

УДК 621.901

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРНЫХ  
ИЗМЕНЕНИЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ  
СТАЛЕЙ 65Г И 20Х13 С ПОМОЩЬЮ  
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ**

**Скобло Т. С., д.т.н., проф., Белкин Е.Л., инженер,  
Романюк С. П., аспирант**

*Харьковский национальный технический университет сельского  
хозяйства имени Петра Василенко*

*Выполнен сравнительный анализ исходных и формируемых в процес-  
се эксплуатации структур ножей из сталей 65Г и 20Х13. Проведена  
оценка фазового состава и его процентного содержания в режущей  
кромке и основной части режущего инструмента. Дана рекомендация по  
повышению стойкости ножей за счет стабилизации карбидной фазы  
дополнительным упрочнением.*

**Постановка проблемы.** Для прогнозирования надежности оборудо-  
вания перерабатывающей промышленности необходимо знать законо-  
мерности процесса изнашивания режущего инструмента из разных мате-  
риалов для выбора наиболее эффективного или решения вопроса о до-  
полнительном упрочнении изделия.

Целью работы является оценка фазового состава и структуры ножей  
из сталей 65Г и 20Х13 до- и после эксплуатации с помощью анализа изо-  
бражений методами математического анализа.

В задачу исследований входило определение изменений, которые  
претерпевает нож в процессе эксплуатации в различных его зонах (ре-  
жущей кромке, у основания и в середине между ними).

**Анализ исследований и публикаций.**

Технические устройства для резки разнообразны [1]. Их конкретное  
использование зависит от цели технологического процесса, материала,  
свойств, вида и формы используемого инструмента и от принципа дейст-  
вия режущего устройства.

Дисковый режущий инструмент для дробления орехов в кондитер-  
ском производстве изготавливают из холоднокатаной тонколистовой ста-  
ли 65Г(отечественные) или нержавеющей 20Х13 (зарубежные) [2]. В  
процессе формирования режущей кромки и, в последствии, при трении и  
контактном взаимодействии с перерабатывающим сырьем в ножах про-  
текают различные процессы, которые и приводят к разрушению рабочей

части инструмента и не выполнение ими своих функций.

Так, для стали 20X13 характерен процесс выкрашивания [2], а режущая кромка ножа из стали 65Г пластически деформируется и заворачивается в результате зональной диффузии углерода.

### Материалы и результаты исследования

Исследования проводили сопоставительно на дисковых ножах, применяемых в кондитерском производстве для дробления орехов, изготовленных из холоднокатаной тонколистовой стали 65Г и 20X13. Для анализа использовали новый режущий инструмент и тот, который был изъят после эксплуатации.

Ножи из стали 20X13, производства США, по размеру и толщине соответствуют отечественным из стали 65Г (рис.1,а), но отличаются утолщенным ободком, который располагается сразу за режущей кромкой и предназначен для стабильной ее работы при эксплуатации. В сечении он на 0,08 мм больше (рис.1,б) основания.

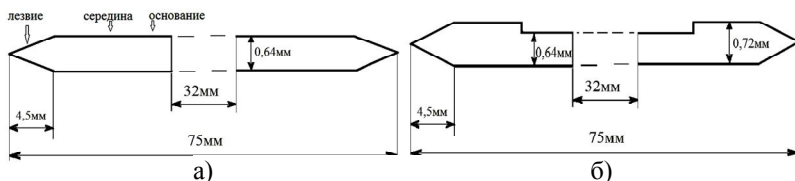


Рис. 1. Сечение ножей из стали 65Г (а) и 20X13 (б)

Для качественного и количественного анализа структурных изменений в процессе трения в дисковых ножах при дроблении орехов в кондитерском производстве была разработана методика математической обработки изображений [3].

Исследование структуры и однородности химического состава ножа после окончания срока службы проводили на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6390LV при ускоряющих напряжениях 10kV и 20kV.

Микрорентгеноспектральный анализ осуществляли при увеличении от 50 до 10000. Полученные фотографии в формате bmp были оцифрованы в формат pgm по специально разработанной программе, которая включает 256 (оттенков от черного до белого) цветов от 0 до 255. По результатам вычислений построены гистограммы распределения цвета на изображениях в областях режущего инструмента (рис.2).

