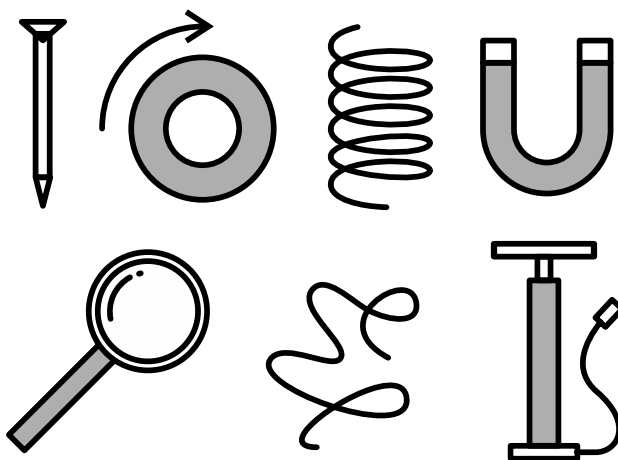


# Șuruburi și piulițe

Șapte invenții mici  
care au schimbat lumea  
(în mare măsură)



**Roma Agrawal**

Traducere din engleză de Louis Ulrich

COLEȚIA  
DE ȘTIINȚĂ

PUBLICA

Titlul și subtitlul originale:  
*NUTS AND BOLTS:*  
*Seven Small Inventions That Changed The World*  
*(in a Big Way)*  
Autor: Roma Agrawal

**Copyright © Roma The Engineer Ltd 2023**

**Copyright © Publica, 2024 pentru prezenta ediție**

Toate drepturile rezervate. Nicio parte din această carte nu poate fi reprodusă sau difuzată în orice formă sau prin orice mijloace, scris, foto sau video, exceptând cazul unor scurte citate sau recenzii, fără acordul scris din partea editorului.

**Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**  
**AGRAWAL, ROMA**

***Șuruburi & piulițe : șapte invenții mici care au schimbat lumea (în mare măsură) / de Roma Agrawal ; trad. din lb. engleză de Louis Ulrich. -București : Publica, 2024***

Conține bibliografie  
ISBN 978-606-722-592-1

I. Ulrich, Louis (trad.)

62

**EDITORI:** Cătălin Muraru, Silviu Dragomir

**DIRECTOR EXECUTIV:** Adina Vasile

**REDACTOR-ȘEF:** Ruxandra Tudor

**DESIGN COPERTĂ:** Alexe Popescu

**REDACTOR:** Roxana Măciucă

**CORECTOR:** Rodica Crețu

**DTP:** Florin Teodoru

*Și, în sfârșit, pentru tine, Curiozitatea mea*

# CUPRINS

<b>Introducere</b> .....	9
<b>1. Cuiul</b> .....	17
<b>2. Roata</b> .....	55
<b>3. Resortul</b> .....	87
<b>4. Magnetul</b> .....	129
<b>5. Lentila</b> .....	165
<b>6. Firul</b> .....	203
<b>7. Pompa</b> .....	235
<b>Concluzie</b> .....	269
<b>Mulțumiri</b> .....	279
<b>Contribuitori</b> .....	283
<b>Bibliografie și lecturi suplimentare</b> .....	289



# Introducere

O MULȚIME DE CREIOANE RUPTE zac în dezordine în fața mea. Oftez. Rezultatele sunt dezamăgitoare.

Trebuie să fi avut vreo cinci ani pe atunci și locuiam cu părinții și sora mea în nordul înzăpezit al statului New York. Erau anii 1980 și aveam o colecție de gentuțe pentru prânz încăpătoare, dreptunghiulare, în care, de obicei, se găseau sandviciuri, gustări și un termos. Cea din fața mea care stătea deschisă era preferata mea, având pe partea din față o fotografie a personajelor din Muppets. Numai că nu era plină cu mâncare. În loc de asta, conținea uriașa mea colecție de creioane: lungi, scurte, groase, subțiri, în toate nuanțele disponibile. Ca majoritatea copiilor, eram tot timpul curioasă și într-o zi am decis să „descopăr” ce era în interiorul creionelor mele. Așa că am dezlipit hârtia în care erau învelite, le-am așezat unul câte unul pe marginea dură și ascuțită a gentuței pentru prânz care era deschisă și le-am rupt în două. Nerăbdarea mea uriașă a dispărut însă când am descoperit, ei bine, și mai mult creion în interior. Cu toate acestea – și spre marea disperare a surorii mele –, am insistat.

Când am mai crescut și am început să scriu cuvinte pe hârtie cu creioanele, aveam să le răsucesc într-o ascuțitoare,

creând lungi spirale de lemn, pentru a vedea dacă miezul gri al creionului se întindea pe toată lungimea acestuia. Se întindea. Apoi am trecut la stilouri, demontându-le pentru a scoate la iveală interioare și mai interesante. Departe de creioanele dezamăgitoare ale copilăriei mele timpurii, înăuntrul stilourilor și pixurilor erau cartușe subțiri și resorturi elicoidale, ținute laolaltă de un căpăcel care se înfileta, precum un șurub, pe restul stiloului.

Pe lângă faptul că desfăceam eu însămi lucruri pentru a-mi satisface curiozitatea, îmi băgam nasul când făceau asta și alții. Crescând în India, am văzut cum mi-a fost demontat televizorul când imaginea s-a acoperit de niște linii negre. Dezmembrarea lui a scos la iveală o mulțime de măruntaie uluitoare pe care le-am înțeles abia când mi-am luat diploma în fizică. De fapt, motivul pentru care am ales să studiez fizica a fost că voiam să înțeleg elementele constitutive ale universului nostru. Spre sfârșitul anilor mei de școală, devenisem fascinată de fizica atomică și a particulelor, captivată de ideea că atomul însuși, considerat cândva indivizibil, era alcătuit, de fapt, din electroni, protoni și neutroni – și că aceștia, după ce fuseseră la rândul lor pe podium în calitate de „elemente fundamentale ale materiei”, erau înlocuiți de constituenții lor și mai mici, quarcii. Indiferent dacă am înțeles asta sau nu la vremea aceea, misiunea mea era să descopăr din ce erau făcute lucrurile și cum au apărut.

