

6. Способ выработки облегченного двухслойного трикотажа / М. Мусаева, Н. Мусаев, Г. Гуляева, М. Мукимов, И. Турдиев // Материалы международной научно-практической конференции «Global science and innovations 2019: Central Asia» / Объединение юридических лиц в форме ассоциации общенациональное движение «Бобек». – Астана, 2019. – С. 285–289.
7. Новый способ получения двухслойного трикотажа / М. М. Мукимов, М. М. Мусаева, В. Турдиев, К. М. Холиков // VIII Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции развития образования, науки и технологий» / Центр перспективных научных публикаций. – Москва, 2019. С. 313–317.
8. Мусаева, М. М. Двухслойный трикотаж с повышенной формоустойчивостью / М. М. Мусаева, Ф. Уткиров // Материалы докладов 52-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов : в 2 т. / УО "ВГТУ". – Витебск, 2019. – Т. 2. – С. 310–313.
9. Шустов, Ю. С. Основы текстильного материаловедения : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям : 260700 "Технология и проектирование текстильных изделий", 240200 "Химическая технология полимерных волокон и текстильных материалов", 071500 "Художественное проектирование изделий текстильной и легкой промышленности" и спец. 080502 "Экономика и управление на предприятии" / Ю. С. Шустов. – Москва: МГТУ им. А. Н. Косыгина : Совьяж Бево, 2007. – 302 с.
10. Поспелов, Е. П. Двухслойный трикотаж / Е. П. Поспелов. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 208 с.

УДК 621.787:621.91

**АЛГОРИТМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА
ИНТЕНСИВНОСТИ ОСТАТОЧНЫХ
НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ДРОБЕУДАРНОМ
УПРОЧНЕНИИ ДЕТАЛЕЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

*Назаров С.Р., асс., Касимов Б.М., асс., Шин И.Г., д.т.н., проф.
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности.
г. Ташкент, Республика Узбекистан*

Ключевые слова: остаточные напряжения, дислокация, деформационное упрочнение, дробеударная обработка, запасенная энергия, усталостная прочность.

Реферат. Приведен алгоритм расчетного метода определения интенсивности остаточных напряжений, формируемых в поверхностном слое зубьев пильного диска – самой массовой детали волоконотделительных машин (джинов и линтеров). Расчет технологических остаточных напряжений через скрытую (запасенную) энергию деформации основывается на дислокационной модели механизма пластической деформации металлов, позволяющей синтезировать микро- и макроскопическую картину пластичности под действием силовой нагрузки при дробеструйной обработке микрошариками. Рассмотрены основные причины возникновения остаточных напряжений и их тесная взаимосвязь с эксплуатационными характеристиками ответственных деталей машин – усталостной прочностью и износостойкостью.

Производительность и надежность машин текстильной отрасли (машины первичной обработки хлопка, прядильные машины, ткацкие станки и др.), а следовательно,

качество и себестоимость перерабатываемого хлопка-сырца и волокна определяются долговечностью массовых деталей их рабочих органов, например пыльные диски и колосники волоконотделительных машин – джинов и линтеров; пара «кольцо-бегунок» кольцепрядильных и крутильных машин; зуб батана одноименного механизма ткацкого станка типа СТБ и т.п. Основными критериями работоспособности этих массовых деталей технологических машин являются прочность и износостойкость.

В результате деформационного упрочнения, оцениваемого глубиной и степенью наклепа, возрастает износостойкость поверхностного слоя из-за уменьшения смятия и истирания металла при его непосредственном контакте. Упрочнение металла в значительной степени влияет на усталостную прочность деталей машин через технологические остаточные напряжения, формируемые в поверхностном слое и характеризующиеся величиной, знаком и глубиной их распространения.

