

УДК 539.625

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

И. Г. НОСОВСКИЙ, Э. В. ИСАЕВ, Б. И. КОСТЕЦКИЙ
**О РОЛИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПРИ ТРЕНИИ
И СХВАТЫВАНИИ МЕТАЛЛОВ**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 15 X 1970)

В настоящее время существует несколько принципиально различных и противоречивых представлений о природе и механизмах схватывания металлов при трении (¹⁻⁵). Применение теории несовершенных кристаллов для объяснения сущности процесса схватывания позволило предложить дислокационно-вакансионную гипотезу образования металлических связей при взаимодействии пластически деформируемых металлов. Основное содержание ее сформулировано в работах (^{6, 7}).

Главной предпосылкой развития процесса схватывания является активизация металла при совместной пластической деформации, определяемая плотностью вакансий и междоузельных атомов. Эти дефекты возникают в результате реализации при пластической деформации механизмов взаимодействия различных видов дислокаций (^{8, 9}). Некоторые результаты, косвенно подтверждающие дислокационно-вакансионную гипотезу схватывания металлов, были получены в исследованиях (¹⁰⁻¹³).

С целью прямого доказательства дислокационно-вакансионной природы процесса схватывания нами исследованы закономерности развития этого процесса при трении металлов, имеющих аллотропические модификации со структурами гексагональной плотноупакованной (г.п.) и гранепцентрированной кубической (г.ц.к.) решеток. При аллотропическом переходе от одного типа решетки к другому коренным образом изменяются механизмы пластической деформации. При этом самым существенным образом изменяются возможности образования и концентрации вакансий, определяющие склонность металлов к схватыванию.

Испытаниям подвергались образцы кобальта и лантана. Типы решеток и температуры аллотропических превращений этих металлов приведены ниже:

кобальт до температуры 420° — г.п.-, выше 420° — г.ц.к.-решетка

лантан до температуры 220° — г.п.-, выше 220° — г.ц.к.-решетка

Для устранения влияния воздушной среды и образования окисных пленок, препятствующих схватыванию, трение образцов осуществлялось в вакууме (10^{-5} тор). Для предупреждения возможности диффузии примесей были применены металлы высокой чистоты (99,99%). Испытание осуществлялось на вакуумной установке путем трения торцов цилиндрических образцов, имеющих внешний диаметр 25 мм, внутренний диаметр 17,8 мм, высоту 6 мм. Нормальная нагрузка на поверхности трения была постоянной и равнялась 10 кг/см². Испытание производилось при скорости скольжения 0,05 м/сек. При испытаниях каждая пара трущихся образцов при помощи специального нагревательного устройства подогревалась до заданной температуры, которая во время испытаний поддерживалась постоянной. Объемная температура образцов контролировалась термопарой. Силы трения и температуры во время испытания записывались на осциллографе.

В результате этих испытаний были получены зависимости износа и силы трения образцов из кобальта и лантана от температуры. Анализ полученных зависимостей показал, что износ образцов кобальта и лантана в интервалах температур существования структуры гексагональных решеток практически не зависит от степени нагрева их при испытании. Износ незначительный и находится в пределах: для кобальта — 1 мг/см^2 на 1000 м пути трения, для лантана до 20 мг/см^2 на 1000 м пути трения (рис. 1). Профилографирование и металлографический анализ этих образцов показывает, что их поверхности трения отличаются высокой чистотой и отсутствием заметных повреждений, характерных для процесса схватывания.

