

Литература

1. Фильтрующие материалы: перспективные области применения в агропромышленном комплексе и современные технологии получения: монография / В.М. Капцевич [и др.]. – Мн.: БГАТУ, 2006. – 189 с.
2. П.А. Витязь, В.М. Капцевич, Р.А. Кусин. Фильтрующие материалы: свойства, области применения, технология изготовления. – Минск: НИИ ИП с ОП, 1999. – с. 304.
3. А.с. 801058 СССР. Устройство для переливания хладгена / В.А. Кривонос, О.Г. Расин, В.К. Шелег и др. // Открытия. Изобретения. – 1981. – №28.
4. Коваленко В.П., Ильинский А.А. Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений. – М.: Химия, 1982. – 272 с.

Abstract

The basic methods of regeneration of filter materials based on metal powders, fibers and grids used in agroindustrial complex have been considered.

УДК: 621.901

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НОЖЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КОНДИТЕРСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**Т.С. Скобло, д.т.н., профессор, Е.Л. Белкин, инженер,
С.П. Романюк, аспирант, А.И. Сидашенко, к.т.н., профессор**
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, г. Харьков, Украина

Выполнен анализ структурных изменений в процессе эксплуатации режущего инструмента, используемого для дробления орехов в кондитерском производстве из конструкционной стали 65Г. С помощью математических методов проведена количественная оценка степени деформации различных областей ножа.

Постановка проблемы

Постоянно возрастающие требования к качеству выпускаемой кондитерской продукции требуют совершенствования технологий не только самих изделий, но и повышения требований к элементам оборудования. Резка орехов осуществляется стальными дисковыми ножами, которые совершают вращательные движения.

Исследуемые ножи изготовлены из холоднокатаных сталей 65Г и 20Х13, толщиной 0,64мм, имеют очень дисперсную структуру, и оценить металлографически соотношение фаз, а также выявить их перераспределение при интенсивной пластической деформации в процессе эксплуатации не представляется возможным. Для определения степени деградации разработали специальную методику, основанную на математическом описании ее выявления [1]. Для этого сопоставительно анализировали до- и после эксплуатации режущую кромку (подвержена интенсивному износу), а также зоны у основания ножа и его середины, которые работают в условиях циклического деформационного воздействия.

Детальный анализ структур, формирующихся в процессе трения под действием высокого давления, повышенной температуры (особенно в зоне режущей кромки) является важной задачей, поскольку выкрашивание приводит к накоплению продуктов износа в перерабатываемой продукции.

Целью работы является оценка структурообразования ножей из стали 65Г до- и после эксплуатации с помощью анализа изображений методами математического анализа.

Анализ исследований и публикаций

Круглые и дисковые ножи используют главным образом для резки пластичных и мягких материалов [2]. Лезвие при этом гладкое или с плавными зубьями. Чтобы условия резки были благоприятными, рекомендуется выбирать радиус диска ножа в 2,5 – 3 раза больше толщины разрезаемого материала. Окружные скорости ножа в основном используют в пределах $10...80 \text{ мс}^{-1}$. Круговые ножи удобны тем, что при соответствующей конструктивной форме они втягивают разрезаемый материал в зону резки. Плоские ножи широко применяются в пищевой промышленности. Работают они в большей части по принципу разрезания давлением или ножниц. Толщина ножа должна быть как можно меньше, так как при резании сопротивление сильно увеличивается. На силу резания влияет угол заточки резака ножа. Оптимальные параметры угла заточки ножа составляют $12...20^\circ$. При выборе оптимального режущего органа большое значение отводится также выбору материала ножа. При использовании ножа в пищевой промышленности он должен отвечать требованиям гигиены, быть износостойким и иметь незначительный коэффициент трения.

Дисковый режущий инструмент для дробления орехов изготавливают из холоднокатаной тонколистовой стали 65Г (отечественные) или нержавеющей 20Х13 (зарубежные) [3]. В процессе эксплуатации при одинаковых условиях ножи, изготовленные из разных сталей, выходит из строя по разным причинам.