Между пределом выносливости и остаточными напряжениями поверхностного слоя существует установления экспериментально во многих работах [1] взаимосвязь, выраженная соотношением

$$\sigma_{-1} = A - B \sigma_{\text{ост}}, \quad (1)$$

где σ_{-1} – предел выносливости металла после его механической обработки резанием; $\sigma_{\text{ост}}$ – остаточные напряжения поверхностного слоя, возникшие в результате механической обработки, с учетом их знака; А и В – постоянные.

Ввиду трудоемкости экспериментальных исследований разработка и совершенствование расчетных методов определения остаточных напряжений после финишной обработки деталей машин представляет важное направление в современной технологии машиностроения, связанное с обеспечением требуемого качества поверхностного слоя и прогнозирования долговечности изделий в эксплуатационных условиях.

В основе формирования технологических остаточных напряжений содержится необратимое и неоднородное распределение деформаций по объему поверхностного слоя деталей машин. Неоднородное деформированное состояние возникает в результате неоднородной пластической деформации при обработке сталей и сплавов давлением (волочение, прокатка, ковка), резанием (точение, шлифование), ППД – поверхностного – пластическим деформированием (обкатка шариком или роликом, обдувка дробью).

Неоднородная пластическая деформация может быть вызвана также интенсивным нагревом и охлаждением, когда напряжения возрастают согласно зависимости вида

$$\sigma = \alpha Et, \quad (2)$$

где α – коэффициент линейного расширения при действующей температуре, 1/град; t – температура нагрева, °С; E – модуль нормальной упругости при действующей температуре, Н/мм².

Если термические напряжения (2) превзойдут предел текучести σ_T обрабатываемого материала, то в поверхностном слое в зоне нагрева формируются остаточные напряжения.

Вследствие неоднородного изменения объема при фазовых превращениях как в твердом состоянии (закалка, старение, цементация стали твердым карбюризатором и другие физико-химические процессы), так и при неоднородном протекании фазовых превращений из жидкого в твердое состояние и, наоборот, происходит формирование остаточных напряжений. Так, например, при переходе перлита (плотность $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$) в мартенсит ($\gamma = 7,76 \text{ г/см}^3$) появятся остаточные напряжения сжатия. Таким образом, формирование остаточных напряжений зависит от действия трех различных, но взаимообусловленных факторов: механический (силовой), тепловой и структурно-фазовый.

При обработке резанием и ППД вследствие трения между контактными поверхностями инструмента и обрабатываемой поверхностью детали ее внешний поверхностный слой подвергается пластической деформации растяжения, а слой металла, расположенный ниже, растягивается упруго. После прохождения инструментом рабочей зоны упруго растянутый нижележащий слой стремится сжаться, но этому препятствует наружный пластически деформированный слой. В итоге во внешнем слое формируется напряжение сжатия, а во внутреннем – растяжения.

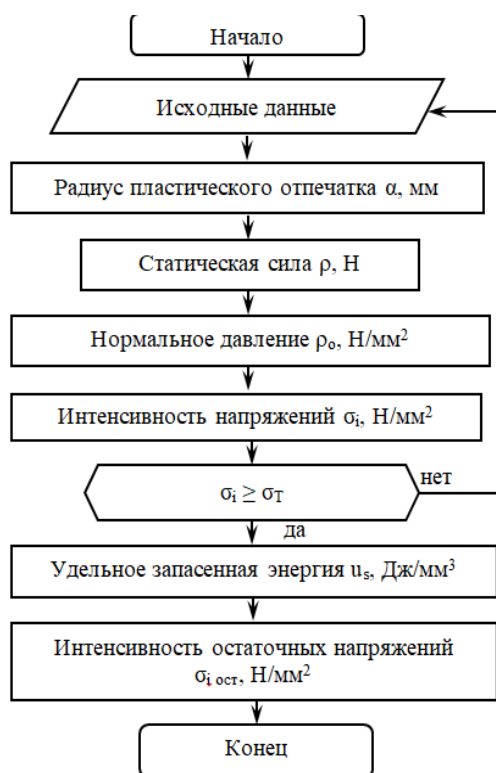


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма расчета интенсивности технологических остаточных напряжений по уровню скрытой энергии деформации

Основанного на теории дислокаций из физики твердого тела, применительно к упрочняющей технологии деталей машин – дробеуструйной обработке микрошариками зубьев пильных дисков волоконотделительных машин – джинов и линтеров.