Fie că este vorba de materia care compune universul nostru sau din care sunt constituite ființele vii, fie că este vorba de obiecte pe care noi le-am inventat, compozițiile complexe conțin lucruri mai mici și mai simple. Eu am fost suficient de norocoasă încât curiozitatea din copilărie privind alcătuirea obiectelor să stea la baza carierei mele. Ca inginer, sunt tot timpul fascinată de felul în care sunt construite mașinile,

clădirile și obiectele pe care le folosim zi de zi și de ceea ce se află în miezul lor – o fascinație pe care, fără îndoială, mulți dintre voi o împărtășiți. Cartea de față este manifestarea acelei fascinații.

Ingineria este o disciplină vastă, dar unele dintre realizările ei cele mai mari au fost de mici dimensiuni. În interiorul tuturor lucrurilor care ne înconjoară, create de om, se află elemente fundamentale fără de care mașinăria noastră complexă nu ar exista. La prima vedere, ele ar putea părea neinteresante. Adevărul este că fiecare dintre aceste elemente, care adesea sunt mărunte și uneori ascunse, reprezintă un triumf extraordinar al ingineriei, cu povești fascinante care se întind pe sute, ba chiar mii de ani. În Renaștere, oamenii de știință și inginerii au definit șase „mașinării simple”, considerate a sta la baza tuturor mașinăriilor complexe: pârghia, roata și osia, scripetele, planul înclinat, pana și șurubul. Astăzi însă cele șase par depășite și insuficiente. Prin urmare, am renunțat la unele și am adăugat altele pentru a pune în valoare șapte elemente care, în opinia mea, constituie baza lumii moderne. Ele înglobează o gamă vastă de inovații din punctul de vedere al principiilor științifice care stau la baza lor, al domeniilor ingineriei pe care le ating și al dimensiunii obiectelor a căror dezvoltare au permis-o.

Toate cele șapte obiecte pe care le-am ales – cuiul, roata, resortul, magnetul, lentila, firul și pompa – sunt minuni ale designului care au trecut prin multe forme diferite și continuă să o facă. Ele au rezistat din momentul în care au apărut. Pe măsură ce au evoluat, pe măsură ce au fost combinate în diverse permutări, complexitatea mașinăriilor pe care le-am putut realiza a generat, ca într-un efect al fluturului, o cascadă de invenții și inovații. Fiecare dintre aceste obiecte ne-a afectat în mod individual și a lăsat o amprentă de neșters

asupra lumii noastre; fără ele, viețile noastre ar fi de nerecunoscut. Bineînțeles că acestea au creat și au schimbat tehnologia, dar au avut un impact considerabil și asupra istoriei, societății, structurilor politice și de putere, biologiei, comunicațiilor, transportului, artelor și culturii noastre.

Am ales aceste șapte obiecte în 2020, în timpul primei perioade de carantină din Anglia, în plină pandemie. Închisă în casă, mi-am lăsat mintea să zboare, uitându-mă la lucrurile din jurul meu și la obiectele pe care le puteam vedea de la fereastră și deconstruindu-le mintal (sau uneori fizic) pentru a vedea ce zace în interiorul lor. M-am concentrat din nou asupra pixului și am văzut că este construit pe baza unui resort, unui șurub și unei sfere rotative. Mixerul pe care îl foloseam pentru a pregăti mâncarea bebelușului meu se baza pe angrenaje, care, la rândul lor, nu puteau exista fără roată. Înainte de asta, pe când alăptam, soțul meu a putut să o hrănească pe fiica noastră cu ajutorul unei pompe de sân. Procesul de fertilizare *in vitro* pe care l-am urmat pentru a crea embrionul din care s-a născut ea, precum și cercetările pentru crearea vaccinurilor împotriva COVID-19, s-au bazat pe o lentilă pentru vedea lucrurile la scară celulară. Măștile de protecție pe care le purtam în timpul scurtelor noastre plimbări și care îi protejau pe medici erau realizate din nenumărate fibre răsucite împreună pentru a forma o țesătură. Difuzorul telefonului meu grație căruia puteam auzi vocile familiei și prietenilor mei se baza pe un magnet, la fel și portul de rețea care îmi oferea acces la internet.

Chiar dacă mă gândeam la obiecte tot mai mari și mai complexe – excavatoare, zgârie-nori, fabrici, tunele, rețele electrice, mașini, sateliți și așa mai departe –, iar și iar reveneam la aceleași șapte inovații fundamentale. Avem nevoie de ceva ca să asamblăm lucrurile: cuiul. Avem nevoie de ceva

care se rotește sau pivotează: roata. Avem nevoie de energie și de tehnologii capabile să o stocheze: bateriile, evident, dar, mai important, resortul. Magnetismul și electricitatea ne permit să manipulăm lucruri de la distanță; lentila ne lasă să ne jucăm cu traiectoria luminii. Firul ne oferă un material rezistent și totodată flexibil. Pentru a transporta apa și a rămâne în viață, fabricăm pompe.

