

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение  
Отделение материаловедения

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Количественная оценка деформационного рельефа на поверхности металла</b>

УДК 621.7-4:620.192.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Сопрунов Дмитрий Викторович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Алферова Е. А.	К. ф-м. н		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Хаперская А. В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Федорчук Ю. М.	Д. т. н		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01 Машиностроение	Арляпов А. Ю.	К. т. н		

## Планируемые результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении.
P2	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения
P3	Способность изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, систематизировать их и обобщать
P5	Способность получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, уметь применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения, в том числе в режиме удаленного доступа
<b>Общекультурные компетенции</b>	
P6	Способность выбирать оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства
P7	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, для приобретения новых знаний и умений.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение  
 Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Арляпов А. Ю.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ61	Сопрунову Дмитрию Викторовичу

Тема работы:

Количественная оценка деформационного рельефа на поверхности металла	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	20.03.2018, №1973/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.05.2018
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Целью исследования является рассмотрение возможностей применения различных (современных) параметров шероховатости для оценки морфологии поверхности различного типа. Задачи: 1) Количественно оценить параметры деформационного рельефа различного типа; 2) Выявить зависимости изменения параметров структур от степени деформации.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Обзор литературы, цели и задачи исследования; 2. Материал и методика проведения экспериментального исследования; 3. Результаты исследования; 4. Вывод; 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6. Социальная ответственность

<b>Перечень графического материала</b>	Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point);
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Исследовательский	Алферова Е. А.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Хаперская А. В.
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М.
Исследовательский (на немецком яз.)	Щеголихина Ю. В.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Обзор литературы	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Алферова Е. А.	к. ф-м. н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Сопрунов Дмитрий Викторович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, пяти глав и выводов, изложенных на 120 страницах, содержит 43 рисунка, 27 таблиц, 21 источник и 3 приложения.

Ключевые слова: монокристалл, складкообразование, одноосное сжатие, ориентация кристаллической решетки, деформация.

Объектом исследования является монокристалл никеля.

Цель работы – рассмотрение возможностей применения различных (современных) параметров шероховатости для оценки морфологии поверхности различного типа.

В процессе исследования проводились эксперименты на применения различных (современных) параметров шероховатости для оценки морфологии поверхности различного типа. Исследовались экспериментальные образцы на сжатие. Нагружение образцов проводилось с разной степенью.

В результате исследования установили:

1) Параметры шероховатости, определяемые по площади поверхности, дают более полную информацию о морфологии поверхности в сравнение с параметрами, которые определяются по сечению в пределах базовой длины.

2) Количественные параметры шероховатости увеличиваются при увеличении степени деформации.

3) Параметры шероховатости могут быть использованы для оценки остаточного ресурса деталей машин.

Область применения: машиностроение.

Экономическая эффективность/значимость работы: рассмотрение возможностей применения различных (современных) параметров шероховатости для оценки морфологии поверхности различного типа ведет к совершенствованию моделей деформирования и разрушения твердых тел с целью оптимизации существующих и создания новых технологий, более надежного прогнозирования ресурса конструкций и механизмов.

## Оглавление

Введение .....	7
1. Анализ поверхностного рельефа металла после механической обработки и деформации .....	9
1.1 Поверхностный рельеф после обработки металла давлением .....	9
1.2 Деформационный рельеф моно- и поликристаллов .....	10
1.3 Связь поверхностного рельефа с повреждаемостью .....	16
1.4 Способы количественной оценки поверхностного рельефа .....	21
1.5 Непараметрический метод оценки поверхности .....	27
2. Материал и Методика .....	33
2.1 Описание материала никеля, ориентации .....	33
2.2 Подготовка образцов .....	35
2.3 Параметры шероховатости .....	37
3. Экспериментальные результаты .....	40
Заключение.....	47
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения.....	50
5. Социальная ответственность.....	82
Список использованных источников.....	95
Приложение А.....	97
Приложение Б .....	112
Приложение В.....	119

## Введение

Деформационный рельеф находится в фокусе внимания металлофизиков уже не одно десятилетие. Однако и по сей день существует множество нерешенных вопросов, связанных с механизмами и целью его формирования. Наличие современной экспериментальной базы позволяет проводить более глубокие исследования на недоступном ранее уровне.

Одной из наиболее актуальных проблем при пластической деформации металлов является разрушение кристалла, которое обусловлено формированием мест с высокой локализацией деформации. Опираясь на деформационный рельеф, многие исследователи анализируют состояние материала с точки зрения сохранения целостности кристалла.

Любое механическое оборудование зачастую эксплуатируется в условиях циклического нагружения, которое в конечном итоге приводит к разрушению. Наибольшую опасность представляет упруго-пластическая область деформирования, поскольку разрушение происходит с большой скоростью. В целях предупреждения аварийного разрушения объектов необходимо проводить оценку технического состояния и ресурса оборудования. Совершенствование методов оценки ресурса требует наличия информации о состоянии материала и динамике его изменения при накоплении повреждений в условиях знакопеременного нагружения.

Известно, что значительная часть разрушений начинается с поверхности и подповерхностных слоев. Поэтому информация об изменениях на поверхности может служить в качестве оценочной характеристики состояния материала. При накоплении материалом усталостного повреждения на его поверхности образуется деформационный рельеф. Систематические исследования процессов, происходящих при усталости металла, показывают изменение деформационного рельефа, что создает предпосылки для возможности количественной оценки накопленного усталостного повреждения. В связи с этим, целесообразно определить

взаимосвязь степени поврежденности и изменения деформационного рельефа, формирующегося при циклическом нагружении.

Многочисленные исследования (Е.А. Наумкина, О.Г. Кондрашовой, А.Т. Шарипкуловой, Т.Р. Бикбулатова и многих других) зависимостей физических параметров: температурного градиента порога хладноломкости, среднего размера зерна, предела прочности, поверхностной энергии, скорости ультразвука, скорости коррозии, относительной напряженности магнитного поля от степени поврежденности показывают характерные экстремумы в областях поврежденности. В работе Ивановой В.С. показано, что при накоплении материалом критической энергии происходит смена механизмов адаптации материала к внешним воздействиям, что объясняет наличие экстремумов на зависимостях. Большой интерес представляет выявление масштабного уровня, на котором происходит смена механизмов адаптации.

Зарождение трещин усталостного и коррозионно-усталостного разрушения связано с локальной микропластической деформацией в отдельных слабых местах поверхности металла. Рентгенографическими измерениями напряжений I и II рода на поверхности стали, подвергаемой коррозионному растрескиванию, установлено возникновение локальных очагов пластической деформации в течение инкубационного периода, приводящих к появлению зародышей коррозионных трещин

Исходя из сказанного выше, задача по количественной оценке деформационного рельефа на поверхности металла является актуальной.

Целью данной работы является – рассмотрение возможностей применения различных (современных) параметров шероховатости для оценки морфологии поверхности различного типа.

При выполнении работы будут решаться следующие задачи:

- Количественно оценить параметры деформационного рельефа различного типа;
- Выявить зависимости изменения параметров структур от степени деформации.

# **1. Анализ поверхностного рельефа металла после механической обработки и деформации**

## **1.1 Поверхностный рельеф после обработки металла давлением**

Деформационный рельеф является источником информации о внутренних процессах. Он появляется на поли- и монокристаллах при различных способах нагружения и первоначально проявляет себя в виде тонких линий скольжения. Более ста лет назад Розенхайн и Эвинг обнаружили, что эти линии представляют собой ступеньки на поверхности, появляющиеся, благодаря микроскопическому сдвигу вдоль кристаллографических плоскостей. Однако тот факт, что пластическая деформация реализуется не только с помощью трансляционного механизма, но и совместно с ротационным, был высказан еще в начале XX в. Р. Хоникомбом [1], А.Ф. Иоффе [2], Е. Шмидом и В. Боасом [3], В.Д. Кузнецовым [4] и др. Некоторое время спустя о переориентации кристаллической решетки при увеличении степени деформации сообщили С. Мадер и А. Зегер [5], а после и другие исследователи.

Благодаря развитию дифракционных методов, удалось достоверно установить, что сдвиговая деформация в определенных условиях сопровождается переориентацией кристаллической решетки. В настоящее время известно, что трансляционные и ротационные механизмы деформации тесно взаимосвязаны. Переориентация локальных областей более характерна для высоких степеней пластической деформации и высокой плотности дислокаций. На начальных стадиях деформации изменение формы кристалла происходит за счет дислокационного скольжения.

Наиболее явным структурным элементом деформационного рельефа, сформированным трансляционным механизмом, является след скольжения или след сдвига. С началом пластической деформации следы сдвига

наблюдаются при различных условиях нагружения. След сдвига состоит из пачки следов скольжения. В реальных экспериментах на поверхностях кристаллов можно наблюдать не только следы сдвига, но и более сложный деформационный рельеф [6–8], в частности пачки следов сдвига, мезо- и макрополосы, гофрированные (складчатые структуры) и др. Всю совокупность элементов деформационного рельефа предложено называть структурными элементами деформационного рельефа (СЭДР) [12]. При таком разнообразии деформационного рельефа возникает вопрос о том, какой тип СЭДР наиболее благоприятен с точки зрения сохранения целостности кристалла при нагружении, т. е. какой тип рельефа способствует более однородному протеканию деформации.

Рассмотрение неоднородности деформации в моно- и поликристаллах на основании деформационного рельефа проводится во многих работах [9–11]. Благодаря такому анализу, идентифицируются места как однородного, так и неоднородного протекания деформации.

Таким образом, ротационные и трансляционные механизмы имеют место при пластической деформации металлов. Однако до конца не исследовано, каким образом они функционируют и формируют различные типы деформационного рельефа. Кроме того, остаются нерешенными вопросы, касающиеся цели формирования СЭДР различного типа.

В настоящее время решается задача об установлении закономерностей развития трансляционной и ротационной составляющей при формировании деформационного рельефа различного типа и определение роли каждого типа рельефа в сохранении целостности кристалла при деформации.

## **1.2 Деформационный рельеф моно- и поликристаллов**

Большинство твердых материалов являются поликристаллическими; они состоят из множества беспорядочно ориентированных мелких

кристаллических зерен — кристаллитов — мелких монокристаллов. Каждый из мелких монокристаллов анизотропен, но, так как кристаллики ориентированы хаотически, то в целом поликристаллическое тело является изотропным. Если монокристаллы каким-нибудь способом ориентированы в определенном направлении, например, пластической деформацией, то поликристаллическое тело становится анизотропным.

При деформировании монокристалла дислокации перемещаются беспрепятственно на большие расстояния. Монокристалл не упрочняется, пластическая деформация велика без значительного роста действующих напряжений. Эта I стадия легкого скольжения (рис. 1.1) в кристаллах с ГПУ решеткой достигает 100 %, с ГЦК и ОЦК – 10–15 %. Плоскостями легкого сдвига в ГЦК металлах являются плоскости (111), в ОЦК металлах – плоскости (110), в ГПУ металлах – плоскости (0001).

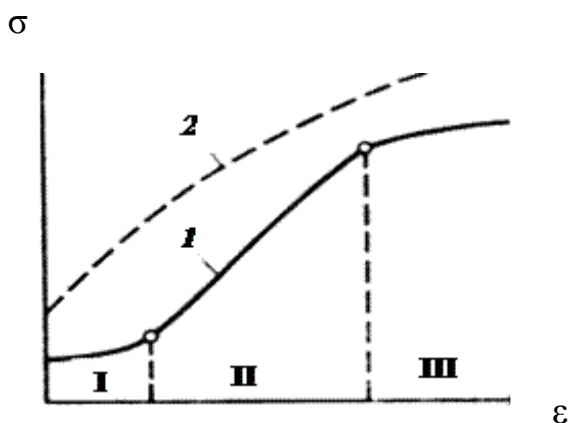


Рис. 1.1 – Деформационное упрочнение монокристалла (1) и поликристаллического металла (2)

Когда первичные системы легкого сдвига блокированы, начинается II стадия движения дислокаций (скольжение) по вторичным плоскостям (см. рис. 1.14). На этой стадии происходит интенсивное упрочнение. Дислокации имеют короткий пробег, вследствие взаимодействия с дислокационными барьерами. Для этой стадии характерна активная работа источников Франка-Рида (резко увеличивается плотность дислокаций). На III стадии деформации

под влиянием возрастающего напряжения развивается поперечное скольжение винтовых дислокаций. Это приводит к частичной релаксации напряжений, аннигиляции дислокаций разного знака. Имеет место динамический возврат – уменьшение деформационного упрочнения.

При пластической деформации в реальных условиях в механизмах пластичности участвует скольжение по нескольким системам.

При деформировании поликристалла стадия легкого скольжения отсутствует (см. рис. 1.1). Достигнув границы зерна, дислокации останавливаются. Напряжения при скоплении дислокаций упруго распространяются через границу и приводят в действие источники Франка-Рида в соседнем зерне. Плоскости и направления скольжения в каждом зерне различны. Зерна деформируются неодинаково, так как ориентированы произвольно по отношению к приложенной нагрузке.

Пластическая деформация начинается в зернах, в которых плоскости скольжения совпадают или близки вектору максимальных касательных напряжений. Одновременно происходит смещение и поворот соседних зерен. Зерна вытягиваются в направлении пластического течения. Концентрация дефектов (дислокаций, вакансий, междоузельных атомов) внутри зерен возрастает. Дефекты затрудняют движение дислокаций: сопротивление деформации растет, пластичность – уменьшается. Явление упрочнения металла называют наклепом.

Внутри зерен дислокации сначала распределяются равномерно. При увеличении степени деформации более 40 % появляется ячеистая структура. Ячейки с размером 0,2–3 мкм свободны от дислокаций; границы ячеек – сложно переплетенные стенки дислокаций.

Деформация поликристаллического тела складывается из деформации отдельных зерен и деформации в приграничных объемах. Отдельные зерна деформируются скольжением и двойникованием, однако взаимная связь зерен и их множественность в поликристалле вносят свои особенности в механизм деформации.

Плоскости скольжения зерен произвольно ориентированны в пространстве, поэтому под влиянием внешних сил напряжения в плоскостях скольжения отдельных зерен будут различны. Деформация начинается в отдельных зернах, в плоскостях скольжения которых возникают максимальные касательные напряжения (рис. 1.2). Соседние зерна будут разворачиваться и постепенно вовлекаться в процесс деформации. Деформация приводит к изменению формы зерен: зерна получают форму, вытянутую в направлении наиболее интенсивного течения металла (поворачиваются осями наибольшей прочности вдоль направления деформации).

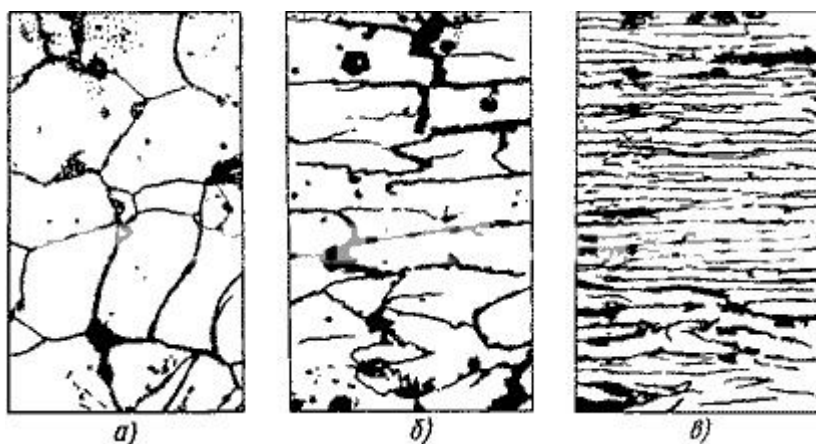


Рис. 1.2 - Изменение структуры при деформации: а — до деформации; б — после обжатия на 35%; в — после обжатия на 90%

Металл приобретает волокнистое строение. Волокна с вытянутыми вдоль них неметаллическими включениями являются причиной различия свойств вдоль и поперек волокон. Одновременно с изменением формы зерен в процессе пластической деформации происходит изменение ориентировки в пространстве их кристаллической решетки.

На кривой упрочнения поликристаллического металла стадии упрочнения не так сильно выражены, как на кривой упрочнения монокристалла, особенно первая стадия легкого скольжения. Объясняется это ограничением легкого скольжения границами зерен и быстрым развитием

множественного скольжения. В случае, если сопоставлять кривые деформационного упрочнения моно- и поликристалла из одного металла, то легко убедиться, что большая часть этой кривой для поликристалла соответствует напряжениям, которые необходимы для перехода к третьей стадии монокристалла (рис. 1.3).

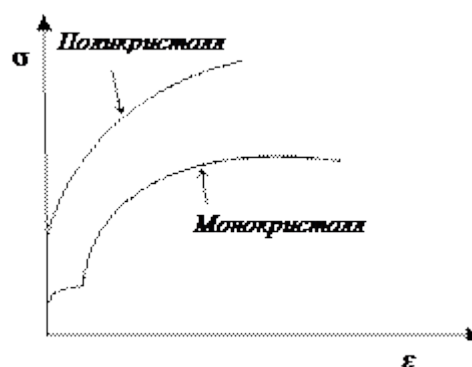


Рис. 1.3 – Кривая упрочнения моно - и поликристаллических образцов из одного металла

В случае, если в ГЦК металлах скольжение осуществляется по 12 системам скольжения, то в ОЦК по 48 системам скольжения. По этой причине уже при малых степенях деформации наряду с линейным скольжением, происходит множественное скольжение в пересекающихся плоскостях, а также поперечное, вызванное переходом винтовых дислокаций из одних плоскостей скольжения в другие. В микроструктуре технически чистого железа наблюдается только вытягивание зерен и поворот. При дальнейшем увеличении степени деформации в образцах технически чистого железа происходит все более сильное вытягивание зерен и их дальнейший поворот в направлении деформации. Полосы скольжения в этих образцах не видны. Их можно выявить только после специального травления (рис. 1.4).

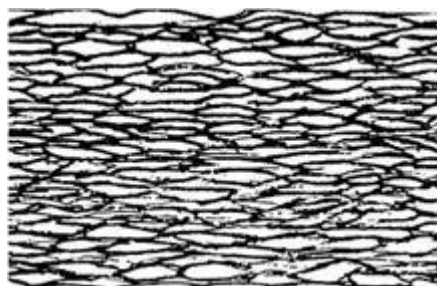


Рис. 1.4 – Структура технически чистого железа после больших степеней деформаций

Процессы, протекающие в металлических монокристаллах при пластической деформации, находят свое отражение в деформационном рельефе металлических образцов. Деформационный рельеф развивается на разных масштабных уровнях. На каждом уровне развиваются определенные структурные элементы рельефа, которые могут включать в себя элементы более мелкого масштаба. На макроуровне, при рассмотрении всего образца, рельеф характеризуется индивидуальной картиной, которая зависит от распределения напряжений, кристаллографической ориентации оси сжатия и боковых граней монокристаллов. Системы следов сдвига, полос сдвига и мезополос деформации образуют отдельные деформационные домены на мезомасштабном уровне. На микромасштабном уровне сдвиг по плоскости скольжения формирует ступеньку на полированной металлической поверхности. Протяженная ступенька формирует линию скольжения.

При рассмотрении деформационного рельефа на разных масштабных уровнях необходимо определить иерархическую последовательность деформационных процессов на этих уровнях. Важным является установление самоподобия деформационных процессов на разных масштабных уровнях. Показателем структуры, который объективно может характеризовать деформационный рельеф на разных масштабных уровнях, может служить, например, фрактальная размерность.

В работе [12] деформационный рельеф монокристаллов никеля был описан методом фрактальной геометрии. Была получена фрактальная размерность профилей структурных элементов рельефа. Показано, что в ряде

случаев наблюдается самоподобие деформационных структур на различных масштабных уровнях. Деформационный рельеф несет в себе информацию о локальных деформационных процессах. Для следов скольжения традиционно анализируют величину сдвига в следе скольжения, длину следа и расстояние между следами. В работе рассмотрено значение этих характеристик для различных структурных элементов рельефа. Фрактальная размерность проанализирована во взаимосвязи с рассмотренными выше характеристиками деформационного рельефа и основными ее структурными элементами.

### **1.3 Связь поверхностного рельефа с повреждаемостью**

В процессе пластической деформации пластичных металлических материалов наблюдается постепенное накопление и взаимодействие дефектов кристаллической решетки (вакансий, междоузельных атомов, дислокаций и дисклинаций, двойников, границ блоков и зерен и т.п.). Вследствие этого, на определенной стадии деформации в материале зарождаются сначала субмикротрещины, затем микротрещины, которые, достигнув критического размера, приводят к необратимой повреждаемости материала, развитие которой в конечном итоге приводит к необратимому разрушению.

Выявление степени критической повреждаемости в ответственных металлических конструкциях является в настоящее время одним из важнейших направлений в науке о прочности материалов. Особенно это важно для металлических конструкционных материалов, работающих в условиях циклических нагрузок, поскольку критический размер дефекта в этом случае чрезвычайно мал, а высокая частота нагружения может привести к быстрому его развитию и разрушению материала. В условиях циклического деформирования зарождение микротрещин чаще всего происходит при

напряжениях ниже статического предела текучести за счет интенсивных процессов микропластической деформации на протяжении многих циклов нагружения в отдельных наиболее благоприятно ориентированных зернах поликристаллических материалов.

Детали машин и конструкций в современном оборудовании работают в широком интервале напряжений, зачастую они работают и разрушаются в диапазоне достаточно высоких напряжений.

Известно, что в результате релаксации кристаллической решетки, выражающейся в увеличении периода решетки у поверхности, поверхностный слой подвергается пластической деформации ранее основного металла. Здесь зарождаются и продвигаются вглубь очага деформации повреждения микроструктуры. В связи с этим актуально рассмотреть способность поверхностного слоя металлических деталей к накоплению циклической пластической деформации, определяющей повреждаемость собственной микроструктуры - поверхности.

Усталость - сложное явление, которое, как правило, связано с поверхностными процессами, обусловленными различными факторами, одним из которых является концентрация напряжений. В концентраторах активизируются процессы упрочнения-разупрочнения, усиливается повреждаемость поверхности образца (детали). Этот эффект мало изучен и требует дальнейшей разработки.

Рассматривая строение поверхностного слоя следует иметь в виду, что оно резко отличается от основного материала, так как несет на себе следы технологического процесса обработки, в результате которого, как правило, образуется дефектный слой с искаженной структурой. Кроме того, при эксплуатации изделия постоянно идет процесс изменения свойств поверхности из-за силовых, температурных, окислительных и других воздействий. Так, например, при обработке металлов резанием возникновение в поверхностном слое новых образований происходит в результате действия двух противоположных процессов — упрочнения

(наклепа) в результате воздействия на поверхность усилий резания и разупрочнения (снятия наклепа) в результате влияния температуры резания. В разных условиях превалирует влияние то одного, то другого фактора.

При пластической деформации в поверхностном слое металла происходит сдвиг в зернах металла, искажение кристаллической решетки, изменение формы и размеров зерен, образование текстуры. Образование текстуры и сдвиги при пластической деформации повышают прочность и твердость металла. Упрочнение (наклеп) металла под действием пластической деформации, согласно теории дислокаций, заключается в концентрации дислокаций около линии сдвигов, а так как дислокации окружены полями упругих напряжений, то для последующих пластических деформаций (т. е. для перемещения дислокаций) необходимо значительно большее напряжение, чем в неупрочненном металле.

Наклеп приводит к уменьшению плотности металла пропорционально степени пластической деформации, что объясняется увеличением количества дислокаций и вакансий в наклепанном металле. При наклепе происходит также изменение свойств металла: повышается сопротивление деформации и твердость, понижается пластичность.

Глубину наклепанного слоя  $l$  можно определить по изменению микротвердости, которая в поверхностных слоях всегда выше. О степени наклепа можно судить по отношению твердости поверхностных слоев и исходного металла  $H_{\max}/H_0$  (рис. 1.5).

К наклепу более склонны вязкие и малопрочные металлы. При обработке высокопрочных металлов большая температура резания действует как разупрочняющий фактор. Средние значения толщины наклепанного слоя, например, при точении колеблются от 0,2 до 20 мкм.

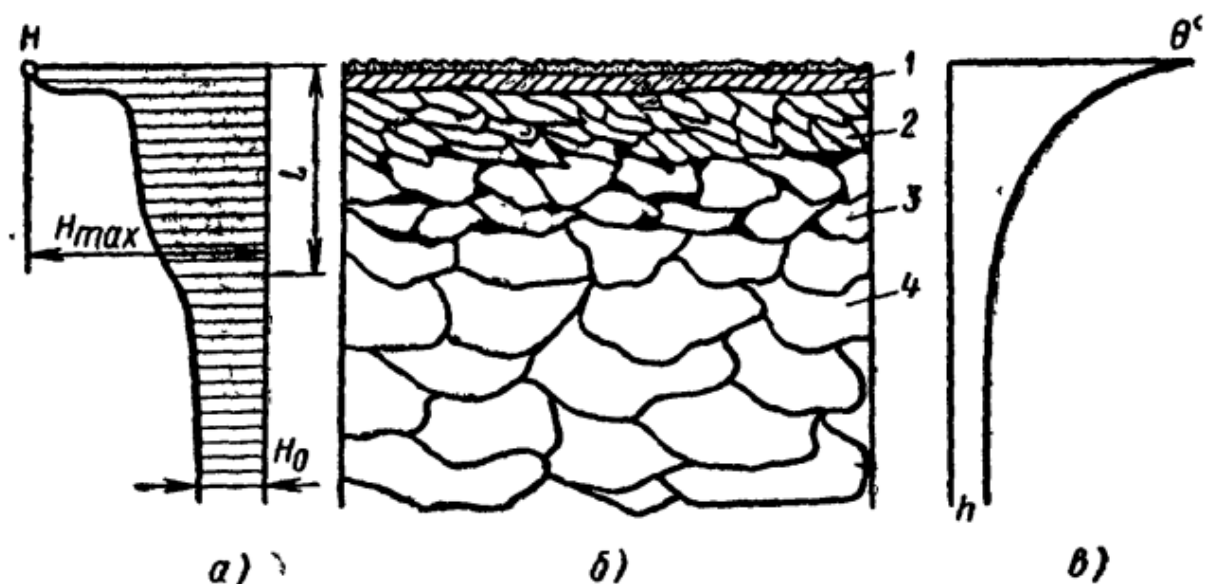


Рис. 1.5 – Строение поверхностного слоя: а – изменение твёрдости  $H$  по глубине слоя; б – структура поверхностного слоя; в - изменение температуры по глубине при резании и трении

Изменения в поверхностном слое происходят не только, вследствие процессов упрочнения и разупрочнения, но и из-за структурных превращений и окислительных процессов, которые могут происходить в зоне температурных влияний по глубине  $h$  (рис. 1.5, в). Так, при шлифовании углеродистой стали в поверхностном слое могут возникать участки, обезуглероженные под действием высоких температур, может происходить образование структурно-свободного цементита и слоев, пронизанных окислами и нитридами.

Важным фактором, влияющим на структуру поверхностного слоя, являются окислительные процессы, которые быстро развиваются в новых поверхностях, появившихся в процессе обработки. У большинства металлов на поверхностях образуются тонкие окисные пленки. Так как пленка находится в напряженном состоянии, то при ее росте возможны разрывы пленки и она приобретает пористое строение. При трении поверхностей деталей машин тонкие слои подвергаются в зоне контакта многократным воздействиям нормальных и тангенциальных напряжений, в сочетании с температурными влияниями и действием среды приобретают рельеф,

характерный для данных условий эксплуатации. Поэтому различают принципиально неодинаковые виды рельефа поверхности—технологический и эксплуатационный.

В общем виде строение поверхностного слоя сплава состоит из следующих характерных участков:

- 1-й слой повышенной твёрдости, содержащий окисные пленки, к которым примыкает аморфный адсорбированный слой из пленок влаги, газов и загрязнений;
- 2-й наклепанный слой с сильно деформированной кристаллической решеткой характеризуется определенной ориентацией (текстурой) зерен, возникшей под влиянием тангенциальных сил резания или трения;
- 3-й наклепанный слой с искаженной кристаллической решеткой имеет увеличенное число дислокаций и вакансий.