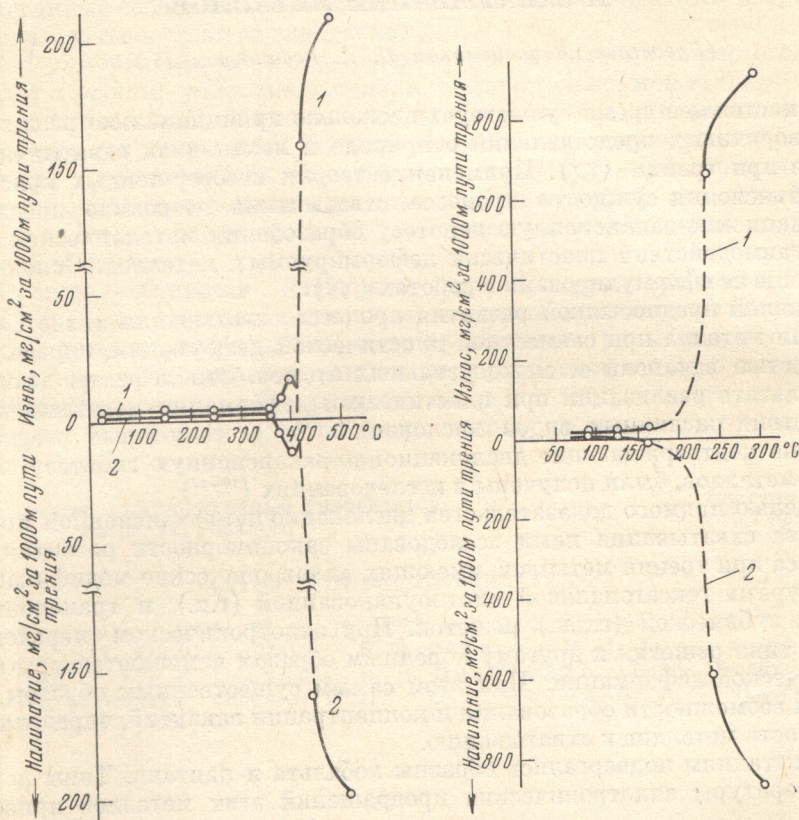


Рис. 1. Зависимость приведенного износа кобальта (слева) и лантана (справа) от температуры в вакууме (10^{-5} тор): 1 — нижний образец; 2 — верхний образец

При трении образцов, нагретых выше температур аллотропических превращений, когда кобальт и лантан имеют г.д.к.-решетку, наблюдается резкое, скачкообразное повышение износа в результате интенсивного развития процесса схватывания. Износ кобальтовых образцов увеличивается в 200 раз, а лантановых — в 45 (рис. 1). При этом наблюдается перенос металла нижнего образца на верхний. Вес нижних образцов уменьшается, а верхних увеличивается на величину, приблизительно равную потере веса нижних образцов (рис. 1). Перенос металла нижних образцов на верхние в результате развития процесса схватывания обусловлено более высокой температурой верхних образцов по сравнению с нижними. Интенсивное охлаждение и более низкая температура нижних образцов связаны с конструкцией их крепления в машине. Профилографирование и металлографический анализ образцов кобальта и лантана, испытывавшихся выше

температур аллотропических превращений структуры г.п.- в г.д.к.-решетку, показывают все признаки интенсивного развития процесса схватывания.

Силы трения, как и износ испытываемых металлов, скачкообразно увеличиваются при испытаниях выше температур аллотропических превращений (рис. 2). Это также свидетельствует об интенсивном развитии процесса схватывания после перехода в аллотропическую модификацию, имеющую кристаллическую структуру г.д.к.-решетки. Скачкообразное изменение силы трения у кобальта и лантана при их аллотропических превращениях отмечались в исследованиях и других авторов (¹⁴, ¹⁵). Изменение структуры кристаллической решетки оказывает большое влияние не только на величину силы трения, но и на характер ее изменения. На рис. 3а приведена осциллограмма силы трения кобальта до аллотропического превращения (г.п.-решетка), а на рис. 3б — после аллотропического превращения (г.д.к.-решетка).

Анализ полученных результатов показывает, что наиболее интенсивно процессы схватывания развиваются после аллотропического превращения исследованных металлов в модификацию с г.д.к.-решеткой. В этом случае износ на несколько порядков больше, чем при модификации со структурой г.п.-решеток. Величина силы трения и ее характер также резко различаются. Можно утверждать, что главной причиной такого различия в развитии

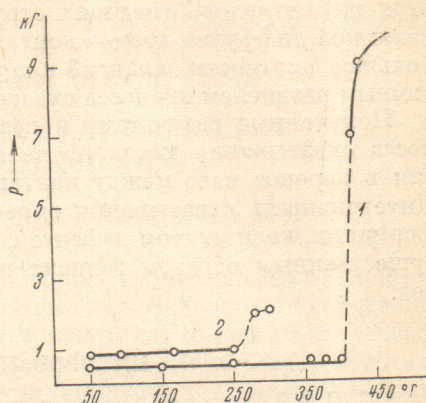


Рис. 2. Зависимость силы трения от температуры в вакууме (10^{-5} тор): 1 — кобальт; 2 — лантан



Рис. 3. Осциллограмма изменения силы трения при испытании кобальта: а — 360°; б — 430°

схватывания являются разные возможности возникновения точечных дефектов при пластической деформации в металле со структурами г.п.- и г.д.к.-решеток.

