

Рис. 3. Скол алмазного зерна при разрушении алмазно-металлической композиции

Изучение природы разрушения этой композиции показывает, что при нагружении алмаз разрушается хрупко, раскалывается, а металлическая матрица оказывается неспособной релаксировать трещины, зародившиеся как в алмазе, так и в матрице [5].

Заключение. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Введение в состав связей адгезивно-активного компонента (титан) способствует резкому понижению краевого угла смачивания и повышению работы адгезии сплава по отношению к алмазу. Смачивание здесь определяется химическим взаимодействием металли-

ческого расплава с поверхностью алмаза и образованием на границе промежуточного слоя карбида титана.

При исследовании особенностей процесса деформации и разрушения алмазно-металлических композиций основными факторами, влияющими на него, являются прочность алмаза и межфазной границы, а также пластичность матрицы.

Исследование поверхности изломов алмазно-металлических композиций, полученных с присутствием жидкой фазы, позволяет сделать вывод, что характер разрушения композиций имеет транскристаллитный характер. Разрушение алмазно-металлической композиции наступает либо вследствие развития микропластической деформации, либо из-за имеющихся в зернах алмазов дефектов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кизиков, Э.Д. Алмазно-металлические композиции / Э.Д. Кизиков, Н.С. Верник. – К.: Техника, 1988. – 164 с.
2. Кизиков, Э.Д. Исследование спекания алмазов с медно-оловотитановым сплавом / Э.Д. Кизиков, И.А. Лавриненко, Ю.В. Найдич // Синтетические алмазы, 1973. – Вып. 2. – С. 13–17.
3. Лавриненко, И.А. Исследование адгезии и контактного взаимодействия медно-олово-титановых сплавов с алмазом / И.А. Лавриненко, Э.Д. Кизиков // Синтетические алмазы, 1987. – Вып. 6. – С. 21–25.
4. Пайка и металлизация сверхтвердых инструментальных материалов / Ю.В. Найдич, Г.А. Колесниченко, И.А. Лавриненко, Я.Ф. Моцак. – К.: Наук. думка, 1977. – 183 с.
5. Кизиков, Э.Д. Исследование сплавов, используемых в качестве связок для алмазно-абразивного инструмента / Э.Д. Кизиков, И.А. Лавриненко // Металловедение и термическая обработка металлов, 1975. – № 1. – С. 57–62.

Материал поступил в редакцию 27.09.10

ARSHIKOV A.S., LYSOV A.A. Contact interaction and character of destruction of diamond-metal tool compositions

The analysis of the reasons for the destruction of diamond-metal tool compositions is carried out. The effect of the introduction in the composition of metal matrixes adhesive-active component is investigated. It is shown that introduction in the composition of metal matrixes of an adhesive-active component (titanium) causes a decrease of the regional angle of wetting and raise of work in an alloy adhesion in relation to the diamond.

УДК 621: 787

Довгалев А.М., Маковецкий И.И., Свирепа Д.М.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОГО РАСКАТЫВАНИЯ

Введение. Большой научно-практический интерес представляет метод магнитно-динамического упрочнения (МДУ), при котором поверхностное пластическое деформирование поверхности осуществляют деформирующими элементами за счет энергии магнитного поля. В основе метода МДУ лежит механизм ударного воздействия на обрабатываемую поверхность детали деформирующими шарами, осуществляющими сложное пространственное движение в окружном и радиальном направлениях, определяемое режимами обработки и конструктивными параметрами инструмента, в том числе характеристикой магнитной системы [1–9].

Объект исследований. На рис. 1 показана схема реализации метода с использованием магнитно-динамического раскатника, содержащего: оправку 1; диски 2, 3; деформирующие шары 4 из ферромагнитного (магнитопроводного) материала, установленные в кольцевой камере 5; ротор 6; источники магнитного поля 7, расположенные на роторе 6 с равномерным угловым шагом и последовательным чередованием полюсов N и S. Источники магнитного поля 7