Для характеристики состояния поверхностного слоя необходимо также учитывать поверхностные явления, которые происходят при наличии смазки и поверхностно-активных веществ. Смазочный слой образует у поверхности твердого тела особую структуру, так как свободные связи атомов и молекул, расположенных в последнем слое, взаимодействуют с молекулами смазки и твердого тела.

Благодаря явлению адсорбции, происходит образование тончайших пленок газов, паров и масел с ориентированными слоями молекул. Молекулы веществ, адсорбированных на поверхности твердого тела, присоединяются к металлу своим активным концом. С увеличением расстояния от твердой поверхности ориентация молекул поверхностно-активного вещества (ПАВ) нарушается, а затем пропадает. Толщина граничного слоя зависит от строения молекул и внешних условий. Повышение температуры способствует дезориентации молекул и может привести к разрушению пристенного ориентированного слоя смазки.

В зависимости от строения молекул они могут иметь различную ориентацию у поверхности (не обязательно быть нормально

расположенными к поверхности). Эти явления оказывают воздействие на поведение твердых тел. Так поверхностно-активная среда влияет на процессы разрушения и деформации твердых тел. Адсорбционные пленки приводят к эффекту пластификации, т. е. облегчают пластическое течение в зернах, расположенных в поверхностном слое, так как адсорбированный слой понижает поверхностное натяжение металла. Попадая в микротрещины, смазка оказывает расклинивающее действие и может снизить прочность твердого тела. Таким образом, поверхностные слои твердого тела имеют сложную структуру, как следствие процессов производства (изготовления) данной поверхности и процессов ее взаимодействия с окружающей средой при эксплуатации изделия.

Параметры, которые характеризуют состояние поверхности, включают ее геометрические, прочностные, физические, химические, структурные и иные показатели. Их изменение в процессе эксплуатации при протекании разнообразных процессов старения во многом определяет надежность изделия.

#### **1.4 Способы количественной оценки поверхностного рельефа**

На поверхности детали после механической обработки образуются неровности в виде чередующихся гребешков и впадин (шероховатость и волнистость), возникают остаточные напряжения в верхнем слое металла, меняется твердость на разной глубине от поверхности (упрочнение и наклеп) и происходят другие явления, влияющие на свойства поверхностного слоя деталей машин. Все перечисленные характеристики определяют качество поверхностного слоя или, сокращенно, качество поверхности деталей машин.

В технике принято качество обработанной поверхности рассматривать с физической и геометрической сторон.

Качество обработанной поверхности определяют отклонениями физических и механических свойств верхнего слоя металла от свойств

металла в сердцевине детали. При резании поверхностный слой детали претерпевает пластические деформации, поэтому его свойства оказываются отличными от свойств исходного металла (заготовки). Металл в этом слое оказывается упрочненным, его твердость повышается, в нем возникают внутренние напряжения.

При чистовой механической обработке толщина упрочненного слоя не превышает нескольких сотых миллиметра, при черновой (например, фрезеровании цилиндрической фрезой) - достигает 0,12 мм (средние значения 0,04—0,08 мм).

Упрочнения и внутренние напряжения в поверхностном слое понижают усталостную прочность детали и вызывают ускоренное разрушение ее в работе, т. е. приводят к необходимости ремонта.

Неровности на поверхности детали, получающиеся после грубой обработки при больших подачах на зуб и глубине резания, видны и легко ощутимы пальцем. Неровности после полустовой и чистовой обработки при малой подаче на зуб и небольшой глубине резания незаметны для невооруженного глаза и почти не ощутимы пальцем.

Геометрическое качество поверхности в смысле наличия на ней гребешков, впадин, штрихов и других неровностей на ее малых участках называется микрогеометрией поверхности. На микрогеометрию поверхности при механической обработке, в основном, влияют следующие факторы:

- 1) режим обработки (скорость резания, подача на зуб, глубина резания, вид охлаждаемой жидкости);
- 2) вибрации, вследствие недостаточной жесткости станка, приспособления, инструмента и детали;
- 3) геометрия, качество, состояние используемого при обработке оборудования;
- 4) механические свойства обрабатываемого материала и материала инструмента.

Современное машиностроение с большими скоростями движущихся деталей машин предъявляет весьма высокие требования к чистоте поверхностей деталей машины. Для объективного суждения о степени шероховатости (микрogeометрии) поверхности после механической обработки деталей служит Государственный общесоюзный стандарт «Шероховатость поверхности» (ГОСТ 25142—82). В этом стандарте в отличие от ранее действовавшего ГОСТ 2789—51 для оценки шероховатости приняты три критерия:

- среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$ ;
- высота неровностей  $R_z$ ;
- базовая длина  $l$  участка поверхности.

Высота неровностей профиля по десяти точкам  $R_z$  - является суммой средних абсолютных значений высот точек пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин в пределах базовой длины, измеренных от произвольной линии АВ (рис. 1.6).

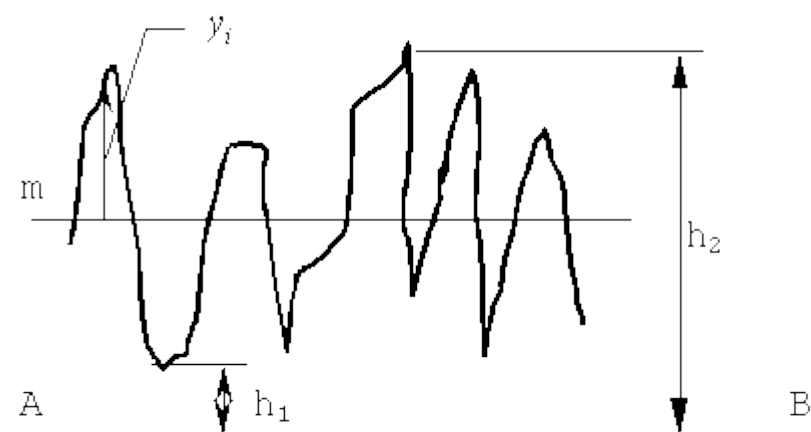


Рис. 1.6 – Схема определения параметров шероховатости

$$R_z = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |h_{i_{\max}}| - \sum_{i=1}^5 |h_{i_{\min}}| \right) \quad (1.1)$$

Среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$  – это среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля  $y_i$  от средней линии  $m$  в пределах базовой длины

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (1.2)$$

Образование неровностей на обработанной поверхности можно представить как след от движения режущих кромок инструмента. Назовём такой профиль регулярным (рис. 1.7).

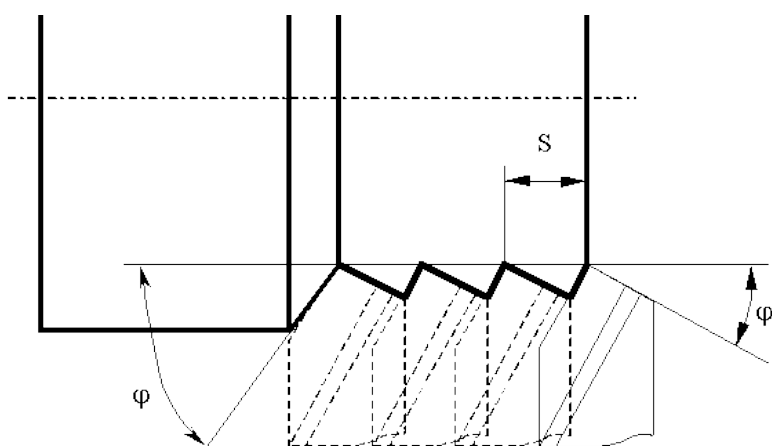


Рис. 1.7 – Схема образования неровностей на обработанной поверхности

На образование регулярного профиля влияет геометрия резца, в частности – углы в плане, а так же величина подачи  $S$ . Их влияние описывается формулой

$$Rz_{расч} = \frac{S \cdot \sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)} \quad (1.3)$$

В реальном процессе резания впереди резца и под обработанной поверхностью образуется зона пластической деформации, которая вносит некоторую погрешность в регулярный профиль. Пластически деформированный металл в отдельных местах как бы наволакивается на микронеровности, а в где-то вырываются отдельные куски металла. Потому реальное значение  $R_z$  может быть записано как:

$$Rz = Rz_{расч} + \Delta Rz \quad (1.4)$$

где  $\Delta Rz$  - приращение высоты микронеровностей, вызванное пластической деформацией металла. Следовательно, чем меньше пластическая деформация, тем меньше высота микронеровностей. Величина пластической деформации зависит, в большей степени, от твёрдости обрабатываемого материала и, в меньшей — от глубины резания —  $t$ .

Шероховатость поверхности является одной из важнейших эксплуатационных особенностей изделия. Наличие микронеровностей и их размер сказываются на прочности, химической стойкости, истирании и даже внешнем виде изделия. Но любая реальная поверхность после металлообработки приобретает впадины и выступы, которые отсутствуют на идеально гладкой поверхности. Поэтому определение шероховатости поверхностей является одним из ключевых параметров для изделий из металла. Степень шероховатости – величина, которая показывает высоту и частоту неровностей рельефа металла, измеряется в микрометрах (мкм).

Параметр шероховатости присущ изделиям на этапах обработки и эксплуатации. Соответственно, он бывает:

- исходным – получен сразу после технологической обработки поверхности;
- эксплуатационным – вследствие изнашивания в процессе использования;
- равновесным – эксплуатационный параметр, который воспроизводится в стационарных условиях.

Для определения шероховатости используют два метода – качественный и количественный. Отдельно следует назвать метод слепков. Его суть заключается в снятии копий поверхности с помощью воска, парафина или гипса и дальнейшее их исследование с количественного или качественного способов.

Качественный метод используется для всего изделия в комплексе и реализуется в нескольких способах:

- визуальный способ. Анализируемая поверхность сравнивается с эталоном шероховатости. Сопоставление производится зрительно, а также с помощью тактильных ощущений (ощупывание пальцем, ногтем). Визуальный способ оценки шероховатости подходит для изделий с низким классом чистоты.
- бесконтактный способ. Для контроля изделий с высоким классом чистоты необходимо использовать микроскоп или лупу.

Количественный метод проводится поэлементно и также двумя способами:

- бесконтактно. Например, способом светового и теневого свечения, микроинтерференционным – с помощью микроскопа и интерферометра, растровым – с использованием растровой сетки и луча света.
- контактно. С использованием специальных измерителей шероховатости - профилометров и профилографов.

Использование измерительных приборов – современный и надежный способ оценки шероховатости поверхностей на сегодняшний день. Исследование профилометром проводится особым – щуповым – методом. Поверхность изделия буквально «ощупывается» специальной иглой, датчик передает сигнал о характере выявленных неровностей и преобразует механическую энергию в электрическую. Сигнал от преобразователя усиливается и анализируется. Ощупывание поверхности проводится несколько раз и, на основании полученных усредненных данных, прибор дает параметр шероховатости. Измерение шероховатости поверхности профилометром дает точные данные, а также графики рельефа поверхности в реальном времени. Повышенной точностью и стойкостью к истираниям обладает щуп профилометра из карбида вольфрама, а прочный корпус делает такие приборы нечувствительными к воздействию растворителей, кислот, масел, воды или пыли. Характеристики современных профилометров делают эти приборы максимально точными и удобными для использования в полевых или производственных условиях.

## 1.5 Непараметрический метод оценки поверхности

Помимо стандартных методов оценки микрогеометрии поверхностей уже достаточно давно был разработан другой подход к оценке микрогеометрии – непараметрический.

Микрогеометрию случайных нормально распределенных поверхностей в общем случае можно описать с помощью трех (двух) базовых критериев. Однако среди реальных поверхностей многие нельзя считать чисто случайными, а последние не всегда являются нормально распределенными. Поэтому трудно решить проблему достоверности описания микрогеометрии поверхности с помощью различных комплексных критериев, представляющих различные комбинации из неинформационных критериев. В связи с этим возникает необходимость легкого, в производственных условиях, описания микрогеометрии сложных поверхностей [13].

В общем случае микрогеометрия поверхности зависит от многих факторов (режимы резания, качество режущего инструмента, исходные свойства заготовки и др.), поэтому ее следует рассматривать как реализацию случайного профиля, тогда профиль реальной поверхности есть реализация случайной функции [14].

Следует заметить, что наиболее полную информацию о профиле содержат плотности распределения ординат и углов наклона, а для приближенной оценки вполне достаточно функций распределения ординат и углов наклона профилей. Для оценки одного функционального свойства достаточно одного из графиков.

Суть метода заключается в практическом использовании графиков функций, показанных на рис. 1.7.

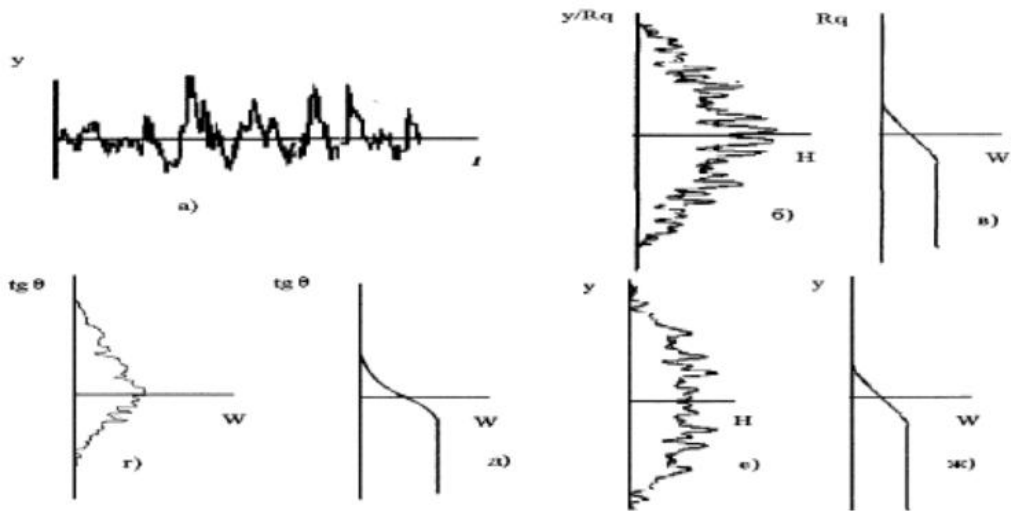


Рис. 1.7 – а) профиль поверхности; непараметрические критерии оценки; б) плотность распределения ординат безразмерного профиля ( $H$  – частотность, шт;  $R_q$  - среднеквадратическое отклонение, мкм); в) распределение ординат безразмерного профиля ( $W$  - вероятность); г) плотность распределения тангенсов углов наклона профиля; е) плотность распределения ординат профиля ( $y$  - отклонение профиля от средней линии, мкм); ж) распределения ординат профиля

Рассмотрим этот метод на примере. Исследуем образцы, работающие на износ, при этом их форма постепенно меняется от (а) к (б), также меняется и функция плотности распределения ординат профиля. Однако испытания показали, что годными являются профили в промежутке от (а) до (к). Тогда можно построить шаблон, включающий в себя все функции плотности распределения ординат профиля от (а) к (к), рис. 1.8.

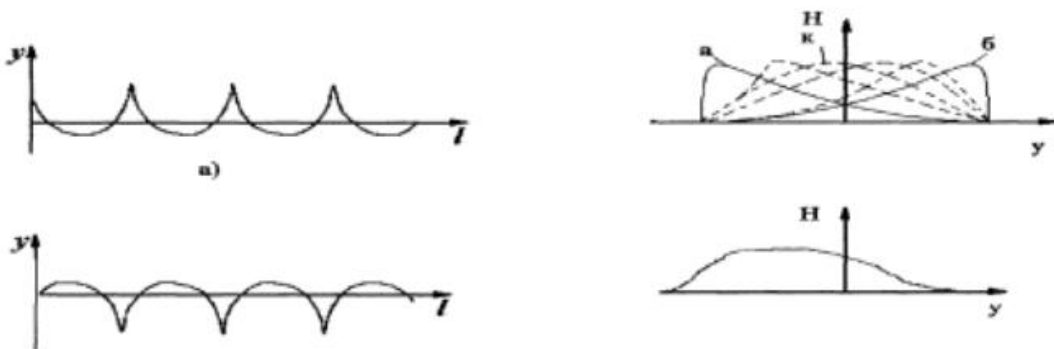


Рис. 1.8 - Схема построения шаблона для контроля микрогеометрии поверхности

Аналогичным образом можно построить шаблоны для функции плотности распределения тангенсов углов наклона профиля.

Экспериментальным путем для различных видов обработки конкретных материалов в определенных условиях можно получить зависимость между непараметрическими критериями оценки микрогеометрии поверхности и параметрами режимов резания. Это дает возможность технологу обеспечить требования к микрогеометрии поверхности, назначенные конструктором. Также при практическом исследовании следует заметить, что удобнее применять безразмерный профиль, получаемый делением его ординат на величину  $R_a$  или  $R_q$ , что избавляет от проблемы, связанной с необходимостью строить в одном масштабе профили, ординаты которых колеблются от долей до тысяч мкм. С помощью этого метода хорошо выявляются различия профиля, которые не видны при рассмотрении профилограмм (рис. 1.9).

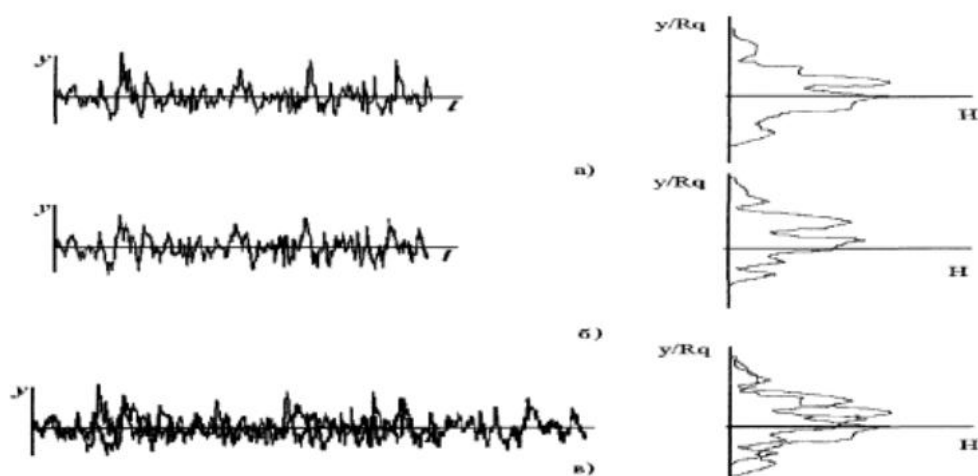


Рис. 1.9 – Схема сравнительной оценки характера распределения амплитуд профиля (а), профили и их плотности распределения ординат безразмерного профиля (б), наложение профилей и их функций плотностей распределения ординат безразмерных профилей (в)

Этот метод позволяет определить стационарность поверхности и необходимую длину профиля, для каждого вида обработки. Рассмотрим этот вопрос более подробно. Стационарность профиля определяют сравнением

снятых в различных местах профилограмм, используя для этого непараметрические критерии. В случае положительного результата утверждают о достаточности одного профиля для того, чтобы охарактеризовать поверхность при данном виде обработки в конкретных условиях. Необходимую длину профиля определяют сравнением непараметрических критериев для профилей различной длины и, в зависимости от наиболее значимого функционального свойства (волнистости, шероховатости и др.), выбирают минимально необходимую. Следует заметить, что непараметрические критерии очень чувствительны к изменениям режимов резания, форме режущего клина, колебаниям системы СПИД и т.д.

Все вышесказанное подводит нас к утверждению, что для оценки характера поверхностей в настоящее время используют следующие параметрические и непараметрические критерии [15]:

- функции распределения и плотности распределения ординат и тангенсов углов наклона профилей;
- функции распределения ординат безразмерного профиля;
- асимметрия и эксцесс для распределения ординат и тангенсов углов наклона профиля;
- среднеарифметическое отклонение профиля,  $R_a$ ;
- среднеквадратичное отклонение профиля,  $R_q$ ;
- наибольшее отклонение профиля,  $R_m$ .

При этом непараметрические критерии представляются намного более информативными по сравнению со стандартизированными параметрами.

### **Вывод главы**

1. Деформационный рельеф является источником информации о внутренних процессах. Он появляется на поли- и монокристаллах при различных способах нагружения и первоначально проявляет себя в виде тонких линий скольжения.

2. При таком разнообразии деформационного рельефа возникает вопрос о том, какой тип совокупности элементов деформационного рельефа наиболее благоприятен с точки зрения сохранения целостности кристалла при нагружении, т. е. какой тип рельефа способствует более однородному протеканию деформации.

3. Большинство твердых материалов являются поликристаллическими; они состоят из множества беспорядочно ориентированных мелких кристаллических зерен — кристаллитов — мелких монокристаллов. Каждый из мелких монокристаллов анизотропен, но, так как кристаллики ориентированы хаотически, то в целом поликристаллическое тело является изотропным. Если монокристаллы каким-нибудь способом ориентированы в определенном направлении, например, пластической деформацией, то поликристаллическое тело становится анизотропным.

4. При деформировании поликристалла стадия легкого скольжения отсутствует. Достигнув границы зерна, дислокации останавливаются. Напряжения при скоплении дислокаций упруго распространяются через границу и приводят в действие источники Франка-Рида в соседнем зерне. Плоскости и направления скольжения в каждом зерне различны. Зерна деформируются неодинаково, так как ориентированы произвольно по отношению к приложенной нагрузке.

5. При пластической деформации в поверхностном слое металла происходит сдвиг в зернах металла, искажение кристаллической решетки, изменение формы и размеров зерен, образование текстуры. Образование текстуры и сдвиги при пластической деформации повышают прочность и твердость металла. Упрочнение (наклеп) металла под действием пластической деформации, согласно теории дислокаций, заключается в концентрации дислокаций около линии сдвигов, а так как дислокации окружены полями упругих напряжений, то для последующих пластических деформаций (т. е. для перемещения дислокаций) необходимо значительно большее напряжение, чем в неупрочненном металле.

6. Качество обработанной поверхности определяют отклонениями физических и механических свойств верхнего слоя металла от свойств металла в сердцевине детали. При резании поверхностный слой детали претерпевает пластические деформации, поэтому его свойства оказываются отличными от свойств исходного металла (заготовки). Металл в этом слое оказывается упрочненным, его твердость повышается, в нем возникают внутренние напряжения.

7. Для объективного суждения о степени шероховатости (микрорегеометрии) поверхности после механической обработки деталей служит Государственный общесоюзный стандарт «Шероховатость поверхности» (ГОСТ 2789—59). В этом стандарте для оценки шероховатости приняты три критерия: среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$ ; высота неровностей  $R_z$  и базовая длина  $l$  участка поверхности.

8. Помимо стандартных методов оценки микрорегеометрии поверхностей уже достаточно давно был разработан другой подход к оценке микрорегеометрии – непараметрический. Суть метода заключается в практическом использовании специальных графиков функций.

9. Для оценки характера поверхностей в настоящее время используют следующие параметрические и непараметрические критерии:

- функции распределения и плотности распределения ординат и тангенсов углов наклона профилей;
- функции распределения ординат безразмерного профиля;
- асимметрия и эксцесс для распределения ординат и тангенсов углов наклона профиля;
- среднеарифметическое отклонение профиля,  $R_a$ ;
- среднеквадратичное отклонение профиля,  $R_q$ ;
- наибольшее отклонение профиля,  $R_m$ .

## 2. Материал и Методика

### 2.1 Описание материала никеля, ориентации

Никель - элемент десятой группы, четвёртого периода периодической системы химических элементов. И. Менделеева, с атомным номером 28. Обозначается символом Ni (лат., Niccolum). Никель - это пластичный, ковкий, переходный металл серебристо-белого цвета, при обычных температурах на воздухе покрывается тонкой плёнкой оксида. Химически малоактивен. Пространственная группа Fm3m. Является ферромагнетиком с точкой Кюри 358°C. Удельное электрическое сопротивление  $\rho = 0,087 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ . Коэффициент линейного теплового расширения  $\alpha = 13,5 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$  при 0 °С. Коэффициент объёмного теплового расширения  $\beta = 38-39 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ . Модуль упругости 196-210 ГПа.

В чистом виде никель весьма пластичен и поддается обработке давлением. Никель является жаропрочным, жаростойким и коррозионностойким металлом, что определяет его применение в качестве конструкционного материала для изделий, подверженных воздействию различных агрессивных сред, в том числе при повышенных температурах, а также подверженных механическим нагрузкам при высоких температурах. Помимо этого никель служит популярным легирующим элементом для сталей и сплавов.

Никель имеет гранцентрированную кубическую решетку с периодом  $a = 0,35238 \text{ нм}$ .

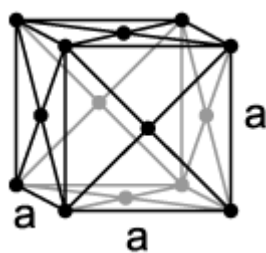


Рис. 2.1 – ГЦК решетка никеля

Упорядоченность кристаллического строения в пространственной решетке позволяет выделить отдельные кристаллографические направления и плоскости. Кристаллографические направления и плоскости принято обозначать индексами Миллера. Кристаллографические направления - это характерные прямые линии, выходящие из точки отсчета, вдоль которых в кристаллической решетке располагаются атомы. Точками отсчета, могут служить вершины куба, а кристаллографическими направлениями - его ребра и диагонали, а также диагонали граней (рис., 2.2, а).

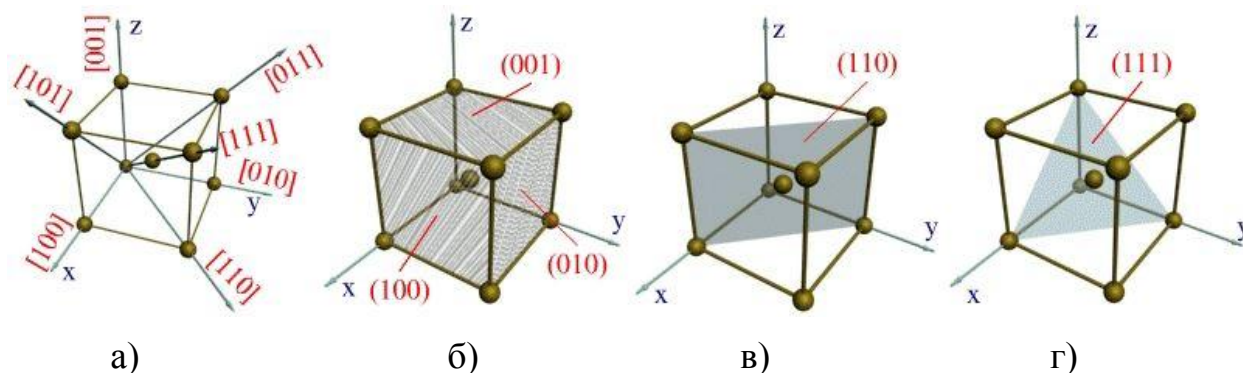


Рис. 2.2. Кристаллографические направления и плоскости в кристаллической решетке: а) - основные направления и их обозначение; б), в), г) - основные плоскости и их обозначение.

Кристаллографическими плоскостями являются плоскости граней кубов (рис., 2.2, б), а также их различные диагональные плоскости вместе с находящимися на них атомами (рис., 2.2, в, г). Для определения индекса какого-либо направления необходимо найти индекс ближайший к данной точке отсчета атома, находящийся на данном направлении.

Для определения индекса кристаллографической плоскости необходимо вначале найти координаты ближайших точек ее пересечения с осями координат, проведенными из точки отсчета. Затем взять обратные им величины и записать их в круглых скобках в обычной последовательности.

## **2.2 Подготовка образцов**

Образцы для исследования были получены на шлифовально-полировальном станке Struers LaboPol-35 / LaboForce-Mi. Шлифовально-полировальный станок- станок с плавной регулировкой скорости вращения в диапазоне 50-500 об/мин. Для работы с дисками диаметром 300 мм (12 дюймов) с подачей и отводом воды, а также с краном подачи воды. Кол-во дисков 1. Установка позволяет выполнять шлифование, полирование и все подготовительные процессы, включая тонкое полирование с использованием оксидных суспензий.

Станки для подготовки образцов поставляются в комплекте со всеми необходимыми для работы принадлежностями и расходными материалам Struers: алмазные суспензии и полировальное сукно.

Для подготовки образцов использовалась алмазная суспензия Struers DP-Suspension P, с зернистостью 1; 3; 6 мкм.

