Физико-химические особенности технологических процессов в машиностроении

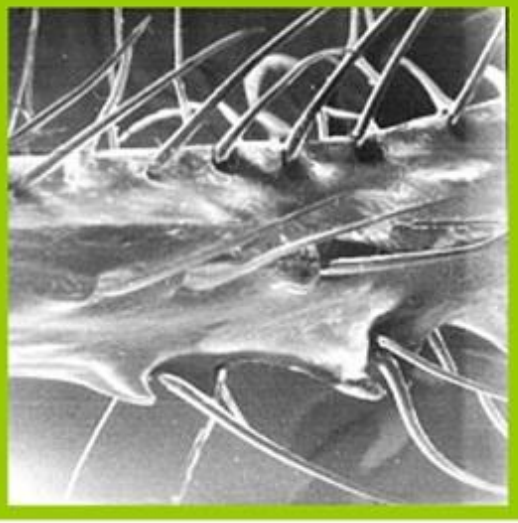
Проф., д.т.н. *Скотникова Маргарита Александровна*
Skotnikova@mail.ru

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Кафедра "Машиноведение и основы конструирования" ИММиТ САбПУ

x 1

x 100



x 10000

Тема 2. Формирование и контроль остаточных напряжений, возникающих под действием различных технологических операций. Факторы, приводящие к возникновению остаточных напряжений.

Содержание:

1. Классификация остаточных напряжений.

2. Факторы, приводящие к возникновению остаточных напряжений. *Механический фактор.* Влияние механической обработки.

3. *Тепловой фактор.* Термические напряжения, возникающие в сечении заготовок в результате закалки не полиморфного материала.

–Термические напряжения, возникающие в сечении заготовок в результате закалки полиморфного материала.

–Термические напряжения, возникающие по сечению сварного соединения.

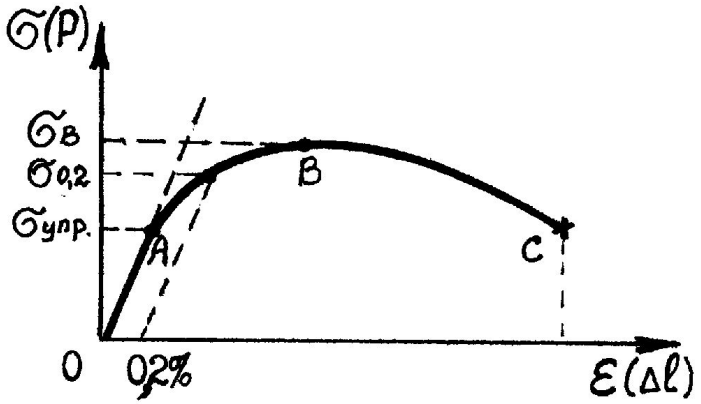
–Термические напряжения в материалах с ГПУ-решёткой, возникающие в результате анизотропии теплового расширения.

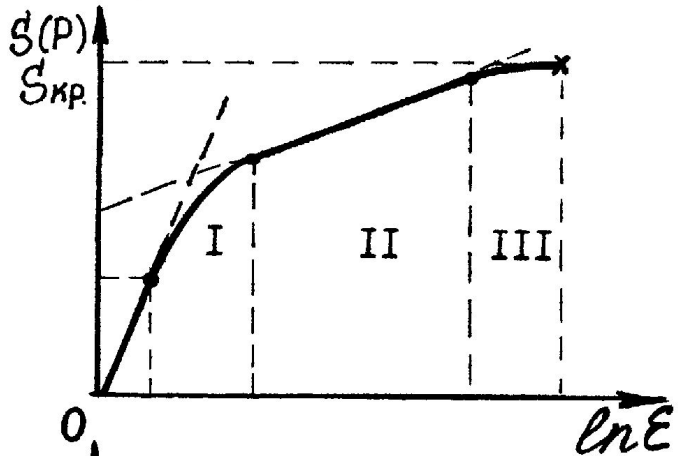
4. *Структурно-фазовые превращения*

– Фазовый наклеп. – Мартенситные превращения при закалки. – Мартенситные превращения при деформации. – Распад пересыщенных твердых растворов по механизму старения.

