

вующей разности величин износа. Сумма этих расстояний на всех участках кривой изнашивания задает интегральную характеристику износостойкости - длину пути резания на периоде стойкости инструмента. Сам период стойкости равен отношению найденного значения L^* к скорости резания.

Описанный алгоритм расчета показывает, что, хотя расчет относится к процессу изнашивания задних поверхностей инструмента, результат в большой мере зависит от уровня конечной степени деформации стружки, представленной ее кинематической характеристикой - величиной усадки.

Усадка стружки на заданном режиме формируется в результате самонастройки системы резания [3] и при расчете характеристик износостойкости должна быть известна, т.к. она входит в модели расчета контактной температуры на задней поверхности инструмента (5)-(12).

Таким образом, прослеживаются термомеханические связи процессов на задних поверхностях с процессами на передней поверхности инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тахман С.И. Режимы резания и закономерности изнашивания твердосплавного инструмента. - Курган:Изд-во Курганского гос.ун-та, 2001. -169 с.
2. Кушнер В.С. Основы теории стружкообразования. Кн.2. Теплофизика и термомеханика резания: Учеб.пособие.-Омск: Изд-во ОмГТУ, 1996. -136 с.
3. Тахман С.И. Моделирование конечной степени деформации в условиях сливного стружкообразования (о механизме самонастройки процесса резания)/ Сб. «Прогрессивные технологические процессы в машиностроении». -Томск: Изд-во ТПУ, 1997. С.56-62.

Курганский государственный университет

УДК 621.91

И.А. ЕФИМОВИЧ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА

Приведены результаты экспериментальных исследований деформаций и напряжений в режущей части инструмента, полученных новым методом лазерной интерферометрии. Описана практическая реализация предложенного метода, позволяющего проводить исследования режущей части инструмента, выполненного из реального инструментального материала в реальных условиях динамического процесса резания.

Для практических исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) существует много различных методов. В первую очередь, это использование различного вида тензометров [1]: механических, оптико-механических, индуктивных, струнных (вибросочастотных), пневматических, электрического сопротивления (тензорезисторов). Причем последние из перечисленных нашли наибольшее распространение. Однако использование тензометров для исследования НДС в режущей части инструмента весьма затруднено по следующим причинам. Исследуемая область режущей части имеет малые размеры, а тен-

зометры, габариты которых того же порядка или более, в основном требуют непосредственного контакта с исследуемым объектом, что значительно затрудняет проведение измерений. В зоне резания возникают высокие температуры, при которых ограничена работоспособность тензодатчиков. Кроме того, значительно повышается погрешность измерений, так как происходит непосредственный контакт частей тензодатчиков с зоной высоких температур. Измерение деформаций с помощью тензодатчиков производится по точкам, что значительно ограничивает их применение при исследовании полей деформаций и напряжений, особенно в динамическом процессе, каким является процесс резания.

Наибольшую наглядность при исследовании НДС имеет поляризационно-оптический метод [2], основанный на эффекте двойного лучепреломления, которым обладает ряд материалов, таких как стекло, целлулоид, эпоксидная смола, проявляющих при нагружении оптическую анизотропию. Однако эти материалы пригодны лишь для моделирования процесса резания на малых скоростях при низких температурах режущей части.

Частично эти недостатки устраняются при использовании оптических методов исследований НДС и деформаций, основанных на явлении интерференции. Метод голографической интерферометрии имеет ряд преимуществ: бесконтактность измерений; возможность регистрации общей картины поля перемещений и измерения величины и направления перемещения в выбранной точке поверхности объекта; высокая чувствительность к перемещениям, оцениваемая длиной волны света; применимость к объектам любой формы и из различных материалов при любом качестве обработки диффузно отражающей поверхности [1]. Этот метод реализуется в основном двумя путями: методом двойной экспозиции и методом реального времени. В первом случае получают четкие изображения голограмм, позволяющие производить точные измерения, но, в то же время, нет возможности регистрировать непрерывно динамический процесс. Во втором случае высокая чувствительность метода требует изолирования голографического объекта от посторонних вибраций. В отношении же исследования НДС режущего инструмента наличие вибраций обусловлено самим процессом резания. Кроме того, малые размеры исследуемой зоны режущей части усугубляют указанные трудности и ведут к существенному снижению точности измерений.