Для полирования образцов из никеля использовались полировальные круги с магнитной фиксацией на MD-Disc (MD-Cloth). Диаметр сукна: 300 мм. В порядке убывания твердости и упругости MD сукно подразделяется на: Net, Dac, Nap.



Рис. 2.3 – Шлифовально-полировальный станок Struers LaboPol-35 с набором суспензий Struers DP-Suspension P и полировальных кругов MD-Disc.

Картину деформационного рельефа образцов Ni исследовали на оптическом микроскопе Leica DM 2500P. Параметры деформационного рельефа определяли на конфокальном микроскопе Olympus OLS4100. Численные значения параметров шероховатости получали с использованием программного комплекса Gwyddion.



Рис. 2.4 – Конфокальный микроскоп Olympus OLS4100.

Конфокальная микроскопия — один из методов оптической микроскопии, обладающий значительным контрастом по сравнению с микроскопами классической схемы за счет использования диафрагмы, отсекающей поток фонового рассеянного света. В конфокальном микроскопе

в каждый момент времени регистрируется изображение одной точки объекта, а полноценное изображение строится путем сканирования (движения образца или перестройки оптической системы). Для того, чтобы регистрировать свет только от одной точки после объективной линзы располагается диафрагма малого размера таким образом, что свет, испускаемый анализируемой точкой, проходит через диафрагму и будет зарегистрирован, а свет от остальных точек в основном задерживается диафрагмой.

Повышение контраста изображения также достигается за счет того, что осветитель создает не равномерную освещенность поля зрения, а фокусирует свет в анализируемую точку. Это может достигаться расположением второй фокусирующей системы за образцом, но при этом требуется, чтобы образец был прозрачным. Кроме того, объективные линзы обычно сравнительно дорогие, поэтому использование второй фокусирующей системы для подсветки мало предпочтительно. Альтернативой является использование светоделительной пластинки, так чтобы и падающий и отраженный свет фокусировались одним объективом. Такая схема к тому же облегчает юстировку.

### **2.3 Параметры шероховатости**

В большинстве случаев шероховатость поверхности определяется одним из параметров  $R_a$  или  $R_z$ . В нашей работе для количественной оценки шероховатости были выбраны следующие параметры:

- $R_a$  - средняя арифметическая шероховатость.
- $R_p$  - максимальная высота выступа шероховатости.
- $R_q$  - среднеквадратичная шероховатость.
- $R_t$  - максимальная высота шероховатости.
- $R_v$  - максимальная глубина впадины шероховатости.
- $R_{sk}$  - асимметрия.
- $R_{ku}$  - эксцесс.

Параметры для оценки шероховатости взяты из стандарта ГОСТ 25142-82.

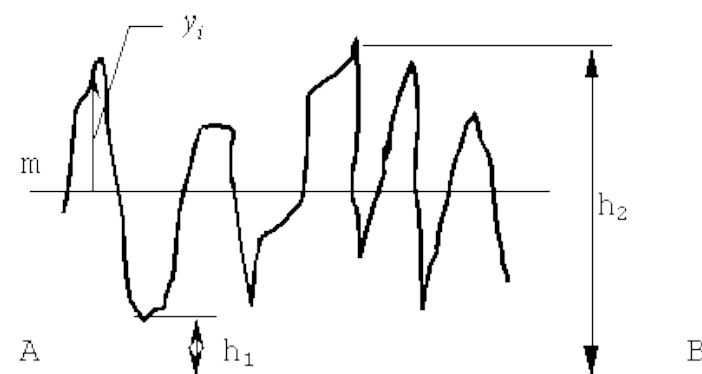


Рис. 2.5 – Схема определения параметра шероховатости  $R_a$

Среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$  – это среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля  $y_i$  от средней линии  $m$  в пределах базовой длины

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (2.1)$$

Среднеквадратичная шероховатость  $R_q$  – это среднее значение измеренных отклонений от средней линии взятых на длине оценки.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (2.2)$$

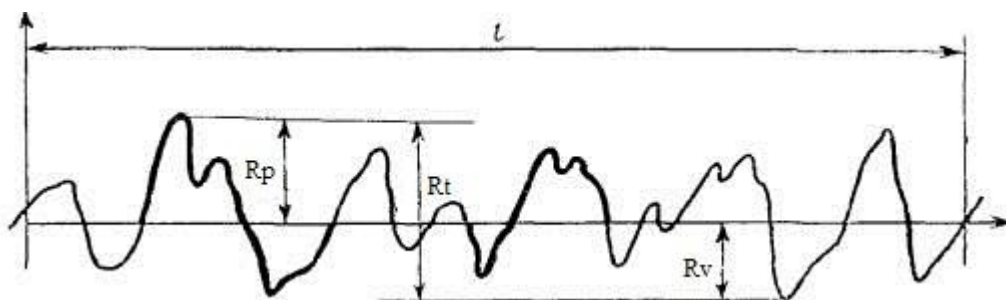


Рис. 2.6 – Схема определения параметров шероховатости  $R_v$ ,  $R_p$  и  $R_t$ .

Максимальная глубина впадины профиля  $R_v$  – это глубина наиболее глубокой впадины на профиле шероховатости на длине оценки.

$$R_v = \min y_i \quad (2.3)$$

Максимальная высота пика профиля  $R_p$  – это высота наиболее высокого пика на профиле шероховатости на длине оценки.

$$R_p = \max y_i \quad (2.4)$$

Максимальная высота профиля  $R_t$  – это максимальная шероховатость между пиком и впадиной. Определяется по разнице между самым высоким пиком и самой глубокой впадиной для нескольких выборок заданной длины оценки

$$R_t = R_p - R_v \quad (2.5)$$

Среднеквадратичное значение высоты поверхности ограниченного масштаба  $S_q$  – это среднеквадратичное значение ординаты в области определения (A).

$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A z(x, y) dx dy \quad (2.6)$$

Арифметическое среднее значение высоты поверхности ограниченного масштаба  $S_a$  – это арифметическое среднее абсолютного значения ординаты в области определения (A).

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A z^2(x, y) dx dy} \quad (2.7)$$

Данные коэффициенты нормируется согласно стандартам ISO 25178.

### 3. Экспериментальные результат

Количественная оценка проводилась на образце никеле призматической формы. Параметры шероховатости  $R_a$ ,  $R_q$ ,  $R_p$ ,  $R_v$ ,  $R_t$  проводились на базовой длине  $l = 0,25 \text{ мм}$ . Параметры шероховатости  $R_{sk}$  и  $R_{ku}$  проводились по всей картине деформационного рельефа. Вначале количественная оценка проведена для образца никеля с осью сжатия [110] на боковой стороне (110).

Количественная оценка для других ориентации указанна в приложении В, а распределение высот поверхности т. е. непараметрический критерий Валетова указан в приложении Б.

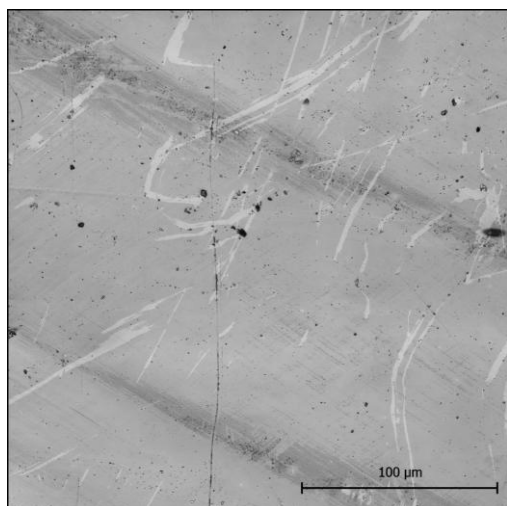


Рис. 3.1 – Деформационный рельеф при степени сжатия 7,6%

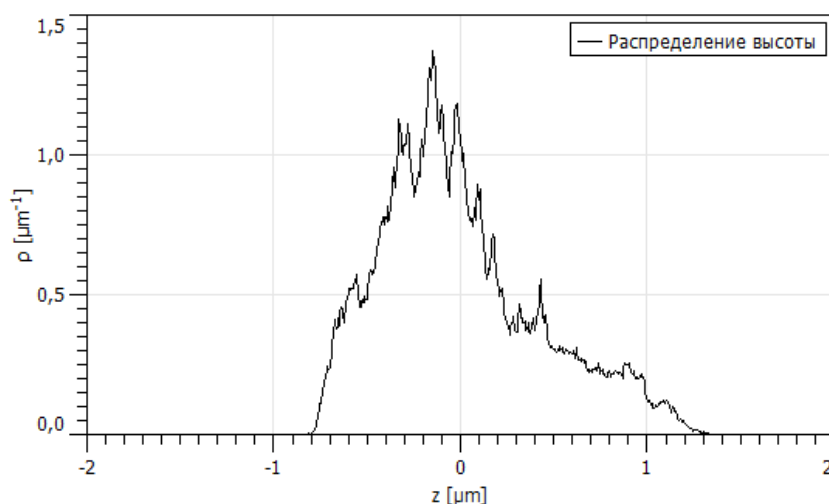


Рис. 3.2 – Плотность распределения высот точек поверхности при степени сжатия 7,6%

Таблица 3.1 – Параметры шероховатости

$R_a$ (мкм)	$R_q$ (мкм)	$R_p$ (мкм)	$R_v$ (мкм)	$R_t$ (мкм)	$S_a$ (мкм)	$S_q$ (мкм)
0,005-0,01 (0,0075)	0,007-0,023 (0,015)	0,027-0,15 (0,0885)	0,023-0,16 (0,0915)	0,05-0,31 (0,18)	0,0339	0,0427

Сначала образец никеля сжали на 7,6%. Фото картины деформационного рельефа изображено на рис. 3.1. На рис 3.2 показана плотность распределения высот точек поверхности. Анализ полученных данных свидетельствует о наличии на поверхности структурного элемента рельефа

одного типа-мезополос. В таблице 3.1 указана количественная оценка поверхности. В скобках указано среднее значение параметров.

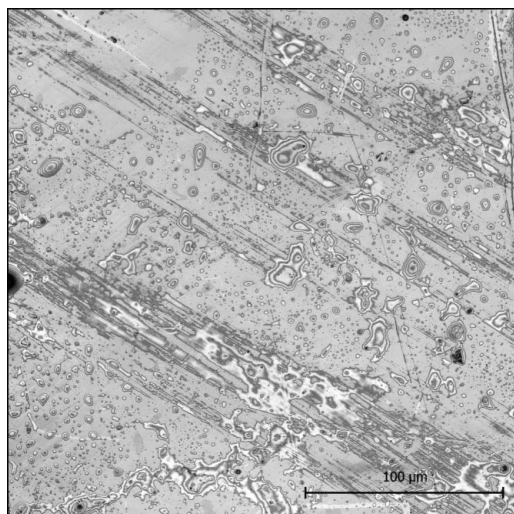


Рис. 3.3 – Деформационный рельеф при степени сжатия 10,2%

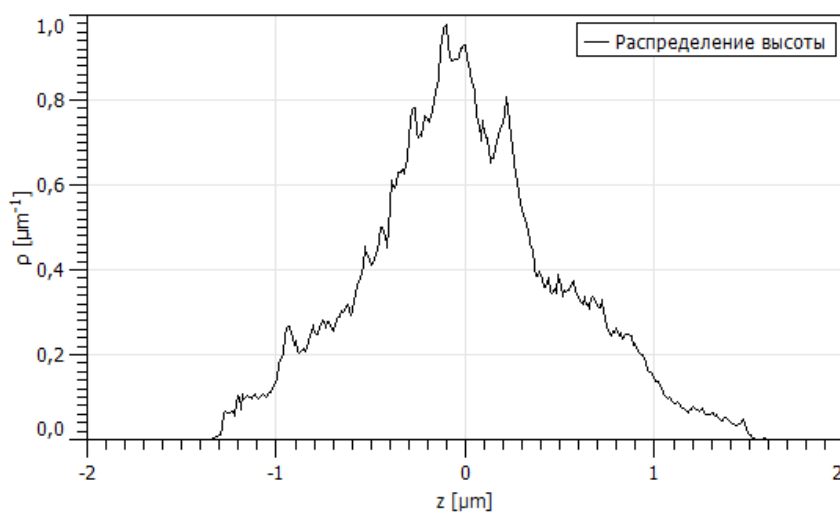


Рис. 3.4 – Плотность распределения высот точек поверхности при степени сжатия 10,2%

Таблица 3.2 – Параметры шероховатости

$R_a$ (мкм)	$R_q$ (мкм)	$R_p$ (мкм)	$R_v$ (мкм)	$R_t$ (мкм)	$S_a$ (мкм)	$S_q$ (мкм)
0,016-0,022 (0,019)	0,023-0,026 (0,0245)	0,073-0,2 (0,1365)	0,086-0,21 (0,148)	0,159-0,41 (0,2845)	0,0414	0,0527

После образец степень нагружения увеличили до 10,2%. Фото картины деформационного рельефа изображено на рис. 3.3. На рис 3.4 показана плотность распределения высот точек поверхности. Здесь также преобладают мезополосы. В таблице 3.2 указана количественная оценка поверхности. В скобках указано среднее значение параметров.

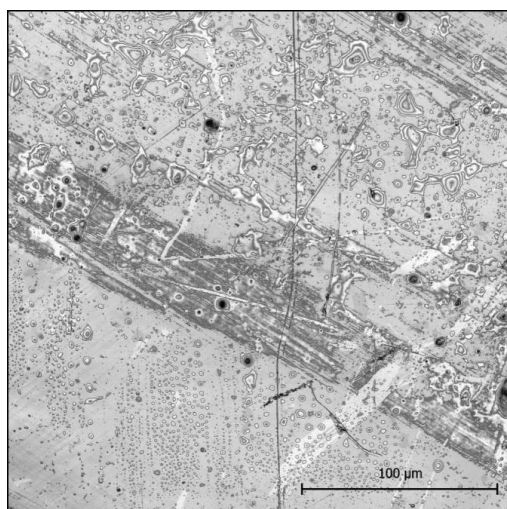


Рис. 3.5 – Деформационный рельеф при степени сжатия 11,9%

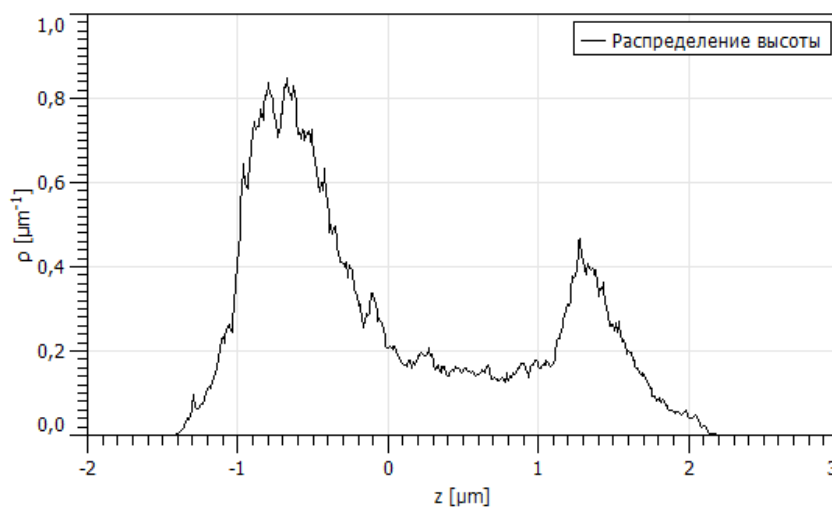


Рис. 3.6 – Плотность распределения высот точек поверхности при степени сжатия 11,9%

Таблица 3.3 – Параметры шероховатости

$R_a$ (мкм)	$R_q$ (мкм)	$R_p$ (мкм)	$R_v$ (мкм)	$R_t$ (мкм)	$S_a$ (мкм)	$S_q$ (мкм)
0,012-0,034 (0,023)	0,019-0,032 (0,0255)	0,09-0,21 (0,145)	0,085-0,24 (0,1625)	0,175-0,5 (0,3375)	0,0773	0,0891

После образец степень нагружения увеличили до 11,9%. Фото картины деформационного рельефа изображено на рис. 3.5. На рис 3.6 показана плотность распределения высот точек поверхности. Наличие двух пиков на гистограмме показывает наличие двух типов структурных элементов деформационного рельефа на поверхности. В данном случае это мезополосы и система следов сдвига. В таблице 3.3 указана количественная оценка поверхности. В скобках указано среднее значение параметров.

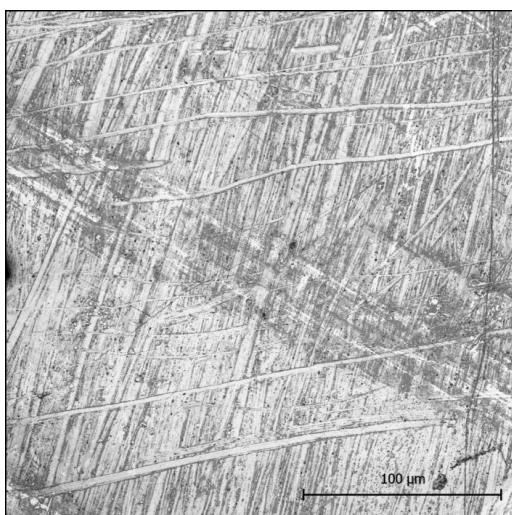


Рис. 3.7 – Деформационный рельеф при степени сжатия 13,9%

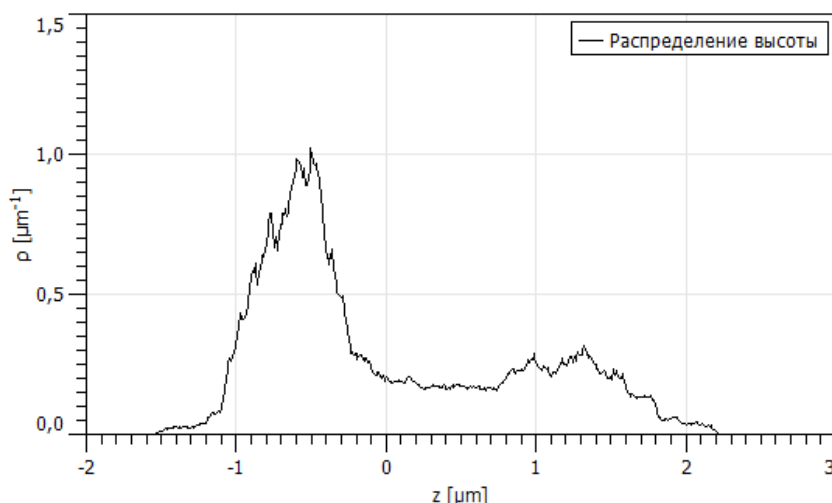


Рис. 3.8 – Плотность распределения высот точек поверхности при степени сжатия 13,9%

Таблица 3.4 – Параметры шероховатости

$R_a$ (мкм)	$R_q$ (мкм)	$R_p$ (мкм)	$R_v$ (мкм)	$R_t$ (мкм)	$S_a$ (мкм)	$S_q$ (мкм)
0,012-0,018 (0,015)	0,015-0,024 (0,0195)	0,057-0,17 (0,1135)	0,067-0,25 (0,1585)	0,124-0,42 (0,272)	0,0735	0,0851

После образец степень нагружения увеличили до 13,9%. Фото картины деформационного рельефа изображено на рис. 3.7. На рис 3.8 показана плотность распределения высот точек поверхности. Анализ полученных данных свидетельствует снижении количества мезополос. В таблице 3.4 указана количественная оценка поверхности. В скобках указано среднее значение параметров.

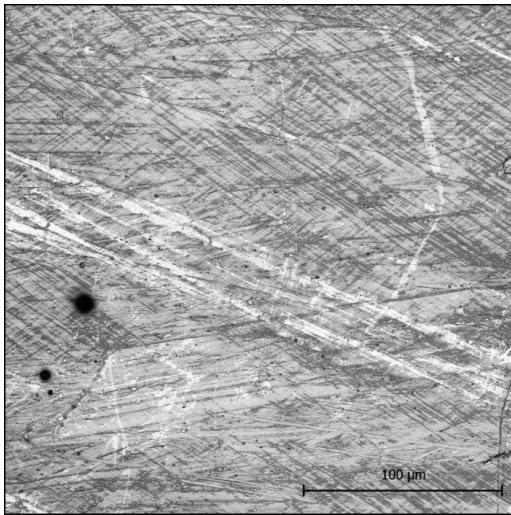


Рис. 3.9– Деформационный рельеф при степени сжатия 20,1%

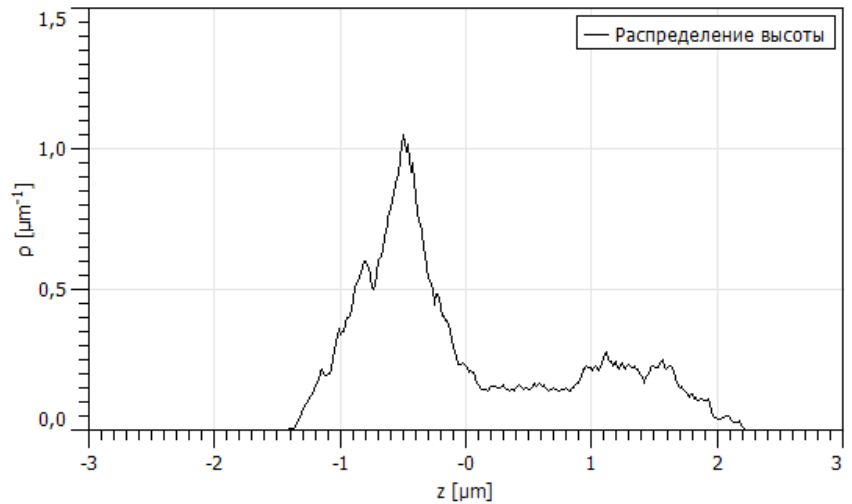


Рис. 3.10 – Плотность распределения высот точек поверхности при степени сжатия 20,1%

Таблица 3.5 – Параметры шероховатости

$R_a$ (мкм)	$R_q$ (мкм)	$R_p$ (мкм)	$R_v$ (мкм)	$R_t$ (мкм)	$S_a$ (мкм)	$S_q$ (мкм)
0,014-0,02 (0,017)	0,019-0,027 (0,023)	0,068-0,18 (0,124)	0,076-0,22 (0,148)	0,144-0,4 (0,272)	0,0736	0,0869

После образец степень нагружения увеличили до 20,1%. Фото картины деформационного рельефа изображено на рис. 3.9. На рис 3.10 показана плотность распределения высот точек поверхности. В таблице 3.5 указана количественная оценка поверхности. В скобках указано среднее значение параметров.

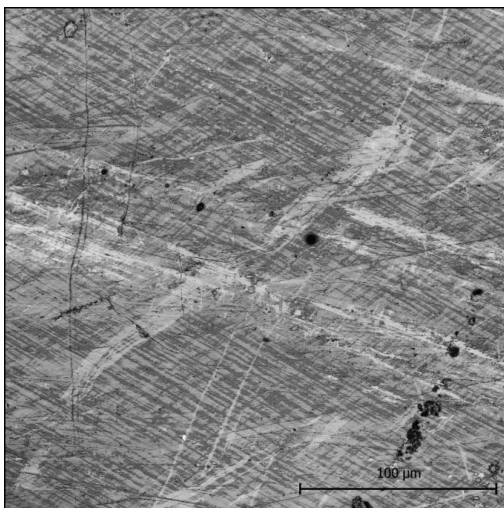


Рис. 3.11 – Деформационный рельеф при степени сжатия 22%

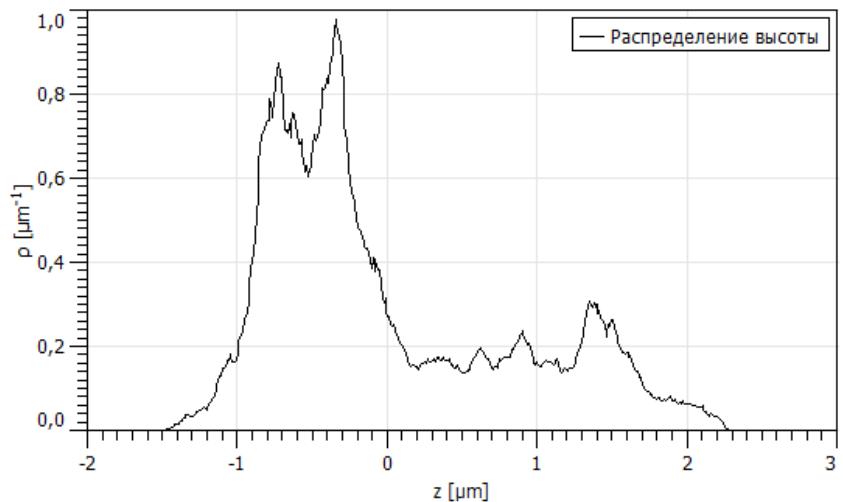


Рис. 3.12 – Плотность распределения высот точек поверхности при степени сжатия 22%

Таблица 3.6 – Параметры шероховатости

$R_a$ (мкм)	$R_q$ (мкм)	$R_p$ (мкм)	$R_v$ (мкм)	$R_t$ (мкм)	$S_a$ (мкм)	$S_q$ (мкм)
0,017-0,024 (0,0205)	0,021-0,029 (0,025)	0,073-0,185 (0,129)	0,084-0,134 (0,109)	0,157-0,32 (0,2385)	0,0691	0,0831

После образец степень нагружения увеличили до 22%. Фото картины деформационного рельефа изображено на рис. 3.11. На рис 3.12 показана плотность распределения высот точек поверхности. В таблице 3.6 указана количественная оценка поверхности. В скобках указано среднее значение параметров.

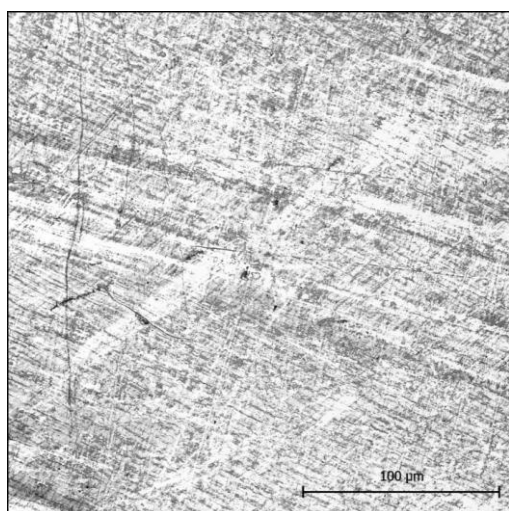


Рис. 3.13 – Деформационный рельеф при степени сжатия 26%

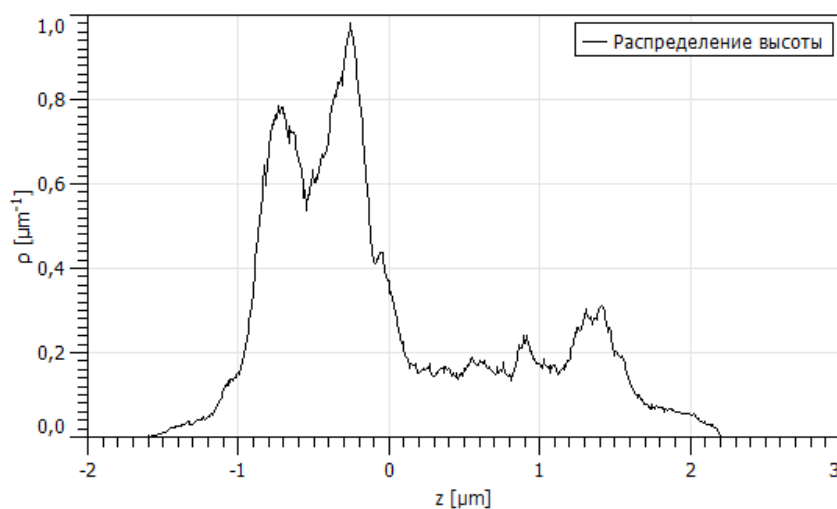


Рис. 3.14 – Плотность распределения высот точек поверхности при степени сжатия 26%

Таблица 3.7 – Параметры шероховатости

$R_a$ (мкм)	$R_q$ (мкм)	$R_p$ (мкм)	$R_v$ (мкм)	$R_t$ (мкм)	$S_a$ (мкм)	$S_q$ (мкм)
0,017-0,025 (0,021)	0,022-0,03 (0,026)	0,076-0,167 (0,1215)	0,085-0,15 (0,1175)	0,16-0,317 (0,2385)	0,0652	0,0794

После образец степень нагружения увеличили до 26%. Фото картины деформационного рельефа изображено на рис. 3.13. На рис 3.14 показана плотность распределения высот точек поверхности. В таблице 3.7 указана количественная оценка поверхности. В скобках указано среднее значение параметров.

