

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А. П. СЕМЕНОВ

**СХВАТЫВАНИЕ МЕТАЛЛОВ ПРИ СОВМЕСТНОМ
ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 9 VII 1952)

Интерес к межмолекулярному (или междуатомному) взаимодействию поверхностей трения возник уже давно, но до настоящего времени нет общепринятой точки зрения на характер и условия, при которых оно проявляется. Крайнее проявление этого взаимодействия — схватывание (образование таких же связей, как и в самом твердом теле) — наблюдается на практике в виде возникающих «узлов схватывания», «налипания», «заедания» и пр.

Наличие деформированной зоны и значительного наклепа в области схватывания, выявляемых при анализе микроструктуры и при измерении микротвердости, позволяет предположить, что схватывание при трении происходит в твердом состоянии в результате совместного пластического деформирования поверхностных слоев металла и что температура при этом не поднимается до высоких значений (наклеп не снимается).

Выявить, какие явления и в какой степени действуют при трении на проявление схватывания, практически не представляется возможным, поэтому исследование схватывания целесообразнее проводить при моделировании процесса. Очевидно, схватывание может быть воспроизведено при любых видах совместного деформирования металлов, так как трение по существу также является процессом совместного деформирования.

В соответствии с этим для экспериментального исследования явления схватывания нами были разработаны и применены методы: 1) совместного деформирования листовых образцов симметрично-наклонными пуансонами (рис. 1 а), позволяющий определять деформацию схватывания за одно вдавливание пуансонов в одну пару образцов, и 2) совместного деформирования (попарно) в замкнутом объеме цилиндрических образцов, имеющих на концах цилиндрические же выступы меньшего диаметра (рис. 1 б).

Первый метод обеспечивает, вследствие неравномерности пластической деформации металла между пуансонами (рис. 2 на вклейке), вдавливание поверхностных слоев металла вместе с окисными пленками в стороны, в результате чего в зоне контакта имеет место выход на соединяемые поверхности внутренних объемов металла, образующих ювенильные участки поверхности.

Наглядным примером, подтверждающим правильность вышесказанного, является совместное деформирование 3-листовых образцов (рис. 3). Внутренний образец (из меди или железа), имеющий большее сопротивление пластическому деформированию, чем наружные алюминиевые образцы, продавливается ими насквозь и затем раздвигается в стороны.

Несмотря на то, что интенсивное локальное образование ювенильных

участков поверхностей для экспериментально установленной оптимальной ширины пуансонов, равной толщине образцов, начинается при глубине вдавливания пуансонов в 50% (что соответствует моменту встречи конусов деформации), для соединения одноименных пар чистых металлов требуются значительно большие вдавливания пуансонов (табл. 1).

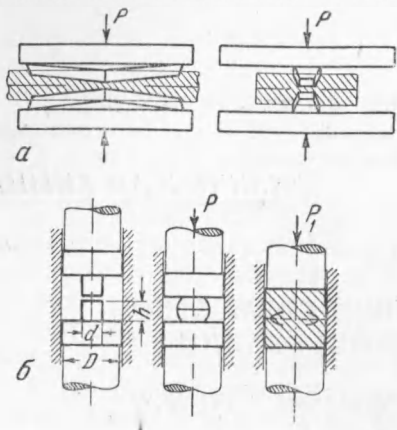


Рис. 1. а — деформирование листовых образцов симметрично-наклонными пуансонами; б — деформирование в замкнутом объеме попарно сложенных цилиндрических образцов с цилиндрическими выступами меньшего диаметра

Приведенные в табл. 1 данные получены на отожженных образцах толщиной 3 мм, соединяемые поверхности которых перед деформированием очищались вручную металлической щеткой. Деформирование производилось при комнатной температуре со скоростью 2 мм/мин. Столь малая скорость исключала возможность значительного повышения температуры за счет тепла, выделяющегося при деформировании, и роль диффузии и рекристаллизации (в обычном понятии этого слова) в соединении образцов была исключающе мала. Прочность соединения при достижении деформации охватывания и в случае наклепывающихся металлов превышала их прочность в исходном состоянии.

