

УДК 621.793.7

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЩЕТКАМИ ДЛЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

Полянский А.С., д.т.н.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,

Лузан С.А., к.т.н.,

Дерябкина Е.С., инж.

Украинская инженерно-педагогическая академия

Тел. (0619) 42-04-42

Аннотация - исследован механизм образования и движения дислокаций при обработке поверхности металла металлической щеткой. Предложена дислокационно-энергетическая модель распределения энергии, передаваемой металлу в процессе обработки металлическими щетками. Теоретически обоснована активация поверхности металлическими щетками на основе дислокационных представлений при резании металлов.

Ключевые слова - дислокация, пластическая деформация, металлическая щетка, царапание, поверхностная энергия.

Постановка проблемы. Для подготовки поверхности деталей для нанесения газотермических покрытий в настоящее время в основном применяется абразиво-струйная обработка, которая имеет ряд недостатков, усложняющих технологический процесс нанесения покрытия на изделия: невысокая производительность обработки, большие расходы воздуха и абразива, сопровождающиеся мощным пылевыведением, большие трудозатраты, связанные с подготовкой материала и оборудования. К тому же отсутствует возможность применять данную обработку поверхности непосредственно в процессе напыления, с целью сокращения времени между обработкой поверхности и напылением на неё покрытия.

Представляет интерес исследовать возможность подготовки напыляемой поверхности и обработки слоев формирующегося покрытия в процессе газотермического напыления металлическими щетками.

Анализ основных исследований. Процесс обработки поверхности металлическими щетками можно рассматривать как сумму элементарных процессов царапания. В свою очередь процесс

царапанія можна считать подобним процесу резання с отрицательным передним углом [1].

Авторами роботи [2] установлено, що в енергетическом балансе процесса резання 90% и более приходится на работу пластической деформации материала обрабатываемой детали. Поэтому принято считать, что это процесс превалирующего пластического деформирования. От характера протекания пластической деформации и механизма деформационного упрочения зависят точность, шероховатость и качество поверхностного слоя обрабатываемой детали. Приложение к металлу внешних сил вызывает движение дислокаций. Причем, первыми начинают двигаться дислокации той системы скольжения, в которой касательные напряжения максимальны. Пластическое течение происходит, когда касательные напряжения достигают критического сдвигового напряжения близкого к пределу течения.[4]

Теоретически напряжение, необходимое для движения дислокаций в идеальной решетке, - напряжение Пайерлса, в зависимости от ширины дислокации W вычисляется по формуле

$$\tau_0 = G \frac{2b}{W} e^{-2\pi \frac{W}{b}}, \quad (1)$$

где G - модуль сдвига; b - вектор Бюргера.

Расчеты и эксперименты показали, что для чистых металлов с гранцентрированной кубической (ГЦК) решеткой напряжение Пайерлса очень мало. Следовательно, движение дислокаций ограничивается не трением о решетку, а взаимодействием с полями упругих напряжений других дислокаций и дефектов кристаллического строения [3].

Резание представляет собой пластическую деформацию с высокой скоростью (10^3 - 10^6 с⁻¹) и большими давлениями на поверхность обрабатываемого металла (до 2 ГПа), высокой температурой, градиентом напряжений и деформаций в зоне обработки.[5]

Формулировка целей статьи. Теоретически обосновать возможность активации поверхности металла металлическими щетками с целью подготовки поверхности для нанесения газотермических покрытий. На основе дислокационных представлений разработать модель распределения энергии, передаваемой металлу в процессе обработки металлическими щетками, модель процесса пластической деформации и образования царапин при обработке поверхности.

Основной материал. При обработке поверхности металла металлическая щетка, до начала её вращения, находится под

действием натяга Δ , уровень которого зависит от величины её перемещения к обрабатываемой поверхности- рис. 1.

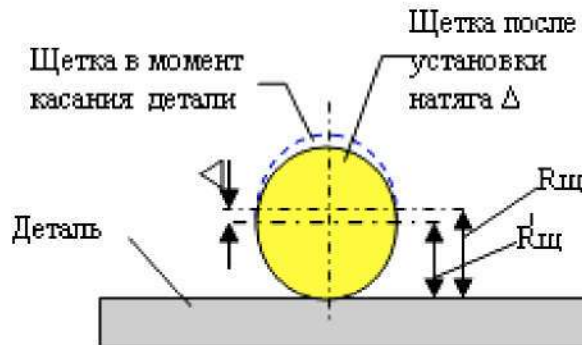


Рис. 1. Схема установки щетки с натягом Δ :

$R_{щ}$ - радиус щетки; $R'_{щ}$ - радиус щетки в месте контакта с деталью после установки натяга Δ

При начале вращения появляется сила P , которая является равнодействующей сил, возникающих в результате контакта боковой (образующей) поверхности ворсинки с микровыступом. Далее эта сила возрастает до величины силы трения $F_{тр}$ ворсинки о микровыступ, после чего начинает скользить по направлению к вершине (рис. 2).