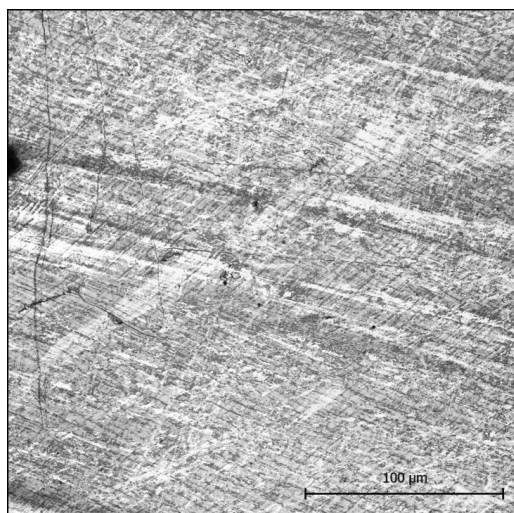


Рис. 3.15 – Деформационный рельеф при степени сжатия 29%

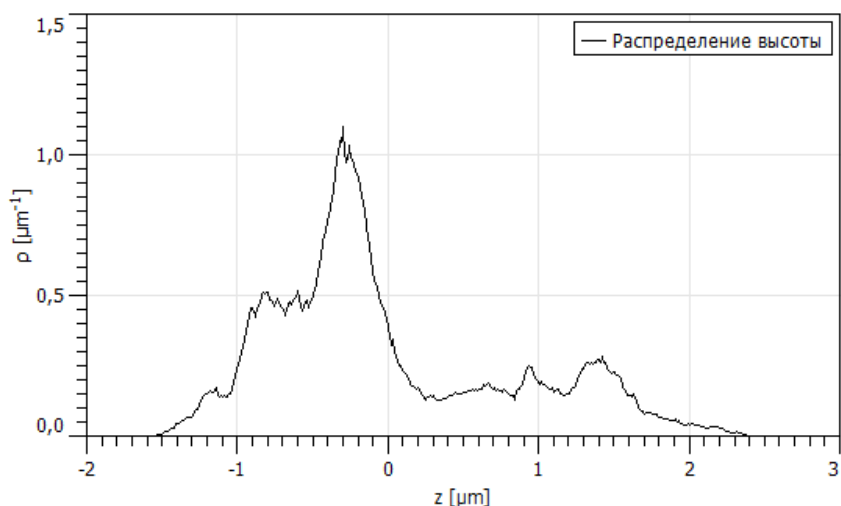


Рис. 3.16 – Плотность распределения высот точек поверхности при степени сжатия 29%

Таблица 3.8 – Параметры шероховатости

$R_a$ (мкм)	$R_q$ (мкм)	$R_p$ (мкм)	$R_v$ (мкм)	$R_t$ (мкм)	$S_a$ (мкм)	$S_q$ (мкм)
0,019-0,027 (0,023)	0,023-0,03 (0,0265)	0,078-0,17 (0,124)	0,085-0,157 (0,121)	0,163-0,33 (0,2465)	0,0646	0,0803

После образец степень нагружения увеличили до 29%. Фото картины деформационного рельефа изображено на рис. 3.15. На рис 3.16 показана плотность распределения высот точек поверхности. В таблице 3.8 указанна количественная оценка поверхности. В скобках указано среднее значение параметров.

Также было построена зависимость изменения параметров шероховатости при увеличении степени деформации для образца никеля с осью сжатия [110] на боковой стороне (110), которые можно наблюдать на рис.3.17 и рис.3.18.

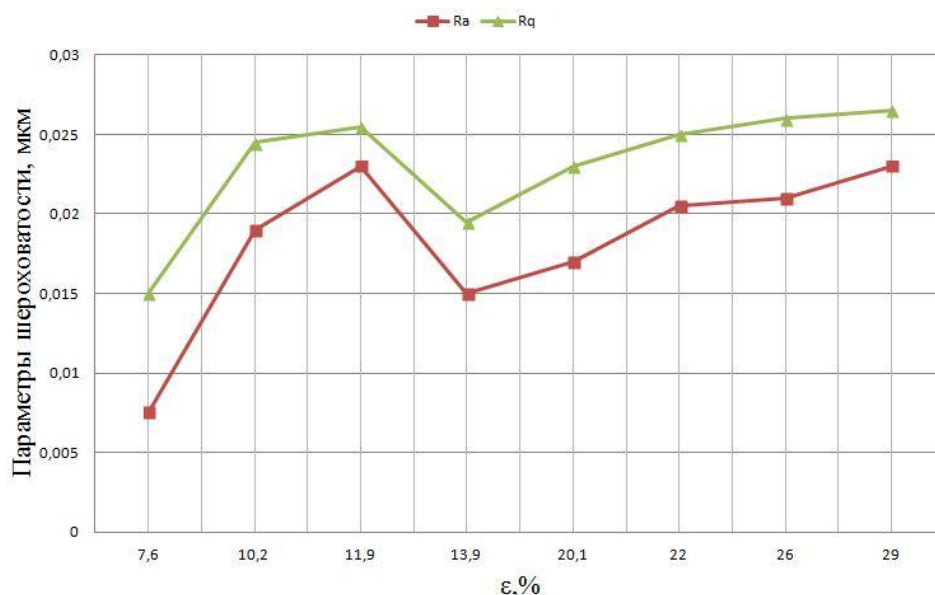


Рис. 3.17 – Зависимость параметров шероховатости  $R_a$  и  $R_q$  при увеличении степени деформации.

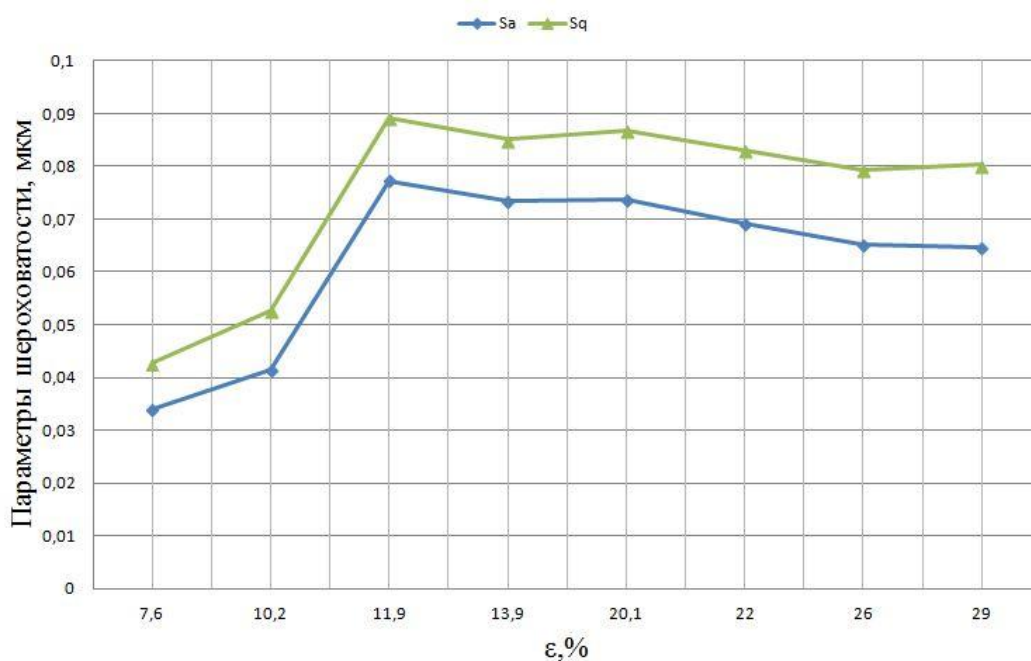


Рис. 3.18 – Зависимость параметров шероховатости  $S_a$  и  $S_q$  при увеличении степени деформации.

Из рисунка 3.17 видно, что количественные параметры  $R_a$  и  $R_q$  увеличиваются при увеличении степени деформации, но на степени деформации 13,9% немного снижаются.

Параметров шероховатости  $S_a$  и  $S_q$  резко возрастают до степени деформации 11,9%, после чего увеличение шероховатости замедляется.

## Заключение

1. Деформационный рельеф является источником информации о внутренних процессах. Он появляется на поли- и монокристаллах при различных способах нагружения и первоначально проявляет себя в виде тонких линий скольжения.

2. Геометрическое качество поверхности в смысле наличия на ней гребешков, впадин, штрихов и других неровностей на ее малых участках называется микрогеометрией поверхности. Для определения шероховатости используют два метода – качественный и количественный. Качественный метод используется для всего изделия в комплексе и реализуется в нескольких способах: а) визуальный способ; б) бесконтактный способ.

Количественный метод проводится поэлементно и также двумя способами:

а) бесконтактно; б) контактно.

3. Для объективного суждения о степени шероховатости (микрогеометрии) поверхности после механической обработки деталей служит Государственный стандарт «Шероховатость поверхности» (ГОСТ 2789—59). В этом стандарте для оценки шероховатости приняты три критерия: среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$ ; высота неровностей  $R_z$  и базовая длина  $l$  участка поверхности.

4. Помимо стандартных методов оценки микрогеометрии поверхностей уже достаточно давно был разработан другой подход к оценке микрогеометрии – непараметрический. Суть метода заключается в практическом использовании специальных графиков функций.

5. Для оценки характера поверхностей в настоящее время используют следующие параметрические и непараметрические критерии:

- функции распределения и плотности распределения ординат и тангенсов углов наклона профилей;

- функции распределения ординат безразмерного профиля;

- асимметрия и эксцесс для распределения ординат и тангенсов углов наклона профиля;

- среднеарифметическое отклонение профиля,  $R_a$ ;

- среднеквадратичное отклонение профиля,  $R_q$ ;

- наибольшее отклонение профиля,  $R_m$ .

6. Параметры шероховатости, определяемые по площади поверхности, дают более полную информацию о морфологии поверхности в сравнение с параметрами, которые определяются по сечению в пределах базовой длины.

7. Количественные параметры шероховатости увеличиваются при увеличении степени деформации.

8. Параметры шероховатости могут быть использованы для оценки остаточного ресурса деталей машин.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ61	Сопрунов Дмитрий Викторович

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

#### Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость ресурсов научного исследования (НИ) включает в себя: 1. Расчет оплаты труда работников; 2. Расчет стоимости материалов
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Расчёт затрат на исследование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	При расчете заработной платы труда учитывались отчисления во внебюджетные страховые фонды, которые составляют 30 %.

#### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1. Составлен портрет потенциального потребителя, выполнен SWOT-анализ
2. Разработка устава научно-технического проекта	2. Разработан устав проекта
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	3. Составлен график Ганта, подсчитан бюджет проекта, оценены риски проекта
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	4. Оценена эффективность проекта

#### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. SWOT-анализ
4. График проведения и бюджет НТИ
5. Матрица ответственности
6. Потенциальные риски
7. Оценка экономической эффективности НТИ
8. Оценка научно-технического уровня НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

#### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Хаперская А. В.			

#### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Сопрунов Дмитрий Викторович		

## **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения**

### **4.1 Введение**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Машиностроение является одной из движущих отраслей индустрии. Эффективный рост промышленности, а также в свою очередь темпы внедрения инновационных технологий в превосходящей степени зависят от уровня развития отрасли машиностроения. Технический прогресс в отрасли машиностроения характеризуется не только улучшением конструкций машин, но и циклическим улучшением технологии их производства. Очень важно качественно, дешево и в заданные плановые сроки с минимальными затратами живого и овеществленного труда изготовить машину, применив высокопроизводительное оборудование, технологическую оснастку, средства механизации и автоматизации производственного процесса. От выбранной технологии производства во многом зависит качество работы выпускаемых машин, а также более низкие экономические затраты на их эксплуатацию.

Оправданное применение прогрессивного оборудования и инструмента способно привести к значительному снижению себестоимости продукции и трудоёмкости её производства. К таким же результатам может привести и использование совершенных методов обработки деталей.

Также машиностроение относится к энергоемким производствам и является крупнейшим потребителем электроэнергии, газа, мазута и других энергоносителей. Трудовые ресурсы машиностроительных предприятий должны отличаться высоким уровнем профессиональной подготовки от рабочего до управляющего, что обусловлено применением сложной техники, созданием сложнейшей конкурентоспособной продукции и технологических процессов ее изготовления, а также в связи с постоянной необходимостью координации и регулирования хода производства, обусловленных его прерывностью. Указанные особенности машиностроительного производства требуют от каждого работника (мастера, инженера, руководителя) знаний экономических законов, реализуемых на машиностроительном предприятии, умений использования их для достижения главных целей предприятия.

Коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, чтобы удовлетворить потребителя, каков бюджет научного проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- Выполнение предпроектного анализа;
- Разработка общей экономической идеи проекта;
- Организация работ по проекту;
- Планирование работ по проекту;
- Определение экономической эффективности проекта.

## **4.2 Предпроектный анализ.**

На стадии предпроектного анализа будут определены основные показатели заинтересованности инвесторов и участников проекта. Данная часть не является обязательной, с точки зрения законодательства, однако позволяет выполнить предварительный анализ рисков. Для осуществления предпроектного анализа, воспользуемся упрощенной схемой, рассмотрев только потенциальных потребителей результатов исследования, проанализировав конкурентные технические решения с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, а также произведем оценку готовности проекта к коммерциализации и выберем методы коммерциализации результатов.

Цель диссертации является количественное определение и выявление закономерностей параметров деформационной структуры различного типа. Изучение деформационного рельефа на поверхности металла в условиях одноосного сжатия и факторов, влияющих на рельеф, ведет к построению и совершенствованию моделей деформирования и разрушения твердых тел с целью оптимизации существующих и создания новых технологий, более надежного прогнозирования ресурса конструкций и механизмов.

В качестве конкурентной альтернативы количественной оценки деформационного рельефа на поверхности металла возможно использование непараметрического критерия Валетова.

## **4.3 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 4.1, подбираются, исходя из

выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		$B_{\phi}$	$B_{\kappa}$	$K_{\phi}$	$K_{\kappa}$
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
Скорость оценки	0,1	3	4	0,3	0,4
Легкость оценки	0,1	4	3	0,4	0,3
Полнота информации	0,15	5	3	0,75	0,45
Точность результатов	0,15	4	3	0,6	0,45
Работа с большим объемом выборки	0,15	3	3	0,45	0,45
<b>Экономические критерии оценки</b>					
Конкурентоспособность	0,1	4	4	0,4	0,4
Уровень проникновения на рынок	0,1	3	4	0,3	0,4
Цена	0,15	3	4	0,45	0,6
<b>ИТОГО</b>	1	29	27	3,65	3,45

По данным таблице 4.1 можно сделать вывод о том, что по техническим критериям метод количественной оценки шероховатости и

непараметрический критерий Валетова имеют почти равные параметры. Каждый из методов имеет свои плюсы и минусы.

#### 4.4 FAST -анализ

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

В качестве объекта FAST-анализа выступает метод количественной оценки шероховатости. Описание главной, основных, и вспомогательных функций представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Метод количественной оценки	–	Определение деформационного рельефа	X		
Ср. арифметическое отклонение профиля $R_a$	1	Определение ср. арифметического абсолютных значений отклонений профиля от средней линии		X	
Среднеквадратичная шероховатость $R_q$	1	Определение ср. значения измеренных отклонений от ср. линии		X	

Макс. глубина впадины профиля $R_v$	1	Определение наиболее глубокой впадины на профиле шероховатости			X
Макс. высота пика профиля $R_p$	1	Определение наиболее высокого пика на профиле шероховатости			X
Максимальная высота профиля $R_t$	1	Определение макс. шероховатости между пиком и впадиной.		X	

Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глущенко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции. Построенная матрица смежности функции представлена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Матрица смежности

	Определение ср. арифметического абсолютных значений отклонений профиля от ср. линии	Определение ср. значения измеренных отклонений от ср. линии	Определение наиболее глубокой впадины на профиле шероховатости	Определение наиболее высокого пика на профиле шероховатости	Определение макс. шероховатости и между пиком и впадиной.
Определение ср. арифметического абсолютных значений отклонений профиля от ср. линии	=	>			
Определение ср. значения измеренных отклонений от ср. линии	<	=			
Определение наиболее глубокой впадины на профиле шероховатости			=		
Определение наиболее высокого пика на профиле шероховатости				=	
Определение макс. шероховатости между пиком и впадиной.					=

Преобразованная матрицы смежности в матрицу количественных соотношений функций представлена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Матрица количественных соотношений функций

	Определение ср. арифметического о абсолютных значений отклонений профиля от ср. линии	Определени е ср. значения измеренных отклонений от ср. линии	Определени е наиболее глубокой впадины на профиле шероховато сти	Определени е наиболее высокого пика на профиле шероховато сти	Определен ие макс. шероховат ости между пиком и впадиной.	Итого
Определение ср. арифметического абсолютных значений отклонений профиля от ср. линии	1	1,5	1,5	1,5	1,5	7
Определение ср. значения измеренных отклонений от ср. линии	0,5	1	1,5	1,5	0,5	5
Определение наиболее глубокой впадины на профиле шероховатости	0,5	0,5	1	0,5	0,5	3
Определение наиболее высокого пика на профиле шероховатости	0,5	0,5	1,5	1	0,5	4
Определение макс. шероховатости между пиком и впадиной.	0,5	1,5	1,5	1,5	1	6
						$\Sigma = 25$

Определяем значимость каждой функции:

- Определение среднего арифметического абсолютных значений отклонений профиля от средней линии:  $7/25=0,28$ ;
- Определение среднего значения измеренных отклонений от средней линии:  $5/25=0,2$ ;

- Определение наиболее глубокой впадины на профиле шероховатости:  
 $3/25=0,12$ ;
- Определение наиболее высокого пика на профиле шероховатости:  
 $4/25=0,16$ ;
- Определение максимальной шероховатости между пиком и впадиной:  
 $6/25=0,24$ ;

Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования представлен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Норма расхода, мин	Трудоемкость детали, норм-ч	Стоимость материала, руб	Заработная плата, руб	Себестоимость, руб
Метод количественной оценки	–	Определение деформационного рельефа	–	–	–	25000	25000
Ср. арифметическое отклонение профиля $R_a$	1	Определение ср. арифметического абсолютных значений отклонений профиля от средней линии	10	0,2	70	–	70
Среднеквадратичная шероховатость $R_q$	1	Определение ср. значения измеренных отклонений от ср. линии	15	0,2	100	–	100
Макс. глубина впадины профиля $R_v$	1	Определение наиболее глубокой впадины на профиле шероховатости	2	0,2	30	–	30
Макс. высота пика профиля $R_p$	1	Определение наиболее высокого пика на профиле шероховатости	3	0,2	35	–	35
Максимальная высота профиля $R_t$	1	Определение макс. шероховатости между пиком и впадиной.	5	0,2	40	–	40
							$\Sigma = 25275$

Определим основные затраты на функцию:

Заработная плата оператора:  $25000/25575=0,977$

Затраты на определение среднего арифметического отклонение профиля  $R_a$ :  $70/25575=0,0027$

Затраты на определение среднеквадратичной шероховатости  $R_q$ :  $100/25575=0,0039$

Затраты на определение максимальной высоты пика профиля  $R_p$  :  $30/25575=0,0011$

Затраты на определение максимальной глубины впадины профиля  $R_v$  :  $35/25575=0,0013$

Затраты на определение максимальной высоты профиля  $R_t$ :  $40/25575=0,0016$

Информация об объекте, собранная в рамках предыдущих стадий, обобщается в виде функционально-стоимостной диаграммы (Рис. 4.1):

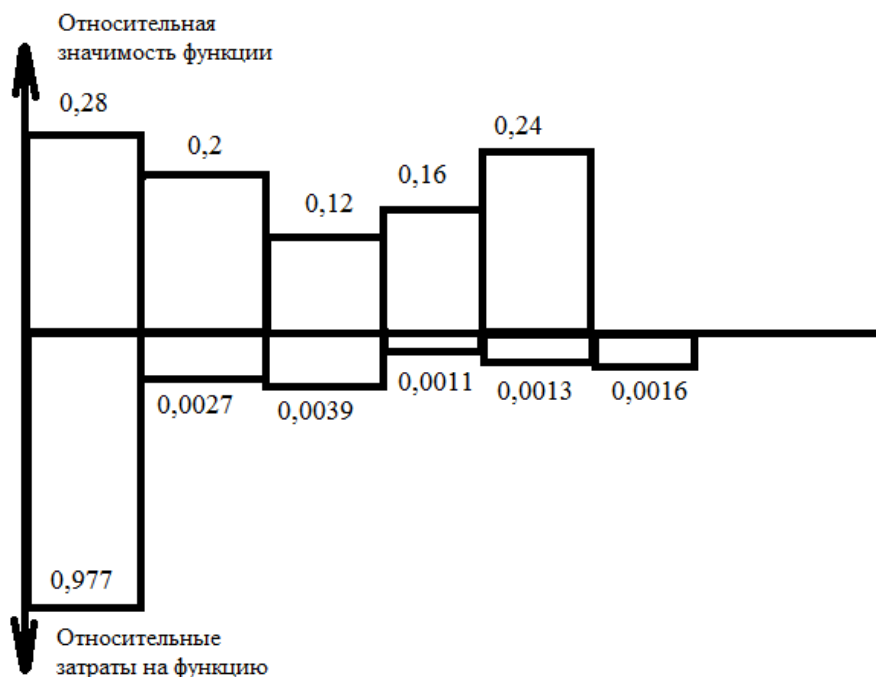


Рис. 4.1 – Функционально-стоимостная диаграмма

Согласно вышеприведенной диаграмме, видно рассогласование по 1, 2, 3 пунктам. Для оптимизации функций можно предложить следующие шаги:

- применения принципиально новых конструкторских решений;
- оптимизации технических параметров;

В конечном счете результатом проведения FAST-анализа высокотехнологической и ресурсоэффективной разработки должно быть снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигаемое путем:

- сокращения затрат при одновременном повышении потребительских свойств объекта;
- уменьшения затрат при сохранении уровня качества;
- сокращения затрат при обоснованном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня;

#### 4.5 SWOT-анализ

Для проведения комплексного анализа проекта воспользуемся SWOT-анализом. Он проводится в несколько этапов. На первом этапе определяются сильные и слабые стороны проекта, а также выявляются возможности и угрозы для реализации проекта. Первый этап проведения SWOT-анализа представлен в таблице.

Таблица 4.6 – Матрица SWOT

<p><b>Strengths (сильные стороны)</b></p> <p>С1. Работать со связными (зависимыми) и несвязными (независимыми) выборками</p> <p>С2. Работать с неравными по объему выборками;</p> <p>С3. Точные параметры шероховатости</p> <p>С4. Быстрое получение результатов</p> <p>С5. Большое количество различных параметров шероховатости</p>	<p><b>Weaknesses (слабые стороны)</b></p> <p>Сл1. Требуется специальное приспособление для оценки</p> <p>Сл2. Не очень высокая скорость оценки параметров шероховатости</p> <p>Сл3. Необходимо достаточно качественной поверхности образца</p> <p>Сл4. Высокая стоимость оборудования для оценки</p>
<p><b>Opportunities (возможности)</b></p> <p>В1. Применение данного метода оценки для различных материалов</p> <p>В2. Более надежное прогнозирование ресурса конструкций и механизмов.</p>	<p><b>Threats (угрозы)</b></p> <p>У1. Появление более эффективных методов оценки</p> <p>У2. При низкой квалификации работника снижение точности результатов</p>

После того как сформированы четыре области, переходим ко второму этапу, на котором необходимо выявить соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого в рамках данного этапа строится интерактивная матрица, при этом каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблицах.

Таблица 4.7 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	+	-	+	-
	B2	-	+	+	-	+

Таблица 4.8 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	+	-	-
	B2	+	+	-	+

Таблица 4.9 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта						
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	+	-	-
	У2	+	-	-	+	-

Таблица 4.10 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта					
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	-	+	-
	У2	-	+	+	+

На третьем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице.

Таблица 4.11 – Итоговая матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Работать со связными (зависимыми) и несвязными (независимыми) выборками С2. Работать с неравными по объему выборками; С3. Точные параметры шероховатости С4. Быстрое получение результатов С5. Большое количество различных параметров шероховатости	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Требуется специальное приспособление для оценки Сл2. Не очень высокая скорость оценки параметров шероховатости Сл3. Необходимо достаточно качественной поверхности образца Сл4. Высокая стоимость оборудования для оценки
<b>Возможности:</b> В1. Применение данного метода оценки для различных материалов В2. Более надежное прогнозирование ресурса конструкций и механизмов.	В1С2 С4 В2С2С3С5	В1Сл2 В2Сл1Сл2Сл4
<b>Угрозы:</b> У1. Появление более эффективных методов оценки У2. При низкой квалификации работника снижение точности результатов	У1С3 У2С1С4	У1Сл3 У2Сл2Сл3 Сл4

#### 4.6 Инициация проекта

Реальным заказчиком данной исследовательской работы является ООО “Полюс”, г. Томск.

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта,

которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

#### 4.7 Цели и результат проекта

В данном разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.12 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Магистрант	Магистерская диссертация
Руководитель проекта	Получение результатов исследования по количественной оценке деформационного рельефа на поверхности металла никеля в условиях одноосного сжатия

В таблице 4.13 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения цели

Таблица 4.13 – Цели и результаты проекта

<b>Цели проекта:</b>	Количественное определение и выявление закономерностей параметров деформационной структуры различного типа на примере материала никеля
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Получить конкретные значения параметров шероховатости материала никеля с разной осью сжатия: [001], [110], [111].
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Сравнение полученных результатов эксперимента и их графическое оформление
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	Создание образцов
	Проведение эксперимента
	Измерения и анализ результатов
	Оформление графического материала
	Оформление магистерской диссертации

## 4.8 Организационная структура проекта

На данном этапе работы решены следующие вопросы: кто входит в рабочую группу данного проекта, определена роль каждого участника в данном проекте, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информация представлена в таблице.

Таблица 4.14 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1	Сопрунов Д. В. магистрант отделения материаловедения	Исполнитель	1. Подготовка испытуемых образцов 2. Помощь в деформировании образцов на станке для сжатия деталей 3. Измерение образцов 4. Снятие образцов на конфокальном микроскопе 5. Анализ полученных результатов	1000
2	Алферова Е. А., НИ ТПУ, доцент	Руководитель	1. Консультация по теоретической части проекта. 2. Помощь при создании образцов, измерении образцов. 3. Помощь в проведении анализа испытания и оформлении отчета.	500

## 4.9 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта.

Таблица 4.15 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	30000 руб.
3.1.1. Источник финансирования	ООО “Полюс”, г. Томск
3.2. Сроки проекта:	13.09.2016-08.06.2018
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	13.11.2017
3.3. Прочие ограничения и допущения*	-

Вся сумма в 30тыс. руб. была потрачена на изготовление образцов (покупка материала, шлифование, полирование, нагружения образцов, снятие

деформационной картины). Эксперимент выполнялся на образцах призматической формы, сущность эксперимента заключается в деформировании (сжатии) образцов со снятием деформационной картины при помощи конфокальной микроскопии на разных степенях деформации.

#### 4.10 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Линейный график представляется в виде таблицы 4.12.

Таблица 4.16 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Получение темы диссертационного исследования	60	13.09.16	13.11.16	Алферова Е. А.
2	Постановка целей и задач	7	13.11.16	20.11.16	Алферова Е. А.
3	Изучение литературы	90	20.11.16	20.02.17	Сопрунов Д. В.
4	Обсуждение литературы	15	20.02.17	5.03.17	Алферова Е. А. Сопрунов Д. В.
5	Разработка календарного плана	10	5.03.17	15.03.17	Алферова Е. А. Сопрунов Д. В.
6	Создание образцов	75	15.03.17	1.07.17	Алферова Е. А. Сопрунов Д. В.
7	Проведение эксперимента	75	1.07.17	15.10.17	Алферова Е. А. Сопрунов Д. В.
8	Измерение образцов	7	15.10.17	22.10.17	Алферова Е. А. Сопрунов Д. В.
9	Анализ результатов	7	22.10.17	29.10.17	Алферова Е. А. Сопрунов Д. В.

