

ные формы колебаний концентраторов с оптимальными значениями угла  $\varphi_0$ .

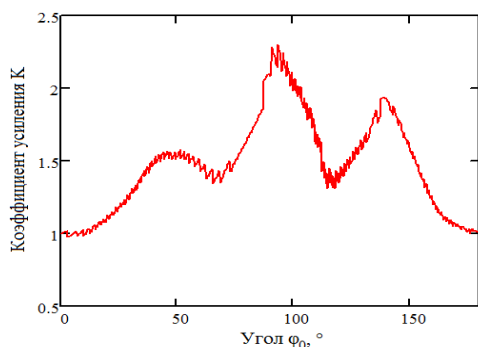
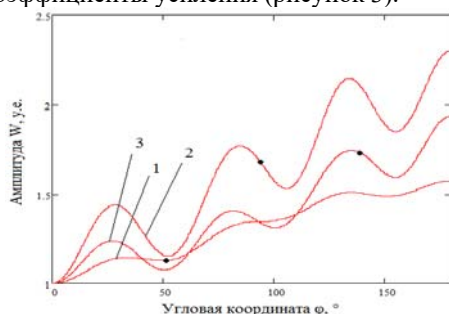
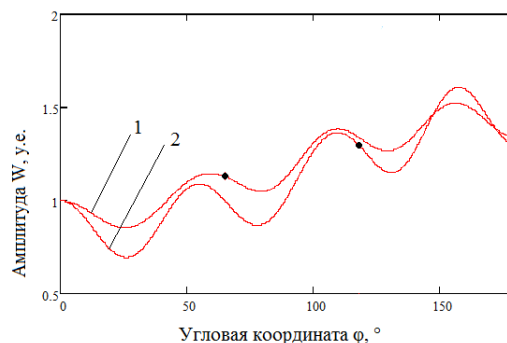


Рисунок 1 – Расчетная зависимость коэффициента усиления от угла  $\varphi_0$

Как видно, все расчетные собственные формы имеют одинаковое число максимумов амплитуды  $n = 7$  (на рисунке показаны только максимумы, находящиеся на половине длины окружности), что соответствует выбору одной моды колебаний при расчете. Границы сегментов обозначены на рисунке 2 точками на кривых. Для кривой 1 на входном сегменте находятся 2 максимума амплитуды и 5 максимумов – на выходном сегменте; для кривой 2: 4 максимума на входном сегменте и 3 максимума – на выходном; для кривой 3: 6 максимумов на входном сегменте и 1 максимум – на выходном. Для собственных форм, для которых на выходном сегменте находится четное число максимумов амплитуды, наблюдаются минимальные коэффициенты усиления (рисунок 3).



1 –  $\varphi_0 = 51,48^\circ$ , 2 –  $\varphi_0 = 93,6^\circ$ , 3 –  $\varphi_0 = 138,96^\circ$   
Рисунок 2 – Расчетные собственные формы колебаний концентраторов с оптимальными значениями угла  $\varphi_0$



1 –  $\varphi_0 = 65,52^\circ$ , 2 –  $\varphi_0 = 118,08^\circ$   
Рисунок 2 – Расчетные собственные формы колебаний концентраторов с минимальными значениями коэффициента усиления

Это объясняется тем, что из соображений геометрической симметрии в выходном сечении концентратора  $\varphi = 180^\circ$  должен находиться экстремум амплитуды, который при наличии на выходном сегменте четного числа максимумов может быть только минимумом.

Таким образом, показано, что для заданной моды колебаний двухсегментного концентратора зависимость коэффициента усиления от угла  $\varphi_0$  имеет множество минимумов и максимумов, соответствующих различному распределению числа максимумов амплитуды между входным и выходным сегментами. Максимальные значения коэффициента усиления при нечетном общем числе  $n$  максимумов амплитуды наблюдаются, когда на выходном сегменте находится нечетное число максимумов амплитуды.

### Литература

1. Степаненко, Д.А. Теоретическое обоснование возможности усиления ультразвуковых колебаний с помощью составных кольцевых упругих элементов / Д.А. Степаненко [и др.] // Электронный журнал «Техническая акустика». – 2017, 2. – 13 с.
2. Степаненко, Д.А. Исследование характеристик составных кольцевых концентраторов ультразвуковых колебаний с помощью метода передаточных матриц / Д.А. Степаненко [и др.] // Электронный журнал «Техническая акустика». – 2018, 2. – 11 с.

УДК 621.822.71

## КОЛЬЦЕВОЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ ШАРИКОВ ИЗ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ

Щетникович К.А., Судникович К.А., Окопчук Я.В

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Основным достоинством обработки шариков соосным инструментом является качественная приработка шариков к диску. Шарик относительно инструмента перемещаются по концентрическим кольцевым дорожкам тороидальной формы, и возрастающая площадь контакта спо-

собствует повышению точности шлифования или доводки изделий. Рассматриваемый метод чувствителен к погрешностям формы и размеров исходных заготовок. В начальный период обработки давление инструмента на шарики распределяется неравномерно и большие динамические

нагрузки могут вызвать повреждение заготовок из хрупких неметаллических материалов, имеющих максимальные размеры в партии.