выполнены в виде постоянных магнитов или электромагнитов, и их полюса выведены на периферию ротора 6 в области кольцевой камеры 5. Оправка 1, диски 2, 3 и ротор 6 изготовлены из немагнитопроводного материала. Оправку 1 инструмента закрепляют в вертикально или горизонтально расположенном шпинделе, а деталь 8 устанавливают в приспособлении станка. Инструмент вводят в отверстие упрочняемой детали 8, сообщают ему вращательное движение и перемещают с рабочей подачей. Вращающиеся вместе с ротором 6 источники магнитного поля 7 периодически воздействуют магнитным полем на деформирующие шары 4 и перемещают их в окружном направлении кольцевой камеры 5. При этом угловая скорость вращения источников магнитного поля 7 превышает угловую скорость вращения деформирующих шаров 4. На деформирующие шары 4 одновременно действуют центробежная и периодическая магнитная силы, соответственно прижимающая и отрывающая их от упрочняемой поверхности. В результате осуществляется ударное взаимодействие деформирующих шаров 4 с деталью 8, обеспечивается поверхностное пластическое деформирование поверхностного

Довгалев Александр Михайлович, к.т.н., доцент, декан факультета довузовской подготовки и профориентации Белорусско-Российского университета.

Маковецкий Илья Иванович, к.ф.-м.н., доцент, декан экономического факультета Белорусско-Российского университета.

Свирепа Дмитрий Михайлович, ассистент кафедры металлорежущих станков и инструментов Белорусско-Российского университета. Беларусь, 212000, г. Могилев, пр-т Мира, 43.

слоя и формируется регулярный или стохастический рельеф с высокими эксплуатационными свойствами.

Таким образом, процесс МДУ реализуется механической системой, содержащей: ротор с равномерно расположенными на нем источниками магнитного поля; деформирующие шары, установленные в кольцевой камере инструмента; обрабатываемую деталь.

Постановка задачи. В настоящее время отсутствуют теоретические основы кинематики и динамики процесса МДУ, что вызывает затруднение при назначении режимов упрочняющей обработки и конструировании магнитно-динамических раскатников.

Данная работа посвящена решению поставленной задачи. Научно обоснованный выбор режимов упрочнения и конструктивных параметров магнитно-динамических инструментов для достижения заданных чертежом качественных характеристик обрабатываемой детали целесообразно осуществлять с использованием системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП), функционирование которой основано на моделировании процесса МДУ.

Решение задачи. Математическое моделирование рассматриваемой механической системы выполним в следующей последовательности: исследуем движение деформирующего шара от ротора с источниками магнитного поля до поверхности обрабатываемой детали; рассмотрим ударное взаимодействие деформирующего шара с обрабатываемой поверхностью; определим кинематические характеристики движения деформирующего шара после его взаимодействия с деталью.

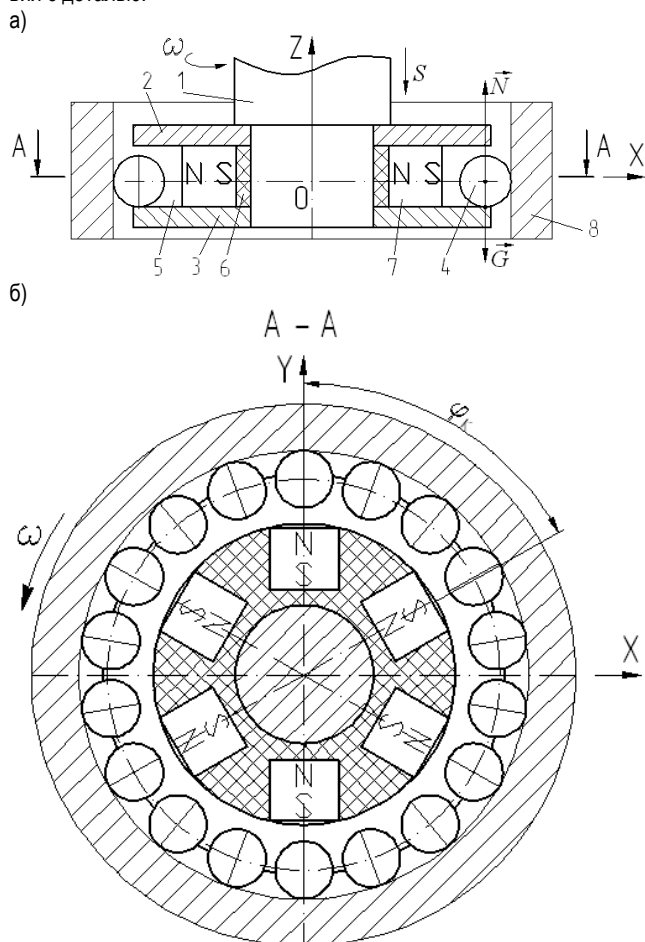


Рис. 1. Схема магнитно-динамического упрочнения поверхности детали: а) общий вид схемы; б) поперечное сечение инструмента