Для экспериментальных исследований деформаций и НДС режущей части инструмента, выполненного из реального инструментального материала, на реальных режимах обработки деталей из труднообрабатываемых материалов был разработан "Метод исследования деформации материалов в процессе снятия стружки резанием" (а.с. № 1173179), основанный на лазерной интерферометрии, сохраняющий преимущества интерферометрических методов, но устраняющий указанные выше недостатки.

Для реализации этого метода имеется необходимость специальной подготовки режущей части инструмента, которая выполняется в виде плоскопараллельной пластины. Одна боковая поверхность режущей части доводится на притире до высокой степени плоскостности и полируется с помощью алмазных паст различной зернистости до получения высококачественной отражающей способности.

Подготовленный таким образом инструмент 1 (рис.1,а) закрепляют в специальной державке 2, в которой также устанавливается оптический клин 3, причем одна из сторон оптического клина выставляется параллельно полированной поверхности режущей части инструмента 1. После указанной сборки державку 2 устанавливают в рабочее положение, например, на суппорте токарного станка. В зажимном приспособлении станка закрепляют заготовку 4 в форме диска, а кинематические цепи станка настраивают для обработки на реальных режимах резания. Внешний вид специальной державки изображен на рис.1,б.

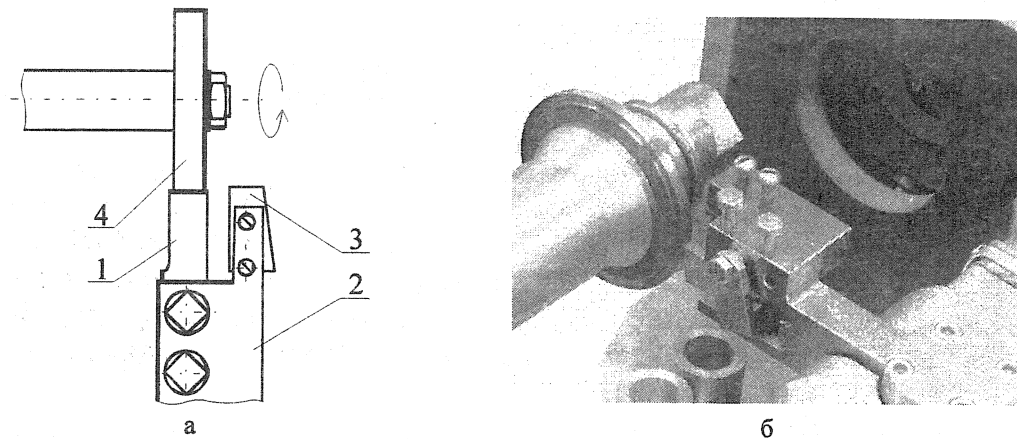


Рис.1. Закрепление инструмента и оптического клина в специальной державке

В процессе обработки заготовки режущим инструментом 1 (рис.2) освещают боковую поверхность последнего пучком когерентного монохроматического излучения от оптического квантового генератора 2. Интерференционную картину, характеризующую поперечные деформации инструмента 1 в текущий момент времени, формируют в предметной плоскости кинокамеры 3 в результате взаимодействия рабочего 4 и опорного 5 пучков, для чего луч от оптического квантового генератора 2 пропускают через оптическую систему, полупрозрачное зеркало 6 и оптический клин 7 [3]. Часть этого луча отражается от поверхности оптического клина 7, параллельной зеркальной поверхности режущей части инструмента 1, и образует опорный пучок 5. Другая часть излучения, пройдя через оптический клин 7, отражается от боковой поверхности инструмента 1 и образует рабочий пучок 4. Оба пучка 4 и 5 излучения направляются в объектив кинокамеры 3. При этом в предметной плоскости кинокамеры 3 формируется интерференционная картина, которая и регистрируется на киноплёнке. Полученные таким образом интерференционные полосы являются полосами равной толщины воздушного зазора между боковой поверхностью режущей части инструмента 1 и параллельной ей поверхностью оптического клина 7. При нагружении режущей части инструмента в ней возникают поперечные деформации, которые изменяют форму его боковой поверхности, что ведет к изменению воздушного зазора и соответствующей ему интерференционной картины. Это выражается в виде перемеще-