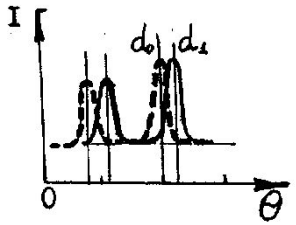
5. *Коррозионные напряжения*

2.1. Иследование деформации. Классификация остаточных напряжений

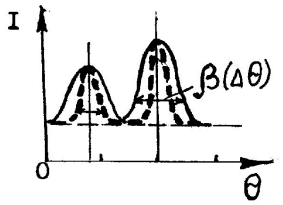




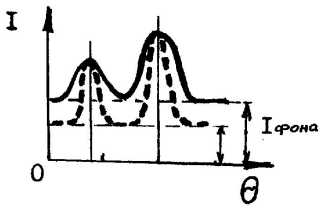
- **Факторы, приводящие к возникновению остаточных напряжений:**
- **А. Механический**
- **Б. Тепловой**
- **В. Структурно-фазовый**
- **С. Коррозионный**



- **1.** ***Макронапряжения*** **(напряжения I рода) - упругие напряжения уравновешивающиеся в объеме всей детали.**
- **2.** ***Микронапряжения*** **(напряжения II рода) - упругие напряжения, уравновешивающиеся в пределах отдельных зерен или блоков (дальнодействующие).**



- **3.*Статические искажения*** **решетки - упругие напряжения, уравновешивающиеся в пределах небольших групп атомов.**



2.1. Формирование и контроль остаточных напряжений

- Обобщенно можно сказать, сто остаточные напряжения первого рода есть результат неравномерных пластических деформаций различных слоев детали. Пример – искривление детали в ту или иную сторону.
- Остаточные напряжении оказывают существенное влияние на прочность и долговечность деталей машин и конструкций: остаточные сжимающие напряжения (-), возникающие в поверхностном слое, повышают циклическую прочность деталей, т.к. они разгружают поверхностные слой от напряжений, вызванных нагрузками и, наоборот, растягивающие остаточные напряжения (+) уменьшают прочность деталей вследствие повышения напряженности поверхностного слоя.

- В зависимости от характера и интенсивности физико- механических процессов, происходящих при обработке, остаточные напряжении могут иметь различный знак: + или -

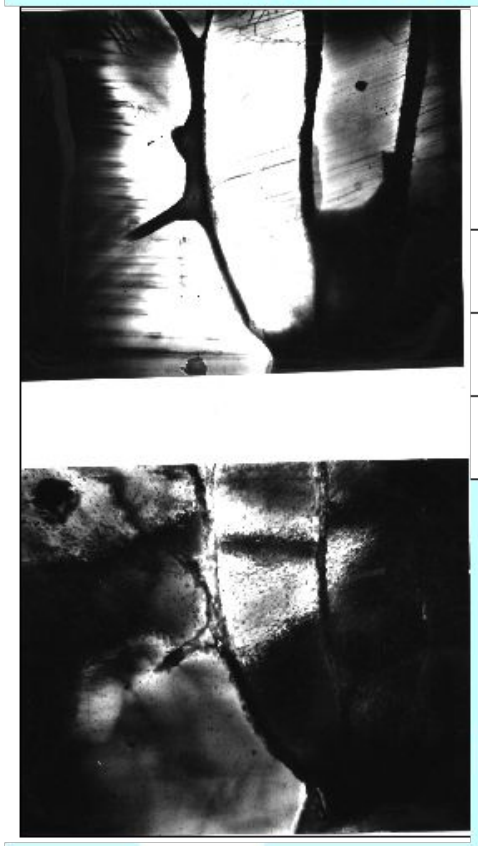
+ - растяжение;

- - сжатие.