10	Графическое оформление результатов	7	29.10.17	05.11.17	Сопрунов Д. В.
11	Написание статьи по результатам исследования	15	05.11.17	20.11.17	Сопрунов Д. В.
12	Подготовка к конференции и выступление	25	20.11.17	15.12.17	Алферова Е. А. Сопрунов Д. В.
13	Оформление конструкторской документации	35	15.12.17	20.01.18	Сопрунов Д. В.
14	Написание диссертации	140	20.01.18	10.06.18	Сопрунов Д. В.
Итого:		568			

Таблица 4.17 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работы	Вид работы	Исполнитель	Т <sub>к</sub> , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ																								
				2016 год						2017 год						2018 год												
				Номер месяца																								
				09	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6			
1	Получение темы диссертационного исследования	Алферова Е. А.	60	■																								
2	Постановка целей и задач	Алферова Е. А.	7	■																								
3	Изучение литературы	Сопрунов Д. В.	90	■																								
4	Обсуждение литературы	Алферова Е. А. Сопрунов Д. В.	15				■																					
5	Разработка календарного плана	Алферова Е. А. Сопрунов Д. В.	10				■	■																				
6	Создание образцов	Алферова Е. А. Сопрунов Д. В.	75							■																		



Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы с разбивкой по месяцам и декадам за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Сетевой график – графическое отображение комплекса работ по теме с установленными между ними взаимосвязями.

#### **4.11 Бюджет научного исследования**

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

1. Расчет затрат на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов). В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). Все данные заносятся в таблицу 4.18.

Таблица 4.18 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование, марка	Цена за единицу, руб.	Количество, шт	Сумма, руб.
Профилومتر PosiTector RTR Standart	26000	1	26000
Профилومتر PCE-RT 2200	28000	1	28000
Всего за материалы			54000
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			2160
Итого по статье См			56160

## 2. Расчет заработной платы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.2)$$

где:  $Z_{осн}$  – основная заработная плата работника;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата работника;

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) рассчитывается по формуле 4.3:

$$Z_{осн} = Z_{дн} T_{раб} \quad (4.3)$$

где:  $T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дни.;

$Z_{дн}$  - среднедневная заработная плата работника.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D} \quad (4.4)$$

где:  $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течении года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; 48 рабочих дней  
 $M = 10,4$ , 6 –дневная неделя

$F_{д} = 1790$  дн.– действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дни.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{м} = Z_{б}(k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р} \quad (4.6)$$

где:  $Z_{б}$  – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_{д}$  – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_{р}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 4.19. Затраты времени на выполнение работы по каждому исполнителю брались из таблицы 4.14. Также был принят во внимание премиальный коэффициент  $k_{пр} = 0,3$ , коэффициент доплат и надбавок, а также  $k_{д} = 0,2$  районный коэффициент  $k_{р} = 1,3$ .

Таблица 4.19 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{б}$	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$	$Z_{дн}$	$T_{раб}$	$Z_{осн}$
Руководитель	20500	1,2	1,1	1,3	61295	356,1	50	17805
Магистрант	12000	1,2	1,1	1,3	35880	208,4	150	31260

3. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и

общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы). Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} Z_{\text{осн}} \quad (4.7)$$

где:  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

В табл. 4.20 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.20 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	17805	31260
Дополнительная зарплата	2136	3751
Итого по статье $C_{зп}$	54952	

4. Отчисления на социальные нужды Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (4.8)$$

где:  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 54952 = 16485,6 \text{ руб}$$

5. Накладные расходы.

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и

инвентаря, зданий, сооружений и др. Накладные расходы составляют 80-100% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле 4.9:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (4.9)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,7 \cdot 54952 = 38466,4 \text{ руб}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости проведения исследований. Все данные сведены в таблицу 4. 21.

Таблица 4.21 – Группировка затрат

Наименование статей затрат	Сумма, руб
Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	56160
Основная заработная плата	49065
Дополнительная заработная плата	5887
Отчисления на социальные нужды	16485
Накладные расходы	38466
Итоговая плановая себестоимость	166063

#### 4.12 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности. Степень участия в проекте может характеризоваться следующим образом: Ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход. Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение

результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).  
Согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

Таблица 4.22 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Руководитель проекта	Магистрант
Получение темы диссертации	О	И
Постановка целей и задач	У	И
Изучение литературы	У	И
Обсуждение литературы	С	И
Разработка календарного плана	С	И
Создание образцов	О	И
Проведение эксперимента	О	И
Измерение образцов	О	И
Анализ результатов	У	И
Графическое оформление результатов	У	И
Написание статьи	У	И
Подготовка к конференции и выступление	У	И
Оформление конструкторской документации	У	И
Написание диссертации	У	И

#### 4.13 Оценка научно-технического уровня НИР

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод бальных оценок.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле 4.10:

$$K_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (4.10)$$

где  $R_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта;

$n_i$  – количественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Таблица 4.23 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Примерное значение весового коэф-та $n_i$
1. Уровень новизны	0,2
2. Теоретический уровень	0,2
3. Возможность реализации	0,6

Таблица 4.24 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 4.25 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1 Установка закона, разработка новой теории	10
2 Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
3 Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
4 Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5 Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 4.26 – Возможность реализации научных, теоретических результатов по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	5
Свыше 10 лет	2

Таблица 4.27 – Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень НТЭ	Показатель НТЭ
Низкий	1-4
Средний	4-7
Высокий	8-10

Таблица 4.28 – Сводная таблица оценки научно-технического уровня НИР

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,2	Относительно новая	4	Количественная оценка деформационного рельефа поверхности металла и использование непараметрического критерия Валетова проведена не для всех материалов.
Теоретический уровень	0,2	Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	2	Получение результатов исследования с ранее не проверенными показаниями.
Возможность реализации	0,6	От 5 до 10 лет	4	Оценка деформационного рельефа разных материалов создаст базу данных для оптимизации существующих и создания новых технологий, более надежного прогнозирования ресурса конструкций и механизмов.

Из сводной таблицы оценки научно-технического уровня НИР можно сделать вывод, что несмотря на невысокий теоретический уровень и отсутствия принципиально новой информации в ВКР, анализ полученных результатов дает возможность принять наиболее эффективное решение при экстренных ситуациях или авариях конструкций, содержащих никель.

В ходе исследования была экспериментально подтверждена эффективность применения количественной оценки деформационного рельефа по сравнению с непараметрическим критерием Валетова.

Использование результатов ВКР позволит пополнить базу данных для оптимизации существующих и создания новых технологий, более надежного прогнозирования ресурса конструкций и механизмов.

Исходя из оценки признаков НИОКР, показатель научно-технического уровня для данного проекта составил:

$$K_{нту} = 0,2 \cdot 8 + 0,2 \cdot 2 + 0,6 \cdot 5 = 0,8 + 0,4 + 3 = 4,2$$

Таким образом данное исследование имеет средний уровень научно-технического эффекта.

#### 4.14 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информация о рисках представлена в таблице 4.29.

Таблица 4.29 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Вывод из строя оборудования	Снижение точности количественной оценки	2	4	Средний	Периодический контроль оборудования	Халатное отношение работника

2	Технический	Нарушение технологии оценки	3	3	Средний	Периодическая проверка работников	Прием низко-квалифицированного работника
3	Экономический	Снижение финансирования	3	2	Низкий	Поиск другого поставщика	Экономический кризис

#### 4.15 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

1. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (4.11)$$

где  $I_{\phi}^p$  - интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость i-го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

2. Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (4.12)$$

где  $I_a$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога (механический бур, бензобур) и разработки (электробур), устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 4.30.

Таблица 4.30– Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
Скорость оценки	0,15	3	4
Легкость оценки	0,15	4	3
Полнота информации	0,15	5	3
Точность результатов	0,2	4	3
Работа с большим объемом выборки	0,05	3	3
Легкость оценки	0,15	3	4
Конкурентоспособность	0,05	4	4
Цена	0,1	3	4
ИТОГО	1	26	23

$$I_{\text{ТП}} = 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 = 3,7$$

$$I_{\text{Аналог}} = 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 3,4$$

Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{финр}^p$ ) и аналога ( $I_{финр}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} \quad (4.13)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} \quad (4.14)$$

где  $\mathcal{E}_{cp}$  – сравнительная эффективность проекта;

Таблица 4.31 – Сравнительная эффективность разработки.

№№ пп/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,32	1,1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,4	3,7
3	Интегральный показатель эффективности	2,57	3,36
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,3	

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки.

При сравнении значений интегральных показателей эффективности разработки и аналога, можно сказать, что количественная оценка более эффективна.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ61	Сопрунов Дмитрий Викторович

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

**Тема дипломной работы: «Количественная оценка деформационного рельефа на поверхности металла».**

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Ноксологический анализ инновационных решений по теме диссертации на предмет возникновения:

- **вредных** проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, эл – магнитные поля, ионизирующие излучения, и других специфических явлений);
- **опасных** проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной взрывной и другой природы);
- **негативного** воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу);
- **чрезвычайных ситуаций** (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

2. Компетентный обзор законодательных и нормативных документов по теме.

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных **вредных** факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- физико – химическая природа фактора, его связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)

2. Анализ выявленных **опасных** факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты)
- термические опасности (источники, средства защиты)
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты);
- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения);

3. Охрана окружающей среды:

- защита селитебной и других зон окружающей среды;
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы: абразивная пыль);
- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы: СОЖ);
- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы: стружка, бумага);
- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.

4. Защита в чрезвычайных ситуациях:

- перечень возможных ЧС на объекте: сильные морозы, диверсия;
- выбор наиболее типичной ЧС;
- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;

<i>разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</i>
5. <i>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</i></li> <li>• <i>организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</i></li> </ul>
<b>Перечень графического материала:</b>
<i>План эвакуации План размещения светильников на потолке рабочего помещения</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Федорчук Ю. М.	Д. Т. Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Сопрунов Дмитрий Викторович		

## **5. Социальная ответственность**

### **5.1 Описание рабочего места**

В данном разделе ВКР рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

Основной целью данного раздела является выявление опасных факторов промышленного производства, создание оптимальных норм для улучшения условий труда, обеспечения производственной безопасности человека, сохранения работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды.

В данной работе рассмотрена методика оценки деформационного рельефа на поверхности металла никеля в условиях одноосного сжатия.

Под проектированием рабочего места понимается целесообразное пространственное размещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях функционально взаимосвязанных средств производства (оборудования, оснастки, предметов труда и др.), необходимых для осуществления трудового процесса.

При проектировании рабочих мест должны быть учтены освещенность, температура, влажность, давление, шум, наличие вредных веществ, электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования к организации рабочих мест.

При проектировании лаборатории необходимо уделить внимание и охране окружающей среды, а в частности, организации безотходного производства.

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Так как лаборатория находится в городе Томске, наиболее типичной ЧС является мороз. Так же, в связи с неспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.

## **5.2 Анализ опасных и вредных факторов**

Для проведения эксперимента по количественной оценке деформационного рельефа на поверхности металла никеля в условиях одноосного сжатия необходимы образцы, которые были подготовлены на шлифовально-полировальном станке и деформированы на станке для сжатия деталей.

В лаборатории, где находятся различные электроустановки, станки могут возникать следующие вредные факторы:

- Недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенная пульсация светового потока.
- Алмазные суспензии, аэрозоли;
- Повышенный уровень производственного шума;
- Повышенный уровень статического электричества;

Опасные факторы:

- Поражение электрическим током, при работе оборудования;
- Движущиеся машины и механизмы.

Самый верный и наиболее надежный путь борьбы с производственным травматизмом – четкое знание каждым работником требований правил техники безопасности труда и их исполнение.

Таким образом, в ходе выполнения данного проекта имело место большое количество опасных и вредных производственных факторов.

## **5.3 Микроклимат**

Состояние микроклимата на механическом участке должна соответствовать допустимым нормам по ГОСТ 12.1.005-88. Метеорологические условия в производственных условиях определяются следующими параметрами:

- 1) температура воздуха  $t$ , °С;
- 2) относительная влажность воздуха  $\varphi$ , %;
- 3) скорость движения воздуха на рабочем месте  $v$ , м/с.

Движение воздуха в помещениях является важным фактором, влияющим на тепловое самочувствие человека. В жарком помещении движение воздуха способствует увеличению отдачи теплоты организмом и улучшает его состояние, но оказывает неблагоприятное воздействие при низкой температуре воздуха в холодный период года. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ( $\phi > 85\%$ ) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ( $\phi < 20\%$ ) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблицах 5.1 и 5.2 [ГОСТ 12.1.005-88].

Таблица 5.1 – Оптимальные параметры микроклимата в производственных помещениях

Период года	Категория работы	Температур воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia	22-24	40 - 60	0,1
	Iб	21-23		0,1
	IIa	18-20		0,2
	IIб	17-19		0,2
	III	16-18		0,3
Теплый	Ia	23-25	40 - 60	0,1
	Iб	22-24		0,1
	IIa	21-23		0,2
	IIб	20-22		0,2
	III	18-20		0,3

Таблица 5.2 – Допустимые параметры микроклимата в производственных помещениях

Период года	Категория работы	Температур воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	
				Ниже оптималь.	Выше оптималь.
Холодный	Ia	15-28	15 - 75	0,1	0,1
	Iб			0,1	0,2
	IIa			0,1	0,3
	IIб			0,2	0,4
	III			0,2	0,4
Теплый	Ia	15-28	15 - 75	0,1	0,2
	Iб			0,1	0,3
	IIa			0,1	0,4
	IIб			0,2	0,5
	III			0,2	0,5

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

#### 5.4 Вредные вещества и вентиляция производственных помещений

При анализе вредных выделений на участке выявлены следующие вредные вещества: масло минеральное, алмазные суспензии, аэрозоли.

На проектируемом участке концентрация загрязняющих элементов соответствует санитарным нормам ПДК по ГОСТ 12.1.005 – 88. Очистку от загрязнения осуществляют с помощью фильтров и приточной – вытяжной вентиляцией.

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных выделений производства, а также для сохранности оборудования. Она служит одним из главных средств оздоровления условий труда, повышения производительности и предотвращения опасности профессиональных заболеваний. Проветривание помещения проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более

однократного в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже допустимой. Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию.

## **5.5 Производственный шум**

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства коллективной и индивидуальной защиты.

Средства коллективной защиты:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;
- применение шумоизолирующих и шумопоглощающих материалов (металла, дерева, пластмасс, бетона и др.) для установки преград в виде экранов, перегородок, кожухов, кабин и др..

Средства индивидуальной защиты:

- применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

## 5.6 Освещение

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда. На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения  $A = 10$  м, ширина  $B = 7$  м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 1$  м.

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами без штор  $\rho_c = 70\%$ , чистого бетонного потолка  $\rho_{п} = 50\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений со средним выделением пыли равен  $K_з = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$ .

Выбираем лампу ЛХБ-40, световой поток которой равен  $\Phi_{лд} = 2700$  лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем  $\lambda = 1,2$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле 5.1:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м.} \quad (5.1)$$

Индекс помещения определяется по формуле 5.2:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)} = \frac{7 \cdot 10}{2,0 \cdot (7+10)} = 2,05 \quad (5.2)$$

Коэффициент использования светового потока  $\eta = 0,52$ .

Потребные группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле 5.3:

$$N = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{\Phi_{\text{л}} \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 7 \cdot 10 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2700 \cdot 0,52} = 12,3 \approx 12 \text{ лампы} \quad (5.3)$$

Общее число ламп:  $n=12$ . В каждом светильнике по две лампы, следовательно, число светильников = 6 шт.

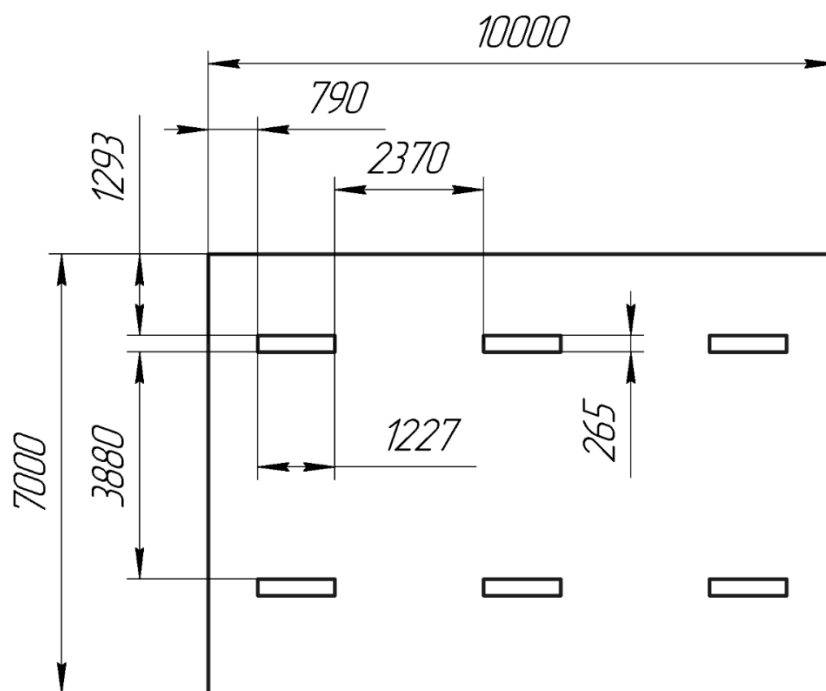


Рисунок 5.1 – План размещения светильников в помещении

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле 5.4:

$$\frac{2}{3}L_1 + 2L_1 + 3 \cdot 1227 = 10000 \text{ мм} \quad (5.4)$$

$$L_1 = 2370 \text{ мм}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле 5.5:

$$\frac{2}{3}L_2 + L_2 + 2 \cdot 265 = 7000 \text{ мм} \quad (5.5)$$

$$L_2 = 3880 \text{ мм}$$

Расчет светового потока группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле 5.6:

$$\Phi_p = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 10 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,52} = 2776 \text{ лм} \quad (5.6)$$

Проверяем выполнение условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{2700 - 2776}{2700} \cdot 100 = -2,81 \approx -3\%$$

$-10\% \leq -3\% \leq 20\% \sim$  условие выполнено.

## 5.7 Электробезопасность

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Лаборатория относится к II классу электроопасности - помещению с повышенной опасностью, которая характеризуется наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей

металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой. Станок работает в сети с напряжением 380 В.

В лаборатории применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность достигается путем их надежной изоляции, расположения токоведущих частей на недоступной высоте. Станки и оборудование оснащены заземлителями. Средствами индивидуальной защиты от поражения электрическим током являются инструменты с ручками из изолирующего материала, специальные перчатки и обувь, а также дорожки и коврики.

## **5.8 Пожаровзрывобезопасность**

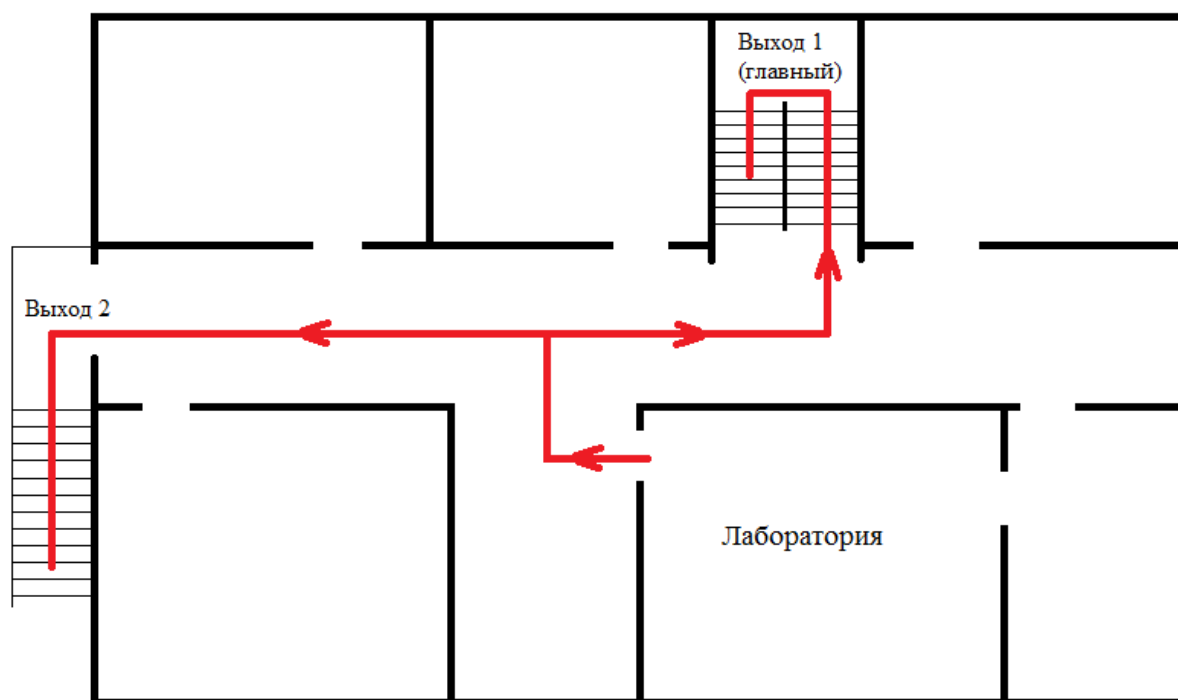
Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Помещение, в котором осуществляется процесс подготовки образцов, по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории Д: негорючие вещества и материалы находятся в холодном состоянии. Тем не менее, никогда не стоит забывать об опасности возникновения пожара. Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещения;

- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

В помещении необходимо иметь огнетушитель марки ОП-5, исходя из размеров помещения, а также силовой щит, который позволяет мгновенно обесточить помещение. Огнетушители должны всегда содержаться в исправном состоянии, периодически осматриваться, проверяться и своевременно перезаряжаться. Желательно помещать на стенах инструкции по пожарной безопасности и план эвакуации в случае пожара. В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации представленном на рисунке 5.2.



Условные обозначения

— -путь эвакуации

Рисунок 5.2 – План эвакуации

## **5.9 Экологичность**

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма ее решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрана природы — комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов. Окружающий человека воздух непрерывно подвергается загрязнению. Воздух производственных помещений загрязняется выбросами технологического оборудования или при проведении технологических процессов. Удаляемый из помещений вентиляционный воздух может стать причиной загрязнения воздуха промышленных площадок и населенных мест. Средства защиты атмосферы должны ограничивать наличие вредных веществ в воздухе среды обитания человека не выше ПДК. В тех случаях, когда реальные выбросы выше этого уровня, необходимо использовать аппараты для очистки газов от примесей.

Данная магистерская работа не представляет опасности для экологической обстановки, поскольку отсутствует использование токсичных материалов. Все операции являются сугубо механическими.

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

## **5.10 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой

человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Лаборатория находится в городе Томск с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т.д.) в данном городе отсутствуют. Возможными ЧС могут быть: природного характера – сильные морозы, техногенного характера – шпионаж, диверсия.

Критически низкие температуры могут привести к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае заморозки труб в лаборатории предусмотрены запасные электрообогреватели. Электропитание для обогревателей обеспечивает генератор. Данное оборудование хранится на складе и их техническое состояние постоянно проверяется.

ЧС, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными, однако, работы в данном случае все равно прекращаются. Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположений помещений и оборудования в помещениях, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица обязаны раз в полгода проводить тренировки по отработке действий на случай ЧС.

### **5.11 Законодательные акты**

1. ОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности

2. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

3. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".
4. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
6. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
7. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
8. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
9. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
10. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности.
11. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
12. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
13. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.
14. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение"

## **5.12 Графические материалы**

1. План размещения светильников в помещении
2. План эвакуации.

## Список использованных источников

1. Honeycombe R. The Plastic Deformation of Metals. London: Edward Arnold, 1984. 406 p.
2. Ioffe A.F. Physics of crystals. Leningrad: GIZ, 1929. 192 p.
3. Шмид Е., Боас В. Пластичность кристаллов в особенности металлических. Ленинград: Редакция технико-теоретической литературы, 1938. 316 с.
4. Кузнецов В.Д. Физика твердого тела. Томск: Красное знамя, 1941. 771 с.
5. Mader S., Seeger A. Untersuchung des gleitlinien bildes kubisch flächenzentrierter einkristalle // Acta met. 1960. Vol. 8. P. 513–522.
6. Khoddam S. Surface wrinkling of the twinning induced plasticity steel during the tensile and torsion tests // Mater. Des. Elsevier. 2014. Vol. 60. P. 146–152.
7. Lychagin D.V., Alfyorova E.A. Folding in FCC metal single crystals under compression // Phys. Solid State. 2015. Vol. 57. № 10. P. 2034–2038.
8. Lychagin D.V. Strain-induced folding on [111] copper single crystals under uniaxial compression // Appl. Surf. Sci. Elsevier B.V. 2016. Vol. 371. P. 547–561.
9. Magid K.R. Mapping mesoscale heterogeneity in the plastic deformation of a copper single crystal // Philos. Mag. 2009. Vol. 89. № 1. P. 77–107.
10. Wang X.G. A dedicated DIC methodology for characterizing plastic deformation in single crystals // Exp. Mech. 2016. Vol. 56. № 7. P. 1155–1167.
11. Lychagin D.V., Alfyorova E.A., Starenchenko V.A. Effect of crystallographic states on the development of macrobands and deformation inhomogeneity in [111] nickel single crystals // Phys. Mesomech. 2011. Vol. 14. № 1-2. P. 66–78.
12. Алфёрова Е.А., Лычагин Д.В. Деформационный рельеф – отражение внутренних процессов при пластической деформации монокристаллов никеля. - Вектор науки ТГУ. 2017. № 3 (41).
13. Валетов В.А. Оптимизация микрогеометрии поверхностей деталей в приборостроении. Учебное пособие. Л.: ЛИТМО, 1989. - 100 с.

14. Валетов В.А. Оценка шероховатости, волнистости, отклонений формы поверхностей с помощью ЭВМ. / В кн.: Технология судостроения, судового машиностроения, обработка металлов и сварка. ЛКИ, 1980. С. 133–135.

15. Терещенко А.В. Непараметрический подход к оценки микрогеометрии поверхностей и его воплощение при помощи современной компьютерной математики/А.В. Терещенко//Научно-технический вестник. Современные технологические решения. 2005. - №20 - С. 279-284.

16. Lychagin D., Chumaevskiy A., Alferova E., Gesetze der Entwicklung der Verformung Falten in [111] Kupfer-Einkristall bei Achsenkompression, Angewandte Mechanik und Materialien. S. 448-452. (2014)

17. Humphrey Morhenn, Elektronenmikroskopische Analysen zur Rekombinationsaktivität in multikristallinem Silizium, Diplomarbeit, S. 48. (2010).

18. F. J. Humphreys, Review Grain and subgrain characterisation by electron backscatter diffraction, Journal of Materials Science 36(16), S. 3833 (2001).

19. Thorben Schiemann, Leichtbau durch Kaltmassivumformung – Erweiterung der Verfahrensgrenzen beim Bundanstauchen von hohlen Fließpressteilen, SchmiedeJOURNAL, S. 5. (2013).

20. M. Smaga, F. Walther and D. Eifler, Deformation-induced martensitic transformation in metastable austenitic steels, Materials Science and Engineering: A, 483-484, (394), (2008).

21. Michael Nimz, Methoden zur quantitativen Erfassung der lokalen Verformung und Schädigung bei der Blechumformung, S. 26. (2002).

## Приложение А

### Die Erforschung von Gesetzmässigkeit der Umorientierung von Faltenbau

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Сопрунов Дмитрий Викторович		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Алферова Е. А.	к. ф-м. н		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков (ШБИП):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Щеголихина Ю. В.	к.ф.н		

## **Die Faltenbildung**

Die Arbeit ist der Erforschung von Gesetzmäßigkeit der Umorientierung in den Bereichen mit verschiedenen Typen von Faltenbau am Beispiel von Monokristallen aus Nickel mit unterschiedlichen crystal- geometrischen Orientierung der Kompressionsachse. In der Arbeit war die Analyse unter Ausnutzung der Methode der Diffraktion der widergespiegelten Elektronen (EBSD) durchgeführt.

