



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ENERGETICKÉ STROJE VYUŽÍVANÉ VE TVÁŘENÍ

ENERGY MACHINES FOR FORMING TECHNOLOGIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VOJTĚCH KOUKAL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Vojtěch Koukal

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Energetické stroje využívané ve tváření

v anglickém jazyce:

Energy machines for forming technologies

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o vytvoření přehledu moderních i stávajících energetických strojů používaných v technologiích tváření. V práci by měl být uvedeno rozdělení, přehled a stručný popis s příklady praktického využití.

Cíle bakalářské práce:

Aktuální literární studie se zaměřením na energetické stroje používané v technologiích tváření.

Seznam odborné literatury:

1. STANĚK, Jiří. Základy stavby výrobních strojů, Tvářecí stroje. Vyd. 1. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, únor 2004. 126 s. ISBN 80-7082-738-6.
2. FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
3. KOVÁČ, Andrej a Milan JENKUT. Tvárniace Stroje. Vyd. 1. Bratislava: ALFA vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, n. p., 1978. 814 s.
4. HÝSEK, Rudolf. Tvářecí Stroje 1971. Vyd. 1. Praha: ANTL - Nakladatelství technické literatury, 1972. 600 s.
5. RUDOLF, Bedřich a Miloslav KOPECKÝ. Tvářecí stroje: Základy výpočtů a konstrukce. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p. , 1979. 408 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012. V Brně, dne 15.11.2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

KOUKAL Vojtěch: Energetické stroje využívané ve tváření.

Bakalářská práce obsahuje charakteristiku energetických strojů, základní rozdělení a stručný přehled jednotlivých typů energetických strojů využívaných ve tváření. V práci jsou charakterizovány používané stroje. U každého typu je uveden základní popis a princip s příklady praktického použití.

Klíčová slova: energetický stroj, tvářecí stroj, buchar, tváření

ABSTRACT

KOUKAL Vojtěch: Energy machines for forming technologies.

The bachelor thesis provides characterization of energy machines, basic division and a brief overview of the various types of energy machines used in metal forming. Used machines are characterized in this thesis. Basic description and principle with examples of practical usage are stated for each type of energy machines.

Keywords: energy machine, forming machine, forging hammer, forming

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOUKAL, Vojtěch. *Energetické stroje využívané ve tváření*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 25. 5. 2012

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD.....9

1 CHARAKTERISTIKA ENERGETICKÝCH STROJŮ10

2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ11

2.1 **MECHANICKÉ**.....12

2.1.1 Pružinové12

2.1.2 Řemenové padací13

2.1.3 Deskové padací14

2.1.4 Řetězové padací15

2.2 **PAROVZDUŠNÉ**.....15

2.2.1 Dvojstojanové dvojčinné16

2.2.2 S krátkým zdvihem17

2.3 **PNEUMATICKÉ**.....17

2.4 **HYDRAULICKÉ**19

2.4.1 Jednočinné19

2.4.2 Dvojčinné20

2.5 **VYSOKORYCHLOSTNÍ**.....21

2.5.1 Se stlačeným dusíkem a vzduchem.....21

2.5.2 Se spalovacím motorem23

3 ZÁVĚR.....24

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

ÚVOD [1] [8] [11] [13] [18]

V současné době je při výrobě kladen důraz na to, aby výrobky byly vyráběny na co nejméně operací, nejlépe na jednu, a bez dokončování. Jedna z vhodných metod výroby je technologie tváření, která patří mezi nejstarší způsoby zpracování kovů. Při tváření se využívají převážně stroje silové a energetické. Zpočátku se při výrobě používaly jednoduché stroje, které byly s celkovým průmyslovým rozvojem zdokonalovány až do podoby dnešních tvářecích strojů.

V případě energetických strojů se jedná především o buchary. Při vývoji tvářecích strojů je kladen důraz na mnoho požadavků, jako například provozní spolehlivost a trvanlivost, snadnost obsluhy, bezpečnost, statická tuhost a dynamická stabilita. Dalším požadavkem je výkonnost, jejímž základním měřítkem u bucharů je počet výkovek na jednotku času. Dále přesnost výroby a s ní spojený potřebný počet dokončovacích operací.

Příklady bucharů jsou na obr. 1.