- Условие равновесия требует, чтобы в объеме детали сумма проекций всех сил была равна нулю. Поэтому в детали есть область со сжимающими и растягивающими остаточными напряжениями.
- В инженерной практике остаточные напряжения первого рода принято представлять в виде проекции на оси заданной системы координат. Например, для тела вращения используют понятия:
- осевых , окружных (тангенциальных) и радиальных остаточных напряжений.

σ_x^0 σ_τ^0 σ_r^0

ФОРМИРОВАНИЕ И РЕЛАКСАЦИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ



x 24000

№ п/п	ФАТОРЫ ПРИВОДЯЩИЕ К ВОЗНИКНОВЕНИЮ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ
1.	Механический (силовой)
2.	Термический (тепловой)
3.	Структурно-фазовый
4.	Коррозионный (электрохимический)

Контроль внутренних напряжений по **экстинкционным контурам** на электронно-микроскопических снимках

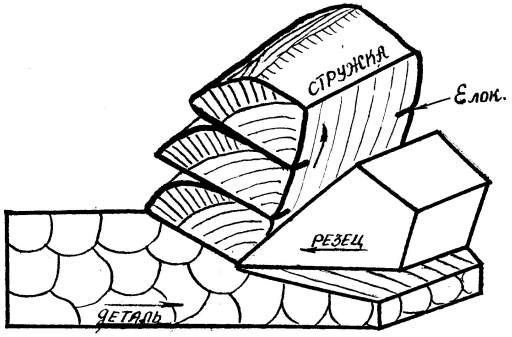
<—— ——>

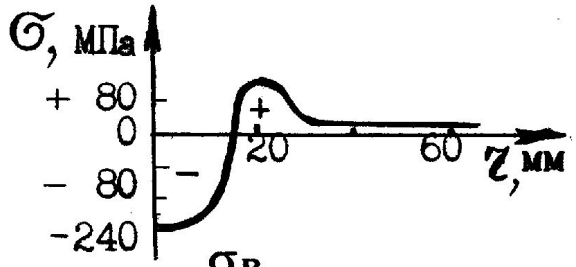
x 24000

№ п/п	МЕХАНИЗМЫ РЕЛАКСАЦИИ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ
1.	Структурная релаксация
2.	Концентрационная релаксация
3.	Зарождение микротрещин

