

## РАЗДЕЛ 2. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.9

### РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИНДУКТОРОМ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ

С.Л. Леонов, А.М. Иконников, Р.В. Гребеньков

Авторы излагают методику расчета магнитной индукции при магнитно-абразивной обработке плоских поверхностей индуктором на постоянных магнитах. Магнитная система спроектирована и рассчитана в среде Ansys. Магнитная система индуктора с постоянными магнитами представляет собой один, реже – два, расположенных друг над другом блока, составленных из отдельных магнитных ячеек. Каждый блок составляют из поочередно расположенных магнитов и стальных магнитопроводов, причем магниты устанавливаются так, что их одинаковые полюсы в каждой двух соседних ячейках обращены друг к другу. В результате работы была рассчитана магнитная индукция в рабочем зазоре при магнитно-абразивной обработке плоских поверхностей заготовок из ферромагнитных и немагнитных материалов индуктором на постоянных магнитах. Также расчеты показали распределение магнитно-абразивного порошка в рабочем зазоре, в зависимости от материала обрабатываемой заготовки. При магнитно-абразивной обработке ферромагнитной заготовки порошок в рабочем зазоре концентрируется в зонах с наибольшей плотностью силовых линий – под полюсами индуктора. При магнитно-абразивной обработке немагнитной заготовки расположение магнитно-абразивного порошка в рабочем зазоре оказывается иным, чем при полировке ферромагнитных заготовок: порошок концентрируется под магнитами, а не под полюсами индуктора.

**Ключевые слова:** магнитно-абразивная обработка, магнитная индукция, силовая линия, плоская поверхность, магнитный индуктор, постоянный магнит, магнитопровод, ферромагнитная заготовка, немагнитная заготовка, рабочий зазор, магнитно-абразивный порошок.

Возрастающие требования к поверхностям вызывают потребность совершенствовать и создавать новые способы отделочной и упрочняющей обработки [1]. Разработка теоретических основ процесса отделочной обработки материалов позволяет обеспечить научно обоснованный технологический процесс с оптимальной последовательностью и минимальным количеством необходимых операций.

К финишным операциям относится и магнитно-абразивная обработка. Сущность магнитно-абразивной обработки заключается в воздействии на обрабатываемую деталь порошковой ферромагнитной массы, уплотненной магнитной индукцией [2]. Именно от величины и распределения магнитной индукции ферромагнитная масса будет тем или иным образом распределяться в рабочем зазоре [3] между магнитным индуктором на постоянных магнитах и плоской поверхностью заготовки из ферромагнитных и немагнитных материалов [4]. При магнитно-абразивной обработке постоянные магниты располагаются в индукторе таким образом, чтобы магнит-

ная система индуктора состояла из магнитных ячеек, каждая из которых состоит из магнита и двух стальных магнитопроводов, размещенных у полюсных боковых поверхностей магнита [5] (рисунок 1).

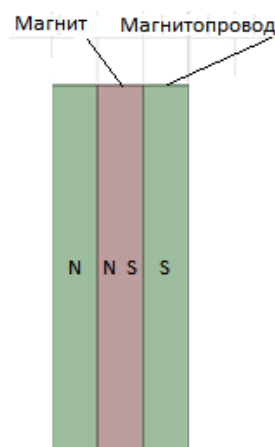


Рисунок 1 – Элементарная ячейка магнитной системы индуктора на постоянных магнитах