Inventarea sau descoperirea fiecăreia dintre aceste șapte piese de inginerie a implicat un proces de eșec și repetiție: să ai o nevoie, apoi să încerci diverse materiale, configurații și forme, până când ceva funcționează. Ca să luăm un exemplu, clădirile, podurile, fabricile, tractoarele, mașinile, telefoanele, lacătele, ceasurile și mașinile de spălat – de fapt, majoritatea lucrurilor care necesită piese de metal pentru a fi atașate unele de altele – au cuie, șuruburi, nituri și buloane care le țin împreună. Cuiul a fost inițial folosit pentru a asambla bucăți de lemn – un concept nou pentru a crea nave și piese de mobilier mai robuste. Mai târziu, șurubul a îmbunătățit considerabil puterea de prindere a cuiului, deși el a fost mult mai greu de fabricat. Apoi, când foile de metal subțire au putut fi produse cu un cost redus, nici cuiul, nici șurubul nu au mai fost potrivite pentru acest scop și s-a născut nitul. Niturile mici folosite la vasele de gătit au cedat locul unor nituri mai groase și mai rezistente pentru a îmbina avioane, vase și poduri de metal, înainte ca inginerii să inventeze bulonul, o combinație de nit și șurub, mai solid și mai ușor de instalat. The Shard, cel mai înalt turn din Europa Occidentală și un proiect la care am lucrat timp de șase ani ca inginer structurist, este menținut stabil și robust de astfel de buloane.

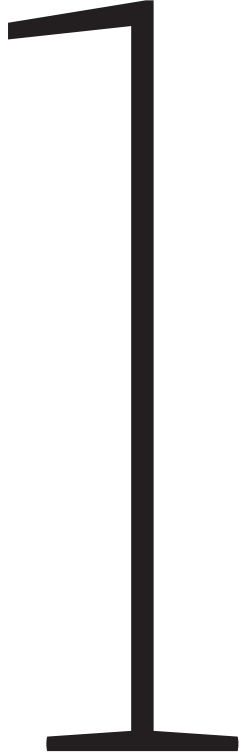
Toată această evoluție nu înseamnă însă că bătrânul cui este demodat. De fapt, cuiele și multiplele lor reîncarnări sunt toate folosite în paralel cu șuruburile, niturile și buloanele,

fiecare acolo unde se potrivește cel mai bine. Și așa designul evoluează: uneori, folosim aceeași tehnologie timp de secole înainte de a inventa brusc un nou material sau un nou procedeu și a înțelege că trebuie să adaptăm tehnologia existentă în consecință. Alteori, e invers: inventăm o nouă tehnologie, precum fibra kevlar incredibil de rezistentă, și apoi îi găsim utilizări – în acest caz, vestele antiglonț. Unele dintre aceste invenții s-au dezvoltat independent în diverse părți ale globului, având un design foarte similar, precum roata, însă altele, precum pompa, arătau foarte diferit. Și astfel s-au născut aceste invenții, apoi au suferit schimbări și au evoluat în felul lor, având adesea aplicații și implicații neașteptate, dincolo de întrebunțările lor inițiale.

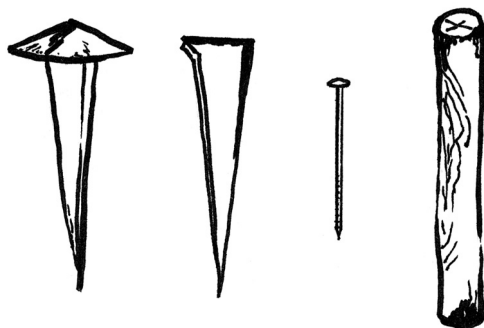
Deși considerăm ingineria un domeniu plin de obiecte neînsuflețite și elemente tehnologice complexe care adesea par din altă lume sau peste puterea noastră de înțelegere, în centrul ei se află oamenii: cei care o creează, cei care au nevoie de ea și o folosesc, cei care, uneori, din neatentie, contribuie la ea. Ei sunt croitoreasa din Delaware care s-a întrebat îngrijorată dacă costumul de astronaut al lui Neil Armstrong va rezista, doctorul care a lăsat să-i treacă curent electric prin mâini, comerciantul care și-a studiat sperma la microscop și sărmanul pacient care a primit prin transplant o inimă de la un porc. Ei sunt polimatul indian care a dirijat undele radio prin corpul unui guvernator important, chimista imigrantă care credea că a făcut o greșeală, dar a inventat ceva incredibil, eruditul musulman care a schimbat modul nostru de a vedea și casnica frustrată din cauza porțelanurilor sparte. Timp de secole, ingineria a fost dominată, mai ales în Occident, de cei bogați și educați – și, din punct de vedere istoric, de bărbați. Poveștile, aparatele și inovatorii pe care am ales să-i prezint aici vin din toată lumea, din epoci diferite

și includ contribuția adeseori ascunsă sau nerecunoscută a unor persoane aparținând unor grupuri minoritare în inginerie – povești adesea pierdute în negura timpului, deoarece munca lor nu a fost documentată, ei nu au cerut ori nu au putut să ceară brevete sau nu le-au obținut.

În paginile care urmează îți voi arăta că ingineria este întâlnirea științei cu designul și cu istoria. Este vorba despre nevoi umane și creativitate, despre identificarea problemelor și crearea unor soluții într-o manieră care nu a mai fost încercată până atunci. Este vorba despre încercarea de a ne îmbunătăți viețile, dar știind totodată că invențiile noastre pot avea un impact devastator asupra societății dacă nu sunt utilizate în mod responsabil. Îți voi arăta că, în forma sa fundamentală, ingineria este inextricabil legată de viața ta cotidiană și de umanitate. Sper că îți voi reaprinde curiozitatea din copilărie și te voi încuraja să cercetezi cutia neagră din ce în ce mai complexă a ingineriei, pentru a înțelege un pic mai bine elementele constitutive ale lumii noastre.



# Cuiul



„ROȘU-APRINS? NU-I SUFICIENT de fierbinte”, se aude vocea lui Rich peste vacarmul din atelier.