Гистограммы распределения построены на цветах, кратных 17. Пример приведен на рис.3. Если рассматривать полутоновые изображения, то аустениту соответствует 10-й столбик (всего 16), с уровнем яркости 153 (всего 256 уровней яркости).

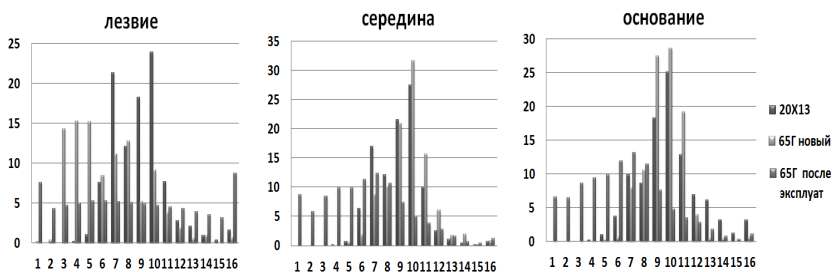


Рис. 2. Гистограмма структурных изменений (увеличение  $\times 5000$ ), полученные при сравнении ножей из стали 65Г до – и после эксплуатации, 20X13 после эксплуатации

Исследования при увеличении  $\times 5000$  показали большую неоднородность в распределении фаз как до, так и после эксплуатации, что связано с неоднородностью их распределения в исходном состоянии и особенно после эксплуатации в условиях интенсивного воздействия циклической деформации, сопровождающейся локальной деградацией отдельных зон.

Сопоставительно рассмотрены структурные изменения не только при увеличении 5000 раз (см. рис. 3), но и при  $\times 1000$  и  $\times 2000$  для того, чтобы оценить погрешность, вносимую увеличением изображения, а также позволить дать рекомендации для использования данного метода в условиях производства.

При увеличении  $\times 1000$  и  $\times 2000$  картина несколько изменяется по отношению к  $\times 5000$ , поскольку в большей мере она характеризует картину всей анализируемой зоны, а не локальных участков. Поэтому для выявления доли фаз рекомендуется использовать эти увеличения. Доля остаточного аустенита в лезвии нового ножа из стали 65Г составляет 15,7%, в то время как его максимальное количество в основании и середине достигает 31,4% и 35,1% соответственно. Картина несколько меняется в ноже из стали 65Г после эксплуатации: максимальное количество в лезвии остается лишь 5,1%, в основании 23,7%, а в середине режущего инструмента его доля достигает 12,9%.

Минимальное количество остаточного аустенита в стали 20X13 после эксплуатации составляет 3,6% в лезвии ножа при малых увеличениях ( $\times 500$ ), что в большей мере характеризует его среднюю долю в этой зоне. И более чем в 6 раз превышает эти значения при больших увеличениях. Это характеризует локальность изменения структур. Одновременно свидетельствует о неоднородности структуры и о том, что в процессе дробления орехов в режущей кромке ножа, возникающие повышенные температура и давление, приводят к распаду части остаточного аустенита. При этом максимальная доля аустенита наблюдается в средней его части и

достигает 27,7% (локальная неоднородность не проявляется). Содержание аустенита в основании ножа при разных увеличениях изменяется незначительно и отклонения от среднего значения не превышают 3-8,2%, характеризуя однородность структуры.

Процент аустенита, феррита и карбидов для лезвия, основания и середины ножей колеблется в довольно широких пределах. Это связано с разной степенью увеличения каждой фотографии и неоднородностью структуры. Поэтому было сделано усреднение для каждой фазы и результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Процентное содержание фаз в ножах

Феррит	Аустенит	Карбиды	Состояние ножа		Область ножа
81,44	7,10	11,46	новый	65Г	лезвие
84,20	3,1	12,70	после эксплуатации		
75,33	13,9	10,77	после эксплуатации	20Х13	
65,65	22,55	11,80	новый	65Г	середина
81,30	8,90	9,8	после эксплуатации		
53,2	27,3	19,5	после эксплуатации	20Х13	
53,75	24,05	22,20	новый	65Г	основание
64,70	14,00	21,30	после эксплуатации		
42,03	23,87	34,1	после эксплуатации	20Х13	

Из табл.1 следует, что в новом режущем инструменте, изготовленном из стали 65Г, в лезвии, основании и середине разное количество остаточного аустенита. Его минимальное количество (7,1%) в лезвие нового ножа свидетельствует о том, что аустенит при заточке распадается на феррит и карбиды. После эксплуатации доля остаточного аустенита заметно снижается во всех областях. Это свидетельствует о том, что во время эксплуатации происходит дополнительный распад остаточного аустенита. Отмечается увеличение доли ферритной фазы до 84,2%.