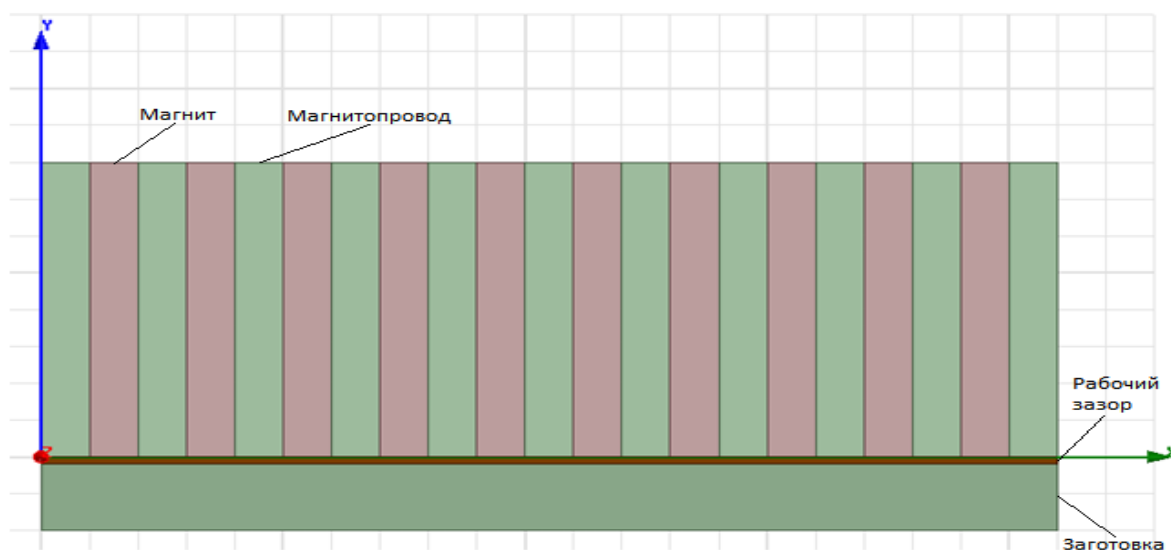


Рисунок 2 – Магнитная система индуктора на постоянных магнитах

У отдельной ячейки весь созданный магнитом поток переходит по воздуху со стального полюса N на стальной полюс S через их боковые и горизонтальные площадки, а также с ребер полюсов. При объединении отдельных ячеек в блоки боковые площадки не участвуют в передаче магнитного потока. Потоками с ребер полюсов ввиду их малости можно пренебречь.

Магнитная система индуктора с постоянными магнитами представляет собой один, реже – два, расположенных друг над другом блока, составленных из отдельных магнитных ячеек. Каждый блок составляют из поочередно расположенных магнитов ( $\text{SmCo}_5$ ) и стальных магнитопроводов, причем магниты устанавливают так, что их одинаковые полюсы в каждой двух соседних ячейках обраще-

ны друг к другу (рисунок 2). Размеры магнитов и магнитопроводов составляют 5x40 мм, величина рабочего зазора 1 мм, а размеры заготовки 105x19 мм. Данная система спроектирована в среде Ansys, в которой и будут проведены и представлены дальнейшие расчеты.

Каждый стальной магнитопровод при этом пропускает через себя поток, созданный двумя соседними магнитами. Нижние плоскости магнитопроводов с чередующимися полярностями являются магнитными полюсами на рабочей поверхности индуктора, обращенной к заготовке [6].

При полировании ферромагнитной заготовки картина силовых линий поля имеет вид, изображенный на рисунке 3