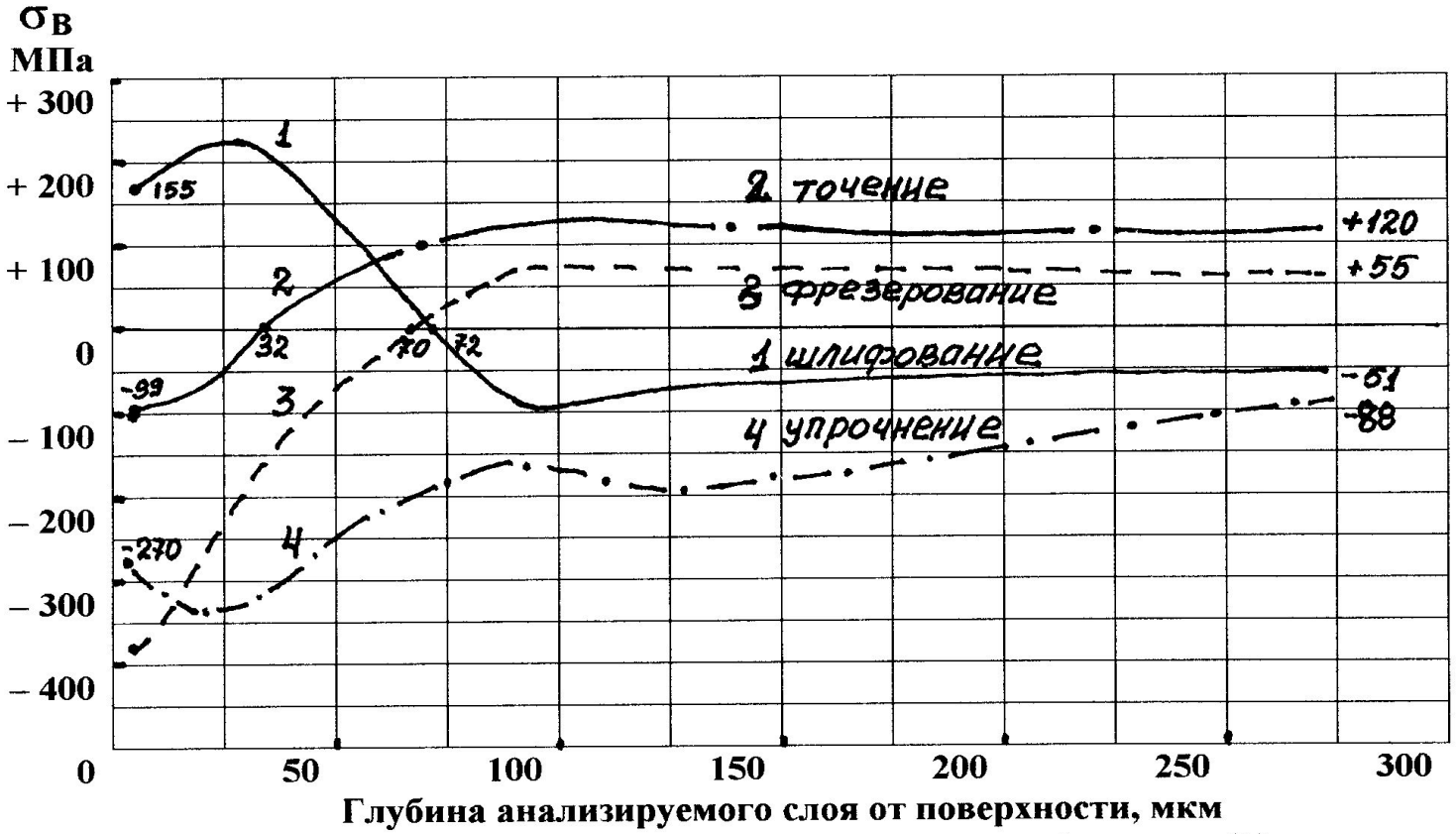
№ п/п	ФАКТОРЫ ВЛИЯЮЩИЕ НА РЕЛАКСАЦИЮ НАПРЯЖЕНИЙ
1.	Энергия дефекта упаковки материала
2.	Степень наклепа
3.	Температура деформации или нагрева
4.	Скорость деформации
5.	Вид упруго-напряженного состояния

