

**ASPECTE PRIVIND
PROTOTIPAREA ȘI
OPTIMIZAREA SISTEMELOR
MECANICE**

Drăguț Gheorghe, *ing. ,Universitatea
Constantin Brâncuși*

REZUMAT: Pe măsură ce crește complexitatea produselor și durata dezvoltării unui produs competitiv trebuie redusă, crearea prototipului și testarea lui devin blocaje majore pentru noi lansări de produse de succes. Datorită acestor blocaje, cei mai importanți producători la nivel mondial simt o presiune tot mai mare pentru a institui rapid la nivel de întreprindere proiectarea bazată pe simulare și prototipări virtuale, practici care pot asigura o mai mare performanță și calitate a produselor.

1.PROTOTIPAREA VIRTUALĂ

Prototiparea virtuală este o disciplină inginerescă bazată pe software care presupune modelarea unui sistem mecanic, simularea și vizualizarea 3D a comportamentului său în condițiile de funcționare reale, optimizarea proiectului prin studii iterative. Această tehnică avansată de simulare constă în principal în conceperea unui model detaliat și folosirea lui într-un experiment virtual, similar cazului real. Un avantaj important al acestui tip de analiză constă în posibilitatea de a face măsurători virtuale, în orice punct / zonă, și pentru orice parametru.

Utilizând diferite tipuri de soluții software comerciale (CAD - Computer Aided Design, MBS - Multicorp Systems, FEA - analiza cu element finit, C & C - comandă și control), pot fi create prototipuri virtuale complexe, rezultând o modelare exactă a componentelor și a condițiilor de funcționare specifice.

Pașii pentru realizarea unui model virtual [1] sunt redați în Fig. 1.

În timpul fazei de concepție constructivă, prototipurile virtuale sunt create atât pe baza conceptului de produs nou, cât și

**ASPECTS CONCERNING
MECHANICAL SYSTEMS
PROTOTYPING AND
OPTIMIZING**

Eng.Gheorghe Drăguț, *Constantin
Brâncuși University*

ABSTRACT: While product's complexity increases and the development period for competitive products should be reduced, prototype creation and its testing become major blockages for new launch of successful products. Due to these blockages, the most important producers at a world level feel a high impulse of establishing, rapidly, at the level of the enterprise, design based on simulation and virtual prototypes, practices ensuring a high performance and quality of products.

1. VIRTUAL PROTORYPING

Virtual prototyping is an engineering discipline based on a software able to shape a mechanical system, simulate and visualize in a 3D format its behavior, based on real functioning conditions, optimization of the design by iterative studies. This advanced stimulation technique is made of conceiving in a detailed pattern and using it in a virtual experiment, similar to the real case. An important advantage of this type of analyze is the possibility to realize virtual measurements, in any point/area and for any parameter.

Using different types of commercial software solutions (CAD - Computer Aided Design, MBS - Multicorp Systems, FEA – finite element analyze, C & C – control and command), complex virtual prototype can be creates, resulting an exact shaping of the components and the specific functioning conditions.

Steps to realize a virtual pattern [1] are mentioned in Fig. 1.

During constructive conception phase, virtual prototypes are created based on the concept of new product, as well as taking into account the characteristics of the target-

ținând cont de caracteristicile produselor-țintă care există deja pe piață. Proprietățile de masă și geometria sunt obținute pe baza modelelor componentelor solide. Caracteristicile structurale, termice și vibratorii rezultă din modelele cu elemente finite ale componentelor sau teste experimentale.

Pentru a valida prototipul virtual, modelele fizice și virtuale sunt testate identic, folosind aceleași proceduri de testare și de instrumentare. Sunt comparate rezultatele și sunt efectuate analize de sensibilitate ale proiectului pentru a identifica parametrii de proiectare care influențează rezultatele de performanță care nu corespund. Ulterior sunt efectuate diferite modificări în scopul de a obține o corelație acceptabilă a parametrilor. Îmbunătățirea prototipului virtual se poate face prin înlocuirea componentelor rigide cu elemente omoloage flexibile, adăugarea frecărilor și reprezentarea sistemelor automate care controlează performanțele în funcționare ale sistemului mecanic.

products, already existent on the market. Mass properties and geometrics obtained based on patterns of solid components. Structural, thermal and vibration characteristics result from patterns with finite elements of the components or experimental tests.

