

$$K_2 = -K_1 r_0^2 = -H_0 r_0^2. \quad (15)$$

После подстановки найденных постоянных K_1 и K_2 в (13) и (14), получаем окончательное выражение напряженности ЭМП

$$H = H_0 \left\{ - \left(1 + \frac{r_0^2}{r^2} \right) \cos \theta + \left(1 - \frac{r_0^2}{r^2} \right) \sin \theta \right\}. \quad (16)$$

Напряженность на поверхности детали ($r = r_0$) равна

$$H = -2H_0 \cos \theta.$$

Поскольку, согласно приведенного расачета напряженности H на обрабатываемой конической поверхности, ее наибольшее значение при $\theta = 0$ или $\theta = \pi$ будет равно $H = -2H_0$, то основным условиями эффективности МАО конических деталей сельскохозяйственных машин служат кинематические и динамические показатели процесса.

В результате проведенных исследований установлены аналитические зависимости для определения величины напряженности ЭМП на обрабатываемой поверхности пуансона, что обеспечивает определение динамики процесса и степень силового воздействия на обрабатываемые детали.

Abstract

In work researches of topography of a magnetic field are given in a working gap at magnetic and abrasive processing of conic surfaces of details of agricultural cars.

УДК 679.18:536.7-531.3.07

ОЦЕНКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СТАЛИ ЭВТЕКТОИДНОГО СОСТАВА

**А.И. Сидашенко, к.т.н., профессор, В.М. Власовец, д.т.н., профессор,
В.Н. Заец, аспирант**

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко, Харьков, Украина*

*Выполнена оценка неметаллических включений в стали 75 и их влияния
на коэрцитивную силу.*

Введение

В Украине широко используется технология помола сырья в барабанных шаровых мельницах. Для барабанных мельниц характерна сложность переоснастки (затрудненный пуск, повышенный износ редуктора) и при сильном износе шаров, их раскалывании и фрагментации необходимо пре-

рывать ее работу. А так как процесс помола циклический и не прерывный то надежность изделий напрямую зависит от качества помольных тел, уровень которого целесообразно оценивать неразрушающими магнитными методами, в частности по коэрцитивной силе (далее H_c). Для изготовления мелющих шаров методом поперечно-винтовой прокатки согласно ДСТУ 3499-97 используются стали с содержанием углерода 0,60-0,80% (пружинные стали 75, 65Г, рельсовая сталь М76), однако единого мнения по возможности контроля таких сталей по H_c на сегодняшний день нет [1].

Необходимость поиска новых технологических решений, позволяющих производить металл с высоким комплексом механических свойств свойствами, обуславливается ростом требований к качеству таких сталей. Одним из основных факторов, которые определяют уровень свойств являются неметаллические включения, которые неоднозначно влияют на уровень H_c [2]. Наиболее характерными для сталей являются эндогенные включения – это преимущественно карбиды, силикаты, сульфиды, нитриды, оксиды, которые образуются в металле в результате процессов, происходящих при выплавке и разливе. Зачастую присутствуют и экзогенные включения, которые попадают в металл извне (из огнеупорных материалов, при выплавке и разливе из шихты). Неметаллические включения оказывают определяющее влияние не только на уровень механических свойств, но и характер разрушения стали. Зарождение трещин у неметаллических включений обычно происходит либо в результате разрушения включения, либо при отделении включения от металлической матрицы.

Поэтому для повышения качества мелющих шаров важно не только обеспечить заданное структурное состояние металла, ограничить количество неметаллических включений для повышения комплекса механических свойств, но и обеспечить достоверный контроль их уровня и однородности неразрушающим магнитным методом. Поэтому выбранное направление является актуальным.

Основная часть

Целью выполненных исследований является оценка неметаллических включений в стали эвтектоидного состава, используемой для производства катанных мелющих шаров. Исследования проводили на трех катаных мелющих шарах $\varnothing 80$ мм, изготовленных из стали 75, следующего состава, %: 0,74 С, 0,82 Мн, 0,11 Si и 0,19 Cr. Шары подвергались закалке с прокатного нагрева самоотпуском на оборудовании, установленном в потоке шаропрокатного стана. В ходе выполнения данной работы шары предварительно отпустили при 600°C (2 ч), после чего подвергли закалке от 850°C в воде до полного остывания (температура воды - 20°C). После закалки по одному шару отпустили при 120 и 250°C с выдержкой 2 ч.

Для получения изображений в светлом поле при прямом освещении использовали горизонтальный металлографический микроскоп МИМ-8М (рис. 1) с объективами ахромат F=23,17 A=0,17 и апохромат F=4,3 A=0,95 с компенсационным окуляром 7^{*} с фокусным расстоянием 35 мм.