При разработке математической модели представленной механической системы введем следующие допущения:

- продольная ось инструмента расположена вертикально, а перемещение деформирующих шаров осуществляется в горизонтальной плоскости;
- рассматриваем движение одного деформирующего шара, так как все деформирующие шары инструмента находятся в одинаковых условиях;
- исследуем движение деформирующего шара в плоскости нормальной оси вращения ротора в системе координат OXY;
- деформирующий шар рассматриваем как материальную точку массой m , помещенную в центр сферы соответствующего радиуса;
- магнитное взаимодействие между деформирующими шарами инструмента отсутствует;
- источники магнитного поля расположены на роторе инструмента с равномерным угловым шагом;
- сила магнитного взаимодействия деформирующего шара с источником магнитного поля направлена по линии, соединяющей их геометрические центры.

Моделирование движения деформирующего шара от магнитного ротора к детали. Исследуем движение деформирующего шара от поверхности магнитного ротора до обрабатываемой детали (см. рис. 2).

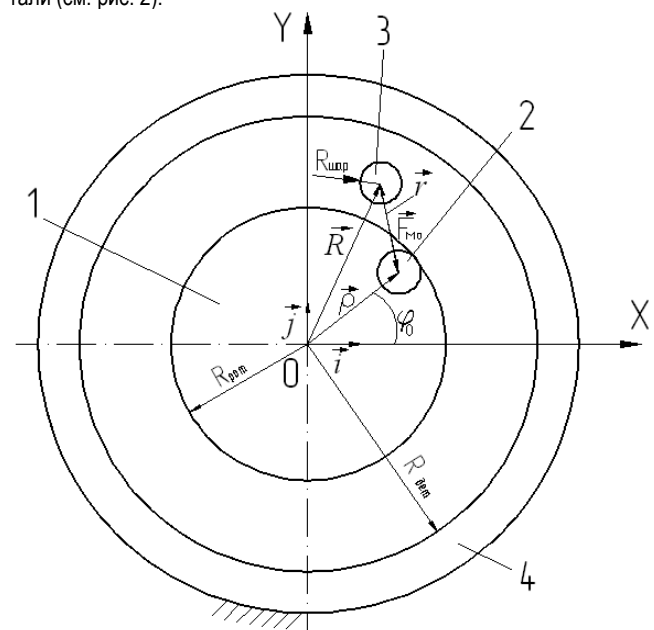


Рис. 2. Схема движения деформирующего шара от поверхности магнитного ротора до упрочняемой детали (1 – ротор инструмента; 2 – источник магнитного поля; 3 – деформирующий шар; 4 – обрабатываемая деталь)

Запишем основное уравнение динамики движения деформирующего шара (как материальной точки) после его отрыва от магнитного ротора:

$$m\vec{a} = \vec{F}_{мп} + \vec{F}_M + \vec{G} + \vec{N}, \quad (1)$$

- где m – масса материальной точки;
 \vec{a} – ускорение материальной точки;
 $\vec{F}_{мп}$ – сила трения деформирующего шара о поверхность диска инструмента (на рис. 1, 2 условно не показана);
 \vec{F}_M – суммарная сила магнитного притяжения деформирующего шара к ротору;
 \vec{G} – сила тяжести деформирующего шара (рис. 1),
 $\vec{G} = m \cdot \vec{g}$;

\vec{g} – ускорение свободного падения;

\vec{N} – нормальная реакция, действующая на деформирующий шар со стороны диска инструмента (рис. 1).

Рассмотрим силы, входящие в уравнение (1).

Силу \vec{F}_M определим, как сумму сил взаимодействия деформирующего шара с каждым из источников магнитного поля, расположенных на роторе инструмента.

Силу магнитного взаимодействия деформирующего шара с источником магнитного поля определим по зависимости:

$$\vec{F}_{M_0} = \varphi(r) \cdot \vec{r}_0, \quad (2)$$

где \vec{F}_{M_0} – сила магнитного взаимодействия деформирующего шара с источником магнитного поля;

$\varphi(r)$ – скалярная функция, определяющая модуль силы магнитного взаимодействия деформирующего шара с источником магнитного поля при их относительном расположении на расстоянии r ;

\vec{r}_0 – единичный вектор, направленный от деформирующего шара к источнику магнитного поля.