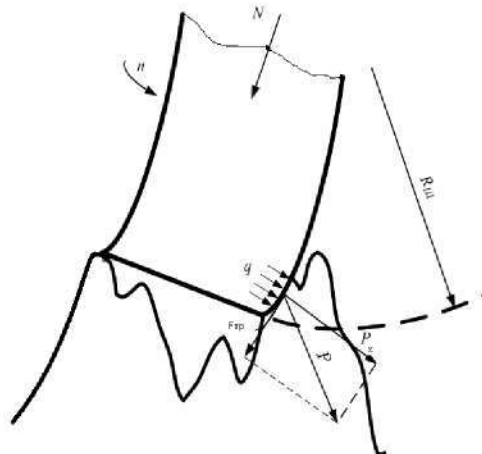


Рис. 2. Схема образования царапины:

N - нагрузка, действующая на иглу; $R_{щ}$ - радиус щетки; n - обороты щетки; q - удельная нагрузка, действующая в зоне контакта иглы и микровыступа; $F_{тр}$ - сила трения ворсинки о микровыступ; P_x - скалывающее напряжение

Продвижение конца ворсинки вдоль обрабатываемой поверхности детали станет возможным, когда скалывающие напряжения P_x достигнут предела прочности металла, и тогда ворсинка начнет свое

царапающее действие. Одновременно с поднятием вверх ворсинка перемещается вперед, пластически деформируя металл и вытесняя его вверх, вперед и в стороны. Её поднятие вверх обусловлено ростом сопротивления деформируемого объема вследствие упрочнения. Ворсинка перестанет подниматься и начнет наносить царапину, когда в деформируемом объеме будет достигнута максимальная степень деформации. В процессе царапания может возникнуть на конце ворсинки нарост. От нароста режим царапания изменяется, глубина царапины резко уменьшается. Затем в царапину попадает следующая ворсинка металлической щетки и процесс повторяется.

Теоретическое обоснование обработки (активизации) поверхности металла металлическими щетками подтверждается дислокационными представлениями о резании металлов. Нагрузка, действующая на деталь, достигает наибольшей величины на поверхностях в местах контакта с режущим инструментом. Следовательно, можно предположить, что первые дислокации начнут зарождаться из поверхностных источников типа Франка-Рида или Фишера, поскольку на поверхностных источниках дислокации зарождаются гораздо легче, чем на источниках, расположенных в объеме деформируемого материала [2]. Например, при царапании кремнистого железа полосы скольжения начинаются от поверхности царапины и имеют большую протяженность вглубь металла. Другим экспериментальным подтверждением преобладающего влияния поверхностных источников может служить картина распределения полос скольжения в жаропрочных сплавах ХН55ВМТФКЮ, ХН56ВМКЮ, ЖС6КП и электротехнической стали 3414 после их обработки резанием. В этих материалах размеры зерен равны 0,32-0,45 мм и больше глубины упрочнения, т.е. глубины проникновения дислокаций в поверхностный слой. Следовательно, границы зерен, которые также являются потенциальными источниками дислокаций в объеме деформируемого металла, не принимают активного участия в генерировании новых дислокаций.

Образовавшиеся новые дислокации упрочняют материал и изменяют его физико-механические характеристики. Увеличение плотности дислокаций в металле приводит к увеличению его твердости, а твердость деформированного тела пропорциональна среднему напряжению, действовавшему в процессе деформации [4]. В свою очередь, из теории дислокаций следует, что напряжение деформирования при различных механизмах упрочнения пропорционально квадратному корню из плотности дислокаций

$$\sigma = \frac{Gb}{k} \sqrt{\rho}, \quad (2)$$

где G - модуль сдвига; b - вектор Бюргерса; $k=3-5$ - численный множитель; ρ - плотность дислокаций.

Соответственно твердость упрочненного металла HV и степень наклепа Z могут быть непосредственно связаны с плотностью дислокаций:

$$HV = \frac{Gb}{K} \sqrt{\rho}, \quad (3)$$

$$Z = \frac{HV - HV_{ucx}}{HV_{ucx}} = \frac{K_{ucx}}{K} \sqrt{\frac{\rho}{\rho_{ucx}}} - 1, \quad (4)$$

де K - коэффициент, зависящий от модулей упругости и сдвига, характеристика распределения смещений формы линий и величины кристаллов.