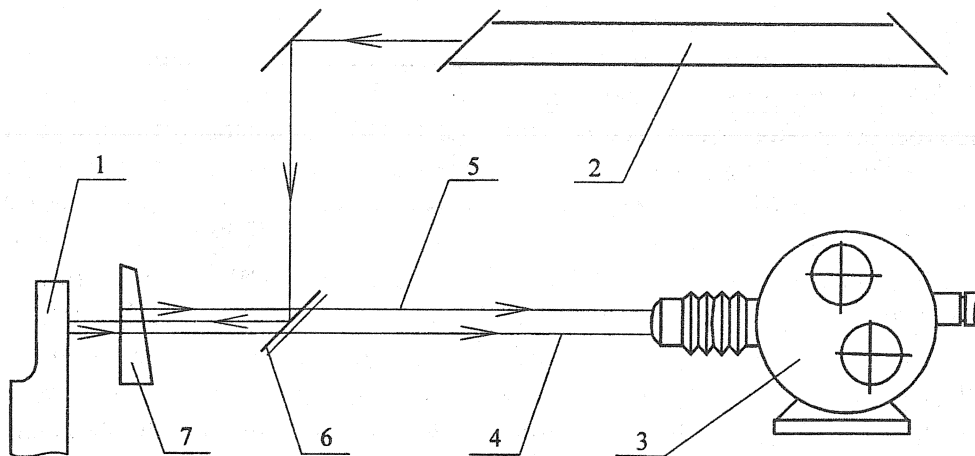


Рис.2. Оптическая схема реализации метода исследования деформаций

ния интерференционных полос и изменения их формы в соответствии с местами равных толщин воздушных зазоров.

Описанный выше метод применим для инструментальных материалов, обладающих отражательной способностью, например, инструментальные стали, металлокерамические твердые сплавы и т.п.

Для исследования режущей части инструмента, выполненной из неотражающих материалов, например из минералокерамики и т.п., разработан "Метод исследования деформации режущего инструмента в процессе эксплуатации" (пат.РФ № 2086914). Он отличается от вышеописанного метода тем, что исследуемую боковую поверхность режущей части инструмента после ее полировки покрывают тонким слоем материала, обладающего отражательной способностью, например серебром, методом напыления или химической реакцией типа "серебряное зеркало" [4].

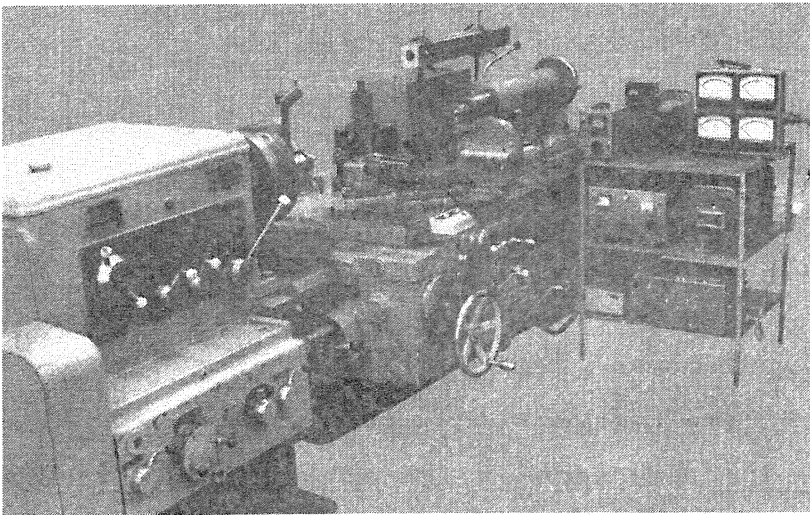


Рис.3. Экспериментальная установка

Использование описанных методов позволяет исследовать весьма малые деформации (порядка длины волны используемого источника когерентного излучения) любых инструментальных и конструкционных материалов, что облегчает задачи изучения прочности инструмента, выбора оптимальных геометрических параметров и оптимальных режимов резания. Особое значение метод приобретает при исследовании НДС инструментальных и труднообрабатываемых конструкционных материалов со специальными термическими и прочностными свойствами.