Cu mâinile goale, țineam cu grijă de vârful unei bare subțiri de oțel, cam de lungimea brațului meu. Partea de jos este vârâtă adânc în cocsul care arde într-un furnal de cărămidă la peste 1 000 de grade. Un ventilator electric suflă aer asupra flăcării pentru a o face și mai fierbinte. Dar, când scot bara pentru a-i verifica culoarea, care este de un roșu strălucitor și amenințător, Rich, fierarul, îmi spune că nu este gata. Așa că o bag înapoi în foc până când devine de un galben-portocaliu aprins. Acum, cu această piesă incandescentă de oțel pot să încep să fac un cui.

Pentru asta am nevoie de scule. În fața mea se află o nicovală - clasicul bloc masiv de fier al fierarului - cu legenda „102 kg” ștanțată pe o latură. Înclinând bara în așa fel încât

capătul ei incandescent să se sprijine pe suprafața plată a nicovalei, lovesc capătul cu un ciocan greu și metalul se turtește puțin. Îl mai lovesc de câteva ori, apoi rotesc bara la 90 de grade și o lovesc din nou. După o vreme însă, capătul barei se înnegrește; simt cum ciocanul ricoșează și sunetul devine mai ascuțit. Bara s-a răcit. Așa că o bag iar în foc până când devine încă o dată galben-portocalie. Bătut, rotit, reîncălzit. Am nevoie de trei astfel de cicluri pentru a modela un con bunicel la capătul barei. (Rich îl poate face într-unul singur.) Dar, până la urmă, am corpul cuiului meu.

Apoi introduc o daltă - cu capătul ascuțit în sus - într-o gaură pătrată din nicovală cunoscută sub numele de „gaura rezistentă”. Așez bara mea reîncălzită și subțiată pe lama dălții și o lovesc tare (la fel de tare precum cuiiele, probabil) pentru a cresta două laturi, ceea ce va facilita separarea capătului conic de restul barei. Ultima unealtă de care am nevoie este o placă metalică lungă, dreptunghiulară, plină cu găuri de diferite dimensiuni, ca și cum ar fi fost perforată cu un poanson. Aleg o gaură suficient de mare pentru a permite să treacă prin ea cea mai mare parte a conului și introduc viitorul meu cui. Cu o răsucire puternică, rup cuiul de restul barei. Acum vârful cuiului atârână în jos prin gaură, cu un centimetru de cap ițindu-se în partea de sus. După ce plasez vârful cuiului într-o gaură circulară de pe nicovală, lovesc rapid partea de sus pentru a-l aplatiza și a crea capul cuiului.

La final, „răcirea”: scufund întreaga placă și cuiul într-un vas cu apă, producând o sfârâitură plăcută și nori de abur la contactul dintre fierbinte și rece. Le scot, lovesc ușor cu ciocanul pentru a scoate cuiul din căpuitor și acesta cade pe podea cu un zgomot sec. Creația mea umilă și călduță încă.

Cuiiele pot părea o piesă simplă de inginerie, dar aruncă o privire în jurul tău și vei vedea că sunt peste tot. De la biroul

meu, în timp ce scriu, văd fotografiile suspendate și etajere asamblate cu cuie. Biroul însuși este construit cu ajutorul lor, la fel și pantofii pe care tocmai i-am aruncat sub el. Pereții, făcuți din panouri de lemn sub tencuială, și podeaua, sprijinită pe grinzi de lemn, sunt toate fixate cu ajutorul cuielor. Pe cele mai multe dintre ele nu le pot vedea efectiv, deoarece corpurile lor sunt îngropate în lemn, piele și cărămidă, dar sunt conștientă de prezența lor tăcută și liniștitoare.

Cuiul ne permite să conectăm lucrurile între ele. Poate că asta nu pare mare chestie, dar actul de a uni două lucruri a fost cândva revoluționar. Aproape tot ce e fabricat de om în jurul nostru este, în esență, o reuniune de segmente sau de materiale diferite, un fapt pe care îl luăm de la sine înțeles. Dar nu a fost mereu așa. Cu multe milenii în urmă, să crezi ceva însemna în general să modelezi o singură bucată de material pentru a-i da o formă mai utilă: să sapi o cameră într-o stâncă pentru a crea o peșteră, de exemplu, sau să ascuți o piatră pentru a crea o unealtă sau să dobori un trunchi de copac peste un pârâu pentru a crea un pod. Toate acestea sunt piese de inginerie utile. Totuși, pentru a construi locuințe mai complexe, o armă cu un vârf de piatră atașat unei prăjini sau un pod care să ne permită să parcurgem o distanță pe care un singur buștean nu o poate acoperi, a fost nevoie să asamblăm segmente – ceea ce a reprezentat un mare pas înainte pentru complexitatea creațiilor noastre.

Bineînțeles, poți oricând să stivuiști pietre pentru a susține un pod. Poți lega obiecte cu funii sau frânghii din piele sau, odată inventat cleiul, să le lipești. Dar cuietele și derivatele cărora le-au dat naștere – nitul, șurubul, bulonul – au permis oricui să creeze conexiuni solide între diferite materiale, cu puțină îndrumare și la o gamă vastă de dimensiuni: putem să unim grinzi și stâlpi mari din lemn pentru a construi clădiri,

putem să conectăm straturi de plăci lemnoase pentru a construi bărci și să suprapunem foi subțiri de metal pentru a face vapoare, sculpturi, lacăte și ceasuri. Imaginează-ți o lume fără cuie. Nu am putea să trimitem vreodată în spațiu sateliți asamblați în mod complex și legați doar cu sfoară, nici să fabricăm ceasuri cu piese mobile lipite.



