

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Г. И. ЕПИФАНОВ и академик П. А. РЕБИНДЕР

ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ БАЛАНСЕ ПРОЦЕССА  
РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Работа, затрачиваемая на пластическое деформирование металлов при их механической обработке, в большей своей части переходит в тепло, выделяющееся в процессе деформирования. Часть ее накапливается в деформируемом теле в виде энергии упруго искаженных частей кристаллической решетки и свободной энергии образующихся при деформации внутренних поверхностей раздела. По данным ряда авторов (1-4), эта часть может достигать 15 — 25% от общей работы деформирования.

При резании пластичных металлов почти вся работа резания расходуется на пластическое деформирование стружки и слоев, прилегающих к поверхности обрабатываемого тела. Поэтому некоторые исследователи полагают (5), что и в этом случае около 15 — 25% работы резания переходит в избыточную потенциальную энергию кристаллической решетки пластически деформируемой стружки. Однако полной ясности в этом вопросе до настоящего времени нет. Экспериментальных работ, посвященных изучению поглощения энергии в процессах диспергирования вообще и в процессах резания, в частности, очень мало. Ставились они часто на недостаточно высоком методическом уровне и их результаты весьма противоречивы.

В этой работе делается попытка определить ту часть работы резания, которая поглощается пластически деформируемой стружкой, и установить влияние на нее поверхностно-активных сред, в связи с общим направлением исследований, проводимых в нашей лаборатории (6).

Работа проведена на специально оборудованном сверлильном диспергометре. Количество тепла, выделяющееся при резании, определялось с помощью медного калориметра, в котором находился испытуемый образец. Температура калориметра измерялась платиновым термометром сопротивления, смонтированным в стенку калориметра, с точностью до  $\pm 0,04^\circ$ . Калориметр и сверло были тщательно теплоизолированы от рабочего столика и шпинделя станка. Калориметрической жидкостью являлась исследуемая поверхностно-активная жидкая среда. Расчет количества тепла проводился по формуле

$$Q = \frac{T e^{(k/c)\tau} - T_0}{e^{(k/c)\tau} - 1} k\tau, \quad (A)$$

где  $T_0$  — начальная,  $T$  — конечная температура калориметра,  $k$  — коэффициент охлаждения системы,  $c$  — ее общая теплоемкость и  $\tau$  — время в секундах (5).

Теплоемкость  $c$  и коэффициент охлаждения  $k$  системы калориметр — сверло находились из специальных опытов и оказались

равными:  $c = 40,12$  мал. кал. и  $k = 0,0211 \frac{\text{мал. кал.}}{\text{сек. град.}}$ . Сверло, армированное твердым сплавом, было сконструировано так, что позволяло моделировать процесс свободного резания. Угол резания сверла равнялся  $90^\circ$ . Крутящий момент сверла измерялся самопишущим пружинным динамометром. Для проверки расчетной формулы (А) победитовые пластинки сверла заменялись полированной стальной пластинкой, и при определенной осевой нагрузке на сверло производилось трение ее об образец при рабочем числе оборотов шпинделя (400 об/мин.). В этом случае с большой степенью точности можно считать, что вся работа трения переходит в тепло. Оказалось, что количество тепла, определенное по механической работе и рассчитанное по формуле (А), отличалось в среднем на  $\pm 0,3\%$ .

Опыты были проведены на отожженных образцах из технического алюминия. В качестве активных смазок применялись растворы в неполярном керосине гептилового и цетилового спиртов, каприловой и пальмитиновой кислот оптимальной концентрации.

В табл. 1 приведены относительные значения поглощенной энергии  $\frac{A-q}{A} 100$  для различных сред. Здесь  $A$  — удельная работа резания,  $q$  — удельная теплота резания.

Таблица 1

Поглощение энергии стружкой при резании алюминия  
в различных средах  $\left(\frac{A-q}{A} 100\right)$

№№ опытов	Неполярный керосин	Растворы в неполярном керосине (концентрация в мМ/л)			
		каприловой кислоты 288	пальмитиновой кислоты 8	гептилового спирта 343	цетилового спирта 61
1	9,3	3,4	3,6	7,0	2,0
2	4,4	5,8	6,0	-1,7	1,4
3	0	0	0	0	0
4	2,4	3,5	1,7	—	—
5	7,8	-5,6	-1,0	—	—
6	0,8	0	2,0	—	—
7	1,3	-1,8	3,5	—	—
8	-2,0	—	—	—	—
9	0	—	—	—	—
10	1,1	—	—	—	—
Среднее . . .	2,5	0,8	1,6	1,8	1,1

На рис. 1 показаны типичные кривые изменения работы резания и количества выделившегося тепла по мере погружения сверла.