Материалы и результаты исследования

Для сопоставительного анализа использовали новый режущий инструмент из конструкционной холоднокатаной тонколистовой стали 65Г и тот, который был изъят после эксплуатации.

Для количественного анализа структурных изменений в процессе эксплуатации в дисковых ножах была разработана методика математической обработки изображений [1], которая включала 17 групп цветов (0 – 9 относятся к ферриту, 10 – к аустениту и 11 – 16 к карбидной фазе) от 0 до 255.

С помощью регрессионного анализа проанализировали, как процентное содержание одного цвета зависит от изменения доли другого. Для этого рассматривали все переборы цветов во взаимодействии друг с другом.

При анализе внимание обращали на зависимости аустенита с другими фазами: 4-й, 5-й, 6-й, 9-й цвета (это феррит с разной долей углерода) определяли с одинаковым или отличающимся коэффициентом корреляции к аустениту. Показано, что 10-й цвет аустенита определяет долю карбидов (11-го цвета).

При проведении математического анализа стали 65Г выявлена зависимость (до эксплуатации) между ферритом, максимально насыщенным углеродом (9-й цвет) и аустенитом (10-й цвет). Связей феррита и карбидов не очень много, но они существуют. Феррит (9-го цвета) более сильно коррелирует с карбидом 11-го цвета (с минимальной концентрацией углерода).

В стали 65Г после эксплуатации также сохраняются сильные зависимости между 9-м цветом и 10-м, а также - 9-м и 11-м. При этом коэффициент корреляции в уравнениях регрессии значительно выше, чем у нового режущего инструмента. В то же время в режущем инструмента в результате деформации появилась сильная зависимость, которой не было в новом ноже. 10-й цвет аустенита определяет количество карбидов 11-го и 12-го цветов (с минимальной концентрацией углерода), что свидетельствует о его распаде с образованием этих карбидов при эксплуатации. В стали 65Г после эксплуатации выявлена зависимость между чистым ферритом и карбидами цементитного типа.

Анализируя значения функций (дивергенции, лапласиана, обобщенного градиента) для изображений при разных увеличениях, пришли к выводу, что все функции зависят от увеличения изображения на фотографии. С его увеличением возрастает и значение функций. Коэффициент корреляции хотя и небольшой, но он один и тот же для всех функций. Значение коэффициента регрессии положительно (то есть, с увеличением коэффициента увеличения возрастает и значение функции). Значение этого коэффициента регрессии зависит от среднего значения функции: чем она больше, тем больше коэффициент регрессии. Поэтому были посчитаны средние результаты (табл.1) для каждого образца отдельно по лезвию и основной части (основание и середина).

Таблица 1 - Значения средних исследованных функций

Цвет	Среднекв. отклонение цвета	Обоб- щенный градиент	Лапла- сиан	4-й лапласиан	Дивер- генция	Область ножа	Сталь 65Г
105.8	029.7	035.7	121.3	434.6	064.0	Лезвие	До экс- плуатации
128.9	030.6	038.3	130.7	460.9	069.0	Основная часть	
102.2	046.8	054.6	179.7	612.6	096.3	Лезвие	После эксплуата- ции
111.3	044.7	053.8	174.2	589.3	093.8	Основная часть	

Из табл.1 видно, что в результате эксплуатации происходит изменение среднего цвета (в результате уменьшения концентрации углерода), как по лезвию, так и основной части. Микрорентгеноспектральным анализом были получены данные, подтверждающие уменьшение количества углерода в режущей кромке, что соответствует выполненным результатам расчетов. Благодаря математической обработке изображений получена информация о том, что обезуглероживанию подвержены все области режущего инструмента. Среднеквадратичное отклонение (46,8) цвета свидетельствует о неравномерности процесса обезуглероживания.

