

## Аннотация

### Восстановление изношенных трибоповерхностей деталей машин электродуговой наплавкой с металлопорошковой композицией

Проведены эксперименты по влиянию порошкового присадочного материала на формирование металлоповерхности при электродуговой наплавке в среде углекислого газа. Подача газопорошковой струи в расплав металла осуществлялась с помощью специального соплового устройства. Установлено, что при выбранных режимах наплавки и оптимальном количестве вводимой в расплав порошковой присадки, глубина проплавления основного металла уменьшается, а формообразование наплавленной поверхности осуществляется с высокой концентрацией легирующих композиций в поверхностном слое, что повышает износостойкость покрытия. Результаты исследований могут использоваться в технологиях восстановления изношенных деталей узлов и механизмов машин и технологического оборудования.

## Abstract

### Restoration of the worn out surfaces of details of machines by electroarc drawing of a metal powder composition

Experiments on influence of a powder material on formation of a surface are lead at electroarc drawing a covering in the environment of carbonic gas. Submission of a powder jet in metal was carried out by means of the special device. It is established, that at the chosen modes of drawing of a covering and optimum quantity of a powder additive entered into volume, depth of profusion of the basic metal decreases, and reception of a surface is carried out with high concentration of alloying compositions in a superficial layer that raises wear resistance of a covering. Results of researches can be used in technologies of restoration of the worn out details of units and mechanisms of machines and the process equipment.

УДК 621.791.92.

### ВЗАИМОСВЯЗЬ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПЛАВЛЕННЫХ И УПРОЧНЕННЫХ ПОКРЫТИЙ С СУБСТРУКТУРОЙ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Титов Ю.И., к.т.н., доцент; Кураш В.В., к.т.н., доцент;  
Солонович О.В., инженер

*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

В современном ремонтном производстве особое внимание уделяется повышению ресурса восстановленных деталей за счет применения упрочняющих технологий. Известно, что восстановление деталей и их последующее упрочнение экономически целесообразно, так как является основой для ресурсо- и энергосбережения [1]. Большинство деталей машин (> 80%) теряют свою работоспособность из-за изнашивания или комплексных причин, в которых изнашивание играет главную роль. Исследования износостойкости наплав-

ленных покрытий показывают, что ее не следует оценивать по отдельным физико-механическим свойствам материала в силу того, что условия проведения стандартных механических испытаний не моделируют сложностей механизмов нагружения и взаимодействия поверхностей при трении [2].

Отсутствие достаточно удовлетворительной корреляции между износостойкостью и любой из механических характеристик также подтверждает это [3]. Изнашивание определяется как процесс отделения микрообъемов материала в результате многократного нарушения образующихся фрикционных связей различного вида. При этом совершается работа по преодолению сил межатомных связей и осуществлению процессов, предшествующих разрушению. Поскольку величина энергии, необходимая для выполнения этой работы, зависит от совокупности механических свойств, структурного и субструктурного состояния, она может служить наиболее полным критерием способности материала сопротивляться изнашиванию.

Все указанные свойства можно рассматривать с единой точки зрения – по совместному влиянию на энергоемкость наплавленного покрытия.

Согласно структурно-энергетическому подходу к оценке факторов упрочнения, под энергоемкостью понимают количество энергии, которую необратимо поглощает металл до разрушения [4]. Значит, увеличение способности наплавленного металла аккумулировать энергию, не разрушаясь, должно приводить к повышению его износостойкости.

Известно, что поверхностная пластическая деформация повышает внутреннюю энергию металла. Данные исследований [3] показывают, что наибольший вклад в повышение внутренней энергии при пластической деформации дает ее составляющая, связанная с возникновением, перераспределением и взаимодействием дислокаций друг с другом или с другими дефектами. Об этом же свидетельствуют особенности накопления внутренней энергии деформации. Она растет с увеличением степени деформации вначале быстро, а затем более медленно с тенденцией к насыщению. То есть характер изменения внутренней энергии аналогичен изменением показателей субструктуры в зависимости от контактного давления.

Таким образом, для повышения энергоемкости металла важное значение имеют распределение и плотность дислокаций. Единичную дислокацию можно рассматривать как сублокальное искажение кристаллической решетки, являющееся источником неоднородности. В то же время, чем равномернее распределены дислокации по объему металла, тем однороднее будет поглощение механической энергии и тем больший объем металла будет одновременно принимать участие в пластическом деформировании и разрушении. Однако с увеличением плотности равномерно распределенных дислокаций повышается величина энергии, поглощенной этим объемом. И тем самым повышается энергоемкость локального объема металла. В предельном случае, когда в процессе предварительного деформирования плотность дислокаций достигает критической для данного металла величины, общая энергоемкость его равна энергии разрушения. Другими словами, металл исчерпал возможность поглощать энергию и способен только разрушаться. Если подобное состояние возникает в локальных микрообъемах, то именно здесь образуются нарушения сплошности металла (микротрещины). По данным работы [3], увеличению энергоемкости металла способствует также уменьшение размера зерен, повышение степени дисперсности фаз, появление мелкодисперсных выделений и создание других дислокационных барьеров.

На основании проведенного анализа и следует обсуждать результаты исследований износостойкости пластически деформированного наплавленного покрытия [2]. Сопоставляя полученные зависимости влияния контактного давления на износостойкость и на изменение параметров субструктуры, можно заметить следующее. При контактном давлении в пределах 1,6-1,8 ГПа, являющимся оптимальным по износостойкости, параметры субструктуры достигают практически своего максимального значения.