Плотность точечных дефектов обуславливается, в первую очередь, плотностью дислокаций. Плотность дислокаций, образующихся при пластической деформации при прочих равных условиях, зависит от количества плотностей скольжения. В кристаллах, ориентированных для множественного скольжения, реализуется наиболее высокая плотность дислокаций. Наибольшие возможности для взаимодействия между дислокациями создаются в случае, когда дислокации двигаются по пересекающимся плоскостям скольжения. В кристаллах со структурой г.п.-решетки скольжение идет, как правило, только в одной системе плоскостей, параллельных плоскостям основания. Естественная деформация таких кристаллов близка к идеальному ламинарному течению (¹⁶). В результате этого плотность дислокаций металлов с г.п.-решетками будет малой. Намного большие возможности увеличения плотности дислокаций имеются при пластической деформации в кристаллах со структурой г.д.к.-решетки, в которых скольжение осуществляется в нескольких пересекающихся плоскостях.

Таким образом, возможностей для образования точечных дефектов типа вакансий и междоузельных атомов в аллотропических модификациях

кобальта и лантана со структурой г.д.к.-решетки значительно больше, чем у аллотропических модификаций этих металлов со структурой г.п.-решетки. Трение кобальта и лантана в диапазоне температур существования г.п.-решетки отличается малой величиной износа, малой силой трения, плавным ее изменением и отсутствием заметных признаков схватывания. Трение этих же металлов, имеющих структур г.д.к.-решетки, вызывает развитие взаимной диффузии атомов контактирующих металлов вследствие наличия большой плотности вакансий и других точечных дефектов и связано с энергичным развитием процесса схватывания.

Полученные результаты показывают, что основным содержанием процесса схватывания металлов является объемное взаимодействие, диффузия и перенос масс между контактирующими при трении поверхностями. Интенсивность схватывания определяется механизмами пластической деформации, количеством дефектов, образующихся при деформации и самым существенным образом зависит от кристаллического строения трущихся тел.

Поступило
8 X 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. Б. Айбиндер, Холодная сварка металлов, 1957. ² И. Б. Баранов, Холодная сварка пластических металлов, М., 1962. ³ О природе схватывания твердых тел, «Наука», 1968. ⁴ D. H. Buckley, R. L. Johnson, ASLE. Transactions, 8, 123 (1965). ⁵ А. П. Семенов, Схватывание металлов, М., 1958. ⁶ Б. И. Костецкий, И. П. Ивженко, Автоматическая сварка, № 5 (1964). ⁷ Б. И. Костецкий, И. П. Ивженко, Сборн. научн. тр. Киевск. инст. инж. гражд. авиации, в. 5, Киев, 1964. ⁸ Х. Г. Ван Бюрен, Дефекты в кристаллах, ИЛ, 1962. ⁹ Ж. Фридель, Дислокации, М., 1967. ¹⁰ Б. И. Костецкий, И. П. Ивженко, В. С. Бойко, Докл. АН УССР, № 11 (1966). ¹¹ Б. И. Костецкий, О. В. Шульга, Автоматическая сварка, № 10 (1969). ¹² Б. И. Костецкий, Трение, смазка и износ в машинах, Киев, 1970. ¹³ И. Г. Носовский, Влияние газовой среды на износ металлов, Киев, 1968. ¹⁴ J. M. Parks, Welding J., 32, № 5 (1953). ¹⁵ А. П. Семенов, В. В. Поздняков, Сборн. Структура и свойства жаропрочных металлических материалов, «Наука», 1967. ¹⁶ А. Х. Коттрелл, Дислокации и пластическое течение в кристаллах, М., 1958.