Проведенное сравнение средних значений функций показало, что после эксплуатации значения всех функций в полтора раза больше, чем до эксплуатации. Это результат того, что на структуру ножа, кроме температуры, влияют и центробежные силы, возникающие при больших оборотах режущего инструмента. В результате данного исследования можно сделать вывод о том, что во время эксплуатации меняется структура стали как лезвия, так и основной его части. Причем изменения функций сравнимо с характером процессов, соответствующих термообработке [4].

Более детально сравнили функции до и после эксплуатации. Чтобы не учитывать коэффициент регрессии в зависимости от степени увеличения, сравнивали интересующие соотношения при одних и тех же степенях увеличения, оцениваемых структур, или близких к ним. Расчет сравнения провели для дивергенции. Для остальных функций величины сравнения практически такие же, как и для дивергенции. Сравнивали отношение дивергенции лезвия после эксплуатации к дивергенции до эксплуатации при увеличении 5000. Это отношение значений составляет 181.3 к 62.5, то есть изменяется в 2.9 раза. В результате установлено, что после длительной эксплуатации структура лезвия стала более хаотичной, имела место пластическая деформация, ползучесть, что характерно для термостойкой стали. В такой стали могут возникнуть пустоты (поры). Выявлено и трещинообразование.

При увеличении 5000 эти процессы выявляются в большей мере, чем при 2000 и 1000, что подтверждает факт локальности. Это характерно как для лезвия, так основания и середины дискового ножа.

При увеличении 5000 дивергенция, относящаяся к структуре стали 65Г после эксплуатации, значительно больше, чем до эксплуатации, как по лезвию, так и по основанию и середине, что свидетельствует о деформации всего ножа при эксплуатации. Однако по лезвию она значительно больше, чем по основанию и середине (почти в 1.8 раза). Это свидетельствует о том, что в лезвии в процессе эксплуатации происходит больше структурных изменений, чем в основанной части ножа.

В результате проведенного анализа получены данные о том, что в стали 65Г после эксплуатации наблюдается значительная пластическая деформация. О наличии такой деформации свидетельствуют выявленные одного цвета полосы скольжения (результат как заточки лезвия, так пластической деформации при эксплуатации) и устойчивая сетчатая структура.

В ходе работы были получены данные по распределению однородности структуры, на основании которых можно утверждать, что наибольшее число неоднородных структур принадлежит стали 65Г после эксплуатации (например, изображение лезвия при увеличении 5000, на котором однородность почти везде меньше 0.5). Это подтверждает вывод о значительных структурных изменениях в процессе эксплуатации и нестабильности карбидной фазы в стали 65Г.

Следует отметить, что в стали 65Г до эксплуатации (изображение при увеличении 10000) формируется заметное количество структур, на которых неоднородность меньше 0.5. Это связано со слишком большой степенью увеличения изображения режущей кромки (локальностью).

Рассматривали пиксели, для которых абсолютная величина дивергенции больше 255, что соответствует бейнитной или мартенситной структуре. Для этих дисков сомнительно, чтобы термообработка способствовала получению таких структур. В процессе эксплуатации возникают мелкие трещины, формируются пустоты, сталь довольно капризная. Бейнитные структуры могут образоваться и за счет локальных повышенных концентраций углерода, возникающих при колебаниях (вибрациях) диска в процессе эксплуатации.

Проведенным анализом изображения с максимальным количеством бейнитной или мартенситной структур, установлено, что они выявляются после эксплуатации, что характеризует особенности структурных изменений.

Сочетания цветов на фотографиях определенным образом связаны со структурой металла. Распределение цветов подчиняется правилам, которые соответствуют определенным законам физики. Используя распределение Бозе-Энштейна, применяемое в статистической физике, выполнено исследование различных сочетаний цветов вокруг общей точки. Расчет проведен для

9 точек: одна из которых расположена в центре и 8 точек вокруг нее. Максимальное количество сочетаний цветов для этих точек будет равно девяти.