To validate the virtual prototype, physical and virtual patterns are identically tested, using the same testing and instrumentation procedures. Results are compared and effectuated analyzes of establishing the sensibility to the project to identify design parameters influencing non-correspondent performance results. Ulterior, have been realized different modification with the purpose to obtain an acceptable correlation of the parameters. The improvement of the virtual prototype can be realised with the replacement of the rigid components having flexible homologous elements, adding friction and representation of the automatic system controlling the functioning performances of the mechanical system.

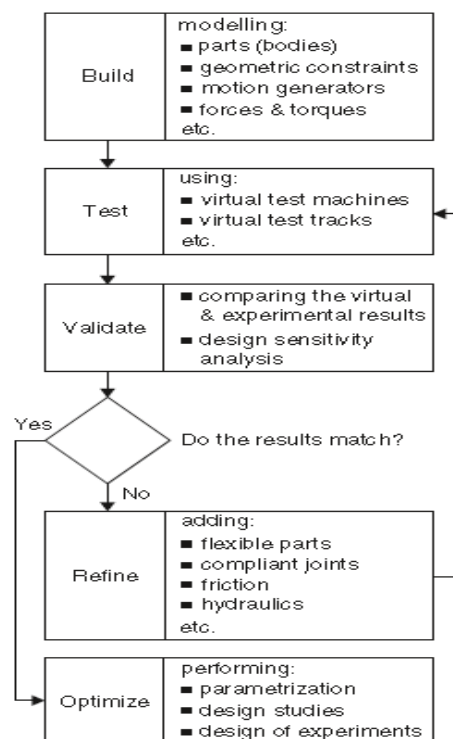


Fig. 1 Fazele prototipării virtuale
Fig. 1 Virtual prototype phases

2.OPTIMIZAREA PROTOTIPULUI 2.PROTOTYPE OPTIMIZATION

Optimizarea prototipului virtual se face parcurgând următoarele etape: parametrizarea modelului; definirea variabilelor de proiectare; definirea funcțiilor obiectiv pentru optimizare și a constrângerilor de proiectare; elaborarea studiilor de proiectare și a experimentelor; optimizarea modelului pe baza principalelor variabile de proiectare.

Parametrizarea modelului simplifică modificarea acestuia, deoarece ajută la redimensionarea și re poziționarea automată a componentelor. Variabilele de proiectare permit crearea parametrilor independenți și modelarea cuplelor dintre obiecte. Studiul de proiectare descrie capacitatea de a selecta o variabilă de proiectare, care mătură o gamă de valori și apoi simularea comportamentului diferitelor modele obținute, în scopul de a înțelege sensibilitatea sistemului global la aceste variații ale proiectului. Funcția obiectiv este o cuantificare numerică care face distincția între proiectele candidate. Constrângerile sunt limite care, direct sau indirect, elimină proiectele inacceptabile; acestea ia adesea forma unor obiective suplimentare în proiectarea mecanismului. În general, problema de optimizare este descrisă ca o problemă de minimizare sau maximizare a funcției obiectiv cu variabile de proiectare selectate, în timp ce satisface diverse constrângeri ale proiectului. Ca parte a procesului de proiectare, optimizarea manipulează necunoscutele (variabilele) dintr-un proiect pentru a ajunge la un proiect bun, care îndeplinește toate scopurile (obiectivele) și restricțiile (constrângerile). Dacă aceste caracteristici pot fi cuantificate, tehnicile de optimizare pot fi folosite pentru a ajunge analitic la cea mai bună soluție teoretică.

Virtual prototype optimization can be realised by passing through the following stages; defining design variables; definition of the objective functions for optimization and design constraints; issuing design studies and experiments; optimization of the pattern based on main designing variables.