Изнашивание инструмента зависит не только от наличия углерода в стали, но и от его количественного содержания в каждой фазе, а также происходящих структурных изменениях. А именно, его процентное соотношение в феррите и карбидах. Так как структура ножа в разных его областях после эксплуатации значительно отличается, то было исследовано в них перераспределение углерода (лезвие - рис.4).

Показано, что интенсивная деформация внутри лезвия из стали 65Г приводит к распаду карбидов с разной концентрацией углерода с последующим перераспределением углерода в феррите и увеличением его до-

ли в нем до 49,3%. После эксплуатации за счет распада остаточного аустенита изменяется концентрация углерода в локальных зонах (рис.4,б, x5000), на его основе формируются феррит и карбиды различные по составу. Аналогичная картина характерна и для основания, а также середины ножа.

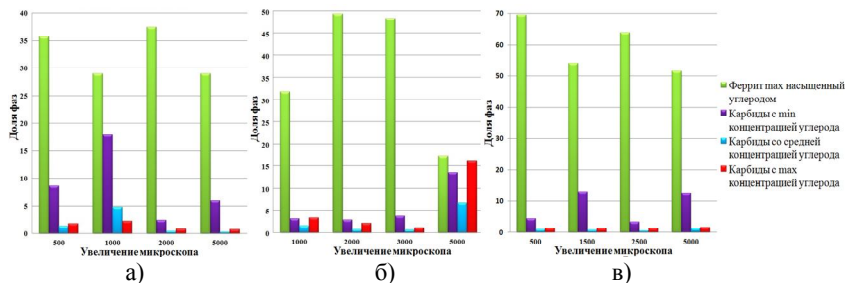


Рис. 4. Распределение углерода в феррите и карбидах в лезвие ножа из стали 65Г до (а), после (б) эксплуатации и из стали 20X13 после эксплуатации (в) при различных увеличениях

Поверхность ножа (поверхность заготовки, которая не подлежит заточке) и поверхность лезвия несколько отличаются процентным соотношением фаз и формой выделений. Меняется доля фаз и концентрации компонентов в подповерхностном слое. При заточке их доля также изменяется по сравнению со средней частью ножа.

Для повышения эксплуатационной стойкости ножей из стали 65Г является целесообразным проведение дополнительного упрочнения компонентами, уменьшающими склонность карбидной фазы к деградации за счет уменьшения диффузии углерода.

## Список использованных источников

1. 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.
2. Скобло Т. С. Особенности износа дисковых ножей для кондитерского производства /Т.С.Скобло, А.И.Сидашенко, С.П.Романюк //Промышленность Focus+.– 2012. – № 9. - С. 38 - 40.
3. 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.

## Анотація

### ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТРУКТУРНИХ ЗМІН РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ЗІ СТАЛЕЙ 65Г ТА 20Х13 ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ

**Скобло Т. С., Бєлкін Є. Л., Романюк С. П.**

*Виконано порівняльний аналіз вихідних і формованих в процесі експлуатації структур ножів зі сталей 65Г та 20Х13. Проведена оцінка фазового складу та його процентного вмісту в ріжучій кромці та основної частини ріжучого інструменту. Дана рекомендація щодо підвищення стійкості ножів за рахунок стабілізації фази карбиду додатковим зміцненням.*

## Abstract

### INVESTIGATION OF FEATURES OF STRUCTURAL CHANGES OF CUTTING TOOL OF STEEL 65MG AND 20CR13 USING THE MATHEMATICAL STATISTICS

**Skoblo T.S., Belkin E.L., Romaniuk S.P.**

*A comparative analysis of the initial knives structures and the generated during operation knife structures of steel 65Mg and 20Cr13 is carried out. The phase composition and its percentage in the cutting edge and in the main part of the cutting tool are estimated. The recommendation to increase the knives durability due to stabilization of the carbide phase by the additional hardening is made.*