

ANALIZA UTICAJNIH PARAMETARA NA KVALITET OBLIKOVANIH PROIZVODA POSTUPKOM DUBOKOG IZVLAČENJA

ANALYSIS OF INFLUENTIAL PARAMETERS ON THE QUALITY OF PRODUCTS MADE BY DEEP DRAWING TECHNOLOGY

Ibrahim Plančić
Eldina Džulić
Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici
Zenica

REZIME

Jedan od najznačajnijih postupaka prerade limova je duboko izvlačenje. Predmetnim postupkom se iz raznih metalnih materijala izrađuju izdubljeni profili različitih oblika i dimenzija. Specifičnost samog procesa omogućava da se sa najmanjim brojem radnih operacija i uz minimalan otpadak dobiju izvučeni radni predmeti koji se kao takvi mogu neposredno upotrijebiti ili ugraditi u odgovarajući sklop. Postupak se najčešće izvodi u hladnom stanju oblikovanjem u više faza uslijed čega dolazi do intenzivnog ojačavanja materijala. Zbog toga se oblikovani dijelovi odlikuju znatno boljim mehaničkim osobinama. Pored toga, visoka tačnost izrađenih dijelova, kvalitet izrade i ponovljivost oblika čini ovaj postupak superiornijim u odnosu na druge varijante izrade u uslovima serijske proizvodnje. Složenost uslova obrade i mnoštvo uticajnih faktora, čine proces oblikovanja lima dubokim izvlačenjem veoma kompleksnim. Stoga je jako važno identificirati i efikasno odabrati ključne parametre oblikovanja pošto se projektovanje tehnologije i konstrukcija alata za duboko izvlačenje tradicionalno oslanja na literaturne preporuke i višegodišnje iskustvo inženjera. Za ove namjene danas su na raspolaganju i brojne softverske aplikacije koje olakšavaju realizaciju pojedinih faza oblikovanja. U radu je kroz primjer projektovanja tehnologije izrade lonca filtera ukazano na način izbora ključnih parametara oblikovanja i primjenu SolidWorks i SolidCAM aplikacija za izradu radnih elemenata alata. To u značajnoj mjeri doprinosi osiguranju visokog kvaliteta izradaka u postupku oblikovanja dubokim izvlačenjem u hladnom stanju, a za potrebe zahtijevne automobilske industrije.

Ključne riječi: Duboko izvlačenje, kućište filtera, kvalitet proizvoda

SUMMARY

One of the most important sheet metal processing processes is deep drawing. The subject procedure is making hollowed-out profiles of various shapes and dimensions from various metals. The specificity of the process allows to obtain extracted work items with the least number of work operations and with minimal waste, which as such can be used directly or installed in a suitable assembly. The process is usually performed in the cold state by forming in several phases. Therefore, the shaped parts are characterized by significantly better mechanical properties, such as hardness. In addition, the high accuracy of the manufactured parts, the quality of production and the repeatability of the shape made this process superior among others, especially in the conditions of serial production. The complexity of conditions and many influential factors made the process of sheet metal forming by deep drawing very

compound. Therefore, it is very important to identify and efficiently select key design parameters as the design of technology and construction of deep drawing tools traditionally relies on literature recommendations and experience of engineers. Numerous software applications are available for these purposes today, which facilitate the realization of individual design phases. In the paper, through the example of designing the technology for a filter pot, the way of selecting key design parameters and the application of SolidWorks and SolidCAM software for the creation of working elements of the tool are indicated. This significantly contributes to the high quality of the products in the process of forming by deep drawing in the cold state, and for the needs of the demanding automotive industry.