Bucharly lze rozdělit podle několika kritérií:

- podle technologie výroby (volné kování, zápustkové kování, plošné kování)
- podle nositele energie (parovzdušné, pneumatické, mechanické, hydraulické plynové)
- podle způsobu práce (jednočinné, dvojitinné)
- podle typu šaboty (nepohyblivá, odpružená, pohyblivá)
- podle konstrukce stojanu (jednostojanové, dvojestojanové, sloupové)



a) hydraulický buchar



b) parovzdušný buchar

Obr. 1 Příklady bucharů [1] [13]

1 CHARAKTERISTIKA ENEGRETICKÝCH STROJŮ [8] [11] [17] [18] [19]

Jedná se o stroje, které využívají kinetické energie, nahromaděné v pohybujících se částech stroje (v beranu, případně ve dvou beranech u protiběžných bucharů) k překonání přetvárného odporu tvářeného materiálu. Tato energie se v pracovním prostoru mění v přetvárnou práci. Schéma bucharu a průběh tvářecí síly je na obr. 2.

Šabota je těžký ocelový blok, který tvoří základ bucharu a ve kterém se upevňují spodní části kovací nástrojů (kovadel nebo zápustek). Kovací nástroje bývají většinou na šabotě upevněny pomocí klínů, případně rybinovou drážkou. Konstrukce šaboty je jednoduchá, může mít čtvercový průřez pro velké buchary, nebo osmihranný pro malé buchary. Pro odpružení šaboty se pod ni vkládají dřevěné desky.

Rozběhem pohyblivých částí na určitou rychlost se práce pohonu bucharu přemění na kinetickou energii E_k podle vztahu pro pevnou šabotu

$$E_k = \frac{m_1 \cdot v_1^2}{2} \quad (1.1)$$

E_k – kinetická energie

m_1 – hmotnost beranu

v_1 – rychlosti beranu v okamžiku úderu

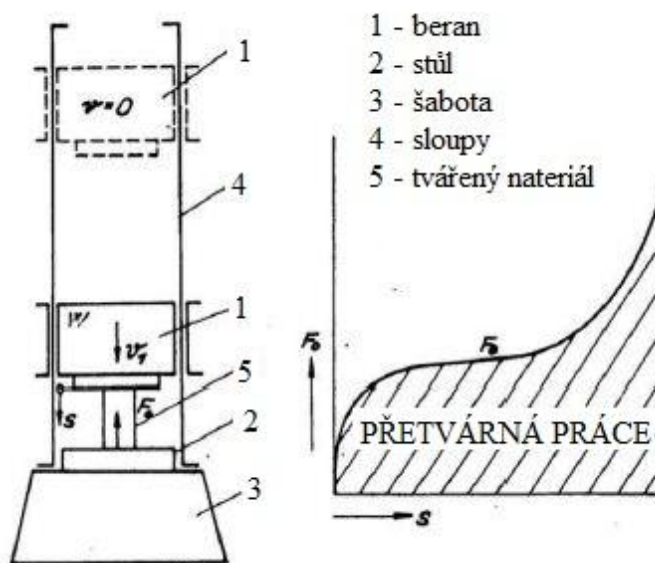
a pro pohyblivou šabotu

$$E_k = \frac{m_1 \cdot v_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_2^2}{2} \quad (1.2)$$

