

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРУШЕНИЯ ЧИСТЫХ МЕТАЛЛОВ**  
**Окладникова Н.В.\***, Мут Н.В., Гузенков Е.В., Романова А.Г., Худолеева Е.Е.  
**Научный руководитель – доцент Перебоева А.А.**  
**Сибирский федеральный университет**  
**\*ООО литейно-механический завод «СКАД», г. Дивногорск**

Расположение концентраторов напряжений возможно как на поверхности деталей, так и внутри их и различаются они по форме, строению и размерам. Концентраторы напряжений чаще всего являются местами зарождения трещин, которые могут привести конструкцию или машину к частичной поломке или в целом к полному разрушению. В данной работе на основе зависимостей, полученных в работе К.Хелланом, для различных металлов проведен расчет предельных внешних воздействий, которые могут выдержать конструкции, имеющие концентраторы напряжений различной конфигурации, расположенные на наружных сторонах плоской пластины и внутри ее.

Схемы нагружения пластин, расположение концентраторов напряжений (зародышевых трещин), формулы для расчета, исходные данные по размеру пластин и концентраторов, приведены в таблице 1. Характеристики поликристаллических чистых металлов при комнатной температуре, константы упругости чистых металлов: модуль Юнга, коэффициент Пуассона, предел текучести и другие свойства, необходимые для расчета, даны в таблице 2.

Табл. 2. Характеристики поликристаллических чистых металлов

Металл		Ti	Mg	Mo	Fe	Cu	Al
Параметры							
Температура плавления, $t_{пл}$ , °С		1723	650	2610	1539	1083	660
Тип решетки		ГП	ГП	ОЦК	ОЦК	ГЦК	ГЦК
Параметр решетки, нм		$a=0,295$ $c=0,468$	$a=0,320$ $c=0,521$	0,315	0,286	0,361	0,404
Предел текучести $\sigma_m$ , МПа		1250	90	550	120	95	20
Плотность, г/см <sup>3</sup>		4,5	1,7	10,2	7,8	8,4	2,7
Энергия дефектов упаковки $\gamma^*$ , мДж/м <sup>2</sup>		200	150	300	140	70	135
Константы упругости чистых металлов	Модуль Юнга $E \cdot 10^5$ , МПа	1,12	0,43	12,0	2,0	1,32	0,7
	Коэффициент Пуассона $\nu$	0,34	0,35	0,39	0,28	0,34	0,34

Полученные расчетным путем данные сведены в таблицу 3. Определение предельных внешних нагрузок, необходимых для начала развития и распространения трещины ( $P$ ), выполнены для чистых металлов, различающихся температурой плавления, типом кристаллической решетки, энергией дефектов упаковки. Известно, что параметры макроскопических явлений при деформации и разрушении зависят от энергии дефектов упаковки. Из дислокационной теории известно, что параметры макроскопических явлений при деформации и разрушения зависят от энергии дефектов упаковки. Дефекты упаковки и величина их энергии играют большую роль в формировании дислокационной структуры, так как влияют на скорость перемещения дислокаций и их расщепленность.

Для трех типов кристаллических решеток: о.ц.к., г.ц.к., г.п., которые наиболее часто встречаются в металлических материалах, были выбраны по два металла с температурами плавления, существенно различающимися между собой. Анализ получен-

ных расчетных данных позволяет однозначно определить влияние температуры плавления чистых металлов на  $P$ , имеется общая тенденция к росту данной характеристики с повышением температуры. Так для металлов с г.п. решеткой это повышение составляет примерно 14 раз, для г.ц.к. от 2 до ~ 5 раз, а для о.ц.к. около 5 раз (таблица 4). Существенное различие между металлами, имеющих решетку г.ц.к. (медь, алюминий), связано со значительным отличием плотности этих элементов.

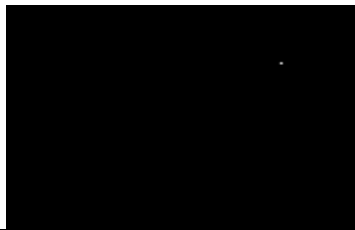
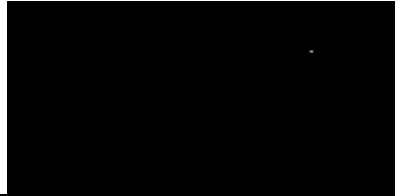


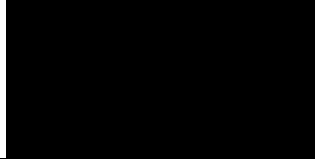
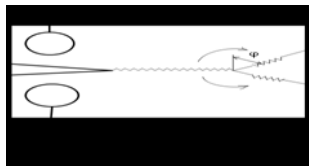
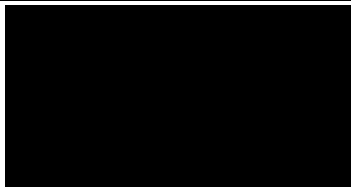
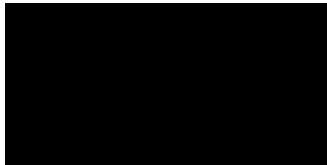
Табл. 4. Расчетные значения предельных нагрузок начала развития и распространения трещин разрушения

