

energy savings and technology steps reduction this technology can be used in every foundry if producer knows what can be produced cost effectively and what not. He must also have the required equipment, devices, high-quality materials and qualified personnel. The more complex the shape of precision casting is the savings on secondary machining and material costs are higher.

Работа выполнена благодаря финансовой поддержке по проекту VEGA № 1/0306/03.

## REFERENCES

1. Rusín K. a kol. Slévárenské formovací materiály. –Praha: SNTL, 1991. 2. Veselý M. a kol. Nekonvenční metody výroby odlitků s vysokou přesností. –Brno: SVÚM, 1982. 3. Clegg A. J. The Shaw Process – Review, In: Foundry Trade J. –1980. –No. 149, –P. 429. 4. Beznák M. Možnosti uplatnenia presného odlievania do keramických foriem metódou Shaw v podnikoch VHJ ZŤS Martin // Výskumná správa, Bratislava, ZŤS UTAR, 1982. 5. Комаров О.С., Данилко Б.М., Ковалевский В.Н., Макаева Г.Г., Хренов О.В., Чаус А.С., Чигринов В.Е. Технология конструкционных материалов (2-е издание исправленное). –Минск: Дизайн ППО, 2001. –416 с. 6. Electricity ensures melt quality for precision castings // Foundry Trade J. –1978. –No. 31–32. –P. 388. 7. Beznák M. Aplikovaný vývoj presného liatia do keramických foriem. Závěrečná správa, Bratislava, ZŤS UTAR. –1984. 8. Krištín J., Beznák M., Kolpach P. Možnosti širšieho využitia presných odliatkov z ocele vo VHJ ZŤS // Slévárenství. –1987. –No. 7. –P. 324. 9. Beznák M. Výskum a vývoj zameraný na zníženie spotreby kovov a energií vo výrobkoch a výrobnom procese. Výskumná správa, Bratislava, ZŤS UTAR. –1983. 10. Beznák M., Pokusa A. Aplikácia presného odlievania na trvalý model do keramických foriem na výrobu kovacieho náradia // Acta Metallurgica Slovaca. –2002. –No. 8. –P. 400.

УДК 621.687

Серебряков В.И.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

*Зеленогурский университет  
Зелена Гура, Польша*

Состояние поверхности деталей машин характеризуется ее физико-химическими и механическими свойствами и характеристиками (шероховатость, микротвердость, микроструктура и ее состав, остаточные напряжения и

т.п.), что определяет степень сопротивления поверхности детали воздействию разнообразных эксплуатационных нагрузок. Некоторые детали машин работают в сложных условиях нагружений: циклических и контактных нагрузок в присутствии явления фреттинга. Это явление подробно описано Р. Уоттерхаузом [1]. Фреттинг способствует значительному снижению усталостной прочности материалов, работающих в условиях циклических нагрузок. Степень снижения усталостной прочности зависит от материала сопряженных поверхностей, условий нагружения и характера воздействия окружающей среды. В зависимости от преобладающего влияния механического или химического воздействия на контактируемые поверхности может развиваться явление фреттинг-коррозии или фреттинг-усталости.

Для повышения сопротивления нагрузкам контактируемых поверхностей деталей, работающих в указанных условиях эксплуатации, должна применяться технология, которая бы обеспечивала высокую усталостную прочность при циклических нагрузках и, одновременно, сопротивление фреттенгу. Последнее зависит от эффективности применения определенного покрытия, способствующего улучшению трибологических свойств поверхности и, как следствие, уменьшению вероятности появления фреттинга в местах контакта. При этом покрытие не должно уменьшать сопротивление поверхности циклическим нагрузкам, обеспечивая высокую усталостную прочность. Ни один из многочисленных существующих способов поверхностного упрочнения такими возможностями не обладает. Поэтому необходим сложный технологический процесс, который бы оказывал положительное влияние на повышение долговечности при циклических нагрузках с одновременным улучшением антифрикционных свойств поверхностного упрочненного слоя.