m_2 – hmotnost protiběžného beranu

v_2 – rychlost protiběžného beranu v okamžiku úderu

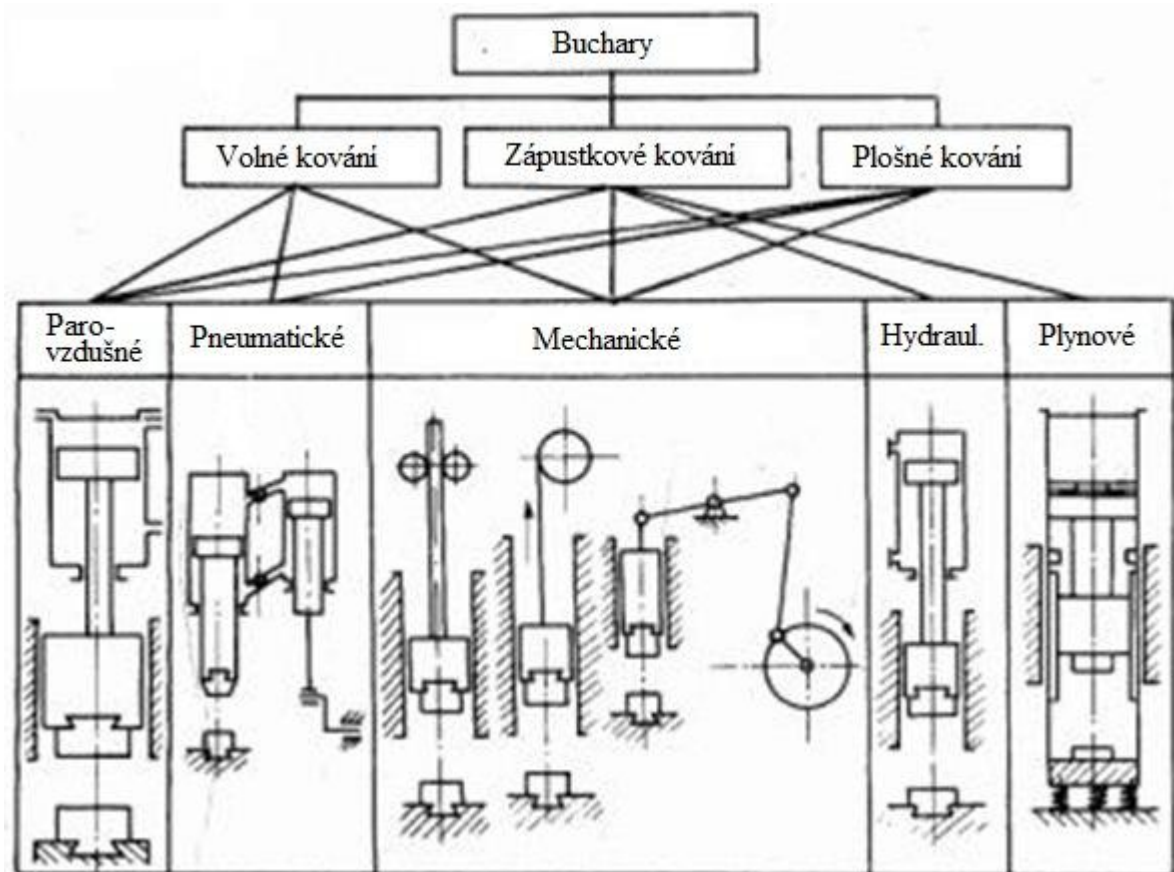
Dopadová rychlost pohybujících se částí běžných bucharů je 4 až 8 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, vysokorychlostních 20 až 60 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Doba trvání deformace výkovku na jeden úder je několik tisícín sekundy. Na deformaci kovaného materiálu během úderu se nevyužije veškerá kinetická energie. Ráz se skládá ze dvou fází. První fáze je zatěžující, během které se kovádlá přibližují a pružně a plasticky deformují kovaný materiál. V průběhu druhé, odlehčující, fáze dochází k odrazu. Velikost energie odrazu závisí na podmínkách rázu a vlastnostech kovaného materiálu. Účinnost úderu ovlivňuje mimo jiné poměr hmotností pohybujících se částí a šaboty. U bucharů pro volné kování by šabota měla mít 10-15 krát vyšší hmotnost než beran, u bucharů pro zápustkové kování 20-25 krát vyšší než zápustka.



Obr. 2 Schéma bucharu a průběh přetvárné síly [17]

2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ [8] [17] [18]

Buchary lze rozdělit podle několika kritérií, jako například dle způsobu práce, nositele energie, typu šaboty, konstrukce stojanu. Tato rozdělení jsou uvedena níže. Na obr. 3 je zobrazeno rozdělení podle nositele energie se schematickým znázorněním principu práce a možnost využití pro volné, zápusťkové a plošné kování.



Obr. 3 Základní rozdělení bucharů [8]

Základní kritéria pro rozdělení bucharů:

- Podle způsobu práce
Podle tohoto hlediska se rozlišují buchary jednočinné a dvojčinné. U jednočinných bucharů je pohyb pohyblivých částí směrem dolů vyvozen pouze vlastní hmotností. Do této kategorie patří některé parovzdušné, hydraulické a mechanické buchary. U dvojčinných bucharů je pohyb dolů urychlován energií páry, vzduchu, plynu, kapaliny nebo pružiny. Díky tomu je energie rázu pohyblivých částí se stejnou hmotností u dvojčinných bucharů vyšší než u jednočinných. Mezi dvojčinné buchary patří část parovzdušných, pneumatických, mechanických a hydraulických bucharů a všechny plynové (vysokorychlostní) buchary.
- Podle nositele energie
Podle nositele energie se rozlišuje pět základních skupin:
 - **Mechanické buchary**, které jsou poháněny elektromotorem přes mechanický převod (třecí, ohybný, pružný)