Распределение энергии пластической деформации в зоне обработки ворсинками металлической щетки можно представить следующим образом

$$Q = Q_n + Q_p, \quad (5)$$

где Q_p - энергия, расходуемая на пластическую деформацию поверхностного слоя под обработанной поверхностью; Q_n - энергия, расходуемая на образование и удаление нароста.

$$Q = (U_c + U_d) \cdot S, \quad (6)$$

где U_c - скрытая энергия деформирования единицы площади обработанной поверхности; U_d - энергия движения дислокаций, отнесенная к единице площади обработанной поверхности; S - площадь обработанной поверхности.

$$Q = (\tilde{U}_c + \tilde{U}_d) \cdot \tilde{S}, \quad (7)$$

где U_c - скрытая энергия деформирования образующегося нароста, отнесенная к единице площади обработанной поверхности; \tilde{U}_d - энергия движения дислокаций, отнесенная к единице площади образованного нароста; \tilde{S} - площадь основания нароста.

Скрытая энергия деформации связана с дислокационным механизмом зарождения дислокаций. В свою очередь, с каждой дислокацией связана энергия упругих искажений, которая соответствует работе, затраченной на её образование. Общая энергия искажений разделяется на две части: энергия ядра дислокации и энергия её упругих искажений. Энергия ядра дислокации составляет

0,06-0,19 энергии упругих искажений [7]. Энергия упругих искажений для краевой дислокации

$$u_0 = \frac{Gb^2}{4\pi(1-\mu)} \ln \left[\frac{R}{r_0} \right], \quad (8)$$

где величину R принимают равной половине среднего расстояния между дислокациями; r_0 - радиус ядра дислокации, равный $\sim b$; μ - коэффициент Пуассона.

Учесть взаимодействие всего множества дефектов кристаллической решетки не представляется возможным. Поэтому при расчете потенциальной энергии упругих искажений, вызванных дислокациями (скрытой или латентной энергии деформирования), будем рассматривать не каждую отдельно дислокацию, удаленную от ближайших соседей на расстояние

$$R = \frac{1}{\sqrt{\rho(h)}}, \quad (9)$$

а дислокацию, которая удалена от ближайших соседей на расстояние

$$\bar{R} = \frac{1}{\sqrt{\bar{\rho}(h)}}, \quad (10)$$

где $\bar{\rho}(h) = \frac{1}{H_0} \int_0^H \rho(h) dh$ - средняя плотность дислокаций для деформированного объема; H - глубина упрочнения; h - глубина расположения дислокационной линии от поверхности.

Получаем, что скрытая энергия деформирования поверхностного слоя, отнесенная к единице площади обработанной поверхности будет равна [3]

$$U_c = \frac{Gb^2}{4\pi(1-\mu)} \ln \frac{\bar{R}}{r_0} \int_0^H \rho(h) dh. \quad (11)$$

Решение (11) сводится к решению следующего интеграла

$$U_c = \int_0^H \rho(h) dh = \frac{N_0}{Gb} \int_0^H \left(1 - \frac{h}{H} \right) F(h) \sigma_y(h) dh, \quad (12)$$

где N_0 - условная плотность полос скольжения в приповерхностном слое.

Аналогично (12) получаем выражение для скрытой энергии деформирования образующегося нароста

$$\bar{U}_o = \frac{Gb^2}{4\pi(1-\mu)} \ln \frac{\bar{R}}{b} \int_0^{\Delta} \tilde{\rho}(h) dh, \quad (13)$$

где верхний предел интегрирования Δ принят равным толщине нароста.

Уравнения (11), (13) получены с учетом предположения, что основным механизмом накопления энергии в процессе деформирования является механизм зарождения и перераспределения дислокаций. Поскольку, как установили Титченер и Бевер, этот механизм среди других: энергии упругих деформаций; энергии образования вакансий, двойников, дефектов упаковки, вносит наибольший вклад в общую скрытую энергию деформирования. Установлено также, что вклад энергии дислокаций в скрытую энергию деформирования повышается с увеличением сил межатомной связи металла, т.е. для таких металлов как никель, молибден, вольфрам и их сплавов [8].