2.2. Механические напряжения

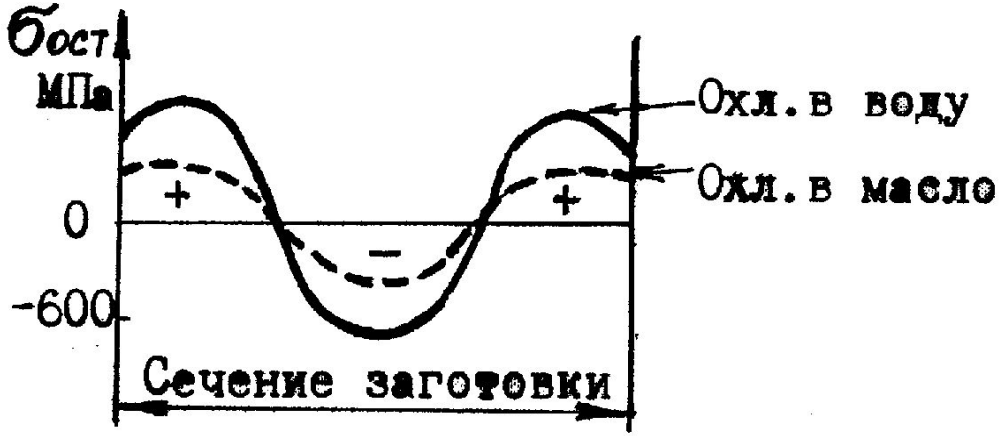


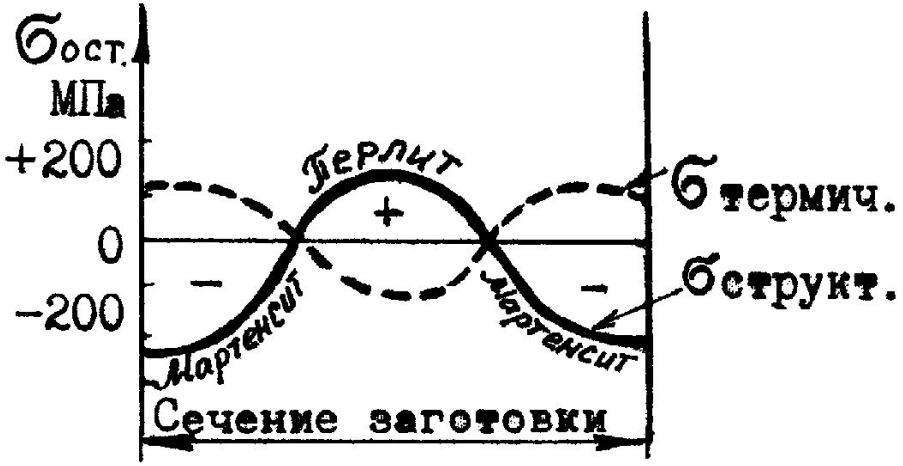


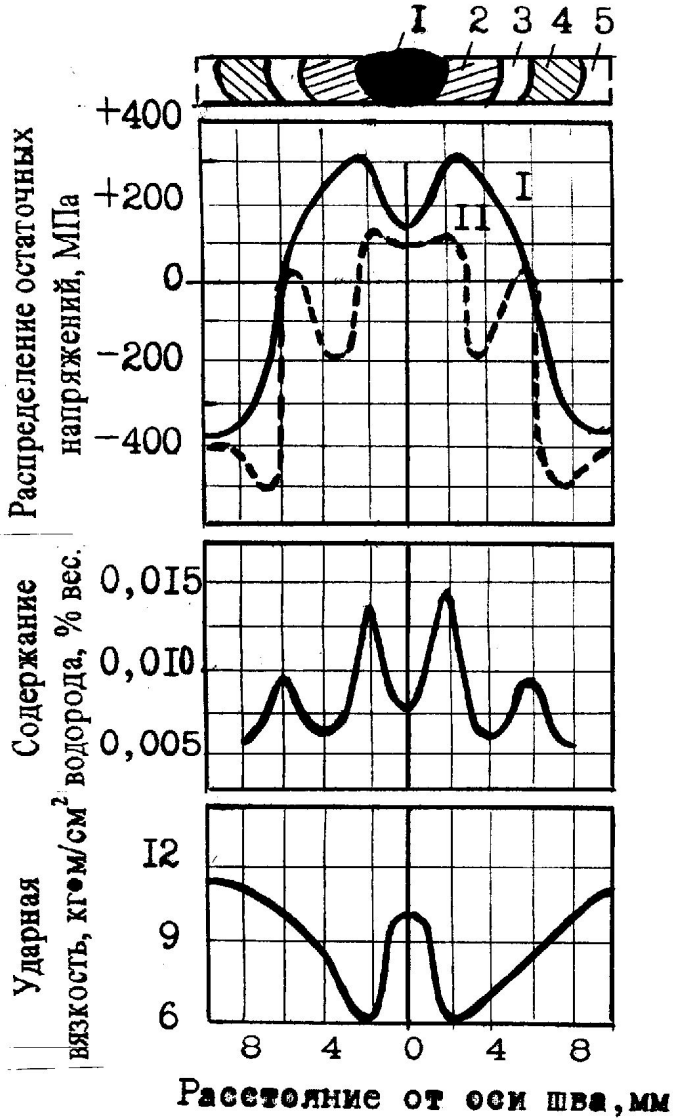
- Эпюры остаточных напряжений после
- шлифования (1), точения (2), фрезерования (3) стали 12Х13