Для реализации разработанных методов исследования деформаций режущей части инструмента в процессе резания разработана экспериментальная установка, которая была смонтирована на базе токарно-винторезного станка модели 163 с системой бесступенчатой регулировки скорости резания типа генератор-двигатель постоянного тока. В установку входят оптический квантовый генератор типа ЛГ-75, оптическая система с интерферометром, высокоскоростная кинокамера типа СКС-1М, динамометр типа УДМ-1000, шлейфовый осциллограф типа Н700, система согласования и другая аппаратура (рис.3).

Для реализации разработанных методов исследования деформаций режущей части инструмента в процессе резания разработана экспериментальная установка, которая была смонтирована на базе токарно-винторезного станка модели 163 с системой бесступенчатой регулировки скорости резания типа генератор-двигатель постоянного тока. В установку входят оптический квантовый генератор типа ЛГ-75, оптическая система с интерферометром, высокоскоростная кинокамера типа СКС-1М, динамометр типа УДМ-1000, шлейфовый осциллограф типа Н700, система согласования и другая аппаратура (рис.3).

В процессе эксперимента, реализующего разработанный интерферометрический метод исследования НДС, с помощью скоростной киносъемки получены кинограммы интерференционных картин (рис.4, 5) на режущей части инструмента ($\alpha = 10$ град.) из твердого сплава ВК8 при обработке стали 1Х12Н2ВМФ ($V = 0,1$ м/с, $S = 0,15 \cdot 10^{-3}$ м/об).

По полученным кинограммам определяют разность порядков переместившихся интерференционных полос, прошедших через расчетные сечения, с помощью графического вычитания эпюр порядков интерференционных полос, полученных до начала резания (см.рис.4) и в интересующий момент резания (см.рис.5).

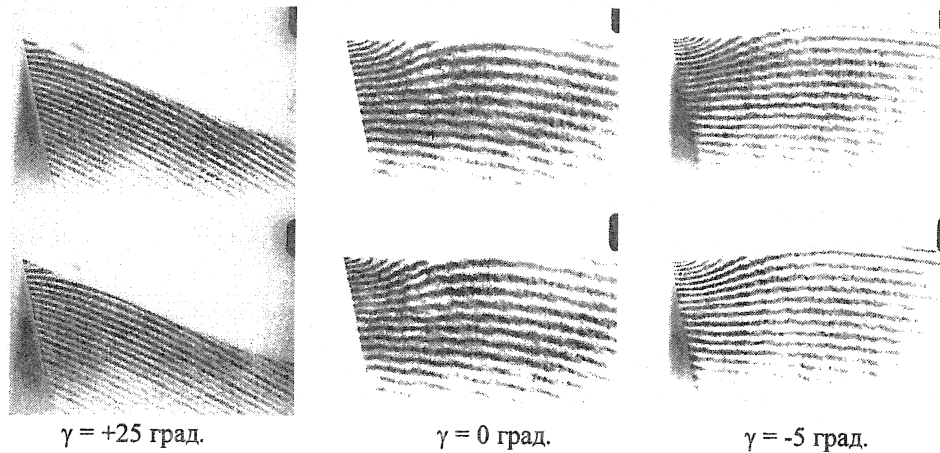


Рис.5. Кинограммы интерференционных картин при резании на полной толщине среза

Далее пересчитывают разность порядков интерференционных полос в величину поперечных перемещений боковой поверхности в любой рассматриваемой точке по формуле

$$\Delta t = \frac{m \cdot \lambda}{n}, \quad (1)$$

где Δt - изменение толщины t режущей части инструмента;

m - разность порядков интерференционных полос;

λ - длина волны монохроматического когерентного излучения;

n - коэффициент преломления окружающей среды (для воздуха $n = 1$).