Die Falten sind auf den Gebieten der Rundung und der Konkavität des Kristalls betrachtet, was den Gebieten bei der Bearbeitung der Metalle vom Druck entspricht. Es ist vorgeführt, dass auf dem Gebiet der Konkavität des Materials die Prozesse Faltenbildung intensiver verlaufen. In diesem Fall wird die mehr geäußerte Umorientierung der lokalen Gebiete zur Seite mehr der bedeutenden Vergrößerung der Größe des Faktors Schmid beobachtet. Die Faltenbildung wird von der Periodizität des Raumprozesses der Entwicklung der Umorientierung, die auf dem Gebiet der Konkavität mehr geäußert ist begleitet. Die bekommenen Ergebnisse können bei der Analyse der technologischen Prozesse der Bearbeitung der Metalle vom Druck verwendet werden.

Beim Pressen im Gesenk wird Konvexität und Konkavität des Metalls mit einer anderen Spannungszustand gebildet. Wenn das Modell der Verformung eines Monokristall auch die entsprechende Region (Abbildung. 1) zu wählen. Und dadurch, dass andere Bereiche und kann Falten beobachtet werden. Allerdings ist ihre unterschiedliche Morphologie [16]. Ein Beispiel dafür findet man im Abbildung. 1 b, c.

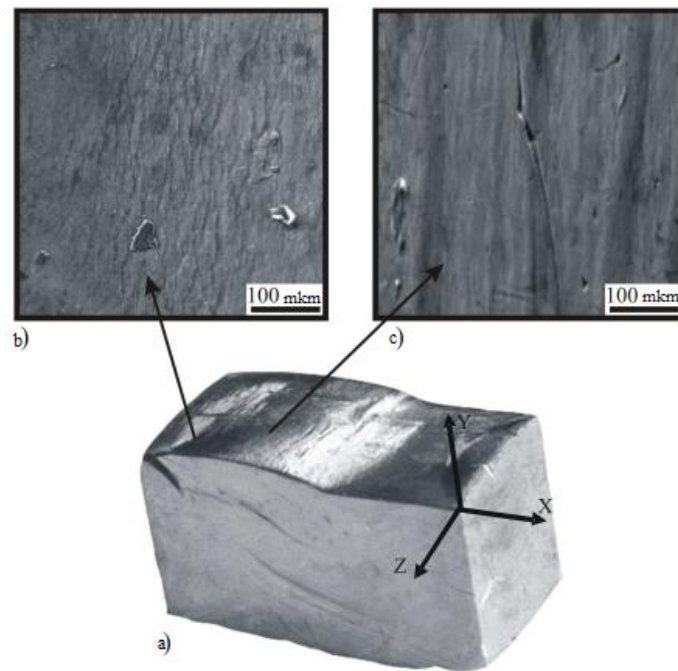


Abbildung. 1. Belichtung und Formänderung Probe (a), der Morphologie der Falten in der Konkavität (b) und Balligkeit (c) nach 31% iger Deformation.

Um kristallografische Daten bestimmen zu können, wird die Beugung von rückgestreuten Elektronen untersucht. Im Folgenden wird die Methode mit EBSD (engl.: electron backscatter diffraction) abgekürzt, während die Beugungsbilder (engl.: electron backscatter patterns) mit EBSP bezeichnet werden. Bei einer EBSD-Analyse wird der Elektronenstrahl auf eine um  $70^\circ$  gekippte Probe gelenkt [17]. Das resultierende Beugungsbild ist nun charakteristisch sowohl für die Kristallstruktur als auch für die Kristallorientierung an der Probenstelle, an der die Beugung erfolgte. Je nach Aufgabenstellung der Analyse können beispielsweise die Kristallorientierung, die Missorientierung an Korngrenzen sowie weitere Daten bestimmt werden [18]. Zudem kann das System genutzt werden, um verschiedene Materialien oder Phasen zu unterscheiden.

### **Der Methode der Beugung von rückgestreuten Elektronen**

Ein vollständiges System zur EBSD-Analyse besteht aus mehreren Komponenten, hauptsächlich aus einem REM und einem fluoreszierenden Phosphorschirm, welcher das EBSP einfängt und daraufhin an eine sensitive Kamera weiterleitet. Letztendlich ist ein Computer mit entsprechender Software nötig, um die

Analyse zu steuern, die Beugungsbilder auszuwerten und Ergebnisse zu erhalten. Zur nachträglichen Verarbeitung der Messdaten stehen mehrere Programme zur Verfügung, wie beispielsweise Orientierungskarten oder Polfiguren. Die grundlegende Voraussetzung für die Untersuchung ist die Neigung der Probe. Der einfallende Elektronenstrahl sollte in einem möglichst kleinen Winkel zur Probenoberfläche einfallen, da so mehr Elektronen rückgestreut werden, anstatt in der Probe absorbiert zu werden. In dieser Untersuchung wird mit einem Verkippungswinkel von  $70^\circ$  gearbeitet, was bedeutet, dass der Elektronenstrahl in einem Winkel von  $20^\circ$  zur Probenoberfläche auftritt [19]. Ein Beispiel dafür findet man in Abbildung 2.

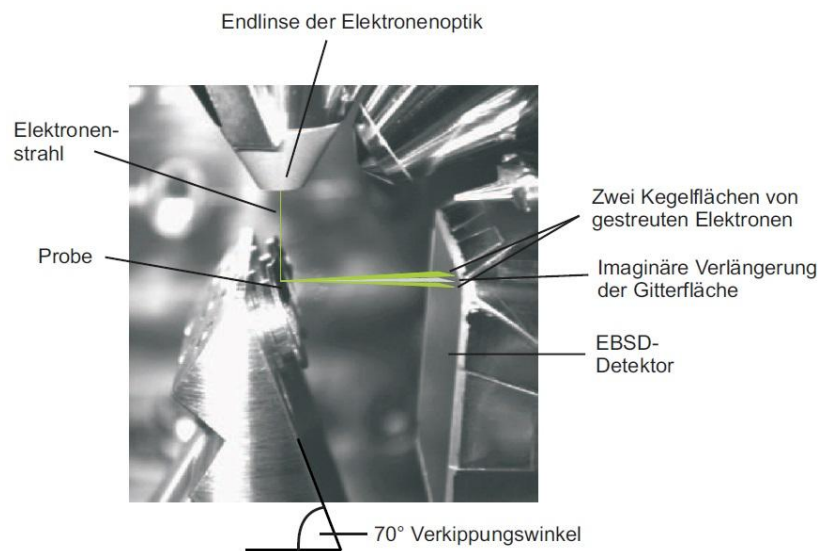


Abbildung 2. Bild vom Inneren der Probenkammer bei einer EBSD-Analyse.

Die Qualität des Beugungsbildes wird durch mehrere Faktoren begrenzt. So leidet die Schärfe des Bildes unter evtl. vorliegenden Gitterdefekten und Oberflächenzuständen. Da nur Elektronen die Probe wieder verlassen, die in den obersten Nanometern rückgestreut werden, sollte die Oberflächenverunreinigung so gering wie möglich gehalten werden. Die Grundbedingung für Beugungsbilder mit hoher Bildqualität ist eine saubere und spannungsfreie Probenoberfläche.

### **Die Orientierungskarten**

Weiter geht es um Orientierungskartographie. Um Orientierungskarten zu erhalten, wird ein Datensatz von Einzelorientierungen benötigt. Diese können

vollautomatisch aufgenommen werden, indem der Elektronenstrahl über den zu untersuchenden Bereich der Probe gefahren wird. Gleichzeitig sammelt die EBSD-Messtechnik die Beugungsbilder für jeden Punkt und verarbeitet sie innerhalb von wenigen Millisekunden. Jeder Messpunkt enthält eine Reihe von Informationen, wie beispielsweise den Messort und die Kristallorientierung. Mit Hilfe der Nachbearbeitungssoftware können die verschiedenen Informationen auf Karten dargestellt und analysiert werden. So kann beispielsweise durch den Vergleich benachbarter Messpunkte der Orientierungsunterschied bestimmt werden. Wenn dieser Winkel größer ist als vorher definierte Werte (z.B.  $5^\circ$ ), wird diese Stelle als Korngrenze erkannt. Auf diese Weise können die Korngrenzen rekonstruiert werden. Das Programm bietet die Möglichkeit, Statistiken anzufertigen, um beispielsweise Aussagen über die Durchmesser der Körner machen zu können.

Weiterhin kann durch simple Matrizenrechnungen die Orientierungsbeziehung zwischen zwei Körnern auch in Form von Drehachse und Drehwinkel berechnet werden, um evtl. vorliegende Koinzidenzkorngrenzen zu identifizieren.

Zur Darstellung werden in dieser Arbeit die Orientierungskarten als inverse Polfiguren in Richtung normal zur Probenoberfläche dargestellt. Solche Karten enthalten viele Informationen über die Mikrostruktur der Probe.

Analysieren wir die Karten Umorientierung der lokalen Gebiete bezüglich der Anlage der Belastung, nach der Deformation 31 % an den Stellen der Rundung und der Konkavität. Es ist sichtbar, dass auf dem Gebiet der Rundung (Abbildung 3a) die Streifen der Umorientierung schwach und die Abweichung von der Ausgangsorientierung ganz klein geäußert sind. Auf dem Gebiet der Konkavität des Musters ist die Umorientierung wesentlich heller (Abbildung 3b) geäußert.

Die Umorientierung geht von der Ausgangsrichtung [111] (die blaue Farbe) zur Seite [110] (die grüne Farbe) mit den Zwischengebieten (der blauen Farbe). Dabei kann man die Reihenfolge der angegebenen höher Gebiete beobachten[16]. Dieser Auszug ist dem Artikel von Autor Alferova E. entnommen.

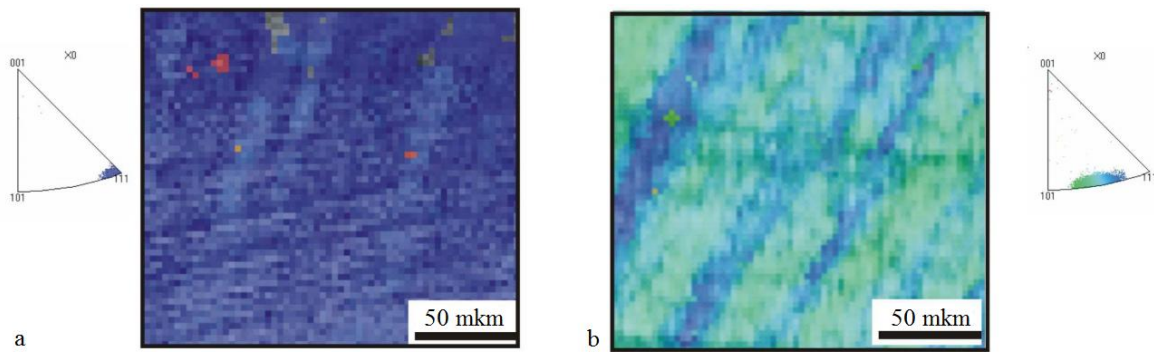


Abbildung 3. Die Karten der Umorientierung bezüglich der Achse X auf dem Gebiet der Rundung (a) und der Konkavität (b) nach der Deformation 31 %.

Analysieren wir die Verteilung der Grenzen der Umorientierung nach den betrachteten Grundstücken und die Verteilung der Winkel entlang peitschend 1-2. Die Analyse zeugt davon, dass auf dem Gebiet der Konkavität wie mittlere, als auch die maximalen Bedeutungen der Winkel Umorientierung im Vergleich zum Gebiet der Rundung höher ist. Auf dem Gebiet der Rundung die Grenzen der umorientieren Gebiete sind ungeordnet verteilt, aber es gibt fast keine Grenzen in den anders umorientieren Streifen.

Die Bedeutungen der Winkel der Umorientierung, bei Betrachtung des Grundstücks insgesamt, bildet  $2-4^\circ$  vorzugsweise. Die Betrachtung der Winkel der Umorientierung der entlang gelegen er anders umorientieren Streifen, hat vorgeführt, dass die überwiegende Größe Umorientierung  $0,5-1^\circ$ , und auf den Gebieten mit der Orientierung nah zu Ausgangsgröße bildet, die Größe erreicht vorzugsweise bis zu  $1,5-2^\circ$ .

In der Zone der Konkavität der Verteilung der Grenzen kann man einige Tendenzen zu ihrem Ansammeln bei den Grenzen der anders umorientieren Gebiete bemerken. Innerhalb der Streifen, die zur Richtung  $[110]$  anders umorientiert sind, die Größe der Umorientierung entlang, innerhalb des Streifens, bildet  $1-1,5^\circ$ , maximal übertritt  $4^\circ$ , innerhalb der Streifen mit der Orientierung nah zu ausgangs-  $[111]$  –  $1-1,5^\circ$ , maximal  $4,5-5^\circ$ , nicht. Ein Beispiel dafür findet man auf der Abbildung 4.

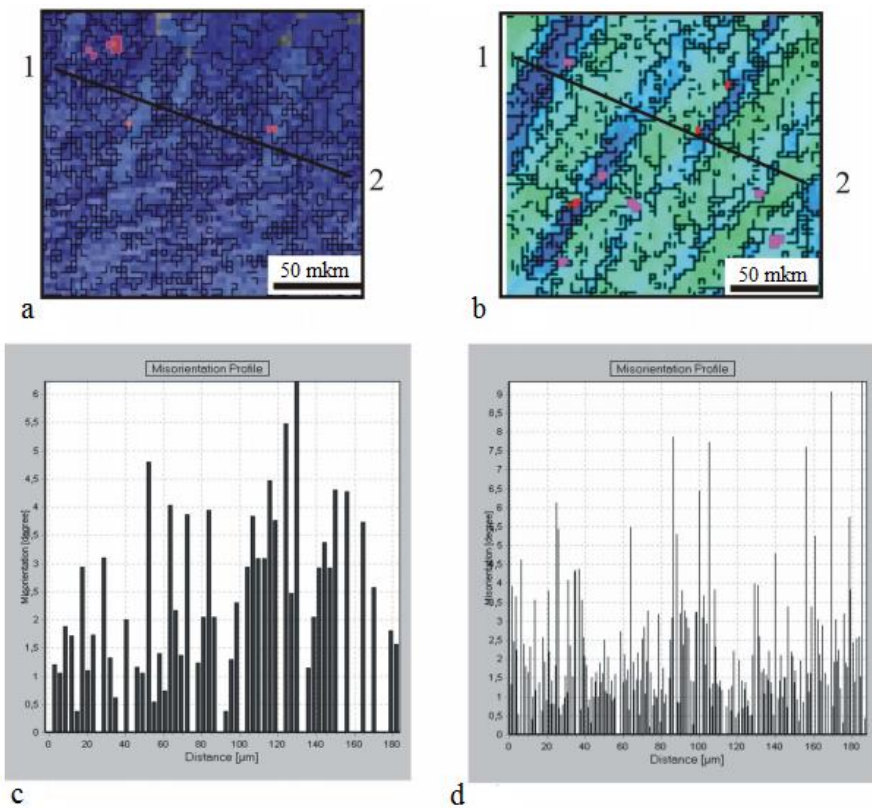


Abbildung 4. Die Karten der Umorientierung bezüglich der Achse der Kompression (a,b); die Verteilung der Winkel der Umorientierung entlang 1-2 (c,d); das Gebiet der Rundung (a,c), das Gebiet der Konkavität (b,d).

Es sind folgende Schlussfolgerungen zu ziehen. Die Faltenbildung auf dem konkaven Grundstück des Musters gehen intensiver, als auf dem Gebiet der Rundung. Die Faltenbildung wird von der Periodizität des Raumprozesses der Entwicklung der Umorientierung, die auf dem Gebiet der Konkavität mehr geäußert ist.

### Lokale Verformung

Für lokale Dehnungsmessungen und die Beobachtung von Vorgängen, die zu Bodenreißen führen, eignet sich als Modellversuch der Zugversuch. Er bildet die Belastung des Werkstoffs im Zargenbereich ab, in dem es bei hohem Streckziehanteil zu großen lokalen Dehnungen kommt, die einem Bodenreißer vorausgehen. Auch die Vorgänge der Einschnürung, Rissbildung und Rissausbreitung lassen sich im Zugversuch nachbilden.

In den Zugversuchen wurden definierte plastische Verformungszustände eingestellt, um Methoden der lokalen Verformungsmessung miteinander zu vergleichen. Nach Überschreiten der Gleichmaßdehnung stellt sich über der Messlänge eine Dehnungsverteilung ein, so dass an einer Probe mehrere Dehnungszustände abgegriffen werden konnten. Die lokale Längsdehnung wurde aus Messungen der Blechdicke und Breite unter Annahme von Volumenkonstanz errechnet.

Zusätzlich wurden Zugversuche bei Rissbildung abgebrochen, um den Schädigungsmechanismus zu klären. Außerdem dienten Zugversuche bis zum Probenreißen zur Ermittlung der Kenngrößen der mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe.

Alle einachsigen Zugversuche wurden weggesteuert an einer spindelgetriebenen Zugprüfmaschine RSA 100 der Firma Schenck (Darmstadt) durchgeführt. Zur Steuerung und Datenaufnahme stand ein externer Rechner zur Verfügung. Als Dehnrate wurde  $8 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ,  $10^{-2} \text{ s}^{-1}$  oder  $10^{-1} \text{ s}^{-1}$  gewählt. Die Kraftmessungen erfolgten mit einer Kraftmessdose der Nennkraft 100 kN. Längenänderungen der Zugproben wurden direkt an der Probe mit dem Setzdehnmesser MFA 25 der Firma Schenck erfasst. Der Setzdehnmesser hatte eine variable Ausgangsmesslänge  $L_0$  von 25 mm bis 100 mm und eine maximale Längenänderung von  $\Delta L = 25 \text{ mm}$  [20].

Zu Beginn des Tiefziehens, wird das Blech vom Stempel über die Ziehkante gebogen und dann weiter in den Ziehspalt gezogen. Dieser Biegevorgang wurde im freien Biegeversuch abgebildet. Im Gegensatz zum Zugversuch erfährt der Werkstoff dabei Verformungen unterschiedlicher Vorzeichen auf der Ober- und Unterseite und die Werkstückoberflächen bleiben nicht eben.

## **Rauheit**

Eine metallische Oberfläche verändert während einer plastischen Verformung ihre Gestalt (Topographie). Die Topographieänderungen wurden erstmals von

Kienzle und Mietzner systematisch aufgearbeitet. Die von Kienzle vorgeschlagene Rauleiter stellt für einachsige Zugverformung den linearen Zusammenhang zwischen plastischer Verformung und freier Aufrauung der Oberfläche her.

In weiteren Arbeiten wurden die Oberflächenveränderungen bei verschiedenen Umformprozessen dokumentiert und katalogisiert. Der freien Aufrauung kommt eine besondere Bedeutung zu, da sie auch bei einer anschließenden Umformung im Werkzeugkontakt nicht völlig beseitigt wird. Sie trägt damit immer zum Endzustand der Oberfläche bei. Nach Mössle haben die Korngröße und die größte Hauptformänderung den stärksten Einfluss auf die freie Aufrauung. Bei gleichem Umformgrad und gleicher Umformart nimmt die Rauheit proportional zu steigender mittlerer Korngröße zu.

Zur quantitativen Beschreibung der Oberflächen werden Kenngrößen aus Profilschnitten berechnet. Die Kenngrößen werden in Senkrecht- und Waagrechtkenngößen zur Beschreibung der vertikalen und horizontalen Ausdehnung und Anordnung von Profilelementen unterteilt. Die Messung der Profilschnitte erfolgt im Allgemeinen mit mechanischen Tastschnittgeräten, die eine Messlänge  $l_m$  auswerten. In Abbildung 5 sind ein typischer Profilschrieb mit der Häufigkeit der Profilorordinate  $p(z)$  über der Höhe  $z$  sowie einigen daraus abzulesenden Kenngrößen dargestellt. Aus der Integration der Häufigkeitsverteilung der Profilorordinate erhält man die in Abbildung 6 dargestellte Materialanteilkurve des Profilschnitts. An ihr sind weitere häufig verwendete Kenngrößen abzulesen.

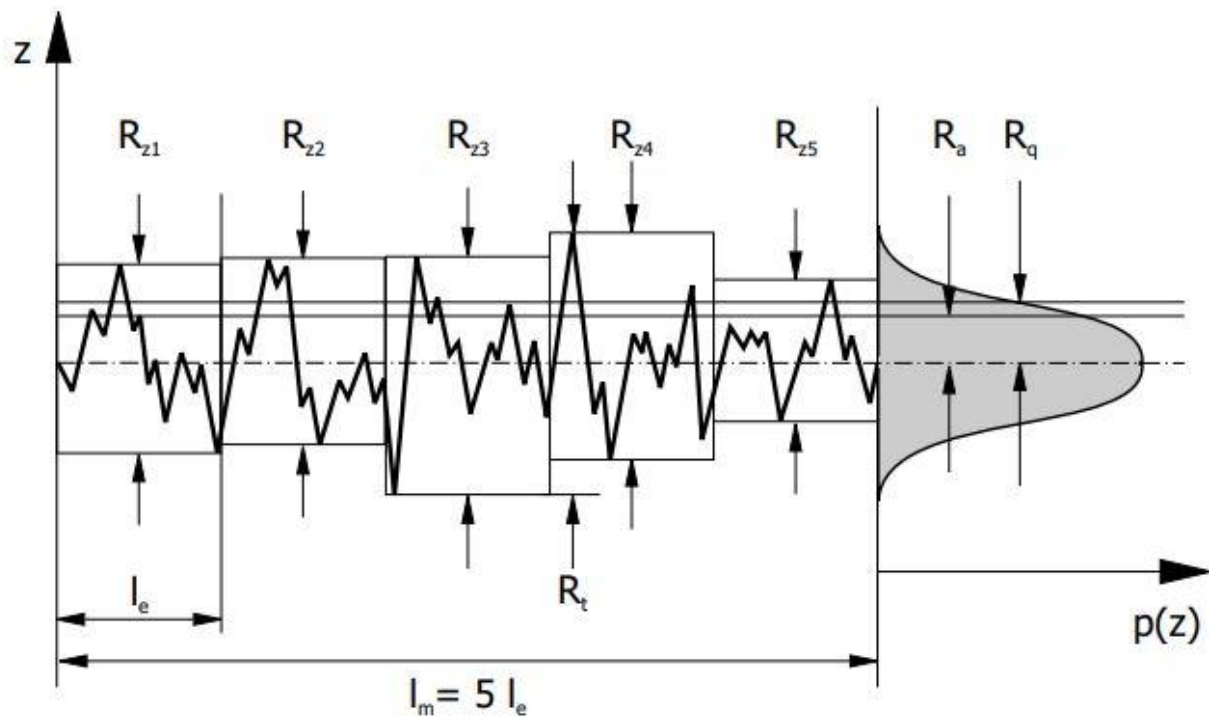


Abbildung 5: Zweidimensionaler Profilschrieb einer Oberfläche mit  $H'$ -Aufigkeitsverteilung der Profilorinate und verschiedenen Kenngrößen: arithmetischer Mittenrauwert  $R_a$ , quadratischer Mittenrauwert  $R_q$  und maximaler Rautiefe  $R_t$  für die Messlänge  $l_m$  und den Einzelrautiefen  $R_z$  für die Einzelmesslängen  $l_e$ , die zur gemittelten Rautiefe  $R_z = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |h_{i\max}| - \sum_{i=1}^5 |h_{i\min}| \right)$  zusammengefasst werden.

Die in den Normen DIN 4768; DIN 4776 und EN ISO 4287 definierten Kenngrößen sind zusammen geeignet, die Topographie hinsichtlich ihrer senkrechten und waagrechten Eigenschaften für technische Oberflächen zu beschreiben. Die Kenngrößen aus den zweidimensionalen Profilschnitten reichen aber nicht aus, um die räumliche Oberflächenstruktur quantitativ zu beschreiben, die für die tribologischen Eigenschaften von wesentlicher Bedeutung ist. Vorgeschlagene "2D-Hilfskenngrößen", wie der Profil-Leeregrad, gebildet als Quotient aus Glättungstiefe und Rautiefe, erwiesen sich als nicht ausreichend und fanden keinen Eingang in die Normung. Sie erlauben keine voraussetzungsfreie Berücksichtigung von richtungsabhängigen Topographieeigenschaften. Für regelmäßige Oberflächenstrukturen, die

optimierte tribologische Eigenschaften aufweisen, streuen die herkömmlichen Kenngrößen sehr stark, je nachdem wie oft ein Profilschnitt regelmäßige Strukturelemente schneidet. Außerdem kann mit dem Linienschnitt nicht beschrieben werden, ob die Strukturelemente untereinander verbunden, d. h. ob sie offen oder geschlossen sind. Diese Eigenschaft hat aber auf die Ausbildung eines Schmierfilms während eines Umformprozesses entscheidende Bedeutung, da ein bei offenen Strukturen leichter mögliches Wegfließen des Schmiermittels aus der Wirkzone ungünstig ist [21].

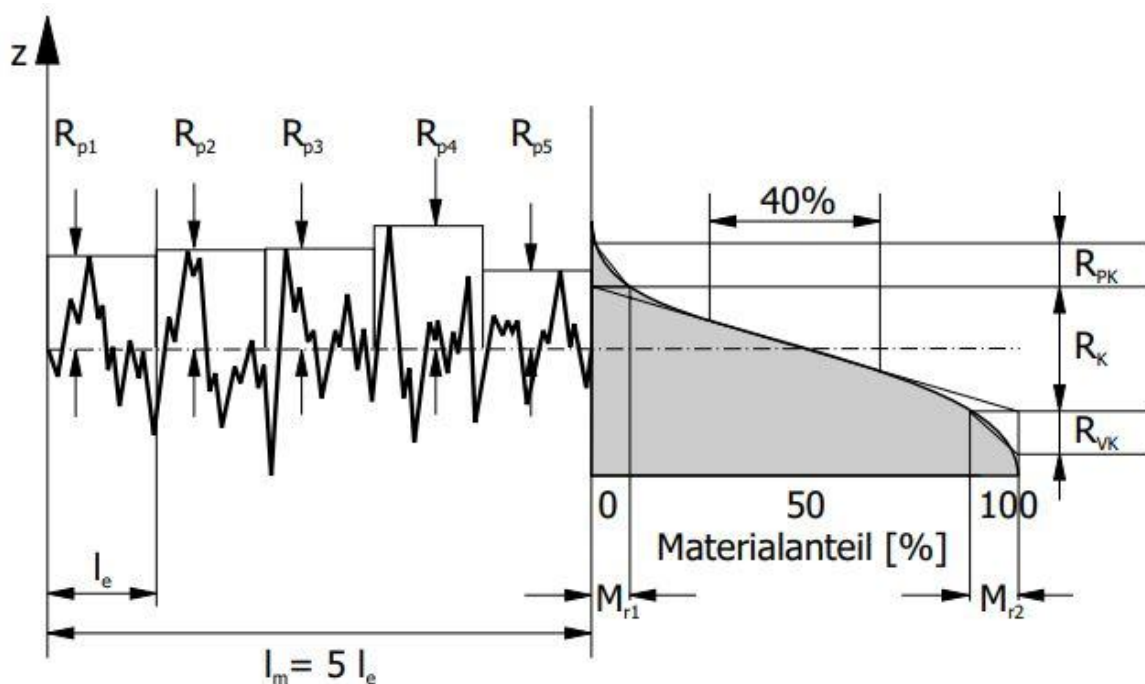


Abbildung 6: Zweidimensionaler Profilschrieb einer Oberfläche mit Materialanteilkurve und verschiedenen Kenngrößen: Kernrauheit  $R_k$ , reduzierte Spitzenhöhe  $R_{PK}$ , reduzierte Riefentiefe  $R_{VK}$ , Materialanteil Spitzen  $M_{r1}$ , Materialanteil Täler  $M_{r2}$  und den Einzelglättungstiefen  $R_{pi}$ , die zur gemittelten

Glättungstiefe  $R_{pm} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_{pi}$  zusammengefasst werden.