- **Parovzdušné buchary**, které pohání pára přiváděná z parních kotlů, nebo stlačený vzduch přiváděný z kompresorů. Hnací mechanismus se skládá z pístu a pístnice, pracovní mechanismus je beran s kovádem nebo zápustkou.
- **Pneumatické buchary**, které pohání stlačený vzduch z kompresoru, který je součástí bucharu. Pracovním médiem je vzduch z okolí, který tvoří pružné prostředí mezi pístem kompresoru a pracovním pístem. Zdvih beranu je způsoben tlakovou změnou v horních a spodních částech válců kompresoru a bucharu.
- **Hydraulické buchary**, u kterých je nositelem energie kapalina (olej, voda, emulze), jejíž tlaková energie se přemění na kinetickou energii beranu.
- **Vysokorychlostní buchary**, u kterých je nositelem energie plyn (nejčastěji dusík), který se nachází v tlakové nádobě. Do této skupiny patří i buchary s pohonem jako spalovací motor.

- Podle typu šaboty

- **Buchary s nepohyblivou šabotou**. U těchto bucharů dochází k přenosu energie na základ stroje a do okolí, což způsobuje hluk a otřesy na pracovišti.
- **Buchary s odpruženou šabotou**. Tyto buchary mají mezi šabotou a základem stroje pružnou izolaci, která tlumí otřesy.
- **Buchary s pohyblivou šabotou**. Tyto buchary se také nazývají protiběžné. Místo šaboty mají spodní beran, který se pohybuje proti beranu hornímu. Berany mohou mít závislý nebo samostatný pohon.

- Podle konstrukce stojanu

Konstrukce stojanu se určuje podle zdroje energie a podle technologie, pro kterou jsou buchary určeny. Rozlišujeme buchary jednostojanové, dvojstojanové a sloupové.

2.1 MECHANICKÉ [8] [11]

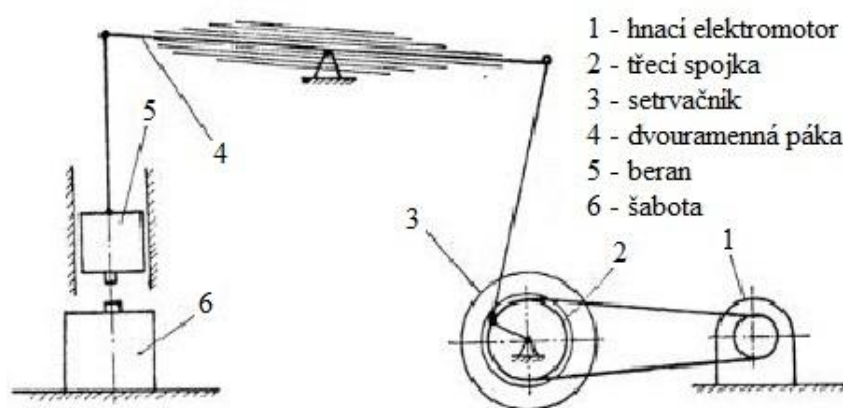
U mechanických bucharů dochází k přenosu energie z elektromotoru na beran bucharu pomocí mechanických přenosových mechanismů. Nejrozšířenější mechanismy jsou pružinové a třecí (deskové, řemenové), dále se využívají také řetězové mechanismy.

U řemenových, deskových a řetězových bucharů lze nastavovat výšku zdvihu pouze za klidu, proto se používají převážně pro zápustkové kování, při kterém není potřeba měnit velikost úderu.

2.1.1 Pružinové [7] [8] [11] [12] [20]

Pružinové buchary patří k nerozšířenějším energetickým tvářecím strojům. Beran je poháněn klikovým mechanismem přes pružný člen (nejčastěji listové pružiny). Schéma pohonu je znázorněno na obr. 4.

Pružinové buchary jsou určeny pro volné a jednoduché zápustkové kování v malých kovárnách



Obr. 4 Schéma pohonu pružinového bucharu [11]

a údržbářských provozech. Vyrábějí se s malou hmotností beranu od 40 do 110 kg. Stojan a šabota se vyrábějí jako odlitky ze šedé litiny a jsou spolu spojeny šrouby. Pružinové buchary jsou konstrukčně jednoduché a tím pádem snadné na obsluhu a údržbu. Zdvih beranu se nastavuje výstředníkem nebo změnou délky táhla.

Výhodou pružinových bucharů je, že beran se směrem dolů pohybuje přibližně dvakrát větší rychlostí, než kdyby dvouramenná páka byla tuhá. Díky tomu, že je tvořena svazkem listových pružin, dochází při pohybu kliky nahoru nejprve ke zpoždění hmoty, které se vyrovná napětím pružiny. Při dalším pohybu kliky nahoru dojde k ohnutí pružiny dolů a urychlení beranu při pohybu směrem dolů.