Mi-am realizat cuiul la forja din satul Much Hadham, în Hertfordshire. Forja este folosită continuu începând din 1811. Tentativa mea era cam pătrătoasă și destul de groasă și neregulată, iar crearea ei a fost o muncă grea – tot ciocănitul ăla mi-a lăsat câteva bășici în palmă și un biceps care îmi tremura. Astăzi, desigur, majoritatea cuielor sunt realizate de mașinării, dar, timp de mii de ani, de la egipteni și romani încoace, fabricarea cuielor a implicat în esență procedeele și ciocănitul pe care a trebuit să le fac și eu la Much Hadham.

Această muncă grea s-a datorat în mare măsură maleabilității materialului folosit. Povestea cuiului este până la un punct (conic) povestea metalului. Deși există uneori avantaje în fabricarea cuielor din alte materiale, precum lemnul, cuielile din metal au schimbat regulile jocului. Metalul are două proprietăți care, împreună, îl fac esențial pentru fabricarea cuielor. Prima – este suficient de rezistent pentru a fi bătut cu ciocanul direct în alte materiale ca să le assembleze. Dar, la fel de important, poate fi modelat sub forma unui vârf ascuțit: metalele au o structură internă cristalină, ceea ce le conferă un tip special de flexibilitate – cunoscut sub numele de ductilitate – întrucât cristalele pot aluneca ușor unele peste altele. De aceea poți să deschizi sau să deformezi în mod repetat o agrafă de birou fără ca ea să se rupă. (La celălalt capăt al

spectrului se găsesc materialele fragile, precum sticla, care se sparg ușor când exerciți o forță asupra lor.)

Căldura este un mijloc prin care metalul poate deveni ductil. Temperatura înaltă a unei forje excită electronii care orbitează nucleul și atomii din structura cristalului, care se deplasează astfel cu mare viteză. Asta înseamnă că energia termică se propagă rapid prin metale, făcându-le bune conducătoare. Metalele au puncte de topire diferite și niveluri de conductivitate diferite, dar, cu cât metalul este mai încins, cu atât atomii și electronii alunecă mai ușor unii peste alții, astfel că materialul devine moale și flexibil, gata să fie modelat cu ciocanul. În mod surprinzător, încălzirea și ciocănitul modifică și structura reală a metalului, rearanjând marile cristale grosiere în cristale mai mici și mai regulate, făcându-l mai rezistent, mai dur și mai consistent când se răcește.

Oamenii au început să prelucreze aurul în epoca de piatră, acum aproximativ 8 000 de ani, apoi au descoperit cuprul, argintul și plumbul. Majoritatea acestor metale sunt mult prea moi ca să se poată produce cuie din ele, însă cuprul a fost primul metal care a dovedit potențial. Apoi unii dintre strămoșii noștri cei mai întreprinzători au descoperit cum să amestece cuprul și staniul pentru a produce bronz, creând, în cele din urmă, un material suficient de rezistent pentru a face din el unelte, arme, armuri și cuie cu o durată de viață mai lungă.

Cele mai vechi cuie de bronz datează din 3400 î.H. și au fost descoperite în Egipt. Seamănă remarcabil de mult cu cele din oțel forjat care se realizează astăzi manual, deși de-a lungul celor 5 000 de ani care au trecut s-au acoperit de rugină, s-au tocit și s-au decolorat. Egiptenii au fost experți în prelucrarea bronzului, creând incrustații complexe în

metal cu pietre prețioase, emailuri și aur și folosindu-l totodată pentru unelte mai practice, precum cuiele, cu care și-au asamblat bărcile și carele de luptă.

Vreme de 1 000 de ani după aceea, noi am folosit cuprul și bronzul pentru a fabrica cuie, deși bronzul nu a fost niciodată alegerea comercială cea mai practică, fiindcă se baza pe cupru și staniu, metale care se găsesc rareori în același loc. În jurul anului 1300 î.H., muncitorii care se ocupau de prelucrarea metalului din India și Sri Lanka au descoperit cum să facă fier (care este cam la fel de dur ca bronzul și mai dur decât cuprul). Asta a marcat începutul Epocii Fierului în Orient, iar bronzul a fost curând înlocuit de acest nou material. Ultimul cui în coșciugul bronzului l-a reprezentat o perioadă tumultuoasă din punct de vedere politic în Orientul Mijlociu, care a început prin 1200 î.H., perturbând rutele comerciale și făcând staniul (și deci bronzul) foarte scump. Mai târziu, fierul a fost și el înlocuit în momentul când oamenii au descoperit că amestecarea lui cu puțin carbon crea aliaje precum oțelul, ceea ce a condus la fabricarea unor cuie mult mai rezistente.

Romanii au devenit foarte pricepuți la manipularea fierului din India, folosindu-l în diverse scopuri, de la crearea de armuri până la fabricarea în masă a cuielor pe tot cuprinsul imperiului lor, inclusiv în Britannia. În anii 1960, un uriaș tezaur de cuie romane a fost descoperit pe un câmp din Perthshire, Scoția, pe locul unei fortărețe legionare romane, numită Inchtuthil. Aproximativ 5 000 de soldați din legiunea a XX-a fuseseră cantonați aici între anii 83 și 86 d.H., dată la care fortăreața a fost brusc abandonată. Ea a fost ocupată atât de puțin timp, că romanii nu terminaseră de construit băile și apeductele lor obișnuite pentru aprovizionarea cu apă, dar săpăturile arheologice au oferit o perspectivă fascinantă

asupra concepției fortărețelor romane și a capacităților lor de construire.