Исследования состава неметаллических включений и кристаллизующихся фаз, их распределения осуществляли на растровом электронном микроскопе-микроанализаторе JSM-820 Link "JEOL" с системой рентгеновского микроанализа Link AN10/85S "Link Analytical". При этом эффективный размер пятна составил 2–3 мкм.

Для определения параметров двумерной структуры в плоскости шлифа подсчитывали структурные составляющие на определённой его площади и вдоль секущей линии. Для автоматизации подсчёта использовали комплекс 2D и 3D моделирования – Autodesk AutoCAD [3].

Замеры H_c проводились с использованием коэрцитиметра КРМ-Ц с накладным преобразователем. Погрешность измерений не превышала 0,1 А/см (табл. 1).

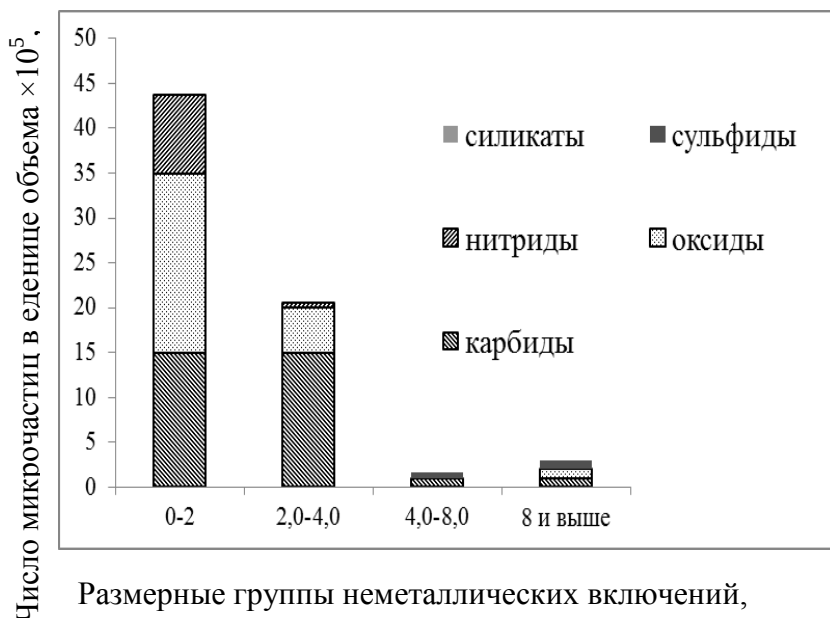


Рисунок 1 - Гистограмма распределения неметаллических включений по размерным группам в приповерхностном слое на глубине 1-2 мм отпущенного при 120°С.

Согласно ранее проведённых нами исследований [4] и известных данных других авторов [1], уровень H_c после закалки должен был быть максимальным (более 11,6 А/см). В данном случае отпуск металла при 120 °С повысил H_c на 8,6% (до 13,8 А/см). Это может быть обусловлено повышением уровня напряженно-деформированного состояния металла после обработки. Для определения причин такого повышения уровня H_c в шаре, отпущенном при 120 °С, по сравнению с шаром после закалки без отпуска провели дополнительные исследования.

В работе систематизировали количество и распределение неметаллических включений в стали 75. Степень влияния неметаллических включений на магнитные свойства электротехнической стали зависит от их числа, размеров, состава, формы и создаваемых ими напряжений. При перемагничивании стали включения препятствуют движению доменных границ, увеличивая магнитостатическую энергию. Последняя достигает наибольших значений, когда размеры включений соизмеримы с шириной доменных стенок (доли микрона).

Таблица 1. Показатели коэрцитивной силы по 3м образцам.

Сечения образцов ¹	Уровень H_c , А/см				
	1	2	3	4	5
без отпуска					
1	10,6	12,1	12,3	12,4	12,4
2	11,2	12,1	12,5	11,8	12,2
3	11,6	12	12,1	12,2	12
4	10,6	12,1	12,1	12,5	12,6
5	10,6	10,6	11,2	10,5	11,2
6	10,8	11,3	10,9	11,5	11,7
отпуск при 120 °С					
1	12	13,1	12,7	13,6	13,8
2	11,6	11,5	12,6	12,4	12
3	12	12,2	11,7	12,1	12,3
4	11,2	12,2	12,2	12,2	12
5	11,5	12,1	11,2	11,4	11,9
6	11,4	11,7	11,9	11,3	12
отпуск при 250 °С					
1	7,1	6,8	7,8	7,7	8
2	6,9	7,2	7,5	7,6	7,9
3	7,6	7,9	7,9	8,4	8,4
4	6,7	7,4	7,4	7,6	7,6
5	6,6	7,1	7,4	7,2	6,6
6	7,2	7,2	7,5	7,2	6,9

Примечание. ¹ Замеры H_c проводили в 6-ти точках (2, 4, 5, 6 по диаметру, 1, 3 – по перпендикулярным осям) по 5 измерений в каждой через интервал 1 мин.