Для достижения поставленной цели предлагается такая комплексная технология, которая содержала бы один из методов поверхностного пластического деформирования (ППД) в сочетании с соответствующим способом нанесения твердосмазочного материала (ТСМ). Покрытие должно быть твердым и выдерживать дельные контактные переменные нагрузки. Кроме того, оптимальное сочетание и последовательное применение указанных технологических воздействий должно способствовать суммарному положительному эффекту – повышению долговечности деталей, работающих в присутствии фреттинга.

Применение конкретного метода ППД во многом определяется конструктивными особенностями детали и технологическими возможностями процесса. Для конструктивно сложных деталей, какими являются, например детали, показанные на рис.1, изготавливаемые из титановых сплавов и легированных сталей, поверхности, в силу условий действия эксплуатационных нагрузок, должны упрочняться полностью. По технологическим возможностям наиболее эффективен дробеструйный (дробеметный) метод упрочнения стальными шариками. Для упрочнения отверстий в таких деталях может применяться также раскатка, дорнование, алмазное выглаживание и другие способы ППД.

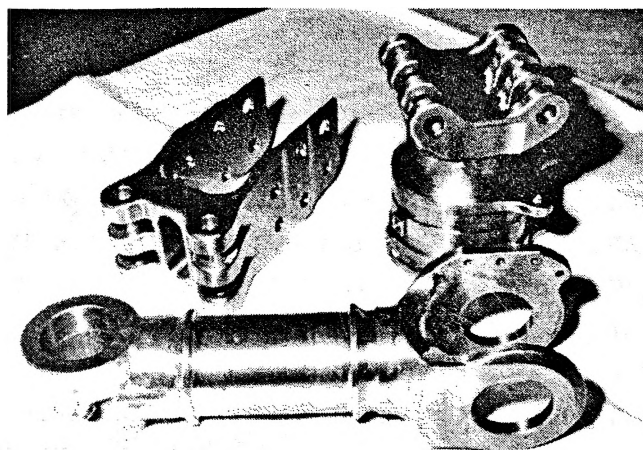


Рис.1. Детали, работающие в условиях фреттинг-усталости

Область применения конкретного способа нанесения ТСМ зависит от возможностей технологического процесса нанесения такого покрытия (до или после ППД), которое бы выдержало без разрушения поверхности ударное воздействие на нее дробеупрочнения с сохранением требуемой толщины покрытия – в первом случае; и не ухудшало бы качества поверхности, достигнутое при упрочнении ППД – во втором. Указанным требованиям, по результатам проведенных многочисленных экспериментальных исследований соответствуют покрытия для титановых сплавов: импульсное анодирование (анодное окисление в импульсном режиме), электрофоретическое покрытие, химико-термическая обработка (ХТО) в углекислых солях калия, натрия и лития или высокомолекулярное антифрикционное покрытие (ВАП). Для легированных сталей можно применять электрофорез или ВАП.

Дробеупрочнению подвергались поверхности таких материалов как сталь 30ХГСА, 40ХНМА и титановый сплав ВТЗ-1.

Применение процесса дробеупрочнения в промышленности на стальных деталях известно по работам М.М.Саверина [2] и использовалось оно там, где не предъявлялись высокие требования к шероховатости поверхности. Появление в промышленности легких сплавов на основе титана, магния, алюминия потребовало пересмотра однозначного представления об изменении шероховатости поверхности в процессе дробеупрочнения, так как одновременное формирование этим процессом высоких остаточных сжимающих напряжений могло бы компенсировать отрицательную роль высокой шероховатости – источника концентрации эксплуатационных напряжений.

В связи с этим возникает проблема оптимальной шероховатости упрочненной поверхности, которая бы – с одной стороны удовлетворяла требования высокой эксплуатационной долговечности, а с другой – минимальным затратам на ее достижение. При этом учитывалось также, что достигнутая методом ППД шероховатость, должна способствовать хорошему

сцеплению последующего покрытия, наносимого на упрочненную поверхность.