Keywords: Deep drawing, filter housing, product quality

1. UVODNI DIO

Kvalitet proizvoda je višedimenzionalni pojam koji podrazumijeva njegovu funkcionalnost, pouzdanost, trajnost, tačnost, lakoću rukovanja, te popravljivost, odnosno zamjenjivost i druga svojstva koja određuju sposobnost proizvoda da zadovolji određenu potrebu potrošača. Karakteristike koje određuju kvalitet predstavljaju osnovni konkurentski instrument za razlikovanje, odnosno diferenciranje određenog proizvoda od proizvoda konkurenata. One su istovremeno jedan od najvažnijih instrumenata pozicioniranja i brendiranja proizvoda od strane korisnika, odnosno potrošača. Kod izrade metalnih proizvoda za primjenu u različitim industrijskim oblastima, a posebno kada je u pitanju serijska i masovna proizvodnja limenih proizvoda, jako je važno projektovanje tehnologije i alata za dobijanje metalnih proizvoda potrebnog, a najčešće visokog ili najvišeg nivoa kvaliteta. Najviši kvalitet limenih metalnih proizvoda se najčešće obezbijeduje preradom lima u hladnom stanju kroz više faza oblikovanja i primjenu odgovarajućih sredstava za podmazivanje uslijed čega dolazi do lakšeg tečenja i intenzivnog ojačavanja materijala. Zbog toga se oblikovani dijelovi odlikuju znatno boljim mehaničkim osobinama, visokom tačnošću, ponovljivošću oblika i kvalitetom površine. Savremeni pristup projektovanju uopšte, pa i projektovanju tehnoloških procesa, podrazumijeva primjenu računara i odgovarajućih softverskih aplikacija. Pri tome se postupak projektovanja može u potpunosti automatizovati i izvršiti optimizacija tehnoloških parametara procesa, ali je moguća i parcijalna primjena određenih aplikacija koje doprinose kako jednostavnijem projektovanju pojedinih faza oblikovanja tako i efikasnijem kreiranju tehničke dokumentacije, odnosno konstrukcije i izrade ključnih elemenata alata za oblikovanje. Reprezentativni postupak oblikovanja lima je duboko izvlačenje koje odlikuje mnoštvo uticajnih parametara na finalni kvalitet izradaka. Njihova analiza i pronalaženje optimalnih vrijednosti predmet su brojnih istraživačkih radova, pa se projektovanje tehnologije i konstrukcija alata tradicionalno još uvijek najvećim dijelom oslanja na literaturne preporuke i višegodišnje iskustvo inženjera. U nastavku je ukazano na osnovne elemente kombinovanog pristupa baziranog na tradicionalnom projektovanju osnovnih elemenata višeoperacionog dubokog izvlačenja rotaciono simetričnih dijelova uz primjenu opšte dostupnih aplikacija kao pomoćnih alata za modeliranje i izradu radnih elemenata alata na primjeru oblikovanja lonca filtera.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE OBLIKOVANJA DUBOKIM IZVLAČENJEM

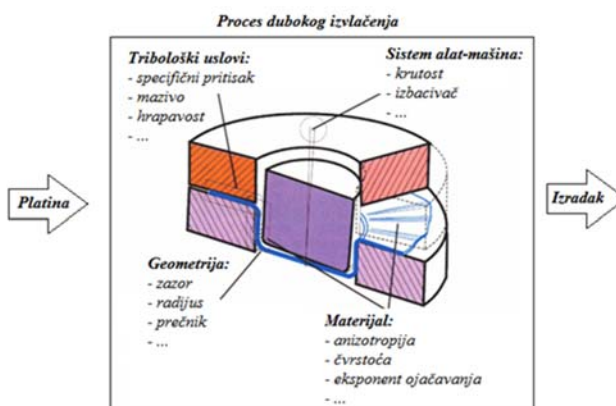
Jedan od najznačajnijih postupaka prerade limova je duboko izvlačenje. Ovaj postupak se koristi u širokom spektru industrijskih primjena za pretvaranje ravnog limenog priprema u posude, odnosno izdubljene radne komade rotacionog ili kutijastog oblika [1]. Prema DIN 8584 duboko izvlačenje se definiše kao zatezno-pritisni proces oblikovanja lima u kome se ravna ploča oblikuje u izdubljen izradak otvoren na jednoj strani, ili se otvoreni izdubljeni dio oblikuje u drugi izdubljeni dio sa manjim poprečnim presjekom. Specifičnost samog procesa omogućava

da se sa najmanjim brojem radnih operacija i uz minimalan otpadak dobiju izvučeni elementi u konačnom obliku, tako da se mogu neposredno upotrijebiti, ili ugraditi u odgovarajući sklop. Tokom procesa izvlakač uvlači materijal kroz otvor prstena za duboko izvlačenje, odnosno matrice i provlači kroz zazor između izvlakača i matrice, pri čemu materijal dobija željeni oblik.