2.3. Термические напряжения





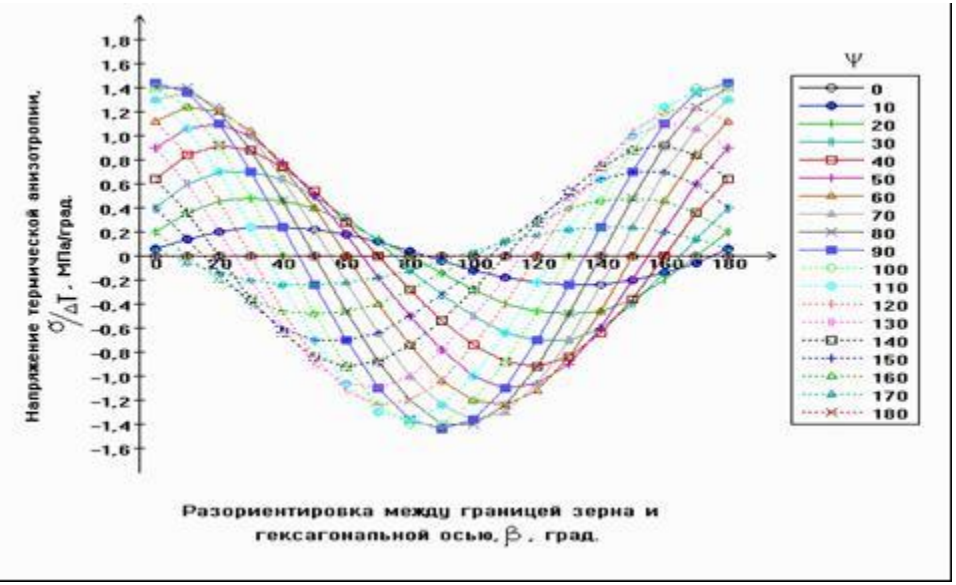


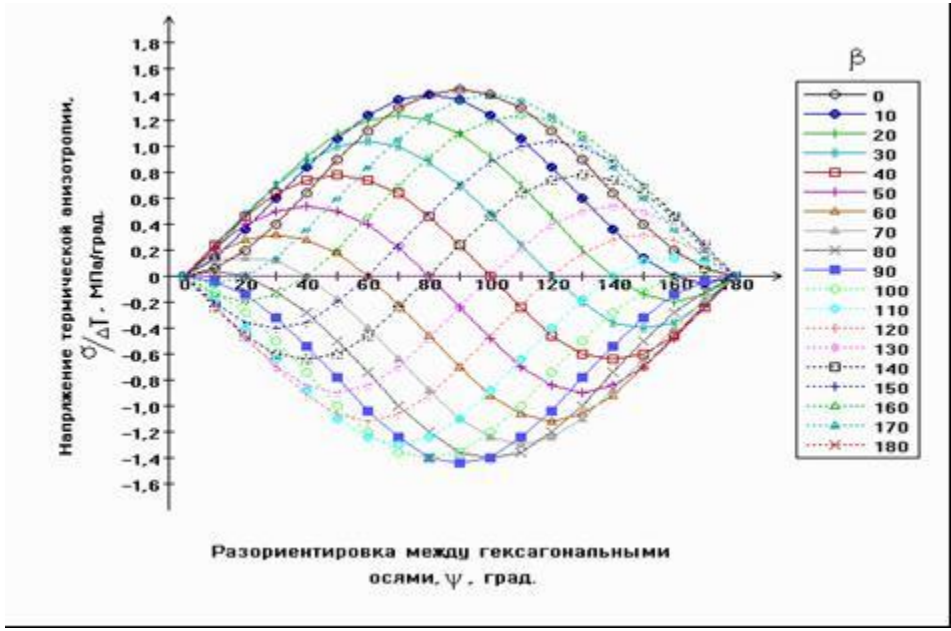
2.3. Тепловые напряжения термической анизотропии