Из данных табл. 1 следует, что в пределах  $\sim 3\%$  работа резания полностью переходит в тепло. Следовательно, доля работы резания, которая превращается в потенциальную энергию стружки, составляет ничтожную часть от общей работы резания. Это особенно хорошо видно из рис. 1, на котором кривые работы резания и выделившегося тепла практически сливаются. Кроме того, эти кривые показывают, что под действием поверхностно-активных добавок работа резания уменьшается в 2—3 раза по сравнению с ее значением для неполярного керосина. Сделать какое-либо заключение о влиянии поверхностно-активных веществ на величину энергии, поглощаемой стружкой, трудно, так как эта величина лежит в пределах точности примененной методики.

Полученные нами данные в общих чертах совпадают с результатами работы Н. Н. Саввина (7) по calorиметрическому исследованию токарной обработки ряда чистых металлов и сплавов.

Естественно возникает вопрос, почему при резании, представляющем собой сложный процесс пластического деформирования металла с

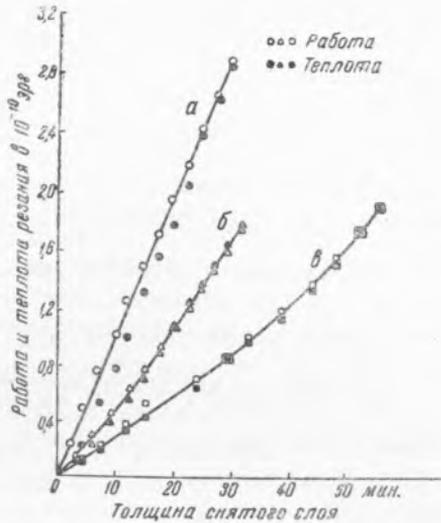


Рис. 1. Работа резания и теплота, выделяющаяся при резании: а — резание в неполярном керосине, б — в растворе каприловой кислоты в неполярном керосине (288 мМ/л), в — в растворе пальмитиновой кислоты в неполярном керосине (8 мМ/л)

чрезвычайно высоким его наклепом, удельный вес поглощенной энергии в общем энергетическом балансе значительно ниже, чем это имеет место в обычных процессах пластического деформирования. Объяс-



Рис. 2. Зависимость величины поглощенной энергии от степени деформации

няется это, как нам кажется, характером зависимости величины поглощенной энергии от степени деформирования. Такая зависимость для алюминия и меди схематически изображена на рис. 2. Мы видим, что на первых стадиях деформирования идет наиболее интенсивное поглощение энергии, начиная же с некоторой степени наклепа, доля работы, переходящая в энергию упругого искажения кристаллической решетки металла, непрерывно падает. Образец приближается к своеобразному энергетическому насыщению и вся работа, расходуемая на дальнейшее деформирование, полностью переходит в тепло.

В обычных опытах по пластическому деформированию металлов мы обычно не достигаем точки энергетического насыщения. Деформация ограничивается начальными участками кривых рис. 2, соответ-

ствующих наиболее интенсивному поглощению энергии. Поэтому относительное ее значение в общей работе деформирования может быть велико. При резании же пластическая деформация охватывает область, вероятно, далеко заходящую за точку энергетического насыщения. Ввиду того что в этой области поглощения энергии практически не происходит, а работа затрачивается, — удельный вес поглощенной энергии в общем энергетическом балансе процесса резания может оказаться незначительным. Он будет тем меньше, чем раньше для данного металла достигается точка энергетического насыщения, и чем дальше пластическая деформация заходит за эту точку. Абсолютное значение удельной величины поглощенной энергии в случае резания должно быть, конечно, не меньше того, которое получено из обычных опытов по пластическому деформированию. Для алюминия ее можно считать равной  $\sim 10^8$  эрг/см<sup>3</sup> (2). Удельная работа резания алюминия, по нашим опытам, имеет порядок величины  $10^{10}$  эрг/см<sup>3</sup>. Таким образом, поглощаемая при резании алюминия энергия может составлять всего лишь около 1% от работы резания, что и подтверждено нами опытным путем.

В заключение следует отметить, что практическое равенство работы и теплоты резания позволяет использовать калориметрический метод для исследования влияния активных жидких сред на процесс резания металлов.

Отдел дисперсных систем  
Института физической химии  
Академии наук СССР

Поступило  
29 III 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup>Н. Ф. Кунины и Г. В. Сенилова, Тр. СФТИ, 4, в. 3, 132 (1936). <sup>2</sup>В. Д. Кузнецов, Физика твердого тела, 2, 581, 627, Томск, 1941. <sup>3</sup>Е. Ф. Бахметев и Б. М. Ровинский, Тр. ВНИИАМ, в. 1, 61 (1933). <sup>4</sup>G. I. Taylor and H. Quinney, Proc. Roy. Soc., A, 143, № 849, 307 (1934). <sup>5</sup>В. Д. Кузнецов, Физика твердого тела, 3, 24, 408, Томск, 1944. <sup>6</sup>П. А. Ребиндер, Юбил. сб. АН СССР к 30-летию Октябр. революции, 1, М.—Л., 1947; Н. А. Плетенева и П. А. Ребиндер, ДАН, 62, № 4 (1948). <sup>7</sup>Н. Н. Саввин, Вестн. Об-ва технологов, 17, 276 (1910).