Zur dreidimensionalen Beschreibung der Oberflächen wurde eine Erweiterung des Satzes von Kenngrößen entwickelt, deren Grundlage eine flächenhafte Erfassung der Topographie ist. Dabei werden Kenngrößen analog zu den 2D-Kenngrößen

definiert. In Tabelle 1 wird dies für die am häufigsten gebrauchten arithmetischen und geometrischen Mittenrauwerte deutlich. 2D-Kenngrößen werden mit dem Buchstaben R abgekürzt, die entsprechenden 3D-Kenngrößen tragen bei gleichem Index den Buchstaben S. Die räumliche Betrachtung ist geeignet, texturierte Oberflächen vollständig zu beschreiben und eindeutig zwischen verschiedenen Texturierungsverfahren zu unterscheiden. Die Häufigkeit der Schnitthöhen bei Linien- oder Flächenmessungen ist bei einer Oberfläche mit stochastischen Rauheiten gleich. Da die Häufigkeitsverteilung die Ableitung der Materialanteilkurve ist, liefern die Materialanteilkurven und die daraus ermittelten Kenngrößen nach Staeves keine zusätzliche Information. Die dort angegebenen Kenngrößen enthalten jedoch auch die arithmetischen Mittenrauwerte  $R_a$  bzw.  $S_a$ , welche nicht direkt aus der Materialanteilkurve folgen. In DIN 4768, Beiblatt 1 wird eine Berechnung von  $R_a$  aus der mehrdeutigen Rautiefe  $R_t$  ausgeschlossen. Bodschwinn und Hillmann zeigen an Beispielprofilen, dass die Umrechnung stark von einzelnen Ausreißern beeinflusst wird. Für spanend gefertigte Oberflächen gibt das Beiblatt einen empirischen Zusammenhang zwischen  $R_a$  und der gemittelten Rautiefe  $R_z$  an. Nur für eine normalverteilte Häufigkeit der Höhen ist nach Neß und Götsching der arithmetische Mittenrauwert  $R_a$  direkt proportional zur Standardabweichung der Höhenverteilung. Nur unter dieser Voraussetzung sind  $R_a$  und  $S_a$ , wie von Staeves angeführt, informationsgleich.

Die Überlegungen zur Umrechnung von 2D-Rauheitskenngrößen ineinander gelten prinzipiell auch für die 3D-Rauheitskenngrößen. So sind z. B. in Stout et al. und Staeves gemessene lineare Zusammenhänge zwischen  $S_a$  und  $S_q$  sowie zwischen  $S_q$  und  $S_z$  für typische Oberflächen dargestellt. Ganz allgemein und insbesondere für Oberflächen mit regelmäßigen Strukturelementen ist eine direkte Umrechnung von 2D- in entsprechende 3D-Kenngrößen nicht möglich.

Mittenrauwert	2D-Kenngröße	3D-Kenngröße
arithmetisch	$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l  z(x)  dx$	$S_a = \frac{1}{l_x l_y} \int_0^{l_x} \int_0^{l_y}  z(x,y)  dy dx$
geometrisch	$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l  z(x) ^2 dx}$	$S_q = \sqrt{\frac{1}{l_x l_y} \int_0^{l_x} \int_0^{l_y}  z(x,y) ^2 dy dx}$

Tabelle 1: Definition von zwei- und dreidimensionalen Rauheitsparametern nach EN ISO 4287 und Stout et al..

Bei der Berechnung von Rauheitskenngrößen für flächenhaft vermessene Topographien besteht nach Sacerdotti et al. noch der Bedarf der Normierung. Sie konnten in einem Ringversuch zeigen, dass die Abweichungen zwischen verschiedenen Auswertalgorithmen die Ursache für große Schwankungen in der Quantifizierung von 3D-Kenngrößen sind. Bei Angabe der Kenngrößen muss daher das verwendete Programm genannt werden, um z. B. die empirischen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Kenngrößen reproduzierbar zu ermitteln.

Sowohl die 2D-Kenngrößen als auch die neueren 3D-Kenngrößen charakterisieren eine Oberfläche nicht eindeutig. Verschiedene Topographien können zu gleichen Beträgen der Kenngrößen führen (Frings; Neß und Göttsching,). Nur unter der Annahme einer bestimmten Oberflächenart – z. B. einer drehend bearbeiteten Oberfläche – gelingt nach Elgabry et al. die Rekonstruktion der Topographie aus 2D-Kenngrößen. Um eine Oberfläche voraussetzungsfrei rekonstruieren zu können, stellen Lin et al. ein Modell vor, in dem neben den 3D-Kenngrößen auch Informationen über die regelmäßigen und stochastischen Anteile eingehen, aus denen sich die Oberfläche zusammensetzen lässt. Oberflächen, die sich nur aus zufällig verteilten Rauheiten zusammensetzen, werden stochastische Oberflächen genannt. Oberflächen, mit regelmäßig angeordnete Strukturelementen, werden als deterministische Oberflächen bezeichnet (zur Begriffsbildung siehe z. B. Steinhoff et al. oder Stout und Blunt).

In der Literatur finden sich keine Aussagen über die Eignung der 3D-Kenngrößen zur Beschreibung eines Umformzustands. Es bleibt auch offen, ob die für die 2D-Kenngrößen gefundenen Zusammenhänge auf Bleche mit deterministischer Oberflächenstruktur übertragbar sind und ob die 3D-Kenngrößen geeignet zur Beschreibung der Veränderungen sind.

### **Härtemessung und Rauheitsmessung**

Zur Bestimmung lokaler Härten wurde das Härteprüfgerät M-400-G2 der Firma Leco (Mönchengladbach) verwendet. Die Prüflasten wurden zwischen 1 g und 2 kg gewählt. Die Diamantpyramide wurde jeweils mit einer Geschwindigkeit von  $10 \mu\text{m s}^{-1}$  abgesenkt und die Belastung mindestens 10 s konstant gehalten.

Rauheitsmessungen wurden mit mechanisch tastenden Instrumenten der Hommelwerke (Villingen-Schwenningen) und von Mitutoyo (Neuss) durchgeführt. Von den Hommelwerken wurden die Bezugsebenentaster T20 und T3000 mit rechnergesteuerter Datenaufnahme verwendet. Die Tastnadeln hatten einen Spitzenradius von  $5 \mu\text{m}$ . Bei dem Gerät SurfTest-201 von Mitutoyo handelte es sich um einen Gleitkufentaster, der ebenfalls einen Tastnadelradius von  $5 \mu\text{m}$  hatte.

Die Rauheitsmessungen wurden sowohl als einfache Linienschnitte (2D), als auch als flächenhafte Messungen (3D) durchgeführt. Ein Linien- bzw. Tastschnitt setzt sich aus 800 Stützpunkten zusammen. Die 3D-Messungen wurden automatisch mit dem Bezugsebenentaster T20 aufgenommen und sind jeweils aus 250 parallelen Einzelschnitten zusammengesetzt. Es wurden Flächen von  $3 \cdot 3 \text{ mm}^2$  und von  $1 \cdot 1 \text{ mm}^2$  abgetastet, um den Einfluss der Messfeldgröße auf die 3D-Rauheitsparameter zu erfassen.

Zur Auswertung der Topographiedaten wurde das Programm TopoGraf benutzt. Es stellt zur Trennung der Topographiedaten in Rauheit und überlagerter Welligkeit den verwendeten Filter «kleinste Quadrate» zur Verfügung und berechnet typische 2D-Rauheitskenngrößen ebenso wie die von Stout et al. und Pfestorf et al. vorgeschlagenen 3D-Kenngrößen.

Um die Abhängigkeit der 3D-Rauheitsparameter von der Größe der abgetasteten Fläche zu beurteilen, wurden am unverformten stochastischen Blech 2 jeweils zehn Messungen der beiden Flächengrößen durchgeführt. Für die berechneten 3D-Kenngrößen wurden arithmetische Mittelwerte und deren doppelte Standardabweichung errechnet. Die Messreihen wurden mit dem von Sachs angegebenen Rangdispersionstest nach Siegel und Tukey hinsichtlich ihrer Streuung untersucht und die Mittelwerte mit dem verteilungsunabhängigen U-Test verglichen.

### **Schlussfolgerungen**

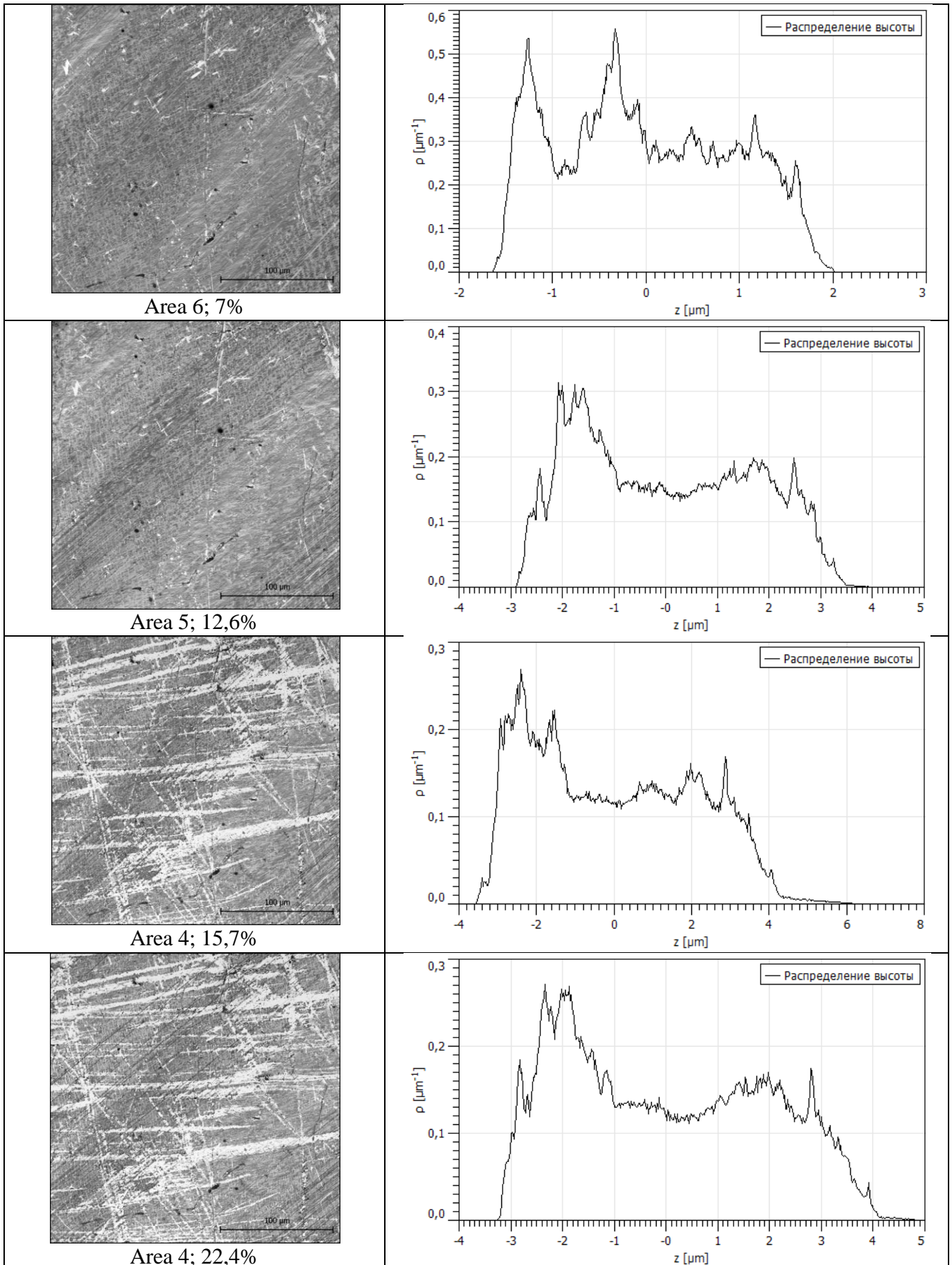
1) Somit hat die Untersuchung des Prozesses der Faltung in metallischen Materialien praktischen Wert.

2) Allerdings ist die Einrichtung der allgemeinen physikalischen Gesetzen für ein mehrstufiges Verfahren der plastischen Verformung zur Analyse und Prüfung der Druckbehandlungsschemata für polykristallines Aggregat schwierig wegen der Anwesenheit von zusätzlichen Faktoren (das Vorhandensein von Korngrenzen, die Wechselwirkung der Körner, etc.).

3) In diesem Zusammenhang ist es angebracht, zu identifizieren und zu untersuchen, den Prozess der Faltungsmuster von Monokristallen.

## Приложение Б

Таблица 6.1 Распределение высот точек поверхности для ориентации [001](100)



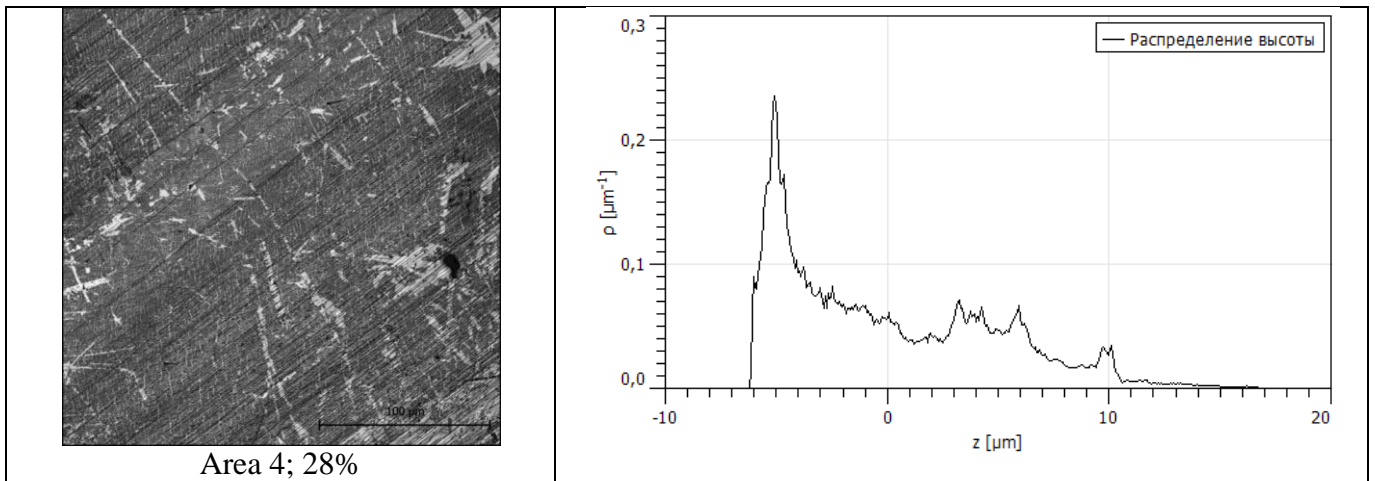
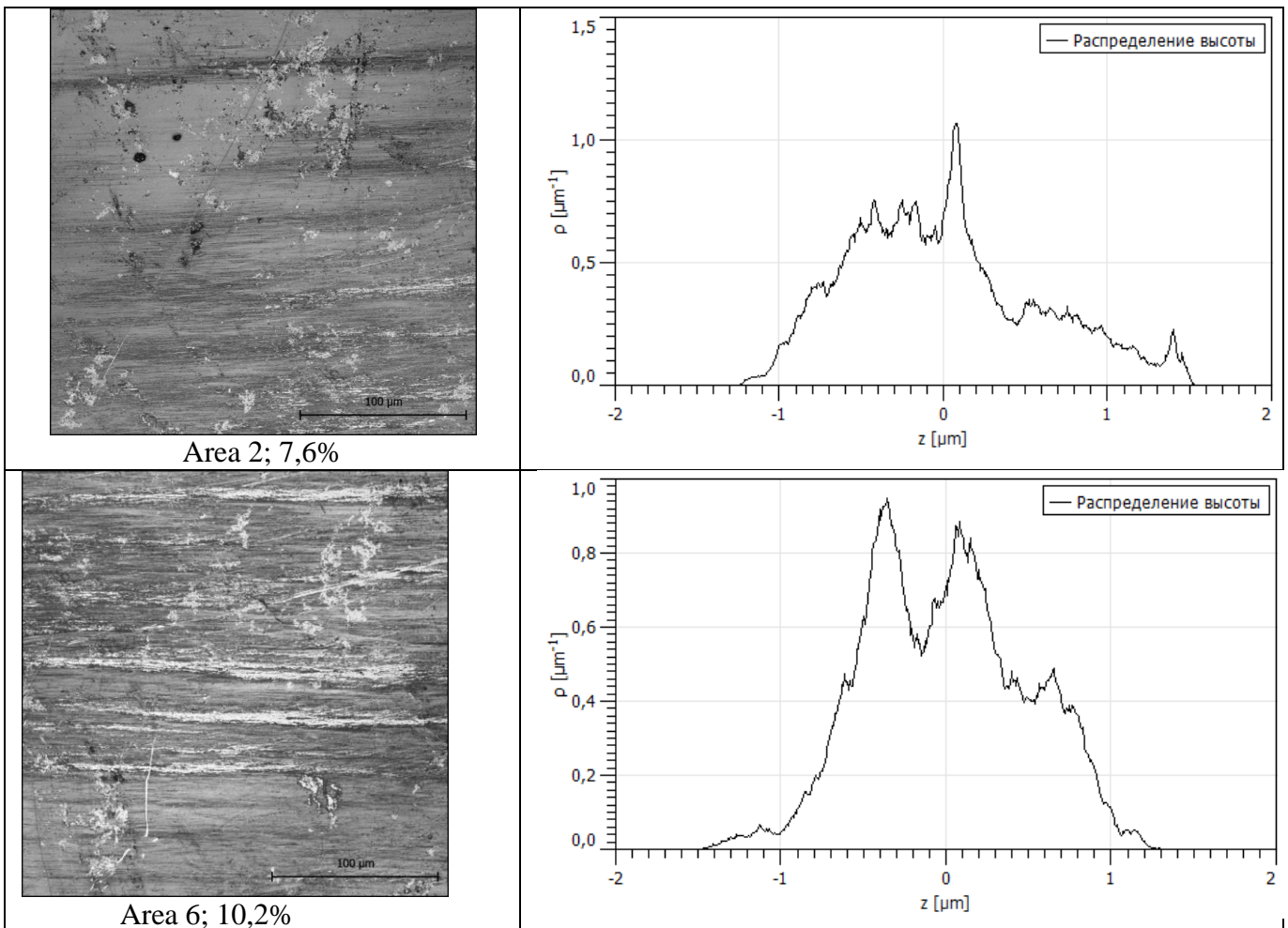
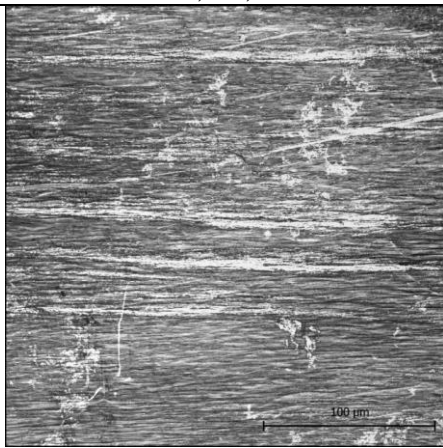
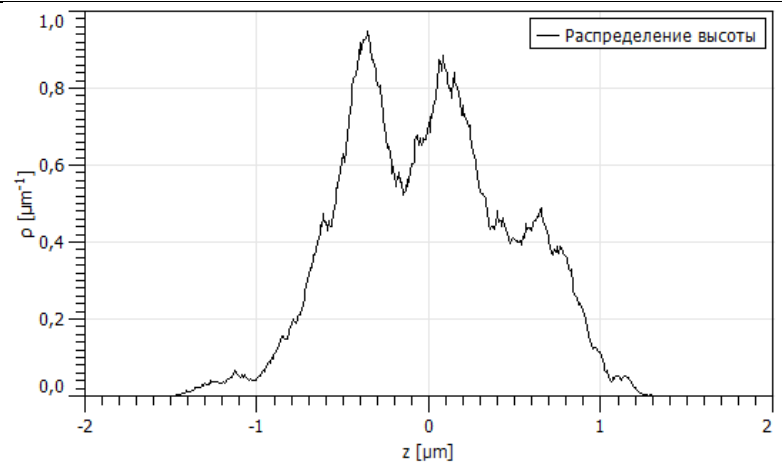


Таблица 6.2 Распределение высот точек поверхности для ориентации [110](001)

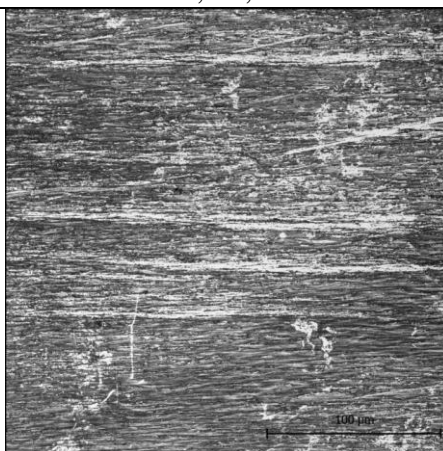
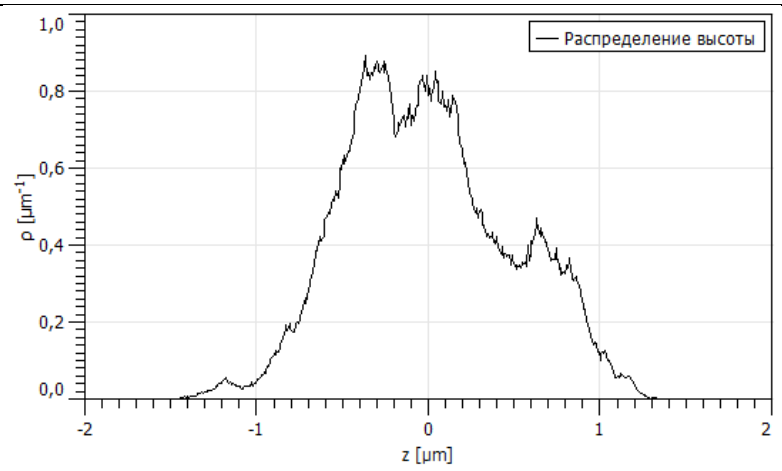




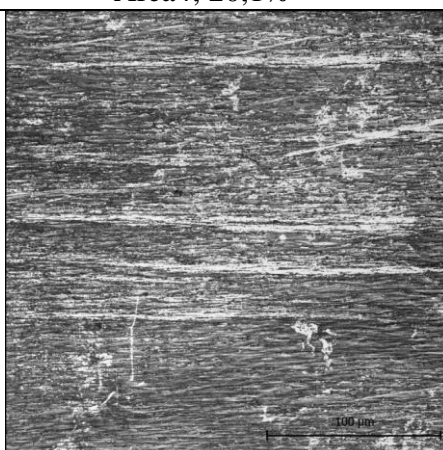
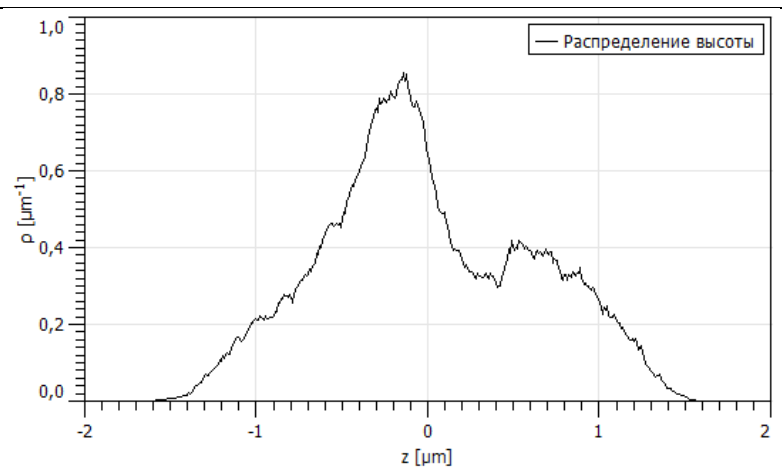
Area 4; 11,9%