В подшипниковой промышленности применяется шлифование шариков диском с окном и элеваторный метод обработки шариков, позволяющий шлифовать крупные партии заготовок [1]. Однако, при входе шариков в рабочую зону возникают ударные нагрузки и к прочности заготовок предъявляются повышенные требования. При шлифовании шариков из хрупких материалов элеваторным методом необходимо увеличить податливость инструмента для снижения динамических нагрузок, особенно при входе в зону обработки.

Инструмент для шлифования шариков 12 (рисунок 1) включает нижний приводной диск 11 закреплённый на шпинделе 13 и верхний неподвижный прижимной диск сборной конструкции, устанавливаемый на оправке 7.

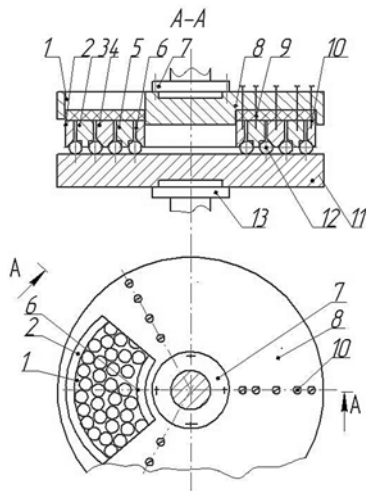


Рисунок 1 – Конструкция инструмента для шлифования шариков

В состав верхнего диска входят концентрические кольца 2,3,4,5 и 6, которые закреплены на круглой пластине 8, имеющей секторообразное окно 1. Кольца крепятся к круглой пластине через эластичную подложку 9 винтами 10. Наружное 2 и внутреннее 6 кольца выполнены цельными, а средние кольца 3, 4 и 5 имеют секторообразный вырез с тем же центральным углом, как и окно круглой пластины. Загрузочное окно в верхнем диске обеспечивает ввод шариков в зону обработки и их перемешивания после вывода из неё. В результате обрабатываемая партия шариков имеет точностные параметры одного уровня точности.

Кольцевые дорожки для размещения шариков имеют трапециевидный профиль и образованы горизонтальной поверхностью нижнего диска, коническими фасками и проточками на торцевой поверхности колец. Контакт шарика с инструментом по четырём поверхностям вызывает его

неизбежное скольжение хотя бы по одной из них. Как показано в [2] скорость скольжения более чем в 2,5 раза превышает максимальную скорость дифференциального проскальзывания по дугам контакта с дисками. Высокая скорость скольжения шариков относительно рабочих поверхностей дисков обеспечивает быстрый съём припуска с заготовок.

Максимальному динамическому воздействию заготовки подвергаются в момент входа на кольцевую дорожку. Из-за натяга в технологической системе происходит столкновение нижнего и верхнего дисков через промежуточный элемент – заготовку шариков. Величина силы, действующей на заготовку пропорциональна скорости сближения дисков и массе соударяемых через промежуточный элемент тел [3]. При сборной конструкции верхнего диска силовое воздействие на заготовку оказывает не вся масса диска с деталями крепления, а только два соседних кольца, установленных на эластичной подложке. Вследствие малой массы концентрических колец и их податливости в вертикальном направлении ударные нагрузки на шарики значительно уменьшается.

Линейные скорости нижнего диска с увеличением диаметра кольцевых дорожек возрастает, поэтому рабочие поверхности инструмента на периферии изнашиваются быстрее. Если оба диска цельные, то это приводит к увеличению натяга рабочих поверхностей дисков с шариками на внутренних кольцевых дорожках по сравнению с наружными и снижением интенсивности обработки на последних. При сборной конструкции верхнего прижимного диска кольца между собой жестко не связаны и установлены на эластичной подложке, что значительно уменьшает неравномерность натяга на разных кольцевых дорожках. Большая податливость колец в вертикальном направлении обеспечивает необходимую интенсивность шлифования на каждой дорожке вплоть до момента восстановления формы изношенных рабочих поверхностей инструмента.

Таким образом, сборная конструкция верхнего диска с отдельными кольцами, установленными на эластичной подложке, позволяет уменьшить ударные нагрузки на заготовки в момент входа в зону обработки. Количество шариков из хрупких материалов в обрабатываемой партии значительно увеличивается, так как шлифование заготовок можно выполнить диском с окном, а при наличии загрузочного устройства — элеваторным методом. Интенсивность обработки шариков на каждой кольцевой дорожке поддерживается на достаточно высоком уровне вследствие выравнивания величины натяга заготовок с инструментом несмотря на неравномерность его изнашивания.

