,12 *кг/см*, а применявшееся Тейлором давление имеет порядок 620 *кг/см*². При этом нужно также допустить, что трение в местах касания полирующих частиц и металла незначительно, так как иначе для идентификации условий опытов нельзя считать в случае полировки силу давления нормальной к поверхности. На большую роль давления, вызывающего пластические деформации, указывают опыты Реттера, получавшего аморфную поверхность волочением, полировкой и накленом, причем структуры получаемых поверхностей не отличались друг от друга [1]).

Нужно заметить, что более мягкие и вязкие металлы легче поддаются полировке. Любопытно также, что в случае работы с жидкими

---

[1]) В дополнение к приведенным здесь данным следует сослаться еще на работу Баудена и Ридлера [29], которые показали, что средняя темпера-

смазывающими веществами зеркальность появляется чаще тогда, когда полирующий материал несколько густеет и движение образца требует значительного усилия.

Произведенные до сего времени работы не дают материала для окончательного суждения о механизме полировки и для установления практических зависимостей качества получаемой поверхности от давления, полировочного материала и продолжительности полировки. Поэтому приходится ограничиваться немногочисленными частными случаями. Так например, известно, что для получения достаточной для наблюдения эффекта растворения в полированной поверхности толщины слоя необходимо применять полировальный круг с кожаной обтяжкой; добиться удовлетворительных результатов с ручной полировкой не удавалось. По данным Лиса известно, что при полировке меди вручную крокусом с водой глубина полированного слоя (аморфного и ориентированного вместе) равнялась приблизительно 200 Å, размер кристаллов в ориентированном слое ~ 160 Å; при полировке крокусом на фланелевом круге общая глубина слоя была ~ 500 Å, размер кристаллов ~ 100 Å; при работе с продажным жидким веществом для полировки аморфный слой был не всегда совершенен, и ориентация кристаллов наблюдалась на поверхности. Роль смазочного вещества при полировке не ограничивается влиянием на качество аморфного слоя, но в зависимости от рода применяемого для смазки вещества можно получить после полировки окисленную или неокисленную поверхность. Так например, при применении бензина (или подобного ему вещества) окисления при полировке удавалось избежать.

Уместно здесь будет заметить, что разные условия полировки, обусловливающие то или иное качество поверхности, могут приводить к сомнительным заключениям о природе наблюдаемого эффекта. Нужно ожидать, что распространенное сейчас мнение о том, что полированная по методу акад. Гребенщикова поверхность представляет собой сглаженную кристаллическую поверхность, произошло именно потому, что обработка по этому методу продолжается весьма недолго, и поэтому необходимая для наблюдения многих характерных явлений толщина аморфного слоя не получается, а получается очень тонкий слой, достаточный только для придания предмету зеркального блеска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Herschel, Proc. Roy. Inst., 16, 563, 1901.
2. Rayleigh, Proc. Roy. Inst., 16, 563, 1901.
3. Beilby, Aggregation and Flow of Solids, Macmillan, London, 1921.
4. Thomson, Proc. Roy. Soc., A 128, 649, 1930.
5. French, Proc. Roy. Soc., A 140, 637, 1933.
6. R. Wierl, Ann. d. Phys., 8, 521, 1931.
7. Randall a. Rooksby, Nature, 129, 280, 1932.
8. Germer, Phys. Rev., 43, 724, 1938.
9. Kirchner, Nature, 129, 545, 1932; Trans. Farad. Soc., 31, 1114, 1935.
10. Raether, Z. Physik, 86, 82, 1933.

тура полированного слоя во время его образования быстро возрастает до точки плавления металла и остается притом не зависимой от силы полировочного действия.

По мнению Финча этот факт, если его рассмотреть в связи с обнаруженным Бэйльби перетеканием материала при полировке (в особенности путем выявления старых царапин от шлифовки после протравливания полированного слоя), еще раз говорит о том, что перетекание происходит а счет жидкой фазы, а не обломков кристалла. *Ред.*

11. Darbyshire a. Dixit, Phil. Mag., **108**, 961, 1933.
12. Miwa, Sci. Pap. Tohoku Imp. Univ., **24**, 222, 1935.
13. Hume-Rothery, The Metallic State, p. 307, Clarend Press., 1931.
14. Finch, Quarell a. Roebuk, Proc. Roy. Soc., **A 145**, 676, 1934.
15. Finch, Quarell a. Willman, Trans. Farad. Soc., **31**, 1935.
16. Hopkins, Trans. Farad. Soc., **31**, 1935.
17. Lees, Trans. Farad. Soc., **31**, 1935.
18. Kirchner, Trans. Farad. Soc., **31**, 1114, 1935; Ann. d. Phys., **28**, 21, 1937.
19. Papsdorf, Ann. d. Phys., **28**, 555, 1937.
20. Thomson, Trans. Farad. Soc., **31**, 1935.
21. Dobinsky, Nature, **138**, 31, 1936.
22. Kalendar, Nature, **138**, 291, 1936.
23. Finch, Trans. Farad. Soc., **33**, 425, 1937.
23a. Taylor a. Farren, Proc. Roy. Soc., **111**, 529, 1926.
24. Steinheil, Ann. d. Phys., **19**, 465, 1934.
25. Beeching. Phil. Mag., **22**, 938, 1936.
26. R. Riedmiller, Z. Physik, **102**, 408, 1936.
27. Finch a. Quarrell, Proc. Phys. Soc., **46**, 148, 1934.
28. Nelson, J. Chem. Phys., **5**, 252, 1937.
29. Bowden a. Ridler, Proc. Roy. Soc., **A 154**, 640, 1936.