Номер задачи	Металлы					
	Ti	Mg	Mo	Fe	Cu	Al
1	312500	22500	137500	30000	23750	5000
2	250000	18000	110000	24000	19000	4000
3	13825	8960	45255	16330	15472,5	11100
4	250000	18000	110000	24000	19000	4000
5	125000	9000	55000	12000	9500	2000
6	1154,7	83,14	508,07	110,85	87,76	18,48
7	3349,37	241,15	1473,72	321,54	254,55	53,59
8	5024,05	361,73	2210,58	482,31	381,83	80,38

Для металлов с г.п. решеткой важно оценить влияние отношения  $c/a$ , которое может существенно отличаться от значения 1,633, свойственного идеальной плотноупакованной решетке из твердых шаров: для магния эта величина близка к идеальной и равна 1,628, а для титана только 1,586. Отклонение геометрии решетки от идеальной вызывает изменение относительной плотности упаковки в различных кристаллографических плоскостях, что в свою очередь влияет на характеристики скольжения при пластической деформации. С увеличением отношения  $c/a$  расстояние между примыкающими базисными плоскостями, которые нормальны оси  $c$ , увеличивается, так что они оказываются относительно более плотноупакованными, чем плоскости призмы типа  $\{10\bar{1}0\}$ . Поэтому в металлах с г.п. решеткой наряду со скольжением по базисной плоскости наблюдается скольжение по призматическим плоскостям типа  $\{10\bar{1}0\}$  и пирамидальным типа  $\{10\bar{1}1\}$ . По сравнению с магнием у титана наиболее плотно упакованными плоскостями являются плоскости типа  $\{10\bar{1}0\}$  таких плоскостей в г.п. решетке шесть. Вероятность перемещения дислокаций в этих плоскостях выше, чем в плоскости базиса, которых в данной решетке только две. Следовательно, эффект упрочнения при деформации у титана должен быть выше, чем у магния. Кроме того, титан имеет более высокое значение энергии дефектов упаковки по сравнению с магнием, что способствует образованию ячеистой структуры и повышению прочностных характеристик при пластической деформации. Это положение подтверждается полученными расчетными значениями  $P$  (см. таблицу 4).

В ходе проведенных расчетов для металлов: Ti, Mg, Mo, Fe, Cu, Al было установлено, что на величины нагрузок для начала развития и распространения трещин влияют следующие факторы: тип кристаллической решетки; температура плавления металлов (сила межатомных связей); величина энергии дефектов упаковки; схема приложения нагрузки (напряжений) и расположение концентраторов напряжений.

Табл. 1. Схемы нагружения и расположение концентраторов напряжений при расчете предельных внешних нагрузок

№	Схемы нагружения	Формула для расчета	Исходные данные
1		$P = \sigma_m \cdot b \cdot t$	$b=50 \text{ мм}$ $t=5 \text{ мм}$
2		$P = \sigma_m \cdot (b_1 + b_2) \cdot t$	$b=50 \text{ мм}$ $t=5 \text{ мм}$ $d=10 \text{ мм}$ $b_1=b_2$
3		$\eta = \frac{1}{1 - \nu^2}$ $\sigma = \eta \cdot E \cdot \frac{c}{b}$ $c = 2 \sqrt{\frac{\nu \cdot b}{\eta \cdot E}}$	$b=50 \text{ мм}$
4		$P = 2 \cdot a \cdot t \cdot \sigma_m$	$a=20 \text{ мм}$ $t=5 \text{ мм}$
5		$P = 2 \cdot a \cdot t \cdot \sigma_m$	$a=10 \text{ мм}$ $t=5 \text{ мм}$
6		$P = \beta \cdot t \cdot \sigma'_m ; \sigma'_m = \frac{2 \cdot \sigma_m}{\sqrt{3}}$ $\beta^2 + 2 \cdot \beta \cdot \left[ \left( 1 + \frac{\sigma_m}{\sigma'_m} \right) \cdot \frac{L}{a} - 1 \right] = \frac{\sigma_m}{\sigma'_m}$	$a=50 \text{ мм}$ $t=5 \text{ мм}$ $L=100 \text{ мм}$
7		$M = P \cdot S = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma'_\delta \cdot a^2 \cdot t}{1 + \sigma'_\delta / \sigma_\delta}$	$t=5 \text{ мм}$ $a=10 \text{ мм}$
8		$M = P \cdot S = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma'_m \cdot a^2 \cdot t}{1 + \sigma'_m / \sigma_m}$	$a=15 \text{ мм}$ $t=3 \text{ мм}$