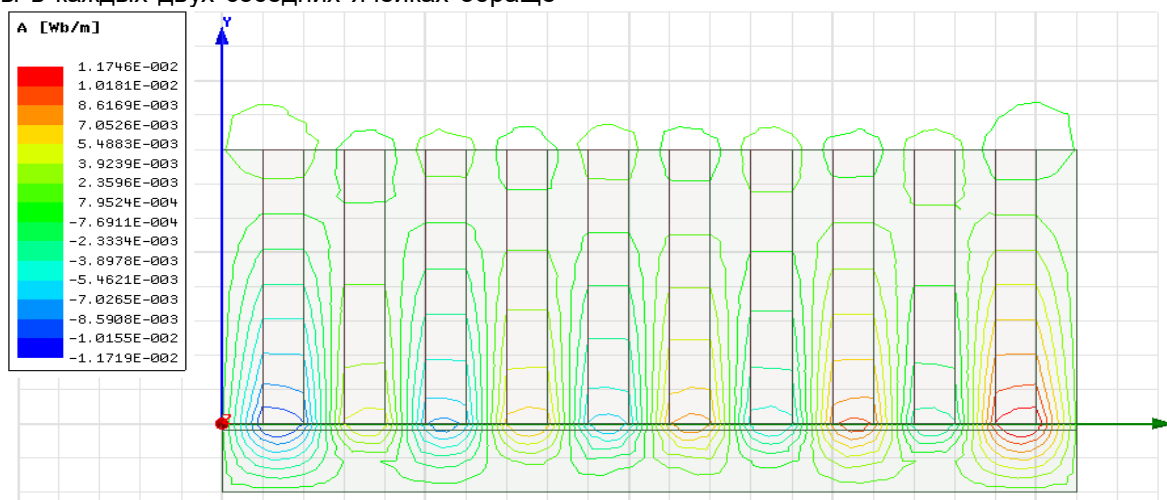


Рисунок 3 – Картина силовых линий поля при магнитно-абразивной обработке ферромагнитной заготовки

## РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИНДУКТОРОМ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ

Плотность силовых линий в рабочем зазоре под полюсом оказывается максимальной, благодаря высокой магнитной проводимости участков на пути прохождения силовых линий.

Наибольшим магнитным сопротивлением на пути силовых линий обладают участки рабочего зазора, заполненные магнитно-абразивным порошком, магнитная проницаемость которых  $\mu_{II} = (2 \div 4)\mu_0$ . При обработке ферромагнитной заготовки силовые линии дважды пересекают рабочий зазор. Длина этих участков мала, а значит и их магнитное сопротивление невелико. Длина участков пути по материалу заготовки благодаря близкому расположению разноименных полюсов индуктора тоже имеет малые значения, а

магнитная проницаемость на этих участках. По названным причинам падение магнитодвижущей силы на пути от одного полюса индуктора к другому имеет небольшую величину и в рабочем зазоре удастся создать высокие значения магнитной индукции. Магнитно-абразивный порошок в рабочем зазоре концентрируется в зонах с наибольшей плотностью силовых линий – под полюсами индуктора.

Измерение магнитной индукции при обработке ферромагнитной заготовки с удовлетворительной для практики точностью можно измерять как на рабочей поверхности индуктора (рисунок 4), так и на поверхности заготовки (рисунок 5).

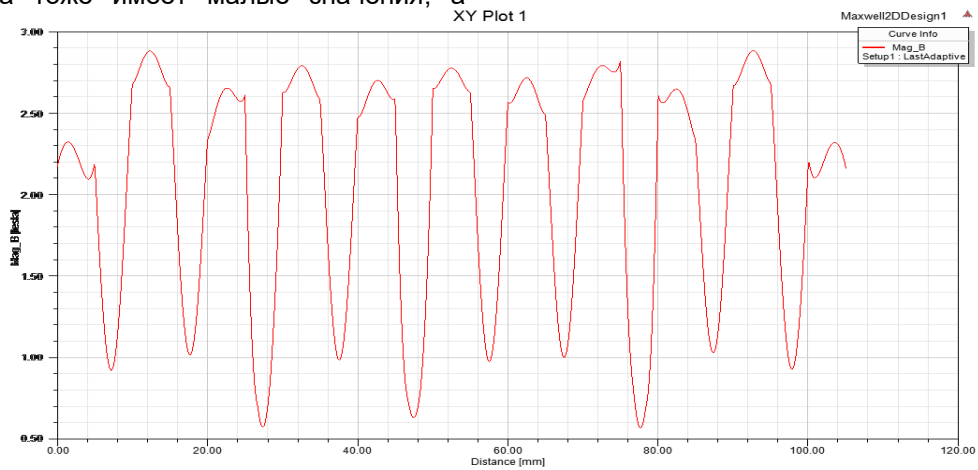


Рисунок 4 – Магнитная индукция на рабочей поверхности индуктора при магнитно-абразивной обработке ферромагнитной заготовки