Из рис. 2 следует, что единичный вектор \vec{r}_0 и расстояние r между деформирующим шаром и источником магнитного поля определяются по формулам:

$$\vec{r}_0 = \frac{\vec{\rho} - \vec{R}}{|\vec{\rho} - \vec{R}|}, \quad (3)$$

$$r = |\vec{\rho} - \vec{R}|, \quad (4)$$

где $\vec{\rho}$ – радиус-вектор между геометрическими центрами ротора и источника магнитного поля;

\vec{R} – радиус-вектор между геометрическими центрами ротора и деформирующего шара.

Запишем векторные выражения (3) и (4) в координатах:

$$\vec{r}_0 = \frac{\rho_x - x}{\sqrt{(\rho_x - x)^2 + (\rho_y - y)^2}} \cdot \vec{i} + \frac{\rho_y - y}{\sqrt{(\rho_x - x)^2 + (\rho_y - y)^2}} \cdot \vec{j}, \quad (5)$$

$$r = \sqrt{(\rho_x - x)^2 + (\rho_y - y)^2}, \quad (6)$$

где ρ_x – проекция радиус-вектора $\vec{\rho}$ на ось OX;

ρ_y – проекция радиус-вектора $\vec{\rho}$ на ось OY;

x – проекция радиус-вектора \vec{R} на ось OX;

y – проекция радиус-вектора \vec{R} на ось OY.

Поскольку на роторе инструмента равномерно распределено n пар источников магнитного поля, то координаты (ρ_x, ρ_y) радиус-вектора $\vec{\rho}$ для k -го источника магнитного поля определяются как:

$$\begin{aligned} \vec{\rho} &= \rho_x \cdot \vec{i} + \rho_y \cdot \vec{j} = \rho \cdot \cos(\omega t + \varphi_0 + \varphi_k) \cdot \vec{i} + \\ &+ \rho \cdot \sin(\omega t + \varphi_0 + \varphi_k) \cdot \vec{j} = \rho \cdot \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) \cdot \vec{i} + \\ &+ \rho \cdot \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) \cdot \vec{j}, \end{aligned} \quad (7)$$

где \vec{i}, \vec{j} – координатные орты;

ρ – расстояние между геометрическими центрами ротора и источника магнитного поля;

ω – угловая скорость вращения источников магнитного поля;

t – время движения деформирующего шара;

φ_0 – начальное смещение системы источников магнитного поля относительно координатной оси OX;

φ_k – угол между геометрическими центрами соседних источников магнитного поля, расположенных на роторе (рис. 1);

n – число источников магнитного поля с одноименными полюсами.

Таким образом, суммарная сила магнитного притяжения деформирующего шара к магнитному ротору имеет вид:

$$\vec{F}_M = \sum_{k=1}^{2n} \varphi(r) \cdot \left(\frac{\rho \cdot \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - x}{r} \vec{i} + \frac{\rho \cdot \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - y}{r} \vec{j} \right), \quad (8)$$

где

$$r = \sqrt{\left(\rho \cdot \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - x\right)^2 + \left(\rho \cdot \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - y\right)^2}$$

Скалярную функцию $\varphi(r)$ целесообразно определять экспериментально, измеряя силу магнитного притяжения деформирующего шара к источнику магнитного поля при различных расстояниях между ними. На основе статистического анализа и метода наименьших квадратов установлено, что наиболее достоверно функцию $\varphi(r)$ описывает степенная зависимость:

$$\varphi(r) = a \cdot e^{b \cdot r}, \quad (9)$$

где a, b – эмпирические коэффициенты, зависящие от размеров и характеристик источника магнитного поля и диаметра деформирующего шара.

Находим силу трения деформирующего шара о поверхность диска инструмента:

$$\vec{F}^{mp} = -f \cdot N \cdot \frac{\vec{v}}{v} = -f \cdot N \cdot \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} \cdot \vec{i} - f \cdot N \cdot \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} \cdot \vec{j}, \quad (10)$$

где f – коэффициент трения скольжения деформирующего шара о поверхность диска инструмента;

N – нормальная реакция, действующая на деформирующий шар со стороны диска инструмента $N=mg$;

\vec{v} – вектор скорости деформирующего шара;

v – модуль вектора скорости деформирующего шара;

\dot{x} – проекция вектора скорости деформирующего элемента на ось OX;

\dot{y} – проекция вектора скорости деформирующего элемента на ось OY.

Спроецируем уравнение (10) на оси X, Y координатной системы OXY (рис. 1):

$$F_x^{mp} = -f \cdot mg \cdot \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}, \quad (11)$$

$$F_y^{mp} = -f \cdot mg \cdot \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}. \quad (12)$$

Поскольку движение деформирующихся шаров происходит в горизонтальной плоскости, то проекции сил \vec{G} и \vec{N} на оси OX и OY равны нулю.