После эксплуатации (особенно для основания и середины) есть смещение гистограмм вправо, т. е. в сторону увеличения сочетаний цветов. Выявляется больше сочетаний разных цветов (возрастает неоднородность структуры), чем до эксплуатации. Но в связи с разным увеличением сравнение смещения проводили по усредненным значениям в лезвии и остальным зонам гистограмм. Смещение гистограмм вправо свидетельствует о диффузионном характере изменения структуры после эксплуатации.

После эксплуатации стали 65Г в лезвии число сочетаний увеличилось в 1.2 раза, а в других зонах - в 1.45 раз. Можно обоснованно считать, что количество фаз пропорционально количеству сочетаний цветов. Такое изменение позволяет оценить характер диффузии. Она происходит из-за ползучести в результате вибрации диска.

На основании полученных данных по сочетанию цветов вокруг общей точки с учетом полученных гистограмм, проведено сравнение изображений с помощью критерия Колмогорова [5]. Рассматривали все сочетания фотографий по две. Для каждого сочетания производили сравнение гистограмм цветов (первой и второй гистограмм Бозе), то есть вычисляли вероятности совпадений. Результаты этого расчета приведен в табл. 2. В ней представлены вероятности только тех, сочетаний фотографий, для которых вероятности больше 0.5. Таких результатов оказалось 9.

Гистограммы Бозе в сочетании с гистограммой цветов с помощью критерия Колмогорова, даже без учета распределения исследованных функций, дают представление об идентичности анализируемых фотографий.

Из табл.2 видно, что гистограммы лезвия 01 совпадают с гистограммами лезвия 04 (сталь 65Г до эксплуатации), а также с гистограммами лезвия 12 (сталь 65Г после эксплуатации).

С небольшой вероятностью (0.5) отмечается совпадение изображений лезвия нового ножа 02 и 03, а также лезвия фото 03 с лезвием после эксплуатации 15.

Похожи между собой изображения структуры основания (06) нового ножа с серединой (11), а также основание (18) и середина (20) ножа после эксплуатации.

Выявлено совпадение средних частей ножей нового (10) и после эксплуатации (20).

Проанализировав данные табл. 2, можно сделать вывод, что лезвие и основная часть ножа (середина и основание) очень редко похожи. Из 190 комбинаций очень мало совпадений, т.е. структура лезвия и остальных частей ножа (середина, основание) мало похожи. Существенно отличаются структурой ножи до и после эксплуатации.

Таблица 2 - Результаты анализа похожих фотографий по гистограммам цветов и Бозе

№ 1 фото	№ 2 фото	Вероятность совпадения	Увеличение фото 1	Увеличение фото 2
01	04	1.0	2000	2000
01	12	1.0	2000	2000
02	03	0.5	500	1000
02	08	1.0	500	100
03	15	0.5	1000	3000
04	12	0.9	2000	2000
06	11	0.8	500	5000
10	20	1.0	10000	5000
18	20	0.8	5000	05000

Гистограммы Бозе в сочетании с критерием Колмогорова дают представление об идентичности анализируемых фотографий.

Нейтральность и числа нейтральности можно отнести к объективной физической характеристике стали. Нейтральность связана с процессами, происходящими в структуре при термообработке и эксплуатации (пластической деформации, сопровождаемой процессами текучести, порообразованием и диффузией углерода).

Анализируя свойства нейтральности фотографий, было обнаружено, что если взять точки рисунка только для отрицательных и только для положительных лапласианов, то первый будет заметно ярче второго. Это говорит о том, что точек с отрицательным лапласианом заметно меньше и они ярче. Для четвертого лапласиана картина обратная. Выявлено, что точки на фотографии, соответствующие отрицательным лапласианам, смещены в сторону расположения карбидов, а соответствующие положительным лапласианам – в сторону феррита. Смещение цветов показывает, что к большим по абсолютной величине лапласианов относится меньшее число точек. После эксплуатации заметно увеличивается смещение (разность) цветов, что указывает на структурные превращения.