Включения, имеющие неправильную, остроугольную форму (нитриды, цементит), вызывают сильное искажение матрицы, большие микронапряжения. Основным источником внутренних напряжений в стали является пластическая деформация, приводящая к резкому увеличению степени дефектности решётки и увеличению плотности дислокаций.

Влияние формы неметаллических включений на магнитные свойства стали определяется степенью и характером искажения её кристаллической решётки. Пластические включения глобулярной формы меньше искажают микроструктуру близлежащих объёмов и потому слабее воздействуют на магнитные свойства, чем иглообразные и твёрдые частицы. Включения создают вокруг себя напряжённую зону. Напряжения возникают в процессе охлаждения металла из-за большого различия коэффициентов термического расширения металла и включений, они могут вызывать перестройку доменной структуры на участках, в 300 и более раз превышающих объём включений [5].

Для исследованного металла характерна значительная доля неметаллических включений. Объёмная доля таких включений составила – $0,096 \text{ мм}^3/\text{мм}^3$. С использованием металлографического и микрорентгеноспектральных анализов установлено наличие в её составе карбидной фазы, в том числе карбонитридов, силикатов, сульфидов, нитридов и оксидов.

Оксиды железа содержат в растворе значительное количество закиси марганца (содержат до 38,07% Mn), образуя непрерывный ряд твердых растворов между FeO и MnO. Располагаются оксиды как отдельными включениями, так и группами (рис 2а). Размеры включений колеблются в широких пределах 0,1–10 мкм.

Для стали раскисленной кремнием также характерно формирование силикатных стекол (рис. 2б) различного химического состава, представляющих собой переохлажденный расплав, в котором преобладающим компонентом является SiO_2 .

Сульфиды. Это соединение железа с серой. Сера обладает неограниченной растворимостью в жидком и очень малой в твердом железе. Источниками попадания ее в сталь служат шихтовые материалы. Сера при кристаллизации стали образует легкоплавкую эвтектику, состоящую из железа и сульфидов железа и марганца, и поэтому увеличивает H_c . Отрицательное влияние серы (в пределах её содержания 0,005-0,03%) на магнитные свойства стали объясняется присутствием сернистых включений в большинстве случаев внутри зёрен и свободной серы на границах зёрен.

При наличии кислорода закись железа растворяет FeS и образует оксидосульфидные включения, состоящие из эвтектики FeO-FeS. Сульфидные включения в зависимости от условий кристаллизации могут выделяться в виде глобулей и пленок по границам зерен.

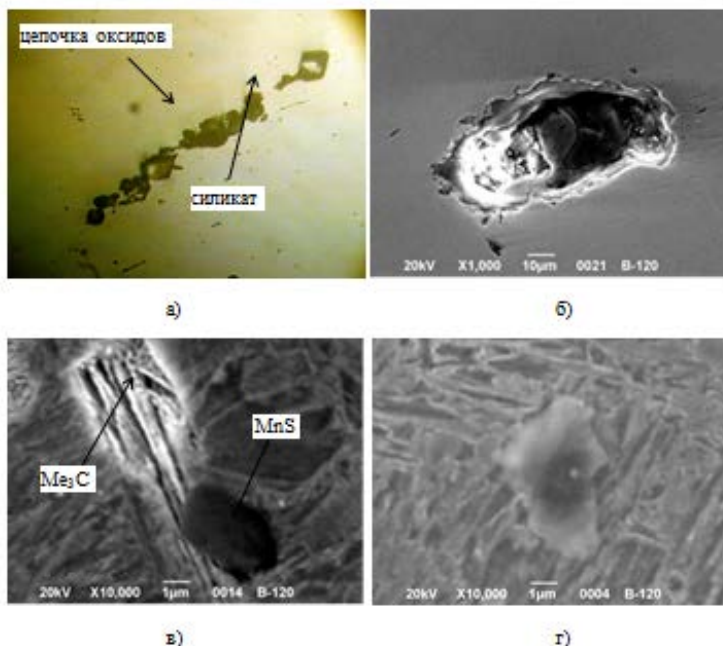


Рисунок 2 – Скопление сложных оксидов и силикаты в металле стали, х1000 (а), сложное включение на основе силикатного стекла (б), карбид железа, сульфид марганца(в), нитридное включение (г)

Марганец в процессе кристаллизации связывает большую часть серы, а малорастворимые сульфиды марганца. Сульфиды марганца выделяются из металла при высокой температуре в тот момент, когда содержание серы и марганца достигает равновесного значения [6].