Fortăreața era imensă, ocupând o suprafață de peste 21 de hectare (mai bine de 26 de terenuri de fotbal) și includea 64 de cazărmi, un spital, magazii de cereale și, mai ales, o *fabrica*, sau forjă. Într-o aripă a acestei construcții a fost descoperită o vatră de fierărie, iar în alta, o groapă mare sigilată. Săpând cu grijă prin cei doi metri de pietriș, arheologii au descoperit o comoară neașteptată: cuie de fier – 875 428 de bucăți, mai exact – de diferite dimensiuni. În mod remarcabil, cele mai multe dintre ele erau aproape intacte. Cuiele aflate cel mai aproape de suprafață se corodaseră și formaseră o crustă impermeabilă, protejând restul de rugină și lăsând aceste cuie vechi de două milenii aproape la fel de ascuțite și de strălucitoare ca în ziua în care fuseseră realizate.

Pe străzile pietruite care înconjurau *fabrica* erau săpate fâgașe bine definite, indicând că pe acolo fuseseră transportate materiale grele. E posibil ca forja de la Inchtuthil să fi furnizat cuie și altor așezări, iar mărimea tezaurului sugerează că există posibilitatea ca generalul Iulius Agricola, conducătorul roman al Britanniei la acea vreme, să fi plănuit construirea și a altor forturi mai la nord înainte de a fi chemat brusc la Roma, întrucât planificarea militară s-a concentrat asupra Europei continentale. Când legiunea lui s-a retras, au incendiat fortăreața și au îngropat zece tone de cuie, temându-se ca nu cumva caledonienii din partea locului să le topească pentru a face din ele arme.

În groapa de la Inchtuthil au fost descoperite șase tipuri distincte de cuie, fiecare aparent conceput cu un alt scop. Cele mai comune erau cuie mici, cu un cap de forma unui disc, cam de un deget lungime și folosite probabil la mobilier sau

la prinderea panourilor de lemn care căpтуșeau pereții sau podeaua. Câteva tipuri de cuie mai groase, lungi cam de la cotul meu până la vârful degetelor, trebuie să fi fixat bușteni grei și erau concepute cu capete piramidale care puteau rezista la lovituri prelungite. Majoritatea cuielor erau cu tijă pătrată, dar, printre celelalte tipuri, au existat și 28 de cuie cu tijă rotundă, cu capete conice aplatizate și vârfuri în formă de daltă – acestea erau probabil folosite pentru a străpunge zidăria, fiindcă o tijă pătrată risca să spargă piatra la colțuri.

Romanii găsiseră soluția: cuielor lor erau de înaltă calitate și foarte uniforme ca formă, mărime și material. Cele mari conțineau mai mult carbon decât cele mici, fiind astfel mai dure – ceea ce sugerează că fierarii calibrau materia primă înainte de a o forja. Vârful lor erau mai dure decât capetele, probabil din cauza felului în care fuseseră încălzite, ciocănite și călite. În mod clar, ele erau opera unor experți în prelucrarea metalului extrem de pricepuți. După cum știu foarte bine acum, să fabrici cuie manual este o activitate complexă – și epuizantă. Trebuie să înțelegi știința de a încălzi metalul până la temperatura ideală și să folosești forța și direcția de ciocănire corespunzătoare – iar toate acestea trebuie făcute rapid, în timp ce metalul este încă suficient de cald. Anticii nu puteau să măsoare temperatura la care ajungeau materialele lor, așa că se ghidau după culoare. Metalul încălzit până devine roșu (între 700 și 900 °C pentru oțel) se îndoaie foarte bine, dar, dacă încerci ceva mai complex, s-ar putea să crape. Devine și mai flexibil când este încălzit mai mult, căpătând o culoare portocalie precum soarele la asfințit. Încălzește-l și mai mult, la peste 1 300 °C, și oțelul devine de un alb orbitor. Aceasta este temperatura bună pentru a bate piese împreună și a le „suda cu foc”, un procedeu care își trage numele de la scântele albe strălucitoare care sar din oțel. (Când este atât

de fierbinte, metalul are propria intensitate hipnotică. În cursul cercetărilor pentru această carte, am stat de vorbă cu Agnes Jones, artistă și expertă în forjare, care creează extraordinare sculpturi organice din oțel. Pentru Agnes, oțelul încălzit până devine alb are o frumusețe suprarealistă, pentru că un strat subțire de la suprafață se topește, estompând liniile sale definite, precum stratul de nisip de la suprafață al unei plaje într-o zi vântoasă.) Această căldură albă orbitoare este punctul până la care vrea să ajungă un fierar. Dincolo de acest punct, oțelul se transformă în scânteie și miroase precum artificiile. Asta înseamnă că arde.

Așadar 1 000-1 200 °C este punctul ideal pentru forjarea oțelului cu conținut scăzut de carbon (temperatura exactă va depinde de compoziția specifică a metalului). Acesta este momentul în care metalul strălucește galben ca soarele într-o după-amiază de vară, ceea ce arată că oțelul a devenit suficient de moale pentru a fi manipulat până la un anumit punct. Odată ce ești mulțumit de formă, răcirea bruscă a barei prin cufundarea ei în apă rece – procesul de călire pe care l-am urmat mai devreme – ajută la întărirea acesteia, conferindu-i rezistență și menținându-i forma.

Fabricarea cuielelor a continuat să fie o abilitate particulară și apreciată timp de secole în Europa după căderea Imperiului Roman. În Anglia medievală, producătorii creau cuie pentru potcoave, tâmplărie și construcția caselor. (Englezescul *nailers* – „producători de cuie” – stă la originea numelui de familie Naylor.) Este greu să ne imaginăm astăzi, dar cuiele erau atât de valoroase în această epocă preindustrială, când materialele și muncitorii pricepuți nu erau ușor de găsit, încât britanicii au interzis exportul lor în colonii, inclusiv în America de Nord, unde casele de lemn erau norma. Ca urmare, cuiele

au devenit atât de prețioase acolo încât unii oameni chiar își incendiau casele când se mutau pentru a recupera cuiele din cenușă. În 1619, în statul Virginia a fost votată o lege pentru a descuraja această practică, promițând proprietarului o compensație:

Și nu va fi permis niciunei persoane care părăsește plantația așa cum s-a spus mai sus să ardă orice locuință necesară care se găsește acolo, ci va primi atâtea cuie cât pot fi numărate de doi bărbați nepărtinitori, câte au fost necesare pentru construcția aceleia, pentru a fi pe deplin mulțumiți...