Рассмотрены коэффициенты множественной корреляции между отношением числа точек с отрицательным лапласианом к числу точек с положительным лапласианом, алгебраической величиной нейтральности (с учетом знака), абсолютной величиной нейтральности, однородностью и процентом общей доли феррита, аустенита, карбида. Для всех изображений при разных увеличениях коэффициенты корреляции изменяются в пределах от 0.3 до 1 (в отдельных случаях). Средние значения коэффициентов корреляции для материалов ножей до- и после эксплуатации, в лезвии и основной части ножа изменяются в пределах от 0.4 до 0.7.

Проведен анализ влияния и значимости факторов для анализируемых структурных составляющих. Нельзя однозначно сказать, какой из факторов наиболее значимый. Для разных случаев значимы фазы феррита, для других аустенита, для третьих - карбида. Средние значения значимости фаз по исследуемым образцам приведены в табл. 3.

Таблица 3 - Средние значения значимости факторов в лезвие и основной части исследуемых ножей до и после эксплуатации

Фактор	феррит	аустенит	карбид	Область ножа	Примечание
Отношением числа точек с отрицательным лапласианом к числу точек с положительным лапласианом	1.6	1.1	2.0	Лезвие	До эксплуатации
	1.1	1.9	2.3	Основная часть	
	1.3	1.2	1.4	Лезвие	После эксплуатации
	1.1	1.0	1.0	Основная часть	
Алгебраическая величина нейтральности	1.1	1.0	1.1	Лезвие	До эксплуатации
	1.4	1.5	1.2	Основная часть	
	1.3	1.2	1.6	Лезвие	После эксплуатации
	1.1	1.1	1.3	Основная часть	
Абсолютная величина нейтральности	1.6	1.1	1.8	Лезвие	До эксплуатации
	1.6	2.4	2.2	Основная часть	
	1.5	1.1	1.6	Лезвие	После эксплуатации
	1.2	1.1	1.1	Основная часть	
Однородность	1.2	1.4	1.4	Лезвие	До эксплуатации
	1.1	1.2	1.2	Основная часть	
	1.0	1.1	1.8	Лезвие	После эксплуатации
	1.2	1.3	1.2	Основная часть	

Чем больше показатель отличается от 1, тем интенсивнее влияние фактора. То, что однородность влияет на цвет, подтверждено и другими работами [4,6]. Новизна этих исследований заключается в том, что впервые, введенные в расчет новые три фактора, несомненно, являются физически значимыми. Из табл.5 видно, что каждый из введенных факторов по-своему влияет как в лезвиях, так и в зонах основания и середины для разных анализируемых вариантов. При этом влияние заметно.

Рассмотрен еще один аналитический метод для выявления изменения концентрации углерода в фазах. Разложение гистограмм по трем базисам дает представление о том, из каких основных сочетаний фаз состоит фрагмент 10 на 10 пикселей. Для каждого фрагмента строили гистограмму цветов. Она состоит из 16 интервалов с цветом от 0 до 255. Точно так же, ее строили для всей фотографии. Выбор базисных гистограмм производили

по каждому из 16 цветов. Из всех фрагментов выбирали тот, для которого процент рассматриваемого цвета был наибольшим. Базисными гистограммами были те, на которых содержание рассматриваемого цвета было близко или равно 100 %. Выбор тех трех базисов, для которых величина квадратичного отклонения, была бы минимальной, производили путем перебора всех 16 базисов по 3. В результате получили для каждой фотографии список сочетаний базисов и фрагментов, относящихся к каждому сочетанию. Обычно 5 сочетаний базисов достаточно, чтобы охватить основную массу фрагментов. В результате проведенного анализа был сделан вывод, что в лезвие, середину и основание, в основном, входят похожие базисы. На фрагментах 10 на 10 пикселей изображений ножей основной фазой является феррит с небольшой долей карбидов. Аустенит выявлен только локально в ноже лезвия при увеличении 5000.