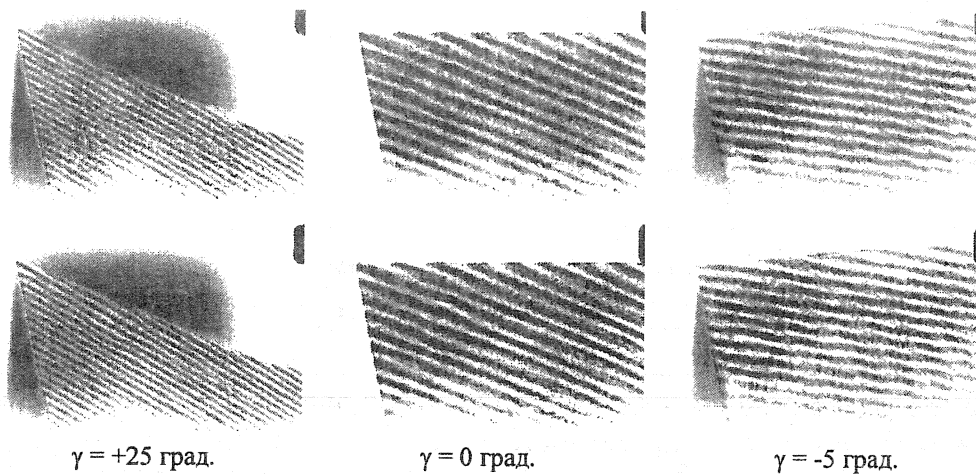


Рис.4. Кинограммы интерференционных картин до начала резания

В условиях свободного прямоугольного резания при нагружении режущего клина принимается, что точки его срединной плоскости не перемещаются по нормали к этой плоскости, то есть поперечные перемещения точек, лежащих на боковых поверхностях клина, симметричны относительно его срединной плоскости. Таким образом, режущий клин рассматривается, как находящийся в плоском напряженном состоянии.

Согласно формуле (1) эти картины несут в себе информацию об изменениях толщины Δt режущей части инструмента. В тоже время, из определения понятия деформаций [5] имеем

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta t}{t}, \quad (2)$$

где ε_z - поперечная относительная деформация;

t - толщина режущего клина;

Δt - изменения толщины t .

Из формулы (2) вытекает, что интерференционные картины отражают информацию о поперечных относительных деформациях в любой точке клина в любой момент времени.

Закон Гука в случае отсутствия объемных сил можно записать в виде [6]

$$\varepsilon_z = -\frac{\mu}{E} \cdot (\sigma_x + \sigma_y), \quad (3)$$

где μ - коэффициент Пуассона;

E - модуль упругости.

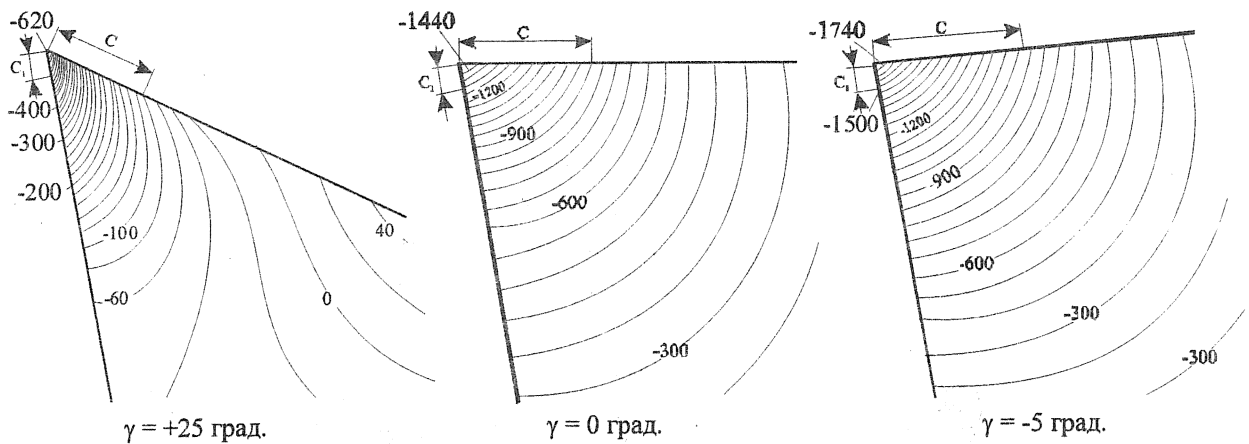


Рис.6. Поля изолиний сумм главных напряжений ($\sigma_1 + \sigma_2$) (МПа)