După Războiul de Independență din 1776, americanii au căutat să-și înființeze propria industrie producătoare de cuie, pentru a răspunde nevoilor unei economii și unei piețe imobiliare în plină expansiune. Una dintre primele operațiuni de anvergură a fost inițiată de Thomas Jefferson, unul dintre fondatorii Statelor Unite ale Americii. Cu șapte ani înainte de a deveni președinte, în 1801, Jefferson a înființat o turnătorie la ferma sa din Monticello, în Charlottesville, Virginia. Conacul, cu o plantație de peste 2 000 de hectare, era situat în vârful unui deal abrupt, unde, cât a trăit Jefferson, au muncit peste 400 de sclavi. Unul dintre ei, Joe Fosset, a trădit în turnătorie de la vârsta de 12 ani, alături de alți băieți care, împreună, fabricau manual între 8 000 și 10 000 de cuie în fiecare zi – suficient pentru a finanța familia Jefferson în timp ce solurile epuizate ale plantației se refăceau în anii în care erau scoase din circuitul agricol. Fosset a devenit mai târziu maistru sclav în turnătorie și, după ce a fost eliberat, și-a înființat propria afacere cu cuie, pentru a cumpăra libertatea soției și a celor zece copii ai săi.

Jefferson era mândru de afacerea lui de fabricare a cuielor și i-a scris politicianului francez Jean Nicolas DeMeunier că a fi fabricant de cuie era, pentru el, „un titlu nobiliar”. Câțiva ani mai târziu, în 1796, când prețul fierului scăzuse și cuietele au devenit mult mai accesibile, fiindcă britanicii începuseră în sfârșit să exporte, Jefferson îi scria entuziasmat unui alt prieten pentru a-i împărtăși speranțele că va crește producția cu ajutorul unei noi „mașinării de tăiat”.

Această mașinărie, cumpărată de Jefferson de la un oarecare domn Burrall din New York, a reprezentat începuturile producției mecanizate de cuie. Deși mașinile de fabricat cuie apăruseră încă din 1600, nu se bucurau de prea mare popularitate; erau greu de mânuite și produceau doar un cui o dată. Mașina lui Jefferson tăia cuie mici, din benzi subțiri de fier, folosite ca doage de butoi, care implicau probabil două lame verticale acționate de un arbore învârtit manual. Mașinăria lui Jefferson nu pare să fi fost capabilă să creeze capete pentru cuie, dar alte mașinării din acea perioadă foloseau o serie de pârghii pentru a presa capătul mai lat al cuiului și a-l aplatiza. Deși asta reducea munca fizică grea implicată în fabricarea cuielor și accelera procesul, nu a reprezentat o ruptură radicală față de trecut. Pătrătoase și cumva butucănoase, aceste cuie inițiale realizate de mașinării aveau mai multe în comun cu predecesoarele lor produse manual decât cu cuietele perfect rotunjite de astăzi.

Marea Britanie a rămas un important producător de cuie pe tot parcursul secolului al XIX-lea. Un meșter priceput putea realiza manual un cui într-un minut sau chiar mai puțin. Era ceva obișnuit ca băieții și fetele în vârstă de șapte ani, sau chiar mai mici, să facă cuie pentru a câștiga orice bănuț puteau. Fabricarea cuielor a prosperat, mai ales în regiunea Black Country, în centrul Angliei, datorită resurselor

locale de fier și cărbune. Era o sarcină lăsată, de obicei, în grija femeilor, ca să câștige banii necesari pentru hrană și cheltuielile gospodăriei, motiv pentru care cărbunarii, cum erau cunoscuți minerii de cărbune din partea locului, și negustorii de fier aspirau adesea să se căsătorească cu o „cuietoreasă” care mai putea aduce un ban în casă, când nu se ocupa de gospodărie și nu avea grijă de copii.

Numai că, așa cum se întâmplă adesea în cazul femeilor care câștigă bani, practica s-a confruntat cu o mișcare de opoziție, astfel că sindicatul forjorilor de cuie a încercat să introducă restricții cu privire la fabricarea cuielor de către femei; restricții care, la rândul lor, au fost respinse de proprietarii fabricilor de cuie, pentru care femeile reprezentau o mână de lucru ieftină. Unele femei au sfidat soarta și au reușit pe cont propriu. Eliza Tinsley, de pildă, a devenit cunoscută sub numele de „Văduva” când a preluat firma de cuie a soțului său, după moartea acestuia în 1851. În momentul decesului soțului ei, Tinsley avea cinci copii cu vârsta sub 11 ani și a reușit să extindă într-atât de mult afacerea familiei de fabricare a cuielor și a lanțurilor, încât a ajuns cea mai mare de acest tip din comitatul Staffordshire, cu depozite în alte șapte puncte. Eliza era cunoscută drept un angajator cinstit și omenos și a călătorit în toată Marea Britanie pentru a-și vizita clienții. La moartea sa în 1882, la vârsta de 69 de ani, compania avea peste 4 000 de angajați. Compania există și astăzi, purtând în continuare numele ei, la fel ca fiecare pachet de cuie pe care îl produce.