Из приведенного выше следует, что при комнатной температуре для проявления схватывания одного непосредственного контакта чистых поверхностей металла недостаточно. Схватывание в рассматриваемом слу-

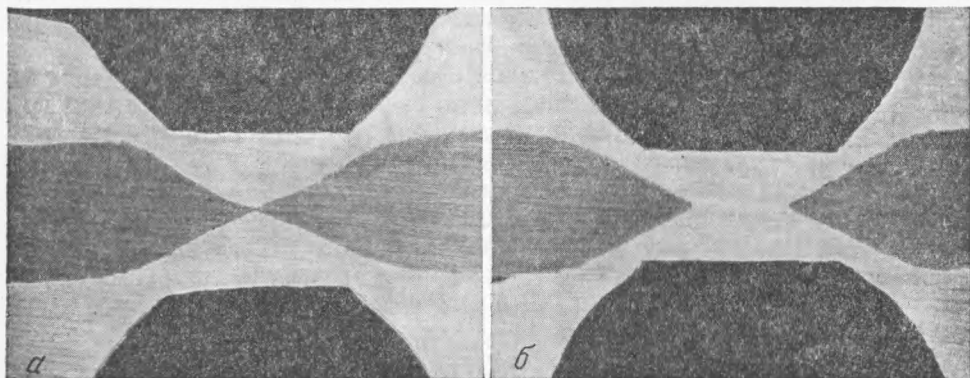


Рис. 3. Поперечные разрезы трех совместно деформированных листовых образцов (наружные образцы из алюминия, внутренний из меди, $\times 12,5$). Глубина вдавливания пуансонов: а — 64%; б — 75%

чае происходит при определенной для данного металла глубине вдавливания пуансонов. Состояние металла при этом характеризуется свойственной данному металлу при условиях проведения опыта комбинацией напряженного состояния, наклепа и температуры. Качественное влияние каждого из этих факторов на проявление схватывания было исследовано нами отдельно.

Для выяснения влияния схемы напряженного состояния применялся второй из указанных выше методов исследования. Попарно сложенные очищенными металлической щеткой поверхностями образцы имели катушкообразную форму (рис. 1 б). В процессе деформирования централь-

ная часть образцов, имеющая меньший диаметр, становилась сначала бочкообразной, а затем дискообразной (рис. 4 на вклейке). После того как металл заполнял весь замкнутый объем, дальнейшее повышение давления накладывало на имевшее в этот момент место напряженное состояние дополнительное объемное сжатие. Такая схема испытания позволяла для задаваемой изменением высоты цилиндрических выступов (при прочих неизменных размерах) величины пластической деформации определять давления, при которых наступало схватывание. Установлено, что при уменьшении величины задаваемой пластической деформации для проявления схватывания необходимы значительно большие удельные давления (табл. 2).

Таблица 1

Металл	Деформация схватывания в %
Алюминий (99,95%) . . .	57,1
Алюминий марки А1 . . .	57,7
Свинец	62,2
Медь	81,0
Кадмий	82,5
Олово	88,4
Никель	90,0
Цинк	90,8

Таблица 2

Алюминий марки А1	
Размеры деформируемых частей образцов в мм	Удельные давления схватывания в кг/мм ²
$d = 3, \quad h = 3,0$	42
$d = 3, \quad h = 2,7$	119
$d = 3, \quad h = 2,4$	204
Листовые образцы	27

Таким образом, дополнительное объемное равностороннее сжатие способствует проявлению схватывания, уменьшая величину необходимой пластической деформации. Приложение дополнительного сжатия позволило нам получить при комнатной температуре соединение образцов из железа армко.

Влияние на схватывание температуры, а также предварительного наклепа исследовалось при деформировании листовых образцов симметрично-наклонными пуансонами. В первом случае деформировались образцы, нагретые до нужных нам температур, во втором случае — предварительно наклепанные (в обоих случаях соединяемые поверхности очищались металлической щеткой). Показано, что оба фактора способствуют схватыванию, понижая величину необходимой пластической деформации (табл. 3 и 4).

Таблица 3

Влияние температуры на схватывание алюминия марки А1 и цинка (нагрев слегка сдавленных образцов в приборе)

Т-ра в °	Деформация схватывания в %	
	алюминий	цинк
Комнатная	57,1	90,8
100	50,0	72,8
200	45,3	64,5
300	32,6	62,3
400	30,7	—

Таблица 4

Влияние предварительного наклепа на схватывание

Материал и состояние	Деформация схватывания в %
Алюминий (99,95%) отожж.	57,1
наклеп.	52,7
АМЦ " отожж.	63,2
наклеп.	58,5
Авиаль отожж.	61,9
наклеп.	57,9
закал.	66,1

При применении этого же метода было исследовано влияние на проявление схватывания следующих факторов: 1) состава сплава и его состояния (закалка, отжиг), 2) окисных, смазочных и различных адсорбированных пленок.

Оказалось, что примеси в чистых металлах, особенно находящиеся в

твердом растворе, уменьшают способность к схватыванию. Это уменьшение зависит от характера примесей и от их концентрации и, повидимому, определяется степенью искажения кристаллической решетки при образовании твердого раствора. Закалка сплавов, повышающая концентрацию примесей в твердом растворе, действует в этом же направлении (табл. 4).