При этом суммы $(\sigma_x + \sigma_y)$ составляющих напряжений не зависят от направления осей. Из формул (1), (2), (3) для непрозрачной модели получим

$$(\sigma_1 + \sigma_2) = (\sigma_x + \sigma_y) = -\frac{E}{\mu} \cdot \frac{\Delta t}{t} = -\frac{E}{\mu} \cdot \frac{m \cdot \lambda}{n \cdot t}. \quad (4)$$

Таким образом, с помощью уравнения (4) можно определить суммы главных напряжений ($\sigma_1 + \sigma_2$) в любой точке исследуемого поля режущего клина, используя кинограммы интерференционных полос (см. рис.4, 5). Полученные при резании врезанием на полной толщине среза поля сумм главных напряжений изображены в виде изопахик на рис.6.

Выводы

1. Разработанные методы исследования деформаций режущей части инструмента в процессе эксплуатации на базе лазерной интерферометрии обладают высокой точностью и чувствительностью и позволяют проводить эксперименты на реальных инструментальных материалах в реальных условиях динамического процесса резания.

2. Применение специальной конструкции интерферометра с использованием державки с оптическим клином в экспериментальной установке для исследования динамики нагружения и НДС режущей части инструмента позволило устранить отрицательное воздействие вибраций – главный недостаток интерферометрических методов измерений.

3. При реализации разработанного интерферометрического метода исследования НДС экспериментально получены поля сумм главных напряжений в режущей части инструмента, выполненной из твердого сплава ВК8, при обработке стали 1Х12Н2ВМФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пригоровский Н.И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений: Справочник. - М.: Машиностроение, 1983. - 248 с.: ил.
2. Фрохт М.М. Фотоупругость. - М.: Гостехиздат, 1948. - Т.1-2.
3. А.с. СССР № 1173179, МКИ4 G 01 В 11/16. Способ исследования деформации материалов в процессе снятия стружки резанием / Е.В. Артамонов, Ю.И. Некрасов, И.А. Ефимович. - № 3588086/25-08; Заявл. 08.02.83; Оpubл. 15.08.85, Бюл.№ 30.
4. Патент РФ № 2086914, МПК5 G 01 В 11/16. Способ исследования деформации режущего инструмента в процессе эксплуатации / И.А. Ефимович, Е.В. Артамонов. - № 4790242/28; Заявл.08.02.90; Оpubл. 10.08.97, Бюл.№ 22.
5. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.; Отв. ред. Писаренко Г.С. - 2-е изд., перераб. и доп. - Киев: Наук. думка, 1988. - 736 с.
6. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости: Пер. с англ. - М.: Наука, 1975. - 576 с.

Тюменский государственный нефтегазовый университет

УДК 621.9.015

О.Н. ФЕДОНИН, Д.В. ЛЕВЫЙ

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МАТЕРИАЛА ЗАГОТОВКИ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

Рассмотрены вопросы изменения механических свойств материала заготовки в зоне резания, стружкообразование, приведены экспериментальные данные по этим вопросам. Предложен путь получения аналитических зависимостей описания формирования качества поверхностного слоя.

При изготовлении машин одной из основных задач, стоящих перед изготовителями, является обеспечение требуемых эксплуатационных свойств узлов и деталей [1,2]. Обеспечить требуемое сочетание эксплуатационных свойств деталей или требуемое сочетание параметров качества их поверхностных слоев можно путем использования эмпирических зависимостей, полученных методами планирования эксперимента или путем использования теоретических (аналитических) зависимостей, полученных описанием физической картины процесса резания.

Наиболее предпочтительными являются теоретические модели, описывающие физическую картину резания. Для аналитического описания процесса формирования качества поверхностного слоя деталей необходимо выявить основные причины, определяющие те или иные характеристики качества поверхностного слоя и описать их воздействие математически, с учетом основных физико-механических свойств материалов данных деталей. В