Izvodi se u jednoj ili u više operacija oblikovanja, pri čemu se suštinski razlikuju prva i slijedeće operacije dubokog izvlačenja. U prvoj operaciji dubokog izvlačenja se iz ravnog priprema, odnosno lima određenog oblika i dimenzija dobija gotov dio ili međuoblik koji se dalje obrađuje ukoliko je za njegovo oblikovanje potrebno više operacija. Ako se jednom operacijom ne može dobiti finalni oblik, proces oblikovanja nastavlja se

slijedećim operacijama kojih može biti više, što zavisi od dimenzija izratka i dozvoljenog stepena deformacije izraženog preko odnosa izvlačenja. Osnovni elementi alata za duboko izvlačenje su: izvlakač, držač lima i matrica. Na efikasnost procesa i kvalitet izradaka u procesu dubokog izvlačenja utiče veći broj parametara koji se mogu se grupisati kao faktori materijala, alata i mašine, geometrije i tribologije, sa njihovom djelimičnom identifikacijom kako je prikazano na slici 1. Projektovanje tehnološkog procesa oblikovanja dubokim izvlačenjem podrazumijeva definisanje svih potrebnih elemenata izrade koji će omogućiti da se od početnog oblika lima, odnosno priprema dobije finalni oblik radnog predmeta. Jednostavnije rečeno, projektovanje tehnologije izrade predstavlja određivanje broja i redoslijeda operacija izrade, odnosno oblikovanja sa dimenzijama izradaka po pojedinim fazama izrade. U sklopu ključnih faza je *analiza tehnološkosti konstrukcije radnog predmeta*.

Podrazumijeva analizu zadanog radioničkog crteža radnog predmeta ili uzorka, a odnosi se na procjenu podobnosti za njegovu izradu dubokim izvlačenjem. Uključuje detaljnu konstrukcionu analizu radioničkog crteža ili uzorka, a to je olakšano ukoliko postoji 3D model predmeta kreiran nekom od dostupnih softverskih aplikaciju za modeliranje. Pored toga je i *definisanje oblika i dimenzija priprema*, odnosno dimenzija platine ili ronđele, koje se u slučaju konstantnosti debljine lima određuju na osnovu jednakosti površina priprema i izratka. Uspješno se mogu odrediti i grafičkim putem primjenom verižnog poligona, ali i putem gotovih obrazaca za pojedine specifične i često korištene oblike radnih predmeta. Sljedeća faza je način *definisanja izrade priprema* koja se najčešće izvodi razdvajanjem, upotrebom alata za prosijecanje platine. Za dijelove manjih dimenzija, operacija izrade priprema može biti objedinjena s operacijom dubokog izvlačenja, s tim što se u prvoj fazi oblikovanja najčešće prosijeca priprema. Određivanje *broja operacija dubokog izvlačenja* je naredna faza kojom se potreban broj operacija oblikovanja određuje na osnovu preporuka ili izvedenih obrazaca na osnovu vrste materijala i dozvoljenih odnosa izvlačenja. Za efikasnost procesa potrebno je definisati i *način i vrstu podmazivanja*. Podmazivanje doprinosi smanjenju sile, povećanju stepena izvlačenja i boljem tečenju materijala, te smanjenju habanja alata i defekata na radnim predmetima. Izbor maziva se zasniva na vrsti materijala i složenosti operacije dubokog izvlačenja i vrši se na bazi preporuke proizvođača. U slučaju većeg broja operacija dubokog izvlačenja izvodi se *međuooperaciono žarenje* s ciljem oporavljanja strukture, vraćanja

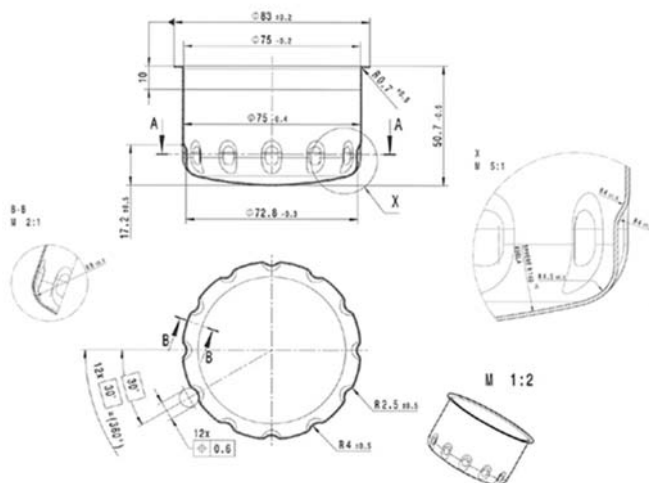


Slika 1. Uticajni faktori u procesu dubokog izvlačenja [4]