Физико-механические свойства исследуемых материалов

	Fe	Zr	Mg	Co	Ti	Re	Cd	Zn
Параметры кристаллической решетки, А								
а, А	2,87	3,230	3,209	2,507	2,950	2,761	2,296	2,665
в, А	2,87	5,133	5,210	4,069	4,683	4,458	5,630	4,947
в/а	1	1,589	1,624	1,626	1,587	1,614	1,886	1,856
Расстояния между кристаллографическими плоскостями типа {011}, А								
$d_{исх}$, А	2,01	2,44	2,45	1,92	2,24	2,10	2,34	2,08
$d_{деф.}$, А	1,96	2,39	2,40	1,87	2.19	2,05	2,29	2,03
Коэффициент теплового расширения (x10^{-6}, 1/ град.)								
$\alpha_{\parallel}$	-	6,5	27,0	16,1	9,5	12,45	52,6	52,9
$\alpha_{\perp}$	-	5,6	25,4	12,8	5,6	4,67	21,4	15,1
Модуль (x1, МПа) и коэффициенты упругости (x10^{-5}, 1/ МПа)								
E,	211400	97000	44830	204000	110000	458100	51000	100000
S_{11}	-	1,013	2,20	0,472	0,958	0,212	1,240	0,838
S_{33}	-	0,799	1,97	0,319	0,698	0,170	3,520	2,838
S_{13}	-	-0,241	-0,50	-0,069	-0,189	-0,040	-0,920	-0,731
S_{44}	-	3,130	6,10	1,324	2,140	0,616	4,980	2,610
S_{12}	-	-0,404	-0,79	-0,231	-0,462	-0,080	-0.076	-0,058

2.3. Тепловые напряжения термической анизотропии





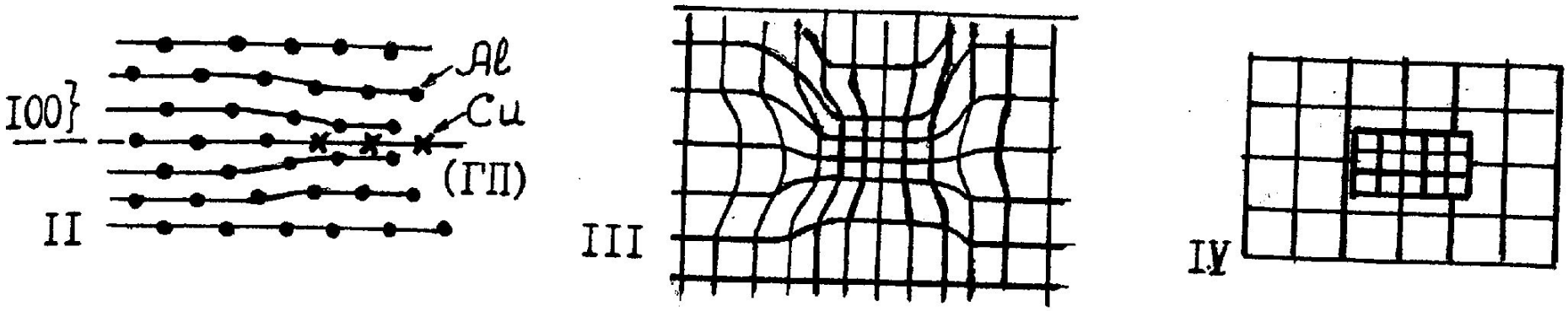
$$\frac{\sigma}{\Delta T} = \frac{(\alpha_{\parallel} - \alpha_{\perp})\,[\cos^2\beta - \cos^2(\beta+\psi)]}{S_{11}[\sin^4\beta+\sin^4(\beta+\psi)]+S_{33}[\cos^4\beta+\cos^4(\beta+\psi)]+(2S_{13}+S_{44})[\cos^2\beta\cdot\sin^2\beta+\cos^2(\beta+\psi)\cdot\sin^2(\beta+\psi)]}$$

где $\alpha_{\parallel}$ − коэффициент линейного расширения вдоль оси “c”;

$\alpha_{\perp}$ − коэффициент линейного расширения вдоль оси “a”;

S_{ik} − коэффициенты упругости.