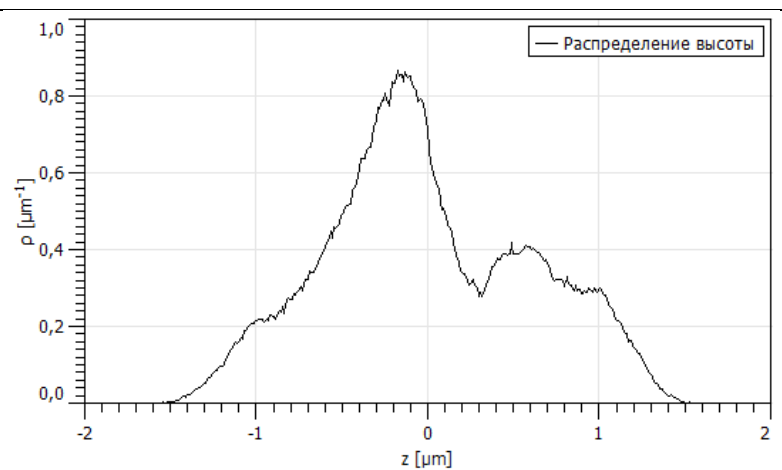
Area 4; 13,9%



Area4; 20,1%



Area4; 22%



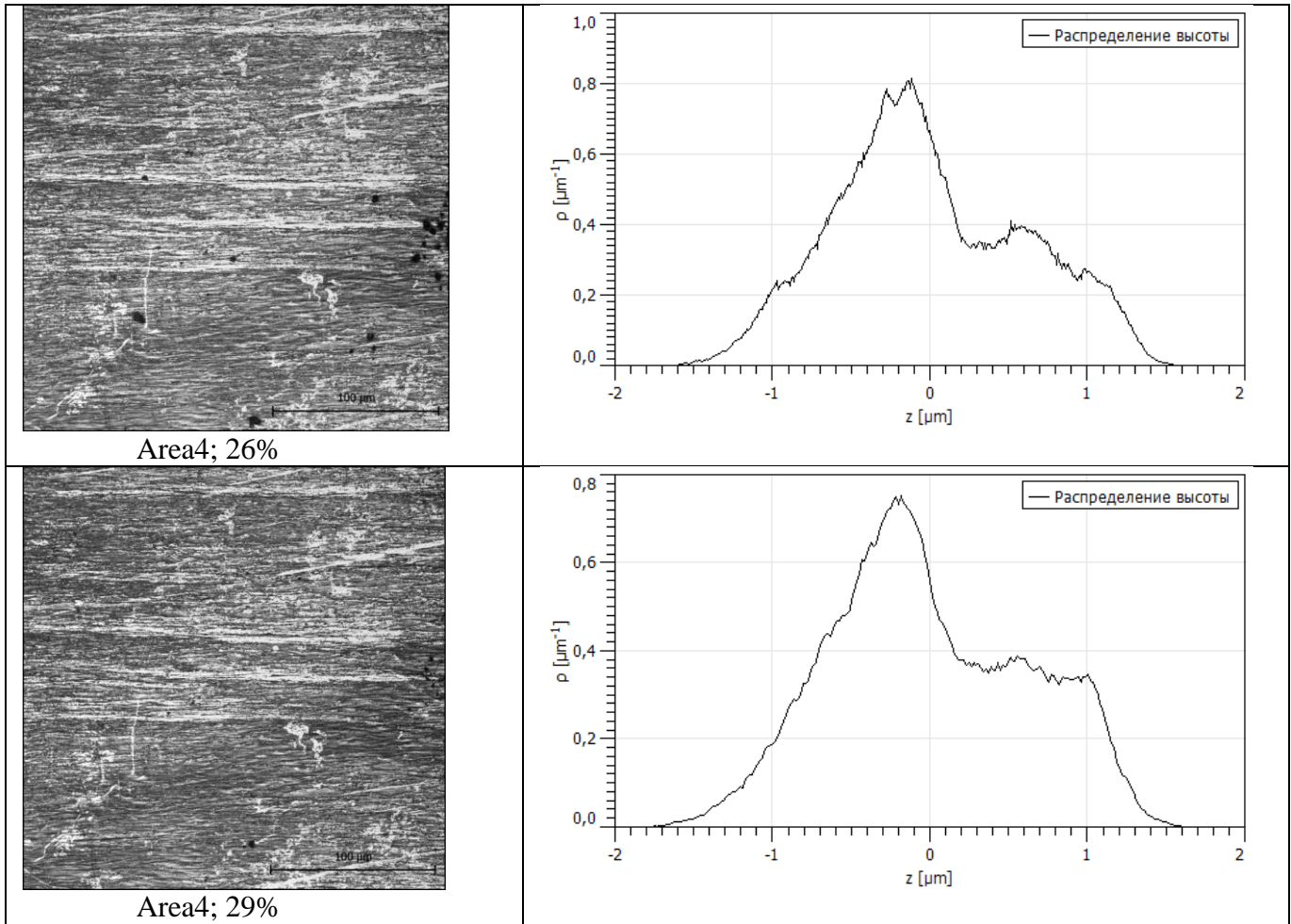
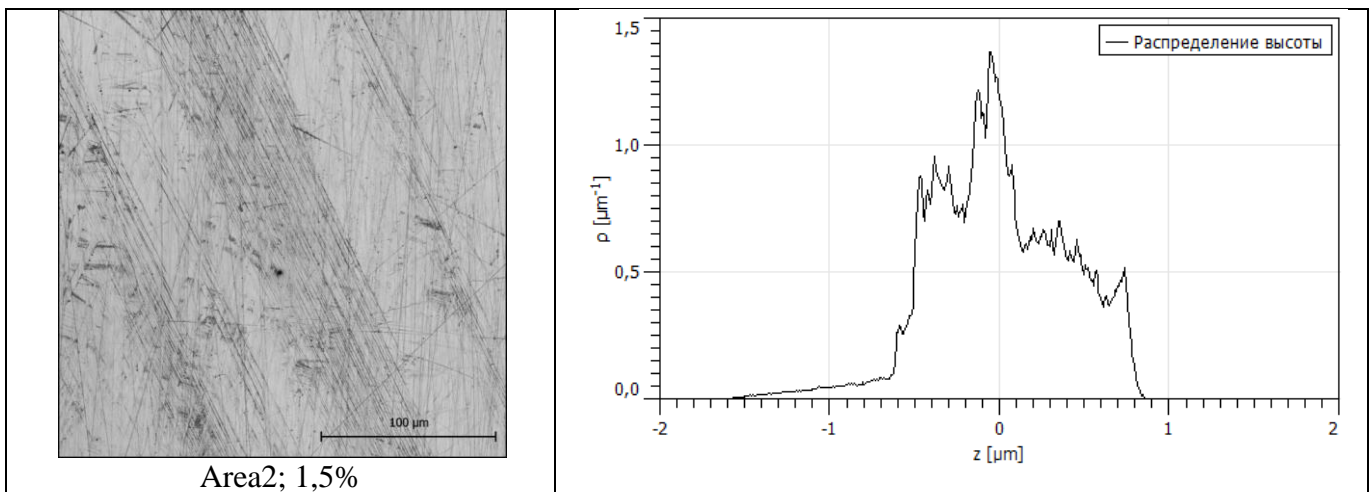
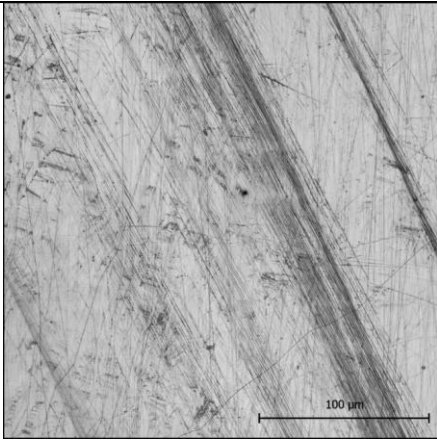
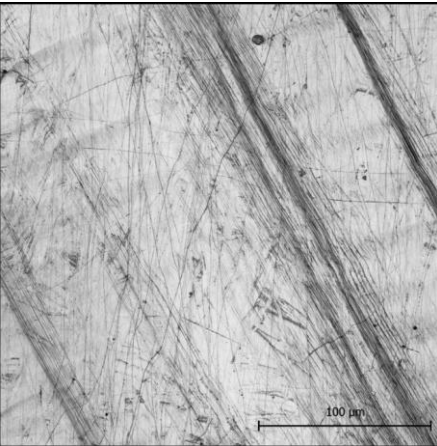
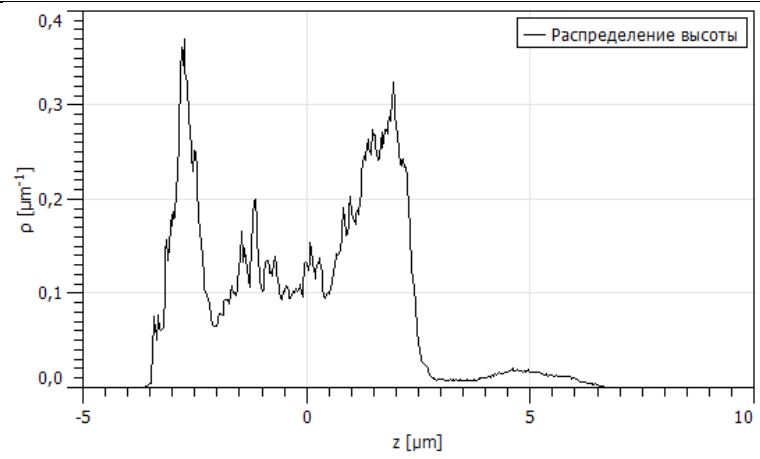


Таблица 6.3 Распределение высот точек поверхности для ориентации [111](100)

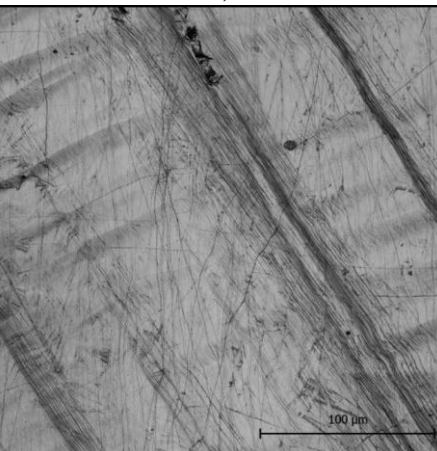
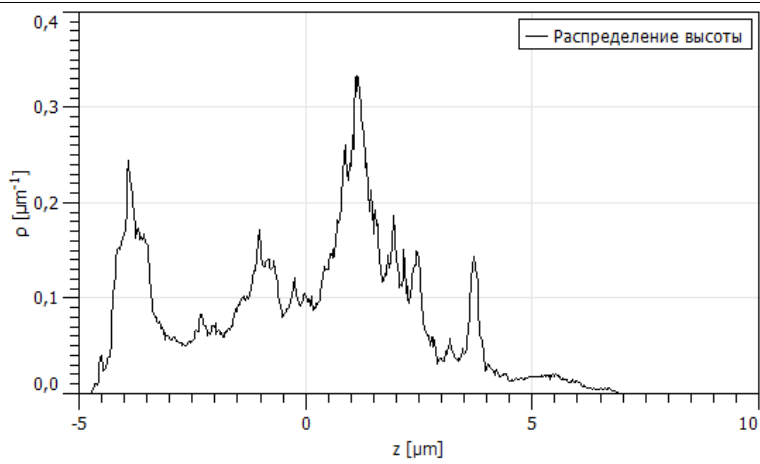




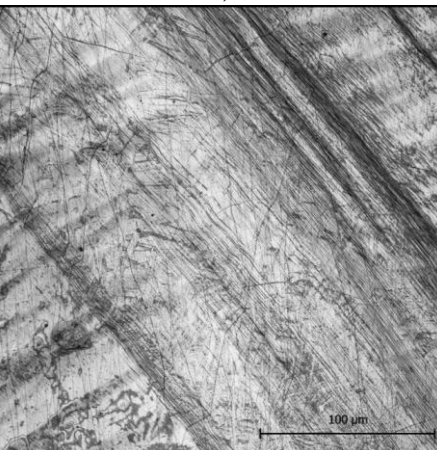
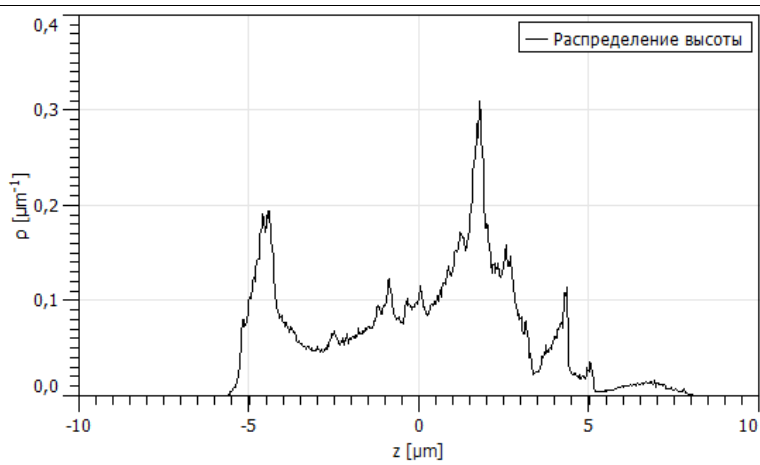
Area2; 8%



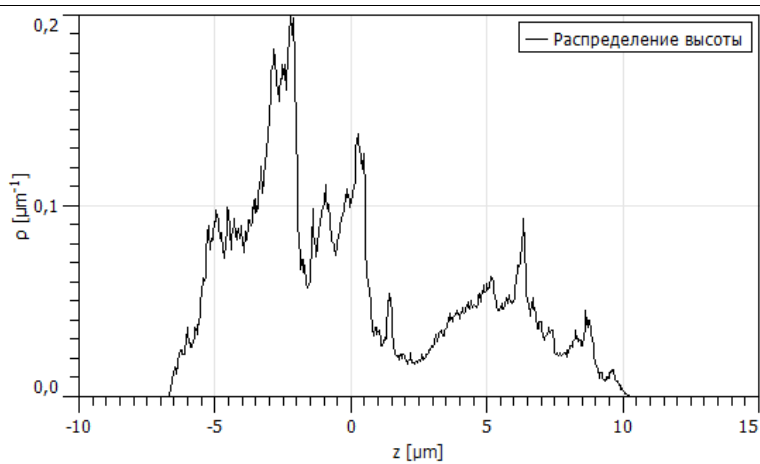
Area2; 12%



Area2; 15%



Area1; 18%



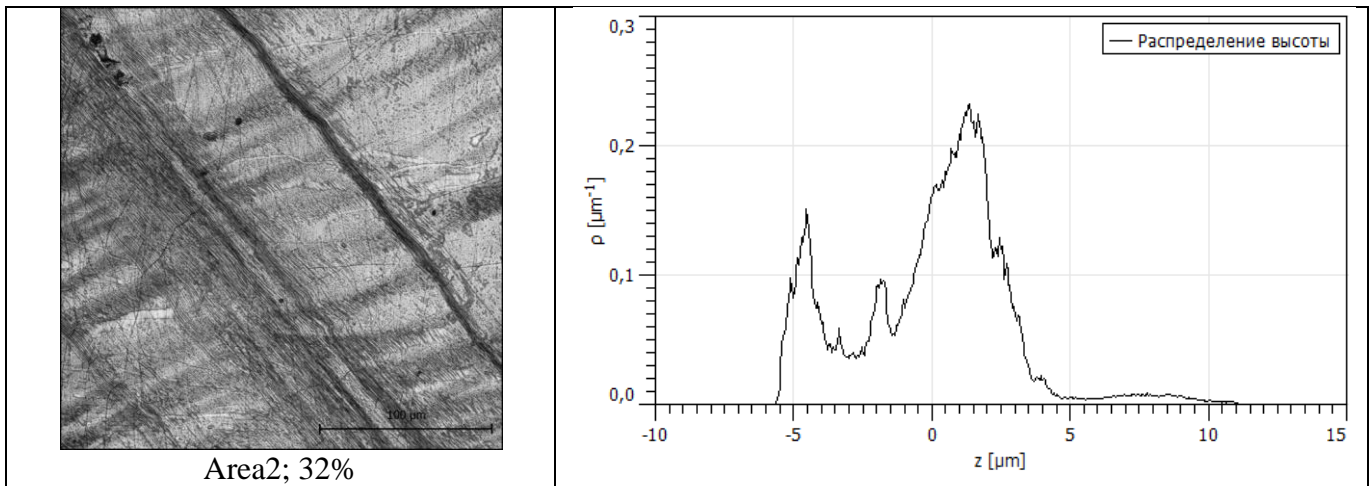
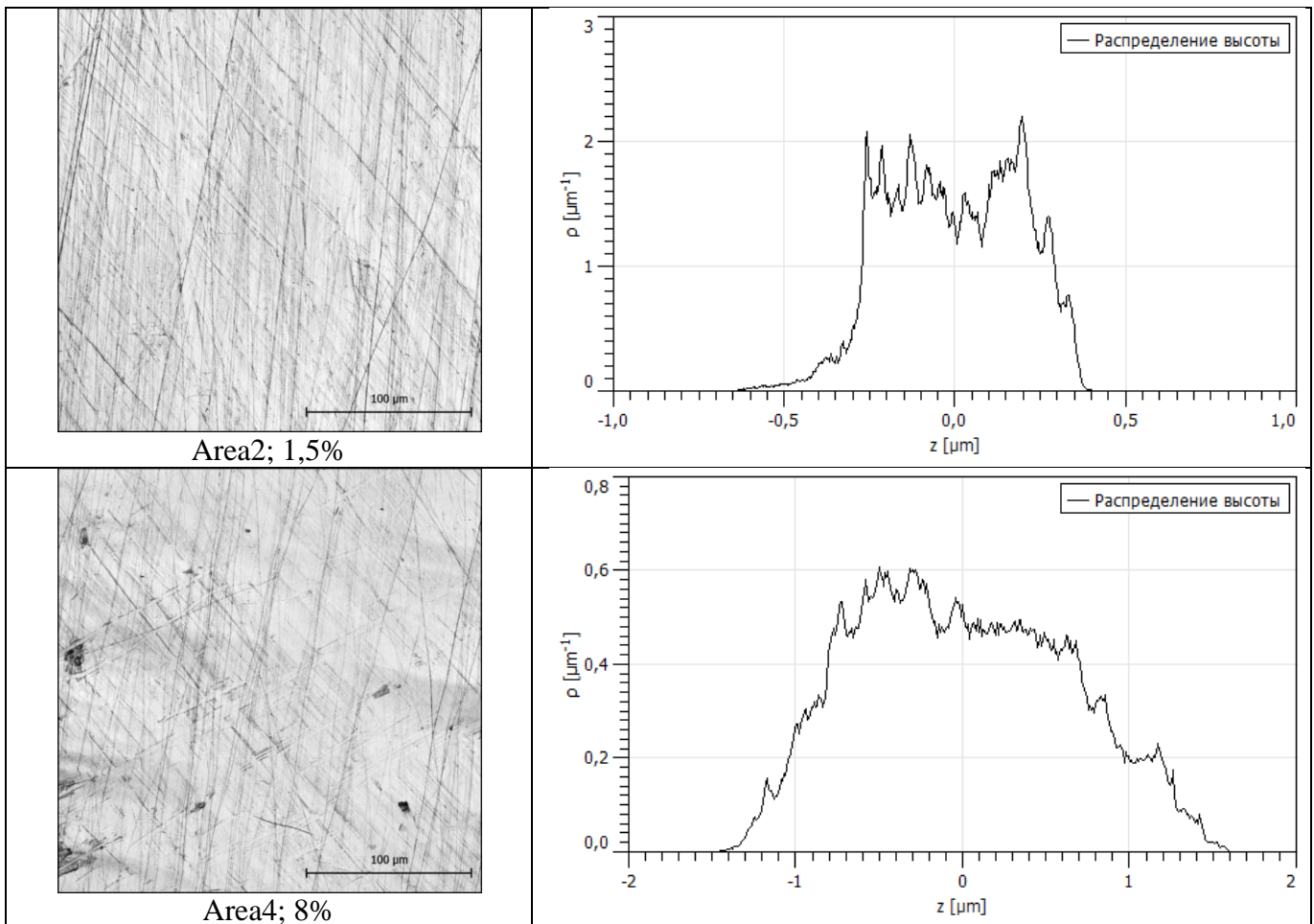
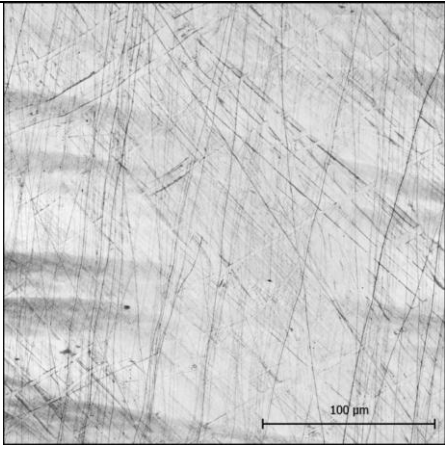
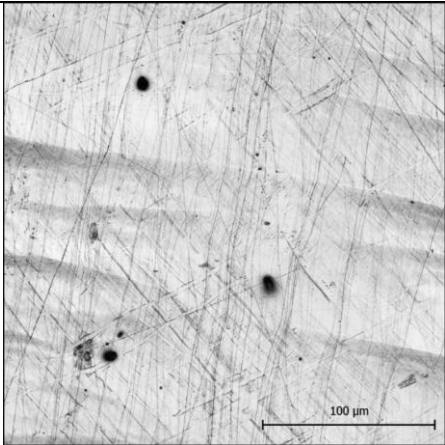
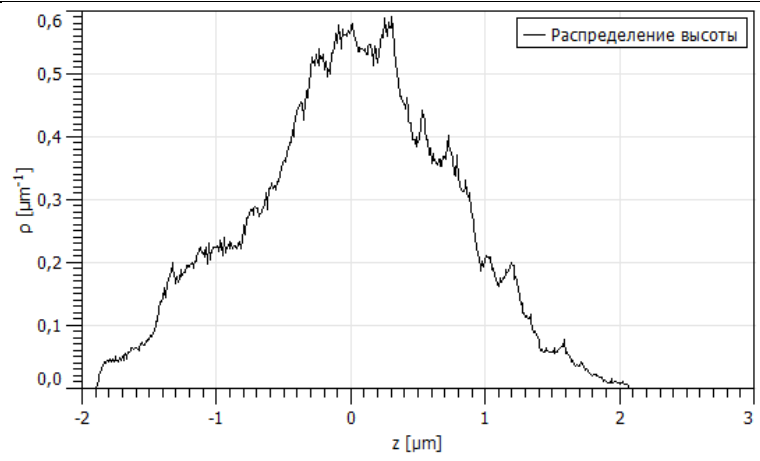


Таблица 6.3 Распределение высот точек поверхности для ориентации [111](112)

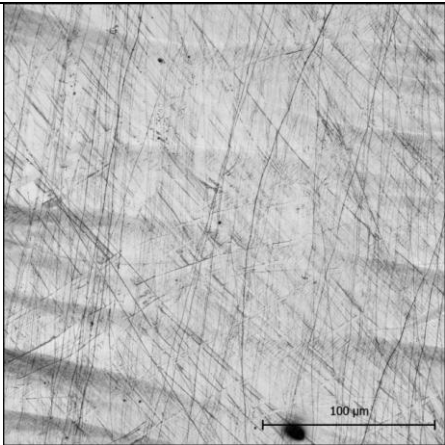
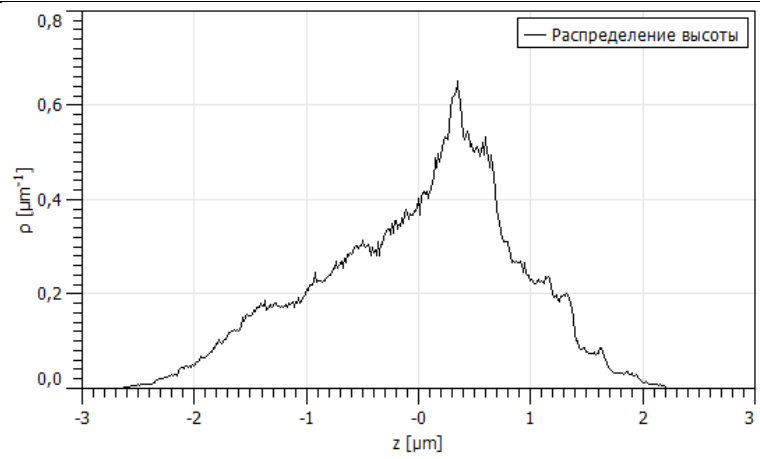




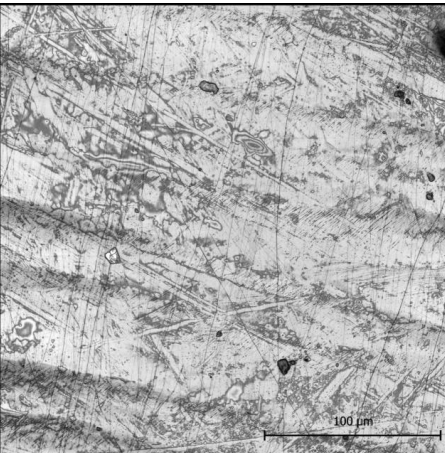
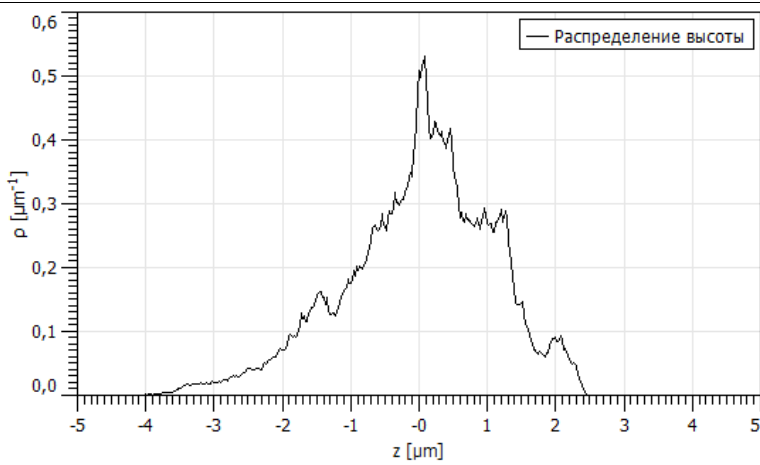
Area4; 12%



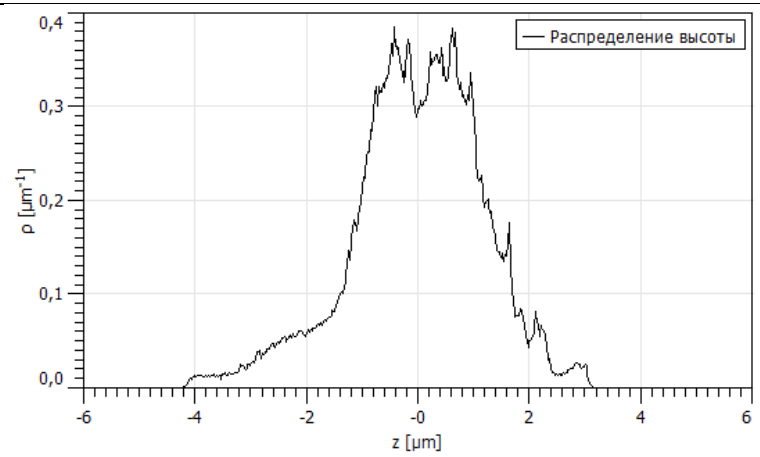
Area4; 15%



Area1; 18%



Area2; 32%



## Приложение В

Таблица 7.1. – Параметры шероховатости для ориентации [001](100)

Area	R <sub>a</sub> (мкм)	R <sub>q</sub> (мкм)	R <sub>p</sub> (мкм)	R <sub>v</sub> (мкм)	R <sub>t</sub> (мкм)	S <sub>a</sub> (мкм)	S <sub>q</sub> (мкм)
Area 6; 7%	0,016-0,021	0,021-0,026	0,066-0,17	0,075-0,245	0,14-0,415	0,788	0,920
Area 5; 12,6%	0,02-0,025	0,024-0,03	0,075-0,18	0,08-0,24	0,155-0,42	1,464	1,663
Area 4; 15,7%	0,025-0,03	0,025-0,034	0,088-0,2	0,087-0,26	0,175-0,46	1,714	1,947
Area 4; 22,4%	0,028-0,036	0,03-0,036	0,09-0,21	0,09-0,265	0,18-0,475	1,834	2,094
Area 4; 28%	0,03-0,42	0,032-0,04	0,091-0,22	0,093-0,27	0,184-0,49	4,162	4,871

Таблица 7.2. – Параметры шероховатости для ориентации [110](001)

Area	R <sub>a</sub> (мкм)	R <sub>q</sub> (мкм)	R <sub>p</sub> (мкм)	R <sub>v</sub> (мкм)	R <sub>t</sub> (мкм)	S <sub>a</sub> (мкм)	S <sub>q</sub> (мкм)
Area 2; 7,6%	0,012-0,014	0,015-0,022	0,06-0,15	0,044-0,12	0,104-0,27	0,463	0,576
Area 6; 10,2%	0,023-0,026	0,026-0,03	0,08-0,2	0,076-0,15	0,156-0,35	0,415	0,499
Area 4; 11,9%	0,03-0,038	0,035-0,042	0,1-0,25	0,08-0,2	0,18-0,45	0,399	0,484
Area 4; 13,9%	0,037-0,042	0,04-0,059	0,14-0,33	0,105-0,24	0,245-0,57	0,404	0,503
Area 4; 20,1%	0,045-0,05	0,06-0,07	0,18-0,4	0,15-0,32	0,33-0,72	0,496	0,608
Area 4; 22%	0,05-0,062	0,072-0,085	0,2-0,43	0,22-0,34	0,42-0,77	0,488	0,6
Area 4; 26%	0,06-0,071	0,083-0,094	0,23-0,49	0,27-0,41	0,5-0,9	0,475	0,552
Area 4; 29%	0,068-0,081	0,093-0,11	0,25-0,5	0,35-0,45	0,6-0,95	0,466	0,504

Таблица 7.3. – Параметры шероховатости для ориентации [111](110)

Area	R <sub>a</sub> (мкм)	R <sub>q</sub> (мкм)	R <sub>p</sub> (мкм)	R <sub>v</sub> (мкм)	R <sub>t</sub> (мкм)	S <sub>a</sub> (мкм)	S <sub>q</sub> (мкм)
Area 2; 1,5%	0,009-0,011	0,013-0,015	0,045-0,085	0,05-0,08	0,095-0,16	1,13	1,276
Area 2; 8%	0,012-0,018	0,015-0,018	0,049-0,11	0,07-0,12	0,12-0,23	1,764	2,056
Area 2; 12%	0,017-0,023	0,019-0,027	0,053-0,15	0,09-0,17	0,14-0,32	2,071	2,484
Area 2; 15%	0,02-0,026	0,024-0,033	0,07-0,185	0,11-0,19	0,18-0,375	2,473	2,943
Area 1; 18%	0,025-0,03	0,029-0,036	0,092-0,21	0,12-0,2	0,212-0,41	3,402	4,085
Area 2; 32%	0,035-0,045	0,042-0,055	0,15-0,31	0,154-0,26	0,304-0,57	2,183	2,811

Таблица 7.3. – Параметры шероховатости для ориентации [111](110)

Area	R <sub>a</sub> (мкм)	R <sub>q</sub> (мкм)	R <sub>p</sub> (мкм)	R <sub>v</sub> (мкм)	R <sub>t</sub> (мкм)	S <sub>a</sub> (мкм)	S <sub>q</sub> (мкм)
Area 2; 1,5%	0,004-0,006	0,006-0,007	0,025-0,05	0,019-0,035	0,04-0,085	0,164	0,191
Area 4; 8%	0,006-0,01	0,008-0,01	0,03-0,065	0,023-0,047	0,053-0,11	0,529	0,628
Area 4; 12%	0,01-0,013	0,01-0,012	0,036-0,07	0,035-0,058	0,071-0,13	0,59	0,735
Area 4; 15%	0,012-0,016	0,012-0,015	0,042-0,12	0,048-0,076	0,09-0,196	0,712	0,878
Area 1; 18%	0,014-0,019	0,016-0,021	0,056-0,17	0,057-0,12	0,113-0,29	0,866	1,109
Area 2; 32%	0,023-0,028	0,028-0,035	0,09-0,22	0,088-0,175	0,178-0,39	0,926	1,195