Преобразовав выражение (1) и спроецировав его на оси OX и OY, получаем уравнения динамики деформирующего шара (13).

$$\left. \begin{aligned}
 m\ddot{x} &= \sum_{k=1}^{2n} \varphi \left(\sqrt{\left(\rho \cdot \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - x\right)^2 + \left(\rho \cdot \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - y\right)^2} \right) \times \\
 &\quad \frac{\rho \cdot \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - x}{\sqrt{\left(\rho \cdot \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - x\right)^2 + \left(\rho \cdot \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - y\right)^2}} - f \cdot mg \cdot \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} \\
 m\ddot{y} &= \sum_{k=1}^{2n} \varphi \left(\sqrt{\left(\rho \cdot \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - x\right)^2 + \left(\rho \cdot \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - y\right)^2} \right) \times \\
 &\quad \frac{\rho \cdot \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - y}{\sqrt{\left(\rho \cdot \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - x\right)^2 + \left(\rho \cdot \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - y\right)^2}} - f \cdot mg \cdot \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}.
 \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned}
 \dot{x} &= X \\
 \dot{y} &= Y \\
 X &= \frac{1}{m} \sum_{k=1}^{2n} \varphi(r) \times \frac{\rho \cdot \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - x}{\sqrt{\left(\rho \cdot \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - x\right)^2 + \left(\rho \cdot \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - y\right)^2}} - \\
 &\quad - f \cdot mg \cdot \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} \\
 Y &= \frac{1}{m} \sum_{k=1}^{2n} \varphi(r) \times \frac{\rho \cdot \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - y}{\sqrt{\left(\rho \cdot \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - x\right)^2 + \left(\rho \cdot \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (k-1)}{n}\right) - y\right)^2}} - \\
 &\quad - f \cdot mg \cdot \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}.
 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

После преобразования системы (13) окончательно запишем дифференциальные уравнения движения деформирующего шара в удобном для численного интегрирования виде (14).

Численное решение системы (14) целесообразно осуществлять методом Рунге – Кутты [10], позволяющим вести численное интегрирование с высокой степенью точности. При этом следует соблюдать краевые условия координат центра масс и скорости деформирующего шара:

начальные: $t = t_0, \quad x = x_0, \quad y = y_0, \quad \dot{x} = \dot{x}_0, \quad \dot{y} = \dot{y}_0,$

$\sqrt{x_0^2 + y_0^2} = R_{ром} + R_{шар},$

промежуточные: $t = t, \quad x = x, \quad y = y, \quad \dot{x} = \dot{x}, \quad \dot{y} = \dot{y},$

$\sqrt{x^2 + y^2} = R,$

конечные: $t = t_k, \quad x = x_k, \quad y = y_k, \quad \dot{x} = \dot{x}_k, \quad \dot{y} = \dot{y}_k,$

$\sqrt{x_k^2 + y_k^2} = R_{дет} - R_{шар},$

где t_0, t_k – время в начальный и конечный момент фазы движения деформирующего шара от магнитного ротора к детали;

x_0, y_0, x_k, y_k – соответствующие координаты центра деформирующего шара в начальный и конечный момент фазы движения деформирующего шара от магнитного ротора к детали;

$\dot{x}_0, \dot{y}_0, \dot{x}_k, \dot{y}_k$ – проекции вектора скорости деформирующего элемента на ось OX и OY соответственно в начальный и конечный момент фазы движения деформирующего шара от магнитного ротора к детали.

При этом при численном интегрировании следует следить за выполнением условия $\sqrt{x^2 + y^2} \leq R_{дет} - R_{шар}.$

Моделирование взаимодействия деформирующего шара с деталью. Рассмотрим кинематическую часть процесса ударного взаимодействия деформирующего шара с поверхностью обрабатываемой детали.