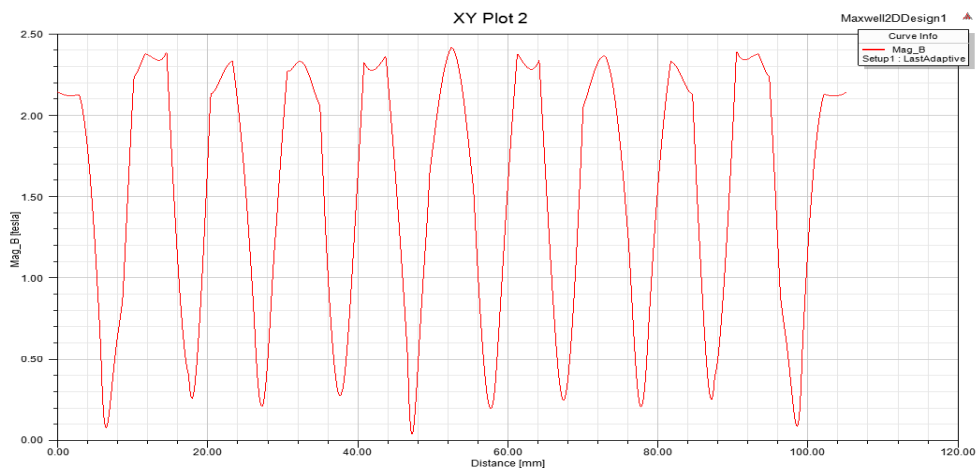


Рисунок 5 – Магнитная индукция на поверхности ферромагнитной заготовки при магнитно-абразивной обработке

При полировании магнитным индуктором ферромагнитной заготовки картина магнит-

ной индукции поля имеет вид, изображенный на рисунке 6.

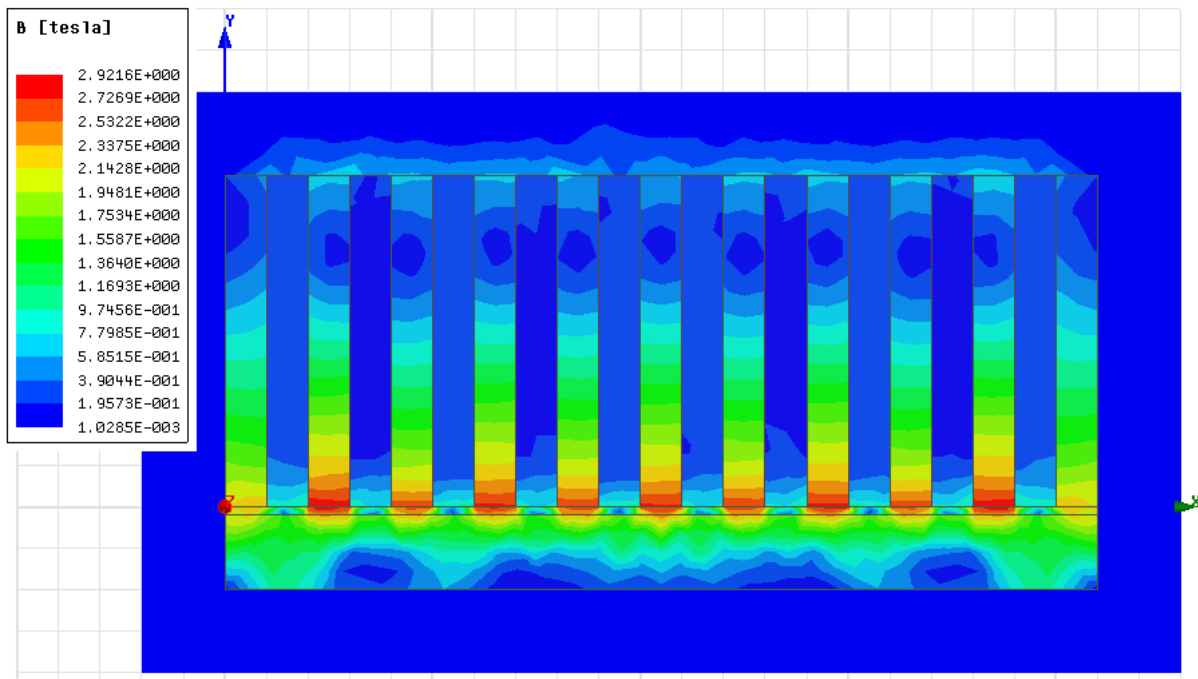


Рисунок 6 – Картина магнитной индукции поля при магнитно-абразивной обработке ферромагнитной заготовки