Pattern parameterization simplifies its modification, as it helps at automatic re-dimensioning and repositioning of components. Design variables allow creating independent parameters creation and shaping couples from objects. The design study describes the capacity to select a design variable, sweeping large scales of values and afterwards simulation of the behavior for different obtained patterns, with the purpose to understand the sensibility of the global system for these variations of the project. The objective function is a numerical quantification making the difference between candidate projects. Constraints are limits which, directly or indirectly, eliminate unacceptable projects; these take the form of some supplementary objectives in the design of the mechanism. Generally, the optimization problem is described as a problem for minimizing or maximizing the objective function with selected design variables, meanwhile satisfying different constraints of the projects. As part of the design process, optimization manipulates unknown objects (variables) from a project to reach a better project, accomplishing all purposes (objectives) and restrictions (constraints). In case these characteristics can be quantified, the optimization techniques can be used to analytically reach a better theoretical solution.

3.PLATFORMA SOFTWARE COMPLEXĂ PENTRU TESTARE ÎN MEDIU VIRTUAL

În continuarea lucrării este prezentată o platformă software complexă [2] pentru

3.COMPLEX SOFTWARE PLATFORM FOR TESTING IN A VIRTUAL ENVIRONMENT

As continues, in this paper is presented

testare în mediu virtual. Ea include software-ul următoarelor produse (Fig. 2): CAD - Computer Aided Design (ex. CATIA, PROENGINEER, SOLID WORKS); MBS - Multicorp Systems (ex. ADAMS, SD-EXACT); FEA - analiza cu element finit (ex. NASTRAN, COSMOS ,ANSYS); Comandă și Control (ex. MATLAB, EASY5, MATRIX).

a complex software platform [2] for testing in the virtual environment. It includes the software of the following products (Fig. 2): CAD - Computer Aided Design (ex. CATIA, PROENGINEER, SOLID WORKS); MBS - Multicorp Systems (ex. ADAMS, SD-EXACT); FEA – finite element analyze (ex. NASTRAN, COSMOS ,ANSYS); Command and control (ex. MATLAB, EASY5, MATRIX).

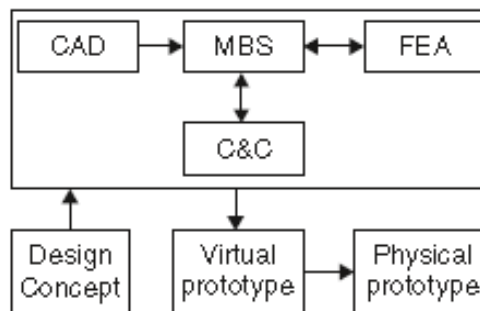


Fig. 2 Platforma de prototipare virtuală
Fig. 2 Virtual prototyping platform

Soft-ul CAD este utilizat pentru crearea modelului geometric (solid) al sistemului mecanic. Acest model conține date despre proprietățile de masă și de inerție ale pieselor rigide. Geometria piesei poate fi exportată din CAD în MBS folosind formatul standard de fișiere, cum ar fi STEP sau PARASOLID. Pentru a importa geometria pieselor rigide, software-ul MBS citește fișierul CAD și convertește geometria într-un set de elemente geometrice MBS. Soft-ul FEA este folosit pentru modelarea corpurilor flexibile ale sistemelor mecanice. Integrarea flexibilităților în model permite capturarea efectelor inerțiale și respectarea lor în timpul simulării, pentru a studia deformările componentelor flexibile și a determina cu precizie mai mare solicitările acestora, obținându-se rezultate realiste. Caracteristicile corpului flexibil sunt definite într-un fișier de ieșire al modelării cu elemente finite (MNF - Modal Neutral File). Informațiile din MNF includ nodurile și conectivitatea lor, masa nodală și inerția, formele modale, masa și rigiditatea generalizată pentru forme modale. Modelul MBS transmite modulului FEA stările de

CAD soft is used to create the geometrical pattern (solid) of the mechanical system. This pattern contains information on mass and inertia properties of rigid pieces. The geometry of the piece can be exported from CAD in MBS using standard format of files, like STEP or PARASOLID. To import rigid pieces geometry, the MBS software reads CAD file and converts geometry in a set of geometrical MBS elements. The FEA soft is used to shape flexible bodies of mechanical system. The integration of the flexibilities in the pattern allows capturing the inertia effects and respecting them during simulation, to study the flexible component's deformation and to precisely determine their requests, obtaining realist results. Flexible body characteristics are defined in an exit file of finite elements shaping (MNF - Modal Neutral File). MNF information include nodes and tjeir conetivity, nodal mass and inertia, modal forms, mass and generalised rigidity form modal forms. The MBS pattern transmits the FEA module the movement and loading status of the mechanical system, which can be defined by using a FEA Loads

mișcare și de solicitare ale sistemului mecanic, care pot fi definite utilizând un format de fișier FEA Loads.

file.