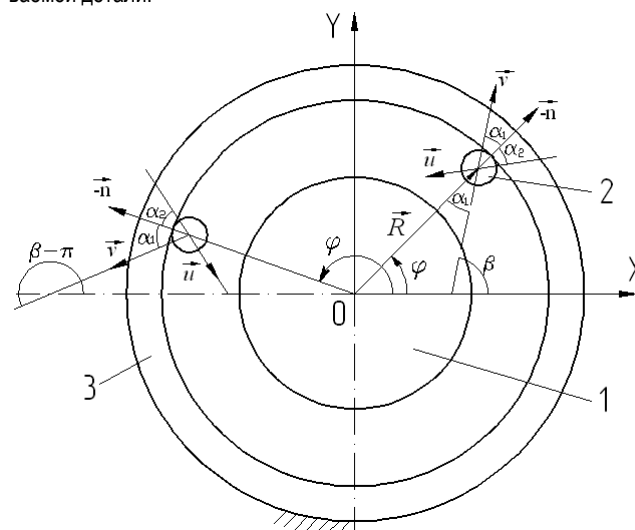


Рис. 3. Схема соударения деформирующего шара с обрабатываемой поверхностью детали (1 – магнитный ротор инструмента, 2 – деформирующий шар, 3 – обрабатываемая деталь)

На основании представленной на рисунке 3 схемы взаимодействия деформирующего шара с деталью, в соответствии с [11], имеем:

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{1}{k} \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (15)$$

где α_1 – угол падения деформирующего шара, равный углу $(\vec{v}, \wedge - \vec{n})$, где \vec{v} – вектор скорости центра массы деформирующего шара в момент начала удара, \vec{n} – единичный вектор нормали, проведенной к поверхности детали;

α_2 – угол отражения деформирующего шара, равный углу $(\vec{u}, \wedge \vec{n})$, где \vec{u} – вектор скорости центра массы деформирующего шара в момент окончания удара;

k – коэффициент восстановления.

Для определения угла α_2 по формуле (15) необходимо найти угол α_1 .

В зависимости от квадранта, в котором расположен деформирующий шар, исходя из геометрических соображений, вытекающих из рис. 3, имеем формулы для определения углов φ и β :

$$\varphi = \begin{cases} \arctg \frac{y_K}{x_K}, & x_K > 0, y_K \geq 0 \\ \pi + \arctg \frac{y_K}{x_K}, & x_K < 0 \\ 2\pi + \arctg \frac{y_K}{x_K}, & x_K > 0, y_K < 0 \\ \frac{\pi}{2}, & x_K = 0, y_K > 0 \\ \frac{3\pi}{2}, & x_K = 0, y_K < 0 \end{cases}$$

$$\beta = \begin{cases} \arctg \frac{v_y}{v_x}, & v_x > 0, v_y \geq 0 \\ \pi + \arctg \frac{v_y}{v_x}, & v_x < 0 \\ 2\pi + \arctg \frac{v_y}{v_x}, & v_x > 0, v_y < 0 \\ \frac{\pi}{2}, & v_x = 0, v_y > 0 \\ \frac{3\pi}{2}, & v_x = 0, v_y < 0 \end{cases}$$

где φ – угол между положительным направлением оси OX и радиус-вектором \vec{R} $0 \leq \varphi < 2\pi$;

β – угол между положительным направлением оси OX и вектором скорости деформирующего шара $0 \leq \beta < 2\pi$;

$$v_x = \dot{x}_K, \quad v_y = \dot{y}_K.$$

Очевидно, что при ударе деформирующего шара о поверхность детали угол падения α_1 определяется по следующей зависимости:

$$\alpha_1 = \beta - \varphi. \quad (16)$$

Вектор \vec{u} (вектор скорости деформирующего шара после удара о деталь) получается из вектора \vec{v} (вектор скорости деформирующего шара до удара о деталь) поворотом на угол $\pi - \alpha_1 - \alpha_2$ и сжатием в k раз:

$$\begin{cases} u_x = k \cdot v_x \cdot \cos(\pi - \alpha_1 - \alpha_2) - k \cdot v_x \cdot \sin(\pi - \alpha_1 - \alpha_2) \\ u_y = k \cdot v_y \cdot \sin(\pi - \alpha_1 - \alpha_2) - k \cdot v_y \cdot \cos(\pi - \alpha_1 - \alpha_2) \end{cases}, \quad (17)$$

где V_x – проекция вектора скорости деформирующего шара до удара о деталь на ось OX;

V_y – проекция вектора скорости деформирующего шара до удара о деталь на ось OY;

U_x – проекция вектора скорости деформирующего шара после удара о деталь на ось OX;

U_y – проекция вектора скорости деформирующего шара после удара о деталь на ось OY.