При полировании немагнитной заготовки картина силовых линий поля показана на рисунке 7. Силовые линии проходят от одного полюса индуктора к другому преимущественно вдоль рабочего зазора под магнитом, концентрируясь у боковых кромок стальных магнитопроводов. Из-за этого расположение магнитно-абразивного порошка в рабочем

зазоре оказывается иным, чем при полировании ферромагнитных заготовок: порошок концентрируется под магнитами, а не под полюсами индуктора. Длина участка пути силовых линий существенно влияет на проводимость этого участка и соответственно – на падение магнитодвижущей силы.

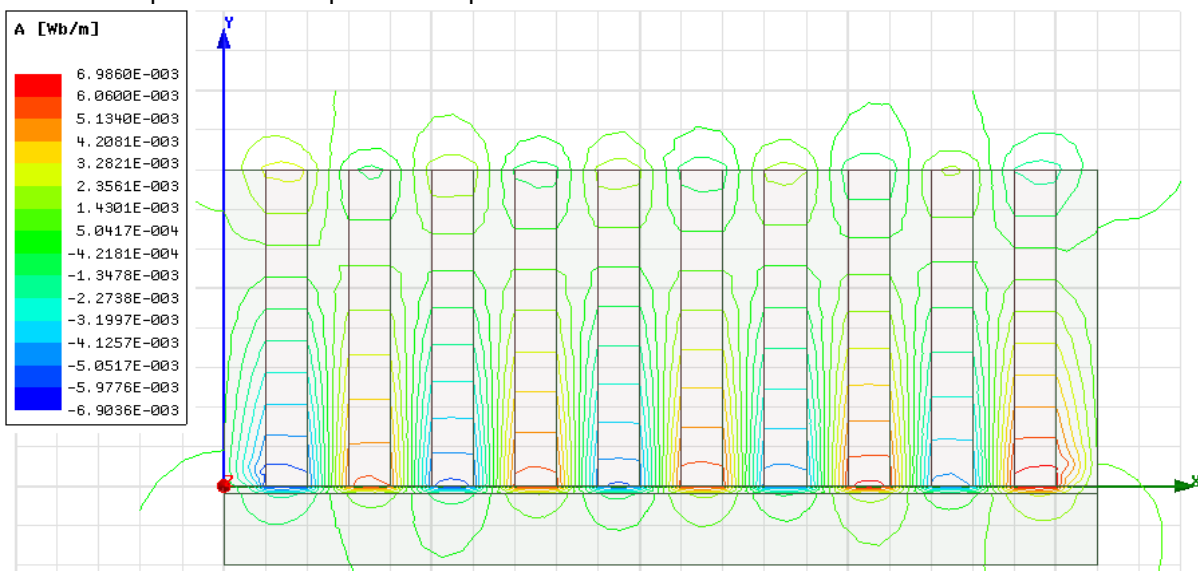


Рисунок 7 – Картина силовых линий поля при магнитно-абразивной обработке немагнитной заготовки

Измерение магнитной индукции в этом случае должно производиться на рабочей

поверхности магнитного индуктора (рис. 8).

## РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИНДУКТОРОМ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ

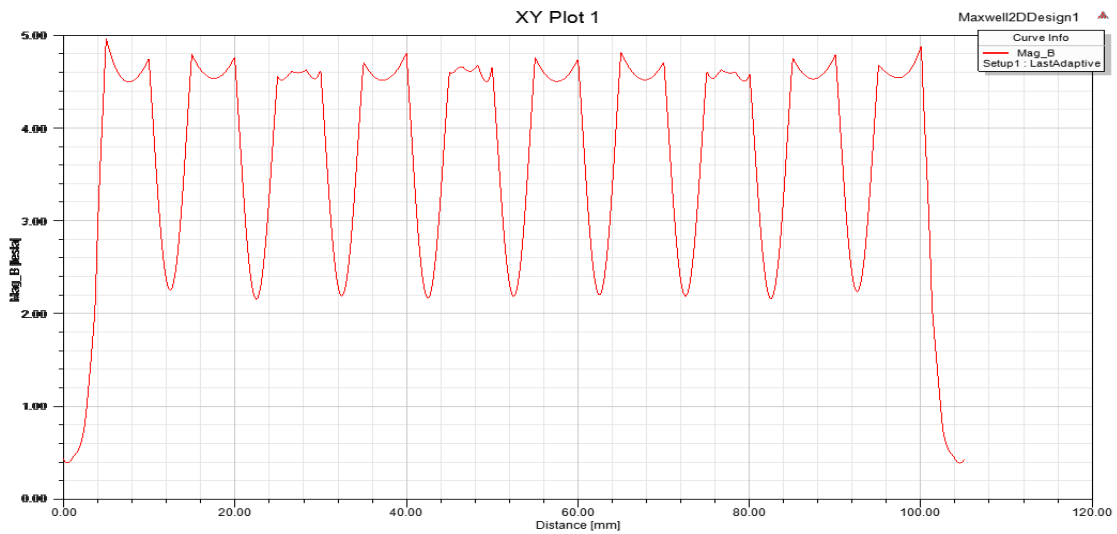


Рисунок 8 – Магнитная индукция на рабочей поверхности индуктора при магнитно-абразивной обработке немагнитной заготовки

Поскольку наличие или отсутствие немагнитной заготовки не влияет на силовые линии, измерение магнитной индукции можно выполнять без заготовки, но толщина слоя порошка на рабочей поверхности индуктора должна соответствовать выбранному значению рабочего зазора.

При полировании немагнитной заготовки картина магнитной индукции поля имеет вид, изображенный на рисунке 9.

Исследования показали [7] возможность расчета магнитной индукции в рабочем зазо-

ре между индуктором на постоянных магнитах и ферромагнитными и немагнитными заготовками с плоскими обрабатываемыми поверхностями в среде Ansys.

Изменить величину и распределение магнитной индукции можно, если регулировать магнитное сопротивление на пути силовых линий [8], или изменять долю силовых линий, направленных в рабочий зазор, в общем потоке силовых линий, созданном постоянным магнитом.