4. NOȚIUNI GENERALE PRIVIND OPTIMIZAREA SISTEMELOR MECANICE

4.GENERAL NOTIONS REGARDING THE OPTIMIZATION OF THE MECHANICAL SYSTEMS

În construirea unui model matematic care descrie exact complexitatea problemei și care este fezabil din punct de vedere numeric trebuie stăpânit compromisul și dobândirea de abilități pentru a putea construi modele în mod expert.

To build a mathematical pattern describing exactly the problem's complexity and which is feasible from numerical point of view must be possessed the compromise and achieving abilities to be able to construct patterns in expert mode.

4.1. EXTREMELE FUNCȚIILOR REALE DE MAI MULTE VARIABLE

4.1. EXTREMES OF THE REAL FUNCTIONS OF SEVERAL VARIABLES

Fie funcția $f : A \subseteq \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ și $(a,b) \in A$. Punctul $(a,b) \in A \subseteq \mathbb{R}^2$ se numește punct staționar atunci când:

Be the function $f: A \subseteq \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ și $(a,b) \in A$. The point $(a,b) \in A \subseteq \mathbb{R}^2$ it is called stationary point when:

$$f'_x(a,b) = \frac{\partial f(a,b)}{\partial x} = 0, \quad f'_y(a,b) = \frac{\partial f(a,b)}{\partial y} = 0. \quad (1.1)$$

Teoremă: Fie $f : A \subseteq \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ și $(a,b) \in A$ un punct staționar. Presupunem că pe o vecinătate V a punctului (a, b) funcția admite derivate parțiale de ordinul doi continue.

Theorem: Be $f : A \subseteq \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ și $(a,b) \in A$ a stationary point. We suppose that on a proximity V of the point (a, b) the function admits partial, continuous derivates of the second order.

Considerăm expresia:

Considering the expression:

$$E = \left(\frac{\partial^2 f(a,b)}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 f(a,b)}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 f(a,b)}{\partial y^2} = s_0^2 - r_0 t_0$$

1. Dacă $E < 0$ atunci (a,b) este un punct de extrem local și anume:

1. In case $E < 0$ then (a,b) is a point of extremely local, namely:

$$\text{minim când } \frac{\partial^2 f(a,b)}{\partial x^2} > 0, \quad (1.2) \quad \text{minimal when } \frac{\partial^2 f(a,b)}{\partial x^2} > 0, \quad (1.2)$$

$$\text{maxim când } \frac{\partial^2 f(a,b)}{\partial x^2} < 0, \quad (1.3) \quad \text{maximal when } \frac{\partial^2 f(a,b)}{\partial x^2} < 0. \quad (1.3)$$

2. Dacă $E > 0$, punctul (a, b) nu este punct de extrem local

Generalizare:

Fie funcția $f: A \subseteq \mathbb{R}^p \rightarrow \mathbb{R}$ și $x_0 = (x_1^0, x_2^0, \dots, x_p^0)$,

un punct din A . Funcția f are minim local în punctul x_0 dacă există o vecinătate V a lui x_0 , astfel încât $f(x) \geq f(x_0)$ pentru orice $x = (x_1, x_2, \dots, x_p) \in V$. Punctul x_0 este punct de maxim local pentru funcția f dacă $f(x) \leq f(x_0)$ pentru orice $x \in V$.

În cazul în care funcția f are derivate parțiale continue până la ordinul doi inclusiv, într-o vecinătate a punctului staționar $x_0 = (x_1^0, x_2^0, \dots, x_p^0)$, atunci:

a. dacă $d^2f(x_0)$ este pozitiv definită (ca formă pătratică în creșterile argumentelor), punctul x_0 este un punct de minim pentru f ;

b. dacă $d^2f(x_0)$ este negativ definită (ca formă pătratică), x_0 este un punct de maxim pentru f ;

c. dacă $d^2f(x_0)$ ia și valori pozitive și valori negative, x_0 nu este punct de extrem.