Угол отражения α_2 с учетом (15) определяется по формуле:

$$\alpha_2 = \arctg \left(\frac{tg \alpha_1}{k} \right). \quad (18)$$

При этом следует учитывать направление отсчета угла α_2 . Условно можно считать отсчет α_2 от вектора $-\vec{u}$ против часовой стрелки положительным, а по часовой стрелке – отрицательным. В соответствии с этим допущением углу α_2 присваивают знак «+» или знак «-».

Моделирование движения деформирующего шара от детали к магнитному ротору. После взаимодействия с деталью деформирующий шар перемещается в направлении к магнитному ротору инструмента, и его движение также описывается системой уравнений (14), но с другими начальными условиями:

$$\begin{cases} x_0 = x_K \\ y_0 = y_K \\ \dot{x}_0 = u_x \\ \dot{y}_0 = u_y \end{cases}$$

где x_K, y_K – координаты центра деформирующего шара в конечный момент фазы движения от детали к магнитному ротору.

При численном интегрировании системы уравнений (14) следует следить за выполнением условия: $\sqrt{x^2 + y^2} > R_{рот} + R_{шар}$.

Заключение. В статье представлена аналитическая зависимость для определения суммарной силы магнитного притяжения деформирующего шара к магнитному ротору инструмента с равномерно расположенными на нем источниками магнитного поля. Получена система дифференциальных уравнений, описывающая кинематику движения деформирующего шара при магнитно-динамическом раскатывании. Найдены начальные и конечные условия для численного интегрирования дифференциальных уравнений и определения кинематических характеристик деформирующего шара при различных режимах упрочняющей обработки, конструктивных параметрах детали и магнитно-динамического раскатника.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Довгалев, А.М. Динамическая модель инструмента с магнитоуправляемыми деформирующими элементами / А.М. Довгалев, Д.М. Рыжанков, Д.М. Свирипа // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы науч.-техн. конф.* – Могилев: ГУ ВПО "Белорусско-Российский университет", 2004. – 39 с.
2. Довгалев, А.М. Классификация инструментов для магнитно-динамического упрочнения / А.М. Довгалев, Д.М. Свирипа, Д.М. Рыжанков // *Вестник Белорусско-Российского университета.* – 2008. – № 2. – С. 30–38.
3. Довгалев, А.М. Инструменты для магнитно-динамического упрочнения поверхностей деталей машин / А.М. Довгалев, С.А. Сухоцкий, Д.М. Свирипа, Д.М. Рыжанков // *Вестник. БГТУ.* – 2009. – № 4. – С. 94–97.
4. Довгалев, А.М. Двухрядные магнитно-динамические инструменты / А.М. Довгалев, С.А. Сухоцкий, Д.М. Свирипа, Д.М. Рыжанков // *Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого* – 2009. – № 2. – С. 12–20.

5. Довгалев, А.М. Магнитно-динамические инструменты для упрочнения наружных поверхностей вращения / А.М. Довгалев, С.А. Сухоцкий, Д.М. Свирипа, Д.М. Рыжанков // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 4. – С. 174–178.
6. Пат. 2047468 РФ, МКИ⁶ В24В39/02. Инструмент для упрочняющей обработки / А.М. Довгалев (РБ). – №4906000/08. Заявлено 30.01.91; Оpubл. 10.11.95, Бюл.№31.–4с.; ил.
7. Пат. 2068769 РФ, МКИ⁶ В24В39/02. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки / А.М. Довгалев (РБ). – №4733445/08. Заявлено 28.08.89; Оpubл. 10.11.96, Бюл.№31. – 4с.; ил.
8. Пат. 10188 РБ, МПК В 24В 39/00. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки / А.М. Довгалев, Д.М. Свирипа, Д.М. Рыжанков; заявитель и патентообладатель Бел.-Рос. ун-т. – № а20050605; заявл. 16.06.2005; опубл. 28.02.2008.
9. Пат. 11536 РБ, МПК В 24В 39/00. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки / А.М. Довгалев, Д.М. Рыжанков, Д.М. Свирипа; заявитель и патентообладатель Бел.-Рос. ун-т. – № а20060760; заявл. 20.07.2006; опубл. 28.02.2009.
10. Холл Дж. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений / Под ред. Дж. Холл, Дж. Уатт. – Москва: Мир, 1979. – 312 с.
11. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики. – Москва: Высшая школа. – Ч.II. Динамика, 1966. – 411 с.