Оксидные пленки не оказывают препятствия схватыванию, так как при процессах совместного пластического деформирования они разрушаются, выдавливаясь в стороны или разобщаясь на отдельные мелкие участки. Основным внешним фактором, препятствующим проявлению схватывания, являются масляные и другие адсорбированные граничные пленки, легко распространяющиеся (мигрирующие) на вновь образуемые чистые поверхности металла, несмотря на наличие в зоне непосредственного контакта больших давлений.

Сопоставляя полученные результаты проведенной работы, можно сделать вывод, что все возможные способы повышения энергии кристаллической решетки чистых металлов способствуют проявлению схватывания. К таким видам энергии относятся: тепловая энергия, энергия упругих объемных искажений решетки и энергия, аккумулируемая атомами при пластическом деформировании (наклеп). Эти виды энергии могут заменять друг друга. Подобная картина имеет место и в случае твердых растворов. Это позволяет предположить, что для наступления схватывания металлов (образования металлических связей), кроме непосредственного контакта чистых поверхностей, необходимо достижение поверхностными атомами определенного энергетического состояния — энергетического порога схватывания. Причиной наличия этого порога, повидимому, является кристаллическое строение металлов, обуславливающее вполне определенное расположение атомов относительно друг друга.

Между атомами находящихся в контакте поверхностей до наступления схватывания действуют ван-дер-ваальсовские связи. Прочность их по сравнению с металлическими связями (при контактировании одноименных пар металлов) незначительна.

Исследованное явление позволяет объяснить ряд явлений, наблюдаемых при трении, а также в новом свете рассматривать процессы пластической деформации (самозалечивание возникающих микрощелей) монокристаллических тел, прессование порошков в порошковой металлургии, образование нароста при резании металлов.

Институт машиноведения
Академии наук СССР

Поступило
1 VII 1952

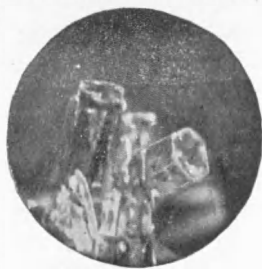


Рис. 2. Кристаллы $[\text{NiEn}_3]\text{Si}_2\text{O}_5 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ при увеличении в 25 раз

К статье А. П. Семенова, стр. 125

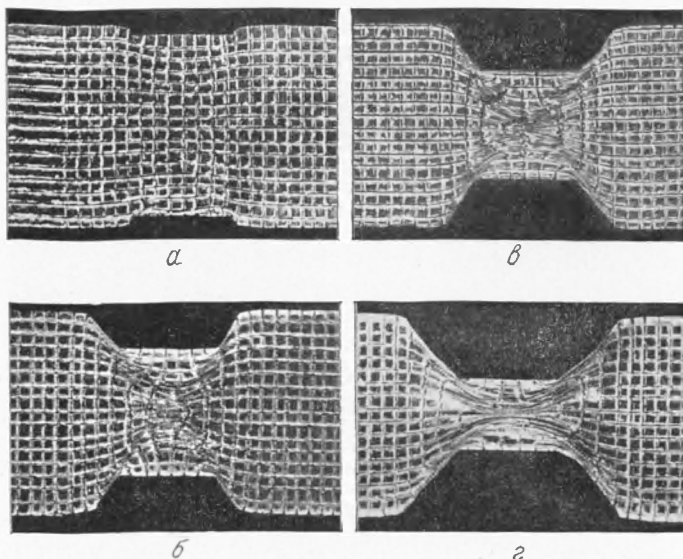


Рис. 2. Исследование деформации на поперечных разрезах листовых образцов двойной толщины методом координатной сетки (центральная продольная линия соответствует соединяемым поверхностям в случае деформирования двух образцов обычной толщины). Глубина вдавливания пуансонов: а — 12%; б — 37,5%; в — 49,0%; г — 66,0%

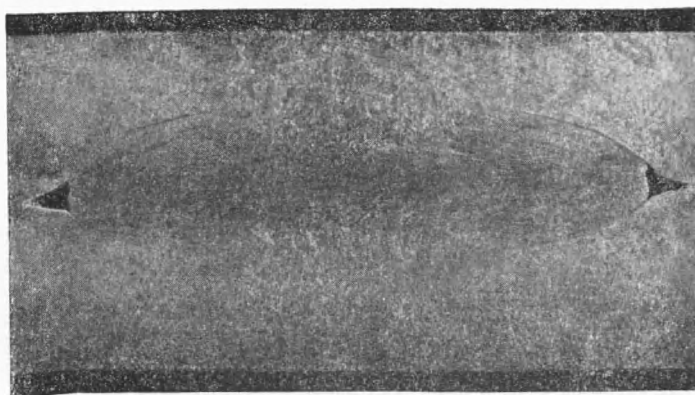


Рис. 4. Шлиф зоны соединения, полученного при деформировании двух цилиндрических (с цилиндрическими выступами меньшего диаметра) образцов из меди. $\times 5$