Для исследованной стали характерно формирование карбидов цементитного типа двух основных размерных групп. В первую входят частицы размером 0,1 – 2 мкм. Химический состав таких карбидов в связи с недостаточной разрешающей способностью микроанализатора оценить не удалось, однако металлографическая оценка свидетельствует о когерентной или частично когерентной связи таких частиц с матрицей основного металла. Карбидная фаза данной группы выделилась при сравнительно низких температурах. Вторая группа – размером 2–4 мкм с отдельными включениями до 6 мкм имеет четкую огранку (рис 2, в), с матричной фазой когерентно не связанными, и образовалась при кристаллизации расплавленного металла. Такие включения содержат до 1,39% С и до 0,63% Мп. Так как марганец принад-

лежит к легирующим элементам расширяющим γ -область, то диффузия марганца в железе происходит значительно труднее, чем диффузия углерода. Поэтому равновесное содержание марганца в цементите, соответствующее стехиометрическому составу карбида $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ не обеспечивается. Как карбидообразующий элемент марганец может повышать потери на гистерезис. Известно [4], что содержание более 0,53% Mn наряду с цементитом может способствовать образованию нитридов марганца Mn_3N_2 и Mn_4N . Однако для данной стали зафиксировано только присутствие карбонитридов, которые содержат до 3,4% C, 12,28% N и до 0,46-0,59% Mn (рис 2, г). Учитывая, что карбиды и карбонитриды составляют основную долю неметаллических включений в исследованной стали и по данным [5] способствуют формированию микронапряжений в зоне деформаций у микрочастиц, то они и могут быть основной причиной повышенного уровня H_c металла шара отпущенного при 120 С в сравнении с закаленным.

Заключение

Основными включениями в исследованной стали являются карбиды, оксиды и карбонитриды, которые распределены неравномерно по всей глубине изделия. Наибольшее влияние оказывают неметаллические включения малых размерных групп 0,1–2 мкм и в меньшей мере 2–8 мкм. В малую размерную группу преимущественно входят карбидные частицы (которые и формируют значительную часть напряжений вокруг включений из-за когерентной или частично когерентной связи с матрицей) и оксиды. Сульфиды распределены по всей глубине, но в разных размерных группах, ближе к поверхности диаметр их хорд меньше, а в глубь диаметр хорд увеличивается и достигает 10-15 мкм. Силикаты разрознены, количество их незначительно, по сравнению с остальными включениями из-за низкого содержания кремния.

Литература

1. Михеев М. Н. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля. / М. Н. Михеев, Э. С. Горкунов – М.: Наука, 1993. – 249 с.
2. Морозов, А.Н. Водород и азот в стали/А.Н. Морозов. - М.: Металлургия, 1968. - 284 с.
3. Вестник ХНТУСХ. Вып. №148 2014г/Власовец В.М., Ефременко В.Г., Заец В.Н./Разработка методики автоматизированного подсчета количества неметаллических включений в стали при оценке качества изделий.
4. Власовец В.М., Скобло Т.С., Ефременко В.Г., Заец В.Н. Оценка возможности неразрушающего контроля отпуска мелющих шаров из стали 75 по коэрцитивной силе. Вестник ХНТУСХ. – 2014.- вып.146.- С273.
5. Щербинин В. Е. Магнитный контроль качества металлов. / В. Е. Щербинин, Э. С. Горкунов – Екатеринбург: УрО РАН, 1996. – 263 с.

6. Гудремон Э. Специальные стали. Т1. М.: «Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии», 1959. – 952с

7. Литвинова Т.И., Пирожкова В.П., Петров А.К. Петрография неметаллических включений; - Москва: «Металлургия», 1972. – 183с.

8. Нарита. Кристаллическая структура неметаллических включений в стали, - Москва: «Металлургия», 1969. – 190с.

Abstract

The estimation of nonmetallics is executed in steel 75 and their influences on a coercitivity.

УДК 621.9:621.762.8

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

В.А. Протасевич¹, к.т.н., доцент, С.И. Шунько², мл.н.с.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»¹,

ГНУ Физико-технический институт НАН Беларуси²

г. Минск, Республика Беларусь

Поиск технических решений, направленных на повышение ресурса деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин, является актуальной задачей развития сельскохозяйственного машиностроения РБ.

Введение

Анализ конструктивно-технологических характеристик, условий эксплуатации и срока службы деталей, работающих в абразивной почвенной среде показывает, что для их реновации необходимо находить новые технические решения повышающие ресурс. Предлагаемые технические решения позволяют свести к минимуму затраты на импортные запчасти для рабочих органов почвообрабатывающих машин и увеличить их долговечность в 2...3 раза.

Основная часть

Традиционно, сельскохозяйственное машиностроение РБ производит такие детали рабочих органов почвообрабатывающих машин, как диски луцильников, зубья борон, из стали 65Г ГОСТ 4543-71, характеристики и физико-механические свойства которой достаточно изучены [1]. Однако, при закалке стали 65Г с высокой твердостью (60...65HRC), снижается вяз-