Материал поступил в редакцию 16.02.10

DOVGALEV A.M., MAKOVETSKY I.I., SVIREPA D.M. Mathematical modeling of process magnetic-dynamic unrolling

The paper deals with the nature of the process of magnetic-dynamic rolling, when surface plastic deformation of the part to be hardened is made by means of deforming balls which periodically perceive the energy of the rotating magnetic field. There has been made the modeling of the hardening treatment process, and the differential equation system describing the kinematics of the deforming ball movement during the magnetic-dynamic rolling has been obtained. Besides, there have been determined starting and finite conditions for numerical integration and definitions of kinematic characteristics of the deforming ball in varied modes of hardening treatment and with different design parameters of a part and a tool.

УДК 621.785.5.048.7

Алифанов А.В., Калугин Ю.К., Дремук В.А.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАТРИЦ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ

Введение. Экономическая эффективность процессов прессования фасонных профилей во многом зависит от стойкости и стоимости формообразующих матриц.

К числу наиболее эффективных методов, которые в последнее время используются для повышения стойкости матриц, следует отнести:

1. Использование эффекта пластического формообразования;
2. Создание новых высокопрочных и теплостойких материалов и сплавов, комплекс легирующих элементов в которых и содержание углерода удовлетворяют стехиометрическому равновесию карбидов, образованных при отпуске.
3. Поверхностное упрочнение матриц путем термической и химико-термической обработки.

Известны многочисленные попытки повышения стойкости матриц путем диффузионного упрочнения: борирование, азотирование, цементация и др. Диффузионное упрочнение несколько повышает стойкость матриц, изготовленных из вышеприведенных сталей, однако возможности такой упрочняющей обработки не могут быть реализованы полностью, поскольку составы сталей разрабатывались без учета изготовления инструмента путем пластического деформирования с последующим диффузионным упрочнением, т.е. их состав в отношении такой обработки не скомпенсирован [1, 2]. Так, инструменты, изготовленные из сталей типа 3Х2В3Ф, 45Х3В3МФС, 4Х5В2ФС и других подобного класса с последующим азотированием, не показали требуемой теплостойкости и износостойкости при горячем прессовании, по-видимому, из-за преобладания в диффузионных слоях нитридов вольфрама и молибдена, температура диссоциации которых около 600° С.

С целью получения инструментов с разной прочностью сердцевины и поверхностных слоев применяют цементируемые инструментальные стали (например, патент США, кл.148-315 (С22с35/24) №3827923)[5], содержание углерода в которой составляет 0,1+0,3%.

Такие проценты содержания углерода оправданы только в отношении изготовления режущих инструментов, подвергаемых цементации. В том случае, когда имеют место высокие удельные давления (как при обработке металлов давлением), применение такой стали может привести к продавливанию диффузионного слоя и смятию рабочих поверхностей деформирующего инструмента из-за недостаточно прочной сердцевины [3, 4]. Кроме того, содержание кобальта в пределах 4÷12% в такой стали обуславливает низкую технологическую пластичность и ударную вязкость, что приводит к нарушению сплошности (растрескиванию) сложнопрофильных деформирующих инструментов в процессе их изготовления. Другим недостатком подобных сталей является отсутствие добавок таких элементов, как титан, ниобий, цирконий, образующих с углеродом и азотом в процессе диффузионного упрочнения наиболее теплостойкие и износостойкие соединения.

В связи с вышеизложенным, в настоящей работе была поставлена цель — разработать для матриц горячего прессования новые стали, состав которых был бы скомпенсирован в отношении химико-термической упрочняющей обработки. Такие стали должны легко обрабатываться и обладать высокой технологической пластичностью с целью получения из них матриц методами пластического формообразования.

Разработка новых сталей. В качестве базовых при разработке новых марок были выбраны стали Р6М5, 45Х3В3МФС и 4Х2В5МФ. На основании изучения явлений, протекающих при аустинизации и старении в средне- и высоколегированных сталях, природы упрочнения при отпуске в интервале температур 500÷600°С, а также сведений о влиянии легирования и характере перераспределения легирующих элементов между твердым раствором и карбидной фазой было выработано мнение в отношении комплекса основных легирующих элементов. Кроме того, было учтено, что микролегирование редкоземельными

Алифанов Александр Викторович, д.т.н., профессор кафедры оборудования и автоматизации производства Барановичского государственного университета.

Калугин Юрий Константинович, к.т.н., зав. кафедрой оборудования и автоматизации производства Барановичского государственного университета.

Дремук Владимир Алексеевич, к.т.н., доцент, зав. кафедрой общенаучных дисциплин Барановичского государственного университета. Беларусь, 225404, Брестская обл-ть, г. Барановичи, ул. Войкова, 21