Совершенствование процесса дробеупрочнения в последнее время осуществлялось в направлении подбора ударных элементов (вместо чугунной дробы, стальных сеченых элементов и т.п.) стали применять высокопрочные стальные шарики из стали ШХ-15 диаметром от десятых долей мм (микрошарики) до 1...3мм. Нестабильный процесс дробеструйного упрочнения, зависящий от давления воздуха в сети, заменяется на более стабильный – дробеметный (центробежный). В результате термин «дробеупрочнение» принимает более широкий смысл и может означать упрочнение летящими с большой скоростью стальными прочными шариками.

Из параметров режима процесса дробеупрочнения на изменение качества поверхностного упрочненного слоя наибольшее влияние оказывает диаметр шариков  $d_{ш}$ , их количество (масса  $m$ ) в камере установки, скорость соударения с упрочняемой поверхностью  $v$ . Последние два параметра зависят от конструкции установок, в которых масса шариков может изменяться в широких пределах от десятых долей до нескольких килограммов. Скорость может достигать 30... 50м/с.

В результате проведенных экспериментальных исследований оказалось, что дробеупрочнение титанового сплава различной исходной шероховатости поверхности: после шлифования ( $Ra_{исх} = 0,5\text{мкм}$ ) или фрезерования ( $Ra_{исх} = 2,0\text{мкм}$ ) в течение 20...30 мин приводит к образованию почти одинаковой шероховатости в пределах  $Ra = 1,0...1,5\text{ мкм}$  (рис.2).

Полученные результаты указывают на то, что при подготовке поверхности под дробеупрочнение нет необходимости ее шлифовать. Достаточно иметь исходную шероховатость поверхности ( $Ra_{исх} = 2...3\text{мкм}$ ), достигаемую чистовым фрезерованием, которая после дробеупрочнения изменяется до  $Ra = 1,0...1,5\text{мкм}$ .

Математическая модель процесса изменения шероховатости поверхности при дробеупрочнении может быть описана с помощью уравнения:

$$Ra = -29 + 20Ra_{исх} - 0,1\tau - 0,35 Ra_{исх}d_{ш} + 0,1 Ra_{исх}\tau + 3,0 Ra_{исх}^2, \text{ мкм.}$$

Если необходимо уменьшить шероховатость поверхности после дробеупрочнения, то это достигается в процессе нанесения ТСМ импульсным анодированием (от  $Ra = 1,5...3,0$  до  $Ra = 0,7...1,5\text{мкм}$ ) или нанесением ВАП.

Следует отметить, что если целью упрочнения является только улучшение шероховатости поверхности, то более эффективным считается обкатка (раскатка) или алмазное выглаживание поверхностей, форма которых позволяет применять указанные способы упрочнения. Преобладающее влияние на изменение шероховатости в этом случае оказывает величина натяга – разность между диаметрами раскатника и отверстия, а скорость и подачу можно выбирать в зависимости от требуемых характеристик качества поверхности и производительности процесса.