2.4. Структурно-фазовые напряжения



- I. Дораспадный период.
- II. Подготовительный (инкубационный) период распада. Образование зон Гинье-Престона (Г.П.).
- III. Самопроизвольный распад. Формирование на базе зон Г.П. предвыделений - новых фаз с когерентной с матрицей решеткой.
- IV. Обособление продуктов распада, снятие когерентности с границ фаз.

2.5. Коррозионные напряжения

Электродные потенциалы, E,B , 20°C.

Zi	K	Na	Mg	Ti	Al	Mn	Zn	Cr	Fe	Ni	Sn	H	Cr_2O_3	Cu	Ag	Pt	Au
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		+	+	+	+	+
2,96	2,92	2,71	2,37	1,75	1,66	1,18	0,76	0,74	0,44	0,23	0,14	0	0,1	0,34	0,8	1,19	1,42

низкая коррозионная стойкость

высокая коррозионная стойкость

- Анодные процессы - заключаются в том, что металлы с более отрицательным потенциалом в результате взаимодействия с токопроводящей средой (электролитом), содержащей атомы кислорода, водорода, хлора и др., будут окисляться (растворяться), переходя в раствор в виде ионов при соответствующих таблице разностях потенциалов по реакциям:
- $H2 \rightarrow 2H+ + 2e-$ $Cr \rightarrow Cr3+ + 3e-$
- $Fe \rightarrow Fe2+ + 2e-$ $Al \rightarrow Al3+ + 3e-$

- Катодные процессы - заключаются в том, что ионы металлов с более положительным потенциалом в результате взаимодействия с электролитом будут восстанавливаться (электролитически осаждаться) с участием электронов по реакции:
- $Me2++ 2e- \rightarrow 2\ Me$ например: $Cu2+ + 2e- \rightarrow Cu$

Оценка внутренних напряжений

Вид внутренних напряжений	Максимальная амплитуда, МПа	Размер действия, мкм
Механические напряжения	1000…1300	50…200
Термические напряжения		
закалочные	600	20000
сварочные	100…500	10000
термической анизотропии	700…1000	3…10
Структурно-фазовые напряжения		
фазовый наклеп	10…400	10^{-4}…1
мартенситные	1000…1500	10^{-4}…1
распад пересыщенных растворов	100…1000	10^{-4}…1
Коррозионные напряжения	300	1…10

Контрольные вопросы по Теме 2

1. На поверхности детали машины после точения, фрезерования, шлифования, поверхностной пластической обработки и др. какие возникают остаточные напряжения ?.

2. Напряжения термической анизотропии возникают в металлах с кристаллической решеткой какого типа ?.

3. Мартенситное превращение сопровождается увеличением элементарной кристаллической решетки металла и приводит к возникновению каких остаточных напряжений ?.

4. Назовите фактор, не приводящий к возникновению остаточных (внутренних) напряжений ?.

5. Стадия распада неравновесных твердых растворов, на которой возникают значительные внутренние напряжения ?

6. Остаточные макронапряжения I, II, III рода оцениваются с помощью метода рентгеноструктурного анализа по ряду изменений на дифрактограммах.

7. На поверхности деталей из не полиморфного материала после высокого нагрева и резкого охлаждения какие возникают остаточные напряжения ?.

8. Какие остаточные напряжения в металле оказываются полезными ?

9. На поверхности деталей машины после поверхностного пластического деформирования (наклепа дислокациями) возникают остаточные напряжения ?.

10. Чтобы снять остаточные напряжения в металлической заготовке, какие действия необходимо произвести?

Спасибо
за внимание