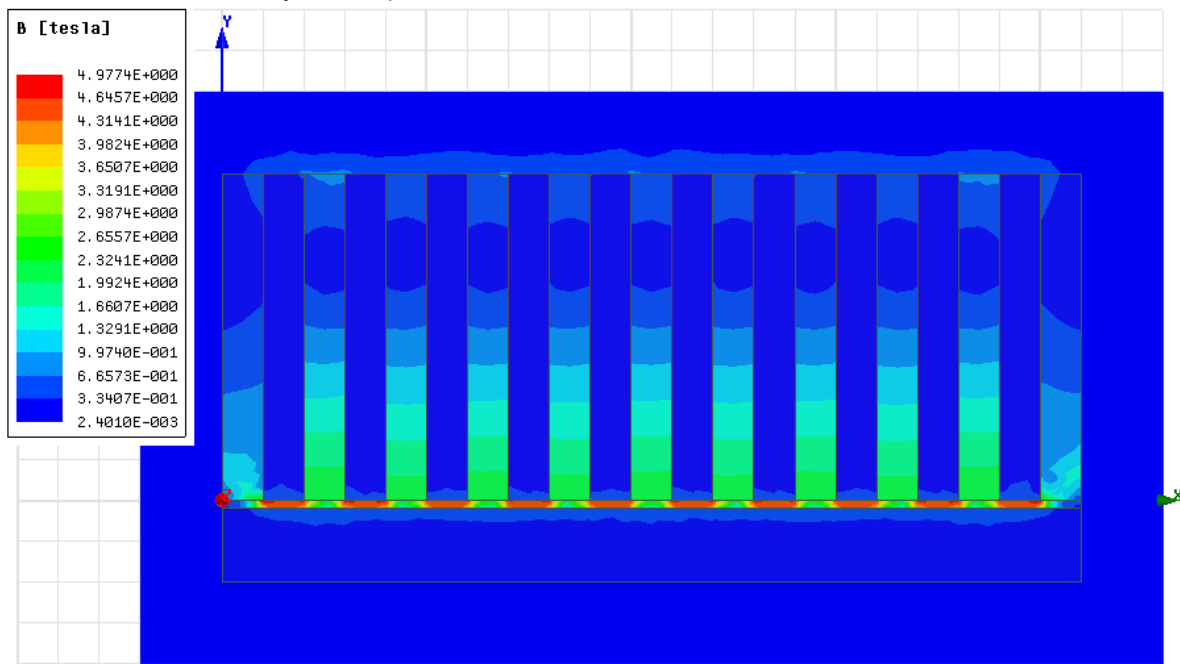


Рисунок 9 – Картина магнитной индукции поля при магнитно-абразивной обработке немагнитной заготовки

В результате работы была рассчитана магнитная индукция в рабочем зазоре при магнитно-абразивной обработке плоских поверхностей заготовок из ферромагнитных и немагнитных материалов индуктором на постоянных магнитах [9].

Также расчеты показали распределение магнитно-абразивного порошка [10] в рабочем зазоре, в зависимости от материала обрабатываемой заготовки. При магнитно-абразивной обработке ферромагнитной заготовки порошок в рабочем зазоре концентрируется в зонах с наибольшей плотностью силовых линий – под полюсами индуктора. При магнитно-абразивной обработке немагнитной заготовки расположение магнитно-абразивного порошка в рабочем зазоре оказывается иным, чем при полировании ферромагнитных заготовок: порошок концентрируется под магнитами, а не под полюсами индуктора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Татаркин, Е. Ю. Совершенствование технологических процессов изготовления деталей с помощью методики функционально-стоимостного анализа / Е. Ю. Татаркин, А. М. Иконников, Р. В. Гребеньков, С. С. Просеков // Ползуновский вестник. - 2016. - №3. - С. 57-62.
2. Барон, Ю. М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю. М. Барон. – Л. : Машиностроение, 1986. – 176 с.
3. Леонов, С. Л. Автоматическое регулирование рабочего зазора при магнитно-абразивной обработке пространственного сложных поверхностей / С. Л. Леонов, А. М. Иконников, Р. В. Гребеньков // Материалы 1-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы в машиностроении», Новосибирск, 2014. - С. 162-166.
4. Сакулевич, Ф. Ю. Основы магнитно-абразивной обработки / Ф. Ю. Сакулевич. – Минск : Наука и техника, 1981. – 328 с.
5. Иконников, А. М. Конструирование оснастки для магнитно-абразивного полирования путем имитационного моделирования / А. М. Иконников, В. С. Силивакин, Р. В. Гребеньков // Материалы III Всероссийской научно-технической конференции «Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы», Рубцовск, 2013. - С. 80-82.
6. Baron, Y. Characterization of the Magnetic Abrasive Finishing Method and Its Application to Deburring / Y. Baron, S. Ko, J. Park // Key Engineering Materials. – 2005. – P. 291–296.
7. Татаркин, Е. Ю. Методы творчества: учеб. пособие / Е. Ю. Татаркин, А. М. Марков, А. А. Ситников. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 1998. – 84 с.
8. Леонов, С. Л. Особенности применения метода конечных элементов при моделировании магнитного поля индуктора на постоянных магнитах в процессе магнитно – абразивной обработки / С. Л. Леонов, А. М. Иконников, А. Кулавник, Р. В. Гребеньков // Сборник трудов VIII международной научно-практической конференции «Инновации в машиностроении (ИНМАШ-2017)», Изд-во НГТУ, Новосибирск, 28-30 сентября 2017. – С. 140-145.
9. Приходько, С. П. Магнитно-абразивное полирование индукторами на постоянных магнитах / С. П. Приходько, Ю. М. Барон // Автотракторное электрооборудование. – 1983. – № 5. – С. 11-14.
10. Оликер, В. Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки износостойких покрытий / В. Е. Оликер. – М. : Металлургия, 1990. – 175 с.

**Леонов Сергей Леонидович**, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: sergey\_and\_nady@mail.ru

**Иконников Алексей Михайлович**, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: iamagtu@mail.ru.

**Гребеньков Роман Вячеславович**, аспирант, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: sigaset@yandex.ru.