Pe de altă parte, în timpul vieții Elizei, industria a fost revoluționată de două evenimente. În primul rând, inginerii au descoperit puterea preciziei și a fabricării în masă: capacitatea de a fabrica obiecte similare, conform unor măsuri

exacte, în mod repetat. Henry Maudslay (născut în 1771) a inventat strungul pentru metale. Înainte de asta, micile piese metalice pentru mașini erau realizate manual și, ca atare, prezentau o neconcordanță inerentă. Mașina lui însă producea obiecte cu dimensiuni constante și precise, deschizând astfel lumea pieselor intersanjabile. De acum, componentele puteau fi produse în cantități foarte mari, cu certitudinea că fiecare dintre ele avea să se potrivească acolo unde trebuia. Ideea producției de masă a fost fundamentală pentru Revoluția Industrială și a condus la posibilitatea de a fabrica obiecte deosebit de fine și de mici, cum ar fi șuruburi, angrenaje, resorturi și sârmă.

A urmat apoi descoperirea modului de fabricare a oțelului rapid și cu un cost mai mic. În timp ce încerca să îmbunătățească calitatea fierului folosit pentru fabricarea armelor de foc, un alt Henry, Henry Bessemer (născut în 1813), și-a dat seama că fierul putea fi încălzit la temperaturi mult mai ridicate suflând peste el aer cald mai degrabă decât folosind cărbuni încinși. Acest nou proces ardea în mod eficient impuritățile din fier, după care putea fi adăugată din nou cantitatea perfectă de carbon pentru a crea oțel. Oțelul este mai rezistent și mai dur decât fierul pur, rezistă mult mai mult la uzură și are un grad mic de flexibilitate. Asta face din el un material ideal pentru fabricarea cuielor.

Aceste progrese au permis fabricarea mașinilor de presat rapide și puternice din secolul al XIX-lea, culminând cu capacitatea noastră de a produce tamburi mari de sârmă de oțel folosită apoi pentru a face cuie ieftine.

Aceste cuie din sârmă erau subțiri și rotunde și, la început, nu au fost preferate de tâmplarii pricepuți, fiindcă aveau o putere de strângere mai redusă decât cuietele pătrate. Însă, în cele din urmă, prețul lor mult mai mic a avut câștig de cauză

și producția a explodat. În 1886, 10% din cuiele din Statele Unite erau realizate din sârmă. În 1913, proporția era de 90%.

Astăzi, o mașină de presat cuie poate produce peste 800 de cuie metalice pe minut. Există mai multe tipuri de cuie: cuiele din sârmă netedă (cele mai comune); cuiele zincate, care oferă o protecție mai mare împotriva corodării; și cuiele cu fire ușoare sau texturi, numite cuie ghimpate. Dar la început toate sunt de forma unui fir de oțel înfășurat pe un tambur, exact precum cele create de mașinăriile de la începutul secolului XX. În general, diametrul sârmei este de șase milimetri, un pic cam mare, așa că ea este întinsă de o serie de tamburi rotativi care trag de ea pentru a o subția. Această sârmă mai subțire este apoi tăiată în bare. Pentru a transforma fiecare bară într-un cui se produc două lucruri. Mai întâi, o lamă presează un capăt într-un vârf ascuțit, apoi o altă mașinărie aplică o presiune foarte mare la cealaltă extremitate pentru a forma capul. Și asta-i tot. Fără niciun fel de încălzire sau de bătut cu ciocanul pentru a-ți dezvolta bicepsii. Procesul este bine stabilit – „bătut în cuie”, cum s-ar zice.



Ce vezi când te uiți la un cui? Dacă ești inginer, nu vezi un obiect solid și aparent inert, ci centrul unei varietăți de forțe care îl lovesc, îl împing, îl trag și îl taie. Aceste forțe sunt ceea ce, de-a lungul timpului, inginerii au trebuit să ia în calcul când au folosit cuie pentru a fixa lucruri împreună și a le face să rămână astfel.

Pentru a monta un cui, îi aplici lovituri precise ca să-l înfigi în materialul în care trebuie să intre. Capătul ascuțit garantează că respectivul cui poate străpunge suprafața fără a o deteriora prea mult. Cu cât zona asupra căreia acționează

forța este mai mică, cu atât presiunea este mai mare, astfel încât vârful cuiului canalizează eficient forța de lovire a ciocanului. Când stai în iarbă și porți pantofi cu tocuri ascuțite, te afunzi din același motiv.

Pe lângă forța aplicată prin intermediul cuiului asupra materialului în care acesta trebuie să intre, există și forța primită de cuiul însuși. Ultima dată când am agățat un tablou, cuiul s-a îndoit când l-am bătut în perete. Te-ai putea gândi că asta s-a întâmplat fiindcă am lovit cuiul puțin într-o parte, deci forțele nu au mers direct în corpul lui. Dar asta nu a fost singura problemă. De fapt, nu am lovit cuiul suficient de puternic, ceea ce ilustrează o altă caracteristică a metalului, care îl face să fie un material bun pentru producerea de cuie. Pare contraintuitiv – cu cât forța este mai mare, cu atât tija riscă să se deformeze? Exact așa se întâmplă în cazul clădirilor mari sau al podurilor, unde greutatea structurii apasă o perioadă îndelungată asupra fundației. Un cui însă se comportă diferit din cauza modului în care i se aplică forța și a modului în care reacționează la această forță. Aici nu vorbim despre o perioadă lungă: când bați un cui, forțele de compresie sunt enorme, trimițând unde de șoc prin corpul lui, dar durata sarcinii este de numai o fracțiune de secundă. Lovește cuiul suficient de puternic și nu va avea timp să se deformeze. Asta se explică în parte prin comportamentul ciudat al metalelor când sunt supuse unei încărcături. Sarcina la care ele se deformează poate depinde de rapiditatea cu care această sarcină este aplicată: cu cât este aplicată mai rapid, cu atât un metal poate rezista forței fără să se rupă.

Odată înfipt acest cui, cea care îl ține în loc este forța de frecare. Frecarea este forța care apare când două suprafețe alunecă sau încearcă să alunecă una peste alta. Dacă încerci