plastičnosti materijala i smanjenja deformacionog otpora. *Opsijecanje radnih predmeta* nakon dubokog izvlačenja se provodi s ciljem poravnavanja visine ili vijenca na obratku usljed pojave ušavosti koja je rezultat anizotropije materijala koji se oblikuje. Ova operacija može biti objedinjena u istom alatu u kojem se izvodi duboko izvlačenje, ili može biti projektovana i kao posebna operacija. U završnoj fazi projektovanja tehnološkog procesa vrši se *projektovanje i konstrukcija alata*, a na osnovu utvrđenog broja operacija i geometrije obratka po pojedinim operacijama. Suštinski se razlikuje konstrukcija alata za prvu i sljedeće operacije dubokog izvlačenja. *Izbor mašine* predstavlja završnu fazu projektovanja tehnološkog procesa, a vrši se na bazi proračuna potrebne sile i deformacionog rada, te potrebnih tehničko-tehnoloških karakteristika mašina. U principu, se koriste mehaničke i hidraulične jednopozicione i višepozicione prese jednostrukog i višestrukog dejstva [5].

3. PRIMJER IZRADE KUĆIŠTA FILTERA DUBOKIM IZVLAČENJEM

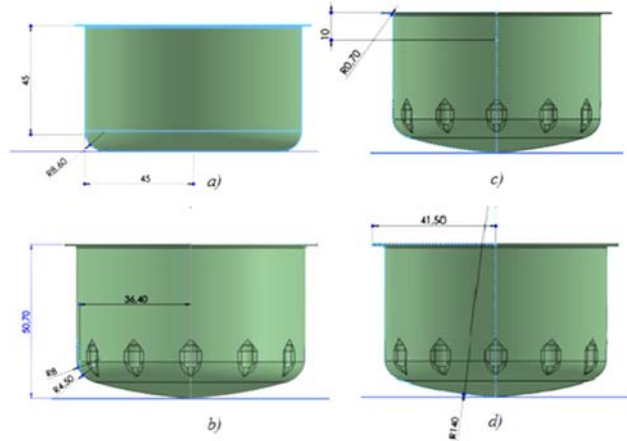
Implementacija principa projektovanja tehnologije i alata za oblikovanje metalnih dijelova iz lima postupkom dubokog izvlačenja kroz benefite njihove izrade hladnim deformisanjem za uslove serijske proizvodnje predstavljena je kroz oblikovanje kućišta filtera ulja. Filteri za ulje služe za odvajanje nečistoća, metalnih opiljaka i čađi iz motornog ulja da bi do kliznih površina doveli čisto ulje i smanjili trošenje pokretnih dijelova motora. Filteri ulja pouzdano čiste ulje od nečistoća, čvrstih čestica poput prašine, metalne strugotine, čestica čađi i sl. Njihova najznačajnija upotreba je u motorima sa unutrašnjim sagorijevanjem, motornim vozilima, manjim letjelicama, te raznim pomorskim vozilima, a koriste se i za automatske mjenjače, servo upravljače, turbinske motore za mlažnjake, te u postrojenjima za proizvodnju, transport i reciklažu ulja [1]. Ključni benefiti oblikovanja postupkom dubokog izvlačenja se ogledaju u dobijanju kućišta filtera visokih čvrstoćnih karakteristika sa minimalnom količinom upotrebljenog materijala i visokom otpornošću na pritisak, tačnim oblikom i dimenzijama, brzom i jednostavnom izradom, mogućnošću visokog stepena automatizacije tokom proizvodnje i maksimalnom pouzdanošću u radu. U slučaju primjene neadekvatne tehnologije izrade, lošijeg materijala ili neodgovarajuće debljine lonac može puknuti i uzrokovati veliki gubitak ulja kroz pukotinu na loncu. Kućište, odnosno lonac filtera ulja, kako je prikazano na ključnim elementima radioničkog crteža na slici 2. je izrađeno od čeličnog lima oznake DC04-1.0338, debljine 0,5 mm. Ovaj materijal spada u grupu konstrukcionih niskougljeničnih hladno valjanih čelika za obradu deformisanjem u hladnom stanju. Prema standardu EN 10130:2006 radi se o nelegiranom kvalitetnom