4.2. EXTREME LIBERE SAU NECONDIȚIONATE. FORME PĂTRATICE.

Punctele de maxim local și punctele de minim local ale funcției $f: A \subseteq \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$, se numesc puncte de extrem local ale funcției $f(x, y)$, iar valoarea funcției $f(x, y)$ într-un astfel de punct local M , $f(M)$, se numește extrem (maxim sau minim) local al funcției $f(x, y)$.

Dacă asupra variabilelor x și y nu sunt puse condiții sau restricții, se spune că avem extreme libere sau necondiționate.

2. In case $E > 0$, the point (a, b) is not a point of extremely local

Generalization:

Be the function $f: A \subseteq \mathbb{R}^p \rightarrow \mathbb{R}$ și $x_0 = (x_1^0, x_2^0, \dots, x_p^0)$,

a point from A . The function f has a local minimum in the point x_0 if there is a proximity V of x_0 , so that $f(x) \geq f(x_0)$ for any $x = (x_1, x_2, \dots, x_p) \in V$. The point x_0 is a local maximum point for function f in case $f(x) \leq f(x_0)$ for any $x \in V$.

In case function f has continuous, partial derivatives, up to the second order, inclusively, in proximity of the stationary point $x_0 = (x_1^0, x_2^0, \dots, x_p^0)$, then:

a. in case $d^2f(x_0)$ is positively defined (as square form in arguments increasing), the point x_0 is a minimum point for f ;

b. in case $d^2f(x_0)$ is negatively defined (as square form), x_0 is a maximum point for f ;

c. in case $d^2f(x_0)$ takes positive and negative values, x_0 is not an extreme point.

4.2. FREE OR UNCONDITIONED EXTREMES. SQUARE FORMS

The local maximum points and the local minimum points of the function $f: A \subseteq \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$, are called points of extremely local of the function $f(x, y)$, and the value of the function $f(x, y)$ in such a local point M , $f(M)$, is called extreme (maximum or minimal) local of the function $f(x, y)$.

In case concerning x and y variable, no conditions or restriction are made, it is

Alegând o vecinătate V a punctului (x_0, y_0) astfel ca restul formulei lui Taylor să fie neglijabil, putem scrie aproximarea:

$$f(x, y) - f(x_0, y_0) \cong \frac{1}{2} d^2f(x_0, y_0), \quad (1.4)$$

și, ca urmare, semnul creșterii $f(x, y) - f(x_0, y_0)$ este dat de semnul diferențialei de ordinul doi, $d^2f(x_0, y_0)$, care este o formă pătratică în variabilele dx, dy .

said that we have free of unconditioned extremes.

Selecting a proximity V of the point (x_0, y_0) so that the rest of Taylor formula be negligible, we can write down the approximation:

and, as a result, the accretion sign $f(x, y) - f(x_0, y_0)$ it is given by the second order differential sign, $d^2f(x_0, y_0)$, being a square form in the variables dx, dy .

$$d^2f(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \frac{\partial^2 f(x_0, y_0)}{\partial x_i \partial x_j} \cdot dx_i \cdot dx_j. \quad (1.5)$$

În cazul: În case of:
 $\mathbb{R}^n (f: A \subseteq \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}): x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $\mathbb{R}^n (f: A \subseteq \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}): x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, if
 dacă $d^2f(a) > 0$, punctul (a_1, a_2, \dots, a_n) $d^2f(a) > 0$, the point (a_1, a_2, \dots, a_n) is a
 este punct de minim, iar dacă $d^2f(a) < 0$, minimum point, and in case $d^2f(a) < 0$,
 atunci (a_1, a_2, \dots, a_n) este punct de maxim. then (a_1, a_2, \dots, a_n) is a maximum point.