В качестве исходных данных приняты следующие параметры: скорость v , диаметр D (масса m) и плотность ρ микрошарика; предел текучести σ_T , твердость HB обрабатываемого материала, коэффициент Пуассона μ , модуль упругости E , модуль сдвига G обрабатываемого материала.

Аналитические исследования параметров качества поверхностного слоя, в частности, такой важной характеристики, как остаточные напряжения и построение адекватных моделей упругопластического деформирования сталей и сплавов при механической обработке деталей, приобретают особую актуальность. Это вызвано тем, что полученные зависимости позволят обеспечить требуемые параметры качества поверхностного слоя деталей (глубина и степень упрочнения, сжимающие остаточные напряжения, плотность дислокаций, шероховатость поверхности). Таким образом, решается вопрос оптимизации технологических процессов механической обработки деталей, а разработка соответствующих алгоритмов и методик создают базу для САПР ТП обработки деталей, что значительно расширяет возможности этой системы и способствует широкому внедрению данных методов в современное машиностроительное производство.

Разработан алгоритм (рис. 1) расчетного метода определения интенсивности технологических остаточных напряжений, осно-

Интенсивность остаточных напряжений $\sigma_{i \text{ ост}}$ рассчитывается по модифицированной формуле Фриделя [2]

$$\sigma_{i \text{ ост}} = \frac{1}{1 + \mu} \sqrt{\frac{E}{2}} \cdot \sqrt{U_s}, \text{ Н/мм}^2, \quad (3)$$

где U_s – удельная запасенная (скрытая) энергии деформации.

Данная энергия определяется на основе теории дислокаций

$$U_s = \frac{(\sigma_i - \sigma_T)^2}{4\pi(1 - \mu)G\beta^2} \cdot \ln \frac{G\alpha}{\sigma_i - \sigma_T}, \text{ Дж/мм}^3, \quad (4)$$

где β – численная константа, равная 0,3 ... 0,6.

При невыполнении условия пластичности $\sigma_i \geq \sigma_T$ следует интенсифицировать процесс дробеструйной обработки за счет увеличения скорости полета микрошариков (роста давления сжатого воздуха) или увеличения его диаметра (массы). Однако последнее может привести к изменению шероховатости поверхности, что следует обязательно учитывать при изменении режимных параметров обработки.

Хорошая сопоставимость результатов аналитического и экспериментального исследований [3, 4] подтверждает корректность и адекватность расчетного метода определения технологических остаточных напряжений, что позволяет с высокой степенью надежности использовать его в прогнозной оценке усталостной прочности и долговечности ответственных деталей машин и механизмов при переменных режимах нагружения.

Список использованных источников

1. Маталин, А. А. Технология машиностроения : учеб. для вузов. / А. А. Маталин – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
2. Шин, И. Г., Максудов, Р. Х., Муминов, М. Р., Шодмонкулов, З. А. Дислокационная модель формирования технологических остаточных напряжений в деталях машин и оценка их интенсивности // Вестник машиностроения. – 2014. – № 9. – С. 30–34.
3. Овсенко, А. Н., Малолетнев, А. Я., Остапенко, В. А., Ключин, А. Р. Влияние дробеструйного и гидродробеструйного упрочнения на малоцикловую ударную усталость высокопрочной стали // Вестник машиностроения. – 1982. – № 6. – С. 35–37.
4. Шин, И. Г. Технологические методы обеспечения качества и прогнозирования долговечности деталей машин первичной обработки хлопка / автореф. дис... докт. техн. наук. – Ташкент: ТИТЛП, 2014. – 90 с.