Slika 2. Kućište filtera ulja [1]

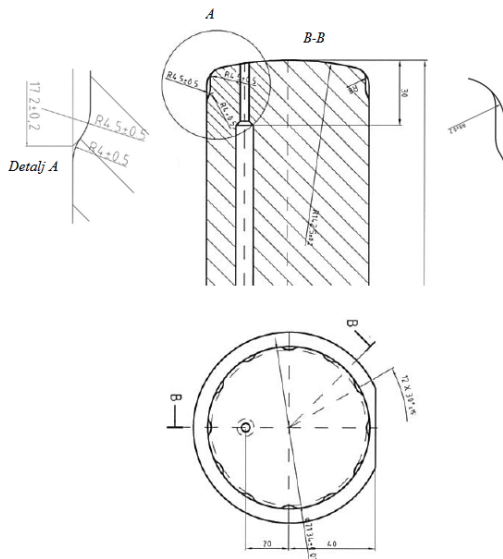
čeliku sa hemijskim sastavom koji uključuje maksimalni sadržaj ugljika od 0,08 %, mangana 0,04 %, fosfora 0,03 % i sumpora 0,03 %, te granicom tečenja $\sigma_p = 210$ [MPa] i zateznom

čvrstoćom od $\sigma_m = 270-350$ [MPa]. Predviđena godišnja serija je cca 150.000 komada predmetnih kućišta. Na bazi ranije definisanih smjernica za projektovanje tehnologije oblikovanja i internih preporuka u pogledu mogućnosti oblikovanja u jednoj renomiranoj fabrici sa dugogodišnjom tradicijom proizvodnje sličnih proizvoda u BiH izvršeno je projektovanje tehnologije i provedeni neophodni proračuni prema redosljedu koji je predstavljen u publikovanoj literaturi [1]. Na slici 3. [dorađeno prema 1] je prikazan postupak izrade po fazama oblikovanja sa izgledom i dimenzijama komada nakon a) prosijecanja platine i prve operacije dubokog izvlačenja, b) druge operacije izvlačenja, c) poravnavanja vijenca i kalibrisanja radijusa, te d) opsijecanja vijenca.



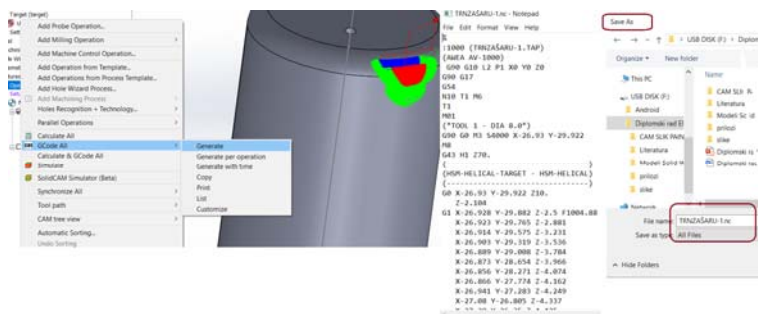
Slika 3. Tehnologija izrade kućišta filtera ulja

Shodno tome, metodom parcijalnih površina proračunat je prečnik platine u iznosu $D_o = 145$ mm, analizom optimalnog rasporeda definisan dvoredni smaknuti raspored komada u traci početne širine 284 mm, te određene dimenzije izradaka po fazama oblikovanja, kao i optimalne vrijednosti odnosa izvlačenja sa proračunom i analizom sila i deformacionog rada za svaku fazu oblikovanja, a na bazi čega je izabrana presa za oblikovanje. Na bazi projektovane tehnologije izrade po fazama oblikovanja izvršeni su neophodni proračuni, određene dimenzije radnih elemenata alata i izvršena njihova konstrukcija sa modeliranjem i izradom tehničke dokumentacije primjenom softvera SolidWorks. Zbog specifičnog i zahtjevnog oblika alata za oblikovanje šare na loncu filtera razrađena je tehnologija izrade trna za šaru koji je djelimično prikazan na slici 4., operacijama struganja, glodanja i završnog glodanja na CNC glodalici u kaljenom stanju [1]. Simulacija njegove izrade i postizanje tačnih mjera u mašinskoj obradi ovako zahtjevnog kaljenog čelika sa postizanjem uskih izradnih tolerancija vršena je primjenom SolidCAM softvera na osnovu kojeg je definisan kod za CNC mašinu i konačnu izradu trna za šaru. Na slici 5. prikazan je način generisanja i spremanja G koda. Njegovim prenošenjem i pokretanjem na CNC mašini, a nakon stezanja i umjeravanja alata, vrši se izrada trna za šaru. Zahvaljujući preciznoj tehnologiji i modernoj opremi zadovoljeni su svi parametri izrade, te na brz i efikasan način dobijen željeni alat. Time