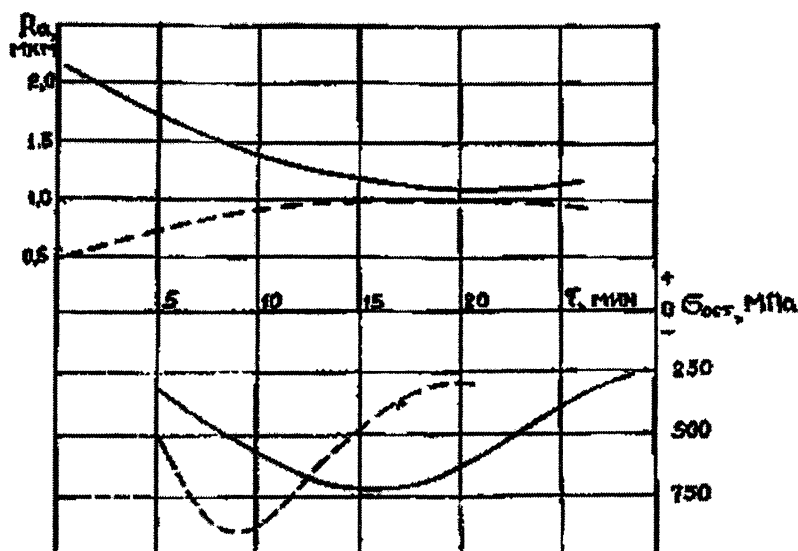


Рис.2. Изменение по времени состояния поверхности титанового сплава BT3-1 в процессе дробеупрочнения ( $d_{ш} = 2,0\text{мм}$ ,  $v = 20\text{м/с}$ ):  
 а) шероховатости  $Ra$  при  $v = 20\text{м/с}$ ;  
 б) остаточных напряжений (— -  $v=10\text{ м/с}$ ; --- -  $v = 20\text{м/с}$ )

Анализируя степень влияния элементов режима дробеупрочнения на характер эпюры остаточных напряжений, можно заметить, что наибольшее влияние оказывает диаметр шариков и время упрочнения. Согласно проведенным авторами теоретическим исследованиям в поверхностном слое могут возникать большие сжимающие остаточные напряжения, близкие к пределу прочности на срез, уже при единичном ударе. Подобное наблюдается при 5-минутном упрочнении шариками диаметром 2...3мм. Дальнейшее упрочнение приводит к дроблению блоков мозаики кристаллической решетки (титановых сплавов) и снижению уровня сжимающих напряжений. Уменьшение диаметра шариков до 1,0мм позволяет постепенно увеличивать остаточные напряжения на поверхности, не превышая предел прочности на срез в отдельных микрообъемах. Поэтому упрочнение поверхностей исходной шероховатости  $Ra = 2,0\text{мкм}$  следует проводить шариками диаметром 1,5...2,0мм, а гладких – с исходной  $Ra = 1,0\text{мкм}$  – шариками диаметром 1,0мм, что вытекает из ниже приведенной математической модели процесса изменения остаточных напряжений при дробеупрочнении:

$$\sigma_{ост} = -14,7 - 11d_{ш} - 20d_{ш}m + 0,3d_{ш}\tau + 1,8m\tau - 1,7m^2 - 0,03\tau^2, \text{ МПа.}$$

Нанесение на такие поверхности твердосмазочного покрытия электрофорезом или импульсным анодированием не изменяет достигнутую при дробеупрочнении эпюру остаточных напряжений. Оказывая демпфирующее влияние в

процессе ударов шариками тонкая окисная пленка титанатов солей калия, натрия и лития уменьшает тепловое воздействие энергии удара на поверхность и способствует образованию остаточных сжимающих напряжений, вследствие чего эпюры остаточных напряжений после такого комплексного упрочнения отличаются высоким значением  $\sigma_{\Pi}$  и  $\sigma_{\max}$ .

Характер изменения таких физико-механических свойств поверхностного слоя как остаточные напряжения и микротвердость зависит от структурных и фазовых превращений, протекающих в процессе упрочнения под действием силового и теплового факторов. Они же изменяют глубину и степень наклепа. Эти изменения, прежде всего, зависят от исходных физико-механических свойств материала (прочности, пластичности, твердости и т.п.). Так для легированных сталей (30ХГСА и 40ХНМА) изменение микротвердости и остаточных напряжений зависит от характера структурно-фазовых изменений при нагреве поверхности в процессе дробеупрочнения. В поверхности двухфазного ( $\alpha + \beta$ ) титанового сплава ВТЗ-1, как менее пластичного материала, при нагреве поверхностного слоя могут происходить явления разрушения зерен по их границам, дробление блоков структурной мозаики с явно выраженным характером следов деформации в виде направленной ориентации некоторых зерен, что почти не изменяет микротвердость, но способствует образованию остаточных напряжений (сжимающих или растягивающих). Повышение температуры этого слоя при упрочнении может сопровождаться распадом ( $\alpha + \beta$ )-фазы и уменьшением количества  $\beta$ -фазы. Это сопровождается уменьшением объема кристаллической решетки и образованием остаточных растягивающих напряжений, величина которых зависит от количественного соотношения указанных фаз.