### Литература

1. Олендер Л.А. Технология и оборудование шарикового производства / Л.А. Олендер. – Минск: Высшая школа, 1974. – 336 с.
2. Щетникович К.Г. Влияние осевой нагрузки на изменение условий скольжения при доводе

шариков сборным инструментом // Вестник машиностроения. – 2010. – № 1. – С. 13–17.

3. Филонов И.П. Механика процессов обкатки / Филонов И.П. – Минск : Наука и техника, 1985. – 328 с.

УДК 620.179.14

## ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ ОТЖИГА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ 9ХФМ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ

Счастный А.С., Короткевич З.М., Бурак В.А., Осипов А.А.

Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Важной задачей при создании режущих инструментов для деревообработки является контроль качества термообработки изделий из инструментальных легированных сталей. Отжиг является одним из основных видов термической обработки, которая позволяет уменьшить структурные неоднородности, снизить внутренние напряжения материала после либо до его механической обработки. При термообработке инструментальных легированных сталей температура отжига оказывает влияние на предел прочности и твердость, причем это влияние неоднозначно и зависит от ряда факторов. Контроль температуры отжига позволяет повысить качество, как изготавливаемой продукции, так и технологичность производства.

Применение стандартных неразрушающих магнитных методов для контроля отжига изделий и материалов из инструментальных сталей оказалось затруднительно из-за неоднозначной связи между их магнитными параметрами и температурой отжига. Большие возможности для решения данной задачи имеет многопараметровый импульсный магнитный метод [1, 2], заключающийся в намагничивании испытуемого объекта сериями импульсов магнитного поля с изменяющейся амплитудой и полярностью.

Исследовалось влияние температуры отжига образцов инструментальной легированной стали 9ХФМ (размером  $175 \times 175 \times 2,6 \text{ мм}^3$ ) на градиент напряженности поля остаточной намагниченности при их импульсном намагничивании. Образцы были подвергнуты отжигу при температурах от 20 до 800 °С.

Использовались два метода измерения. В первом случае намагничивание и измерение осуществлялось прибором ИМА-М [3]. Во втором случае намагничивание производилось рядом батареи конденсаторов блока ИМА-5Б [4] на прямоугольные катушки, которые имели размеры  $100 \times 35 \text{ мм}^2$ , расстояние между центрами катушек составляло 100 мм. Измерения осуществлялись градиентометром с параллельным расположением полузондов, подключенных к прибору ИМА-4М [4, 5].

Преобразователь ИМА-М устанавливался в центр исследуемого образца, а затем производилось намагничивание тремя сериями импульсов первого цикла, максимальная амплитуда намагничивающего импульса имела значение  $5,22 \cdot 10^5 \text{ А/м}$ .

Полученные зависимости для  $\nabla H_{rn0}$ ,  $\nabla H_{rnm}$ ,  $\nabla H_{rn}$ ,  $\nabla H_{rms}$  и  $\nabla H_{rmpi}$  представляют собой семейство однотипных кривых, которые в случае градиентов напряженности поля остаточной намагниченности  $\nabla H_{rn0}$ ,  $\nabla H_{rnm}$ ,  $\nabla H_{rn}$  представлены на рисунке 1.

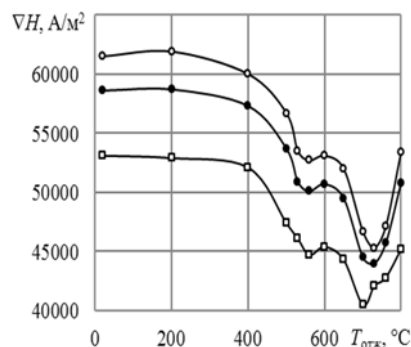


Рисунок 1 – Зависимость градиента напряженности поля остаточной намагниченности  $\nabla H_{rn0}$  – (1),  $\nabla H_{rnm}$  – (2),  $\nabla H_{rn}$  – (3) от температуры отжига образцов стали 9ХФМ

По полученным данным была построена математическая линейная модель для температуры отжига в зависимости от градиента напряженности поля остаточной намагниченности вида:

$$T_{отж. п.} = b_0 + b_1 \cdot \nabla H_{rn} + b_2 \cdot \nabla H_{rnm} + b_3 \cdot \nabla H_{rms} + b_4 \cdot \nabla H_{rn0} + b_5 \cdot \nabla H_{rmpi}, \quad (1)$$

где  $b_0 \dots b_5$  – коэффициенты уравнения.

Коэффициент множественной корреляции, для данной математической модели равен  $R = 0,951$  и приведенная относительная погрешность восстановления  $T_{отж}$  равна  $\gamma = 18 \%$ , а среднеквадратическое отклонение  $S = 97 \text{ °С}$ . Приведенная относительная погрешность восстановления вычисляется по формуле для коэффициента множественной корреляции  $R > 0,9$  согласно [6]