Slika 4. Izgled trna za izradu šare na loncu filtera

je ukazano na važnost upotrebe novih tehnologija za izradu alata poput CAM softvera na osnovu kojeg je napravljena simulacija i program izrade trna za šaru.



Slika 5. Generisanje i spremanje G koda [1]

4. ZAKLJUČAK

Duboko izvlačenje je tehnologija oblikovanja limova kojom se dobijaju složene geometrijske forme limenih proizvoda visokog kvaliteta. Njihov kvalitet ogleda se u mogućnošću ostvarenja velike dimenzione preciznosti oblikovanih dijelova i njihovim dobrim mehaničkim osobinama koje su rezultat ojačavanja materijala tokom hladne plastične deformacije. Analiza uticajnih parametara na efikasnost procesa u postupku velikoserijske proizvodnje i preporuke u vezi sa projektovanjem tehnologije oblikovanja ovakvih dijelova iz lima uspješno su implementirane u postupku izrade lonca ili kućišta filtera koji je predstavljen u ovom radu. Posebno značajnu činjenicu u efikasnom projektovanju tehnologije izrade i neophodnih elemenata konstrukcije alata predstavlja primjena savremenih softverskih rješenja kako za modeliranje pojedinih izvršnih elemenata alata tako i za simulaciju procesa s ciljem njegovog optimiranja [2]. Za ove namjene danas su na raspolaganju brojne softverske aplikacije [3]. U radu je kroz primjer projektovanja tehnologije izrade lonca filtera ukazano na način izbora ključnih parametara oblikovanja i primjenu SolidWorks i SolidCAM aplikacija za izradu radnih elemenata alata. Ovo ukazuje na moguće pravce razvoja i daljnjih poboljšanja u postupcima projektovanja tehnologije i konstrukcije alata prilikom oblikovanja limova. To u značajnoj mjeri doprinosi osiguravanju visokog kvaliteta hladno oblikovanih proizvoda iz lima u domenu serijske proizvodnje za potrebe jako zahtjevnih industrijskih grana poput vojne, automobilske, vazduhoplovne i prehrambene industrije. Preporuke i provedena metodologija izrade kućišta filtera može efikasno da posluži kod izrade sličnih proizvoda iz lima u serijskoj i masovnoj proizvodnji.

5. LITERATURA

- [1] Eldina Džulić, Projektovanje tehnologije i konstrukcija alata za izradu kućišta filtera oznake 10 781 76 S01 prema zadanom crtežu, diplomski rad, 2020.
- [2] Ibrahim Plančić, Edin Begović, Sabahudin Ekinović, Amina Ramić, Application Of Numerical Simulation For Optimization Of Deep Drawing Technology On The Example Of Redesigned Filter Cup, 21st International Research/ Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2018, Karlovy Vary, Czech Republic, 2018.
- [3] Zahedi, S.A.; Goodarziyan, H.; Okazi, M.; Bakhshi-Joybari, M.: Investigation of conventional deep drawing and hydroforming deep drawing via experimental and finite element simulation, Indian Journal of Science and Technology Vol. 3 No. 9, 2010.
- [4] Vukota Boljanović: Sheet metal forming, processes and die design, Industrial Press Inc. 200 Madison Avenue New York, New York 10016, 2004.
- [5] Heinz Tschaetsch: Metal Forming Practise, Processes - Machines - Tools, Originally German edition published by Vieweg Verlag, Wiesbaden 2005.