Текущее значение скрытой энергии деформирования в процессе обработки всегда будет превышать ее значение после ее прекращения. Это объясняется тем, что часть дислокаций и вакансий аннигилирует, а энергия оставшихся дислокаций может существенно уменьшиться в результате диссипации ее при движении. Освобождающаяся энергия выделяется в виде тепла. При прохождении дислокацией слоя от h' до $h'+dh'$ затрачивается работа $b\sigma(h')dh'$, а на условное перемещение дислокации от поверхности до глубины h работа

$$\delta U_o = \int_0^h b\sigma(h') dh'. \quad (14)$$

В слое толщиной dh будет находиться $\rho(h)dh$ дислокаций, и на их перемещение на глубину h необходимо затратить работу

$$\Delta U_o = \rho(h)dh \int_0^h b\sigma(h') dh'. \quad (15)$$

Полная энергия движения всех дислокаций, участвующих в пластической деформации металла, отнесенная к единице площади обработанной поверхности, будет равна

$$U_o = \int_0^H \rho(h) \left[\int_0^h b\sigma(h') dh' \right]. \quad (16)$$

Двигаясь в металле, дислокация преодолевает область высоких внутренних напряжений и попадает в область их минимума, она может быстро колебаться, смещаясь вперед и назад под действием внешних и внутренних напряжений. В результате кинетическая энергия колеблющейся дислокации будет рассеиваться в окрестности плоскости скольжения, что приводит к увеличению амплитуды колебаний решетки

и соответственно к повышению температуры. Энергия движения дислокаций, следовательно, полностью переходит в тепло.

Часть энергии, затрачиваемой в процессе деформации на зарождение новых дислокаций, в результате аннигиляции при столкновении дислокаций противоположных знаков и перераспределения в устойчивые конфигурации также выделяется в виде тепла.

На основе вышеприведенных рассуждений построена дислокационно-энергетическая модель распределения энергии, передаваемая металлу в процессе обработки металлической щеткой (рис.3).



Рис.3. Схема дислокационно-энергетической модели распределения энергии, передаваемой металлу в процессе обработки металлической щеткой

Выводы.

1. Впервые теоретически обоснована обработка (активизация) поверхности металла металлическими щетками на основе дислокационных представлений при резании металлов.

2. Разработана модель процесса пластической деформации и образования царапин при обработке поверхности металлическими щетками.

3. Составлен энергетический баланс пластической деформации в зоне обработки поверхности ворсинками металлической щетки.

4. На основе дислокационных представлений разработана дислокационно-энергетическая модель распределения энергии, передаваемой металлу в процессе обработки металлическими щетками.

Литература

1. Кузнецов В.Д. Физика резания и трения металлов и кристаллов / В.Д. Кузнецов. – Изд-во: Наука, М., 1977. – 310 с.
2. Развитие науки о резании металлов / [под ред. Н.Н. Зорева, Г.И. Грановского, М.Н. Ларина, И.П. Третьякова]. – М.: Машиностроение, 1967. – 416 с.
3. Старков В.К. Дислокационные представления о резании металлов / В.К. Старков. - М.: Машиностроение, 1979. – 160 с.
4. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / М.Ф. Полетика. – М.: Машиностроение, 1969. – 150 с.
5. Макклиток Ф. Деформация и разрушение материалов / Ф. Макклиток, А. Аргон. - М.: Мир, 1970. – 443 с.
6. Иванов В.С. Усталость и хрупкость металлических материалов / В.С. Иванов. - М.: Наука, 1968. – 215 с.
7. Turcovich B.F. Some applications of physical metallurgy in metal cutting / B.F. Turcovich // Advances Machine Tool Design and Resistance. - 1968. – P. 2. – Oxford et al., 1969. – P. 1051–1071.
8. Усталость и хрупкость металлических материалов / [отв. ред. В.С. Иванова]. – М.: Наука, 1968. – 215 с.

**ОБГРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ПОВЕРХНІ
МЕТАЛЕВИМИ ЩІТКАМИ ДЛЯ ГАЗОТЕРМІЧНОГО
НАПИЛЮВАННЯ ПОКРИТТІВ**

Полянський О.С., Лузан С.О., Дерябкіна Є.С.

Анотація – досліджено механізм утворення й руху дислокацій при обробці поверхні металу металевою щіткою. Запропоновано дислокаційно-енергетичну модель розподілу енергії, переданої металу в процесі обробки металевими щітками. Теоретично обгрунтована активація поверхні металевими щітками на основі дислокаційних подань при різанні металів.

**SUBSTANTIATION OF POSSIBILITY OF PREPARATION OF
SURFACE METALLIC BRUSHES FOR GAZOFLAME COVERAGES**

A. Polyansky, S. Luzan, E. Deryabkina

Summary

The mechanism of education and motion of distributions is investigational at treatment of surface of metal by a metallic brush. The dislocation-power model of distributing of energy, transferrable a metal in the process of treatment metallic brushes is offered. In theory, activating of surface is grounded metallic brushes on the basis of dislocation presentations at cutting of metals.