Дальнейшее увеличение контактного давления приводит к росту величины микротвердости, а плотность дислокаций стремится к пределу, то есть достигает своей критической величины, поэтому вполне объяснимо снижение износостойкости в этой области контактных давлений. Наплавленный металл потерял способность поглощать энергию и интенсивно разрушается. Явления перенаклепа поверхностного слоя не следует связывать с падением плотности дислокаций, как и имеющее место при этом снижении микротвердости. Уменьшение микротвердости в этом предельном состоянии объясняется хрупким разрушением локальных объемов металла вследствие образования многочисленных микротрещин при нагружении измерительной пирамидой.

Электронно-микроскопические исследования подтверждают наличие ячеистой структуры с более высокой плотностью дислокаций и их равномерным распределением у наплавленного металла, обкатанного с оптимальным давлением [2]. Кроме того, зафиксировано появление дисперсных выделений на границах и дефектах кристаллического строения (дислокациях). Появление дисперсных выделений, как отмечалось выше, повышает энергоемкость металла, так же как и блокировка ими дислокаций, способствующая более равномерному размещению последних, причем силовые поля вокруг заблокированных дислокаций являются эффективным барьером для движения других близко расположенных дислокаций.

Применение упрочнения ППД дает возможность заранее сформировать дислокационную структуру поверхностного слоя, близкую к той, которая образуется непосредственно при износе. В работе [5] отмечается образование ячеистой дислокационной структуры на поверхностях трения в результате пластической деформации при износе, благодаря чему упрочненные поверхностные слои в большей степени способны сопротивляться изнашиванию, чем неупрочненные.

Следует отметить необходимость равномерного распределения параметров тонкой структуры не только в поверхностном слое, но и по глубине. В работе [6] показано, что повышенной сопротивляемостью изнашиванию обладали образцы, у которых переход от наклепанного к ненаклепанному слою совершался плавно. При наличии значительного градиента между ними (что имеет место при максимальном наклепе) сопротивляемость изнашиванию падала. Аналогичные результаты получены в приведенных в работе [2] исследованиях. Так, градиент микротвердости при оптимальном контактном давлении гораздо меньше, чем в случае предельного наклепа. Такое явление отмечается для всех исследованных наплавов.

В случае предельного состояния имеет место резкий градиент значений плотности дислокаций, величины блоков когерентного рассеяния, а также напряжений второго рода. Снижение износостойкости при наличии градиента изменения указанных характеристик по глубине слоя также связано с неравномерностью поглощения энергии.

Определенное влияние на износостойкость оказывает наличие текстуры в поверхностном слое, зафиксированное нами при рентгеноструктурном исследовании. О ее положительном влиянии говорят данные ряда исследований [7, 8 и др.].

Проведенный дислокационно-энергетический анализ результатов исследования дает возможность комплексно оценить влияние различных факторов на износостойкость наплавленного металла, упрочненного методом поверхностной пластической деформации. Он показывает, что наиболее объективная оценка износостойкости металла вытекает из показателей субструктуры, его дислокационного строения. О перспективности такого подхода к интерпретации результатов исследований говорят данные других работ, в которых изменение субструктуры происходило за счет различных методов упрочняющей технологии или применением специальных карбидосодержащих сплавов с нестабильной аустенитно-мартенситной матрицей.

Таким образом, оптимальным состоянием металла, приводящим к повышению

износостойкости, является такое, которое обеспечивает наибольшую равномерность поглощения энергии кристаллической решеткой и максимальную энергоемкость отдельных объемов в процессе изнашивания, что достигается изменением его дислокационной структуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ресурсо- и энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном машиностроении и ремонтном производстве. [Текст]: / Кожуро Л.М., Крутов А.В. Чистосердов П.С. – Минск: БНИВНФХ в АПК, 2003. – 248 с.
2. Эксплуатационные свойства восстановленных деталей. [Текст]: / Титов Ю.И. – Минск: УП «Технопринт», 2002. – 220 с.
3. Теория и практика поверхностного пластического деформирования. [Текст]: монография / Кулик В.И., Кожуро Л.М., Сидоренко М.И. – Минск.: УП «Технопринт», 2003. – 234 с.
4. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей. [Текст]: / Гомель: ИМПС НАНБ, 1999. – 276с.
5. Механика контактного взаимодействия. [Текст]: / Джонсон К Л. – Минск.: Мир, 1989. – 510 с.
6. Роль кристаллической структуры и ориентация монокристаллов в формировании процесса внутреннего трения. [Текст]: / Костецкий Б.И., Бармашенко А.И., Славинская Л.В. – Киев.: В сб: Металлофизика. – Наукова думка., 1972. – 244 с.
7. Самоорганизация деформационных процессов. [Текст]: / Макушок Е.М. – Минск.: Наука и техника, 1991. – 272 с.

#### Аннотация

##### **Взаимосвязь износостойкости наплавленных и упрочненных покрытий с субструктурой и физико-механическими свойствами**

В работе показано, что оптимальным состоянием металлопокрытия, приводящим к повышению износостойкости, является такое, которое обеспечивает наибольшую равномерность поглощения энергии кристаллической решеткой и максимальную энергоемкость отдельных объемов в процессе изнашивания, что достигается изменением его дислокационной структуры.

#### Abstract

##### **Interrelation of wear resistance of the strengthened coverings with a substructure and physicomechanical properties**

In work it is shown, that by the optimum condition of a metal coating leading increase of wear resistance, is such which provides the greatest uniformity of absorption of energy with a crystal lattice and maximal power consumption of separate volumes during wear process, that is reached by change of its structure.