Semnul formei pătratice $d^2f(a)$, The sign of the square form $d^2f(a)$,
 $a(a_1, a_2, \dots, a_n)$, se poate determina cu $a(a_1, a_2, \dots, a_n)$, can be determined with
 ajutorul metodei lui Jacobi. Se notează cu the aid of the Jacobi method. It is marked
 $H_f(a)$ matricea hessiană definită astfel: $H_f(a)$ teh hessian matrix defined this way:

$$H_f(a) = \left(\frac{\partial^2 f(a)}{\partial x_i \partial x_j} \right), \quad i, j = \overline{1, n}, \quad (1.6)$$

care este o matrice pătratică de ordinul n . being the square matrix of n order.
 Forma canonică a funcționalei pătratice The canonical form f the square functional
 $d^2f(a)$ este: $d^2f(a)$ is:

$$d^2f(a) = \frac{\Delta_0}{\Delta_1} \cdot \mu_1^2 + \frac{\Delta_1}{\Delta_2} \cdot \mu_2^2 + \dots + \frac{\Delta_{n-1}}{\Delta_n} \cdot \mu_n^2, \quad (1.7)$$

unde: where:

$$\Delta_0 = 1, \quad \Delta_1 = f''_{11}(a), \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} f''_{11}(a) & f''_{12}(a) \\ f''_{21}(a) & f''_{22}(a) \end{vmatrix}, \quad \Delta_n = \det H_f(a). \quad (1.8)$$

În concluzie, dacă toți $\Delta_i > 0$, atunci As a conclusion, in case all $\Delta_i > 0$, then
 $d^2f(a) > 0$ și punctul (a_1, a_2, \dots, a_n) este $d^2f(a) > 0$ and point (a_1, a_2, \dots, a_n) is a

pentru măsurători.

Prototiparea virtuală a devenit foarte importantă într-o mulțime de domenii, de exemplu industria auto, industria aeronautică, industria feroviară, robotica, biomecanica, produse mecatronice, mașini industriale ș.a.

Optimizarea este un principiu fundamental al unei multitudini de probleme complexe de alocare și decizie, care implică selecția de valori pentru o mulțime de variabile inter-relaționate, prin realizarea unui singur obiectiv ales special. Obiectivul este de obicei o funcție sau funcțională, care este maximizată sau minimizată, cu posibile constrângeri care limitează alegerea valorilor pentru variabile.

BIBLIOGRAFIE

- [1] J. Arora, Introduction to Optimum Design, McGraw-Hill, New-York, 1989.
- [2] C. Alexandru, Software Platform for Analyzing and Optimizing the Mechanical Systems, Proceedings of SYROM 2009, Springer Science&Business Media, B.V. 2009.
- [3] D. Mironescu, Contribuții privind optimizarea și corectarea performanțelor funcționale la unele sisteme robotizate, teza de doctorat, 2006.
- [4] S. S. Rao, L. Cao, Optimum design of mechanical systems involving interval parameters. ASME Journal of Mechanical Design, 124:465–472, 2002.
- [5] H. WANG; J. ZHANG, The parameter modeling and analysis of Virtual prototype basing on the ADAMS, Mechanical Manufacture, vol.42, no.482, pp.41-43, 2004.

Virtual prototyping become very important in a multitude of sectors, for example auto industry, aeronautics industry, railway industry, robotics, biomechanics, mechatronic products, industrial machines, so on.

Optimization is a main principle of a multitude of complex problem of assignation and decision, involving the selection of values for a multitude of inter-relational variables, by realising a unique objective, especially elected. The objective is most commonly a function or a functional, which is maximised or minimised, with possible constraints limiting values for variables.

BIBLIOGRAPHY

- [1] J. Arora, Introduction to Optimum Design, McGraw-Hill, New-York, 1989.
- [2] C. Alexandru, Software Platform for Analyzing and Optimizing the Mechanical Systems, Proceedings of SYROM 2009, Springer Science&Business Media, B.V. 2009.
- [3] D. Mironescu, Contributions concerning optimization and correction of functional performances to some robotized systems, Doctoral thesis, 2006.
- [4] S. S. Rao, L. Cao, Optimum design of mechanical systems involving interval parameters. ASME Journal of Mechanical Design, 124:465–472, 2002.
- [5] H. WANG; J. ZHANG, The parameter modeling and analysis of Virtual prototype basing on the ADAMS, Mechanical Manufacture, vol.42, no.482, pp.41-43, 2004.