С помощью математической обработки изображений получены данные о том, что происходит деформация всего ножа при эксплуатации. В лезвии она значительно больше, чем в зоне основания и середины. Это свидетельствует о том, что в лезвии после заточки и последующей эксплуатации происходит больше структурных изменений, чем в основанной части ножа. Анализ изображений при больших увеличениях подтвердил локальное изменение структуры.

Заключение

1. С помощью математической обработки был проведен сопоставительный анализ металлографических изображений ножей, изготовленных из стали 65Г до- и после эксплуатации. Показано, что структура стали до эксплуатации значительно отличается от формируемой после эксплуатации.

2. При проведении анализа установлено, как процентное содержание одного цвета зависит от доли другого. В обоих ножах выявлена зависимость между ферритом, максимально насыщенным углеродом с аустенитом, а также карбидами с минимальной концентрацией углерода. При эксплуатации аустенит распадается с образованием этих карбидов.

3. Выполнено исследование различных сочетаний цветов на фотографиях, используя распределение Бозе-Энштейна. Полученные данные об увеличении сочетаний разных цветов после эксплуатации свидетельствует о неоднородности структуры. Анализ гистограммы Бозе в сочетании с гистограммой цветов с помощью критерия Колмогорова показал существенное отличие структуры ножей до и после эксплуатации.

4. Проведен подбор основных сочетаний фаз на фрагментах 10 на 10 пикселей для выявления в них изменения концентрации углерода. Разложением гистограмм по трем базисам получили пять основных сочетаний, на основе феррита и карбидов.

Литература

1. Скобло Т.С. Методика математической оценки фазового состава стали /Т.С.Скобло, Е.Л.Белкин, С.П.Романюк // Вісник ХНТУСГ: [«Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві»]. - Випуск 146. – Харків, 2014. - С.8-24.
2. Оборудование для механической переработки в пищевых производствах: [учеб. пособие] / В.Н. Долгунин, В.Я. Борщев, А.Н. Куди, О.О. Иванов.– Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн.ун-та, 2005. – 80 с.
3. Скобло Т. С. Процессы, происходящие в тонкостенных ножах при их изготовлении и эксплуатации /Т.С.Скобло, С.П.Романюк, Е.Л.Белкин, А.И.Сидашенко //Промышленность в ФОКУСЕ.– 2014. – № 3. - С.54-57.
4. Скобло Т.С., Ключко О.Ю., Белкин Е.Л. Применение компьютерного анализа металлографических изображений при исследовании структуры высокохромистого чугуна //Заводская лаборатория. Диагностика материалов.–2012.-№ 6 (78).- С.35-42.
5. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика/ А.И. Кобзарь. — М.: Физматлит, 2006. — 816с.
6. Скобло Т.С., Ключко О.Ю., Белкин Е.Л. Исследование структуры высокохромистого комплекснолегированного чугуна с применением методов математического анализа //Сталь.–2012.-№ 3 -С. 46-52.

Abstract

The analysis of structural changes in the operation of the cutting tool used for nuts crushing in the confectionery industry of structural steel 65Mg is carried out. Using the mathematical methods the quantitative estimation of deformation degree different blade areas is carried out.

УДК 621. 629.3; 669.54. 793

ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

С.К. Тойгамбаев¹, к.т.н., профессор,

С.О. Нукешев², д.т.н., доцент, С.Н. Романюк², аспирант

*¹Московский государственный университет природообустройства,
г. Москва, Российская Федерация, ²Казахский агротехнический
университет им. С.Сейфуллина, г. Астана, Республика Казахстан*

В статье приводится краткий анализ существующих способов восстановления бронзовых подшипников скольжения. Изложены некоторые результаты исследований и опытов в области восстановления их работоспособности. Предлагаются конструктивные решения приспособлений для восстановления подшипников скольжения.