В связи с тем, что комбинированное упрочнение значительно изменяет энергетическое состояние поверхностного слоя в процессе динамического пластического деформирования, это должно отразиться на антифрикционных свойствах упрочненной поверхности. Анализ экспериментальных исследований коэффициента трения позволил построить математическую модель процесса изменения этого коэффициента в зависимости от исходной шероховатости и времени упрочнения. Так после дробеупрочнения сплава ВТЗ-1 шариками  $d_{\text{ш}}=2\text{мм}$  со скоростью соударения  $10\text{м/с}$  коэффициент трения

$$f = -0,046 + 0,1185Ra + 0,017\tau - 0,007Ra\tau - 3,6 \cdot 10^{-4} \tau^2 + 8,16 \cdot 10^{-5} Ra\tau^2 + 2,135\tau^3.$$

Таким образом, предлагаемая комплексная технология дробеупрочнения с нанесением твердосмазочного материала одним из исследованных способов может обеспечить характеристики качества поверхности деталей машин, работающих в условиях фреттинг-усталости.

## ЛИТЕРАТУРА

1.Р.Б. Уоттерхауз. Фреттинг-коррозия /Пер. с английского. – М.: Мир, 1956. – 267с. 2. Саверин М.М. Дробеструйный наклеп. – М.: Машгиз, 1955. –

312с. 3. Серебряков В.И., Овсенко А.Н., Гаек М. Технологическое обеспечение качества изделий машиностроения. – М.: МГТУ «Станкин», 1998. – 45 с.

УДК 658(043):621

Пелих С.А.

## **ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭКОНОМИКО-ОРГАНИЗАЦИОННОГО МЕХАНИЗМА ПРОИЗВОДСТВА НАУКОЕМКОЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ**

*Академия управления при Президенте Республики Беларусь,  
г. Минск*

По числу, зарегистрированных патентов, полученных национальными заявителями, Беларусь (35 на 1 млн. населения) находится посередине Европейских стран, превышает Испанию (20 на 1 млн. населения), Португалию, Грецию и отстают от Швеции (55 на 1 млн. населения). В то же самое время Беларусь за период 1990-2004 г.г. снизила наукоемкость ВВП (валового внутреннего продукта) с 2,11 до 0,83%. Испания имеет высокие среднегодовые темпы роста наукоемкости ВВП за эти годы - 6,32%. Это показывает на недостатки нашей инновационной системы по трансформации новых знаний в инновации, т.е. наша инновационная восприимчивость составляет около 10% от генерированных нацией новых идей.

Опыт развитых стран показывает, что институциональная среда инновационной деятельности имеет решающее значение как источник инноваций и условие эффективной организации внедрения достижений научно-технического процесса в выпуск машиностроительной продукции. Развитые страны построили такой механизм взаимодействия участников инновационного механизма, в котором взаимоотношения государства, местных властей, научных организаций, университетов, бизнеса, финансовых посредников становится не менее, а более важными, чем процесс производства новых знаний.

В результате создания такого организационно-экономического механизма страны Запада в настоящее время производят более 80% наукоемкой машиностроительной продукции с высокой добавленной стоимостью. Такая продукция успешно пробивает себе дорогу на рынке благодаря тому, что обладает низкой «стоимости владения изделием», что обеспечивается соответствующими организационно-техническими мероприятиями и принципами создания сложной техники, важнейшими из которых являются:

- 1) применение CALS-технологий при создании продукции;