Sílu úderu lze ovládat pomocí nožního třmenu, ovládajícího výkyvnou desku s elektromotorem v zadní části bucharu nebo změnou přitlačné síly na třecí spojce.

Na obr. 5 je pružinový buchar KAP 70 od výrobce Snaha, Bardějov s hmotností beranu 70 kg, počtem úderů beranu 250 za minutu a největším zdvihem beranu 220 mm. Celkové rozměry bucharu jsou 1,3 x 0,62 x 1,27 m.

Hlavní výhodou těchto bucharů je jednoduchá konstrukce, díky které jsou tyto buchary nenáročné na údržbu. Vzhledem k malým rozměrům a hmotnostem těchto bucharů se často používají v malých kovárnách pro volné kování, jako například v kovářské dílně Kovářství Diviš, kde se používá pro výrobu uměleckých výrobků, jako jsou brány, ploty, zábradlí, schodiště, atd. Rozšířenost tohoto typu v malých kovárnách je další výhodou, díky které jsou snadno dostupné náhradní díly a náklady na údržbu jsou malé.



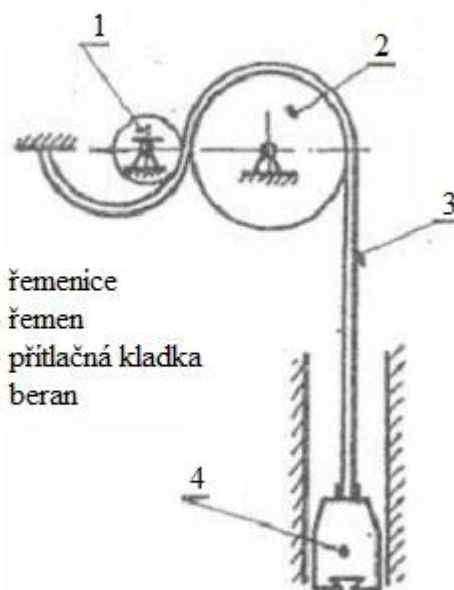
Obr. 5 Pružinový buchar KAP 70 [12]

2.1.2 Řemenové padací [8] [17] [18]

Řemenové padací buchary jsou tvářecí stroje, u kterých je beran zvednut do určité výšky a po uvolnění padá vlastní tíhou na tvářený materiál. V praxi se nejčastěji používá třecí pohon, kde řemen slouží jako spojovací a zdvihací člen. Mezi kladkou poháněnou elektromotorem, řemenem a přitlačnou kladkou vznikají třecí síly, potřebné pro zdvih beranu. Pohon je schematicky znázorněn na obr. 6.

Zdvih beranu lze rozdělit na čtyři úseky:

- zrychlovací úsek, během kterého je beran zvedán s ideálním zrychlením $1,47 \text{ ms}^{-2}$, což je nejpriznivější hodnota zrychlení pro



- 1 - řemenice
- 2 - řemen
- 3 - přitlačná kladka
- 4 - beran

Obr. 6 Schéma pohonu řemenového bucharu [18]

zdvihovou účinnost.

- úsek rovnoměrného pohybu

- zpomalovací úsek, během kterého dochází k uvolnění přitlačné kladky a následnému prokluzu řemenu. Zpomalení má hodnotu 6 až 10 ms⁻².

- padací úsek, při kterém se beran pohybuje se zrychlením 7 až 8 ms⁻².

Počet úderů závisí na výšce zdvihu. Čím menší výška, tím vyšší je počet úderů. Celková účinnost řemenových bucharů se pohybuje v rozmezí 35 až 48 %. Hmotnost padacích částí může být až 2500 kg a zdvih až 1600 mm.

Výhody řemenových bucharů jsou především jednoduchá konstrukce a s tím spojená nízká cena a malé nároky na údržbu a opravy, díky čemuž se v minulosti v kovárnách upřednostňovaly. Jejich nevýhodou je rychlé opotřebení řemenu, jako zdvihacího členu. V dnešní době se tyto buchary téměř nepoužívají, dává se přednost bucharům pružinovým.

Hlavní důvod, proč se tyto buchary téměř nevyužívají je zastaralá konstrukce a s ní spojená nízká účinnost a rychlé opotřebení řemenu. Tyto nevýhody převažují nad výhodami, a proto jsou v menších kovárnách více využívány buchary pružinové.

2.1.3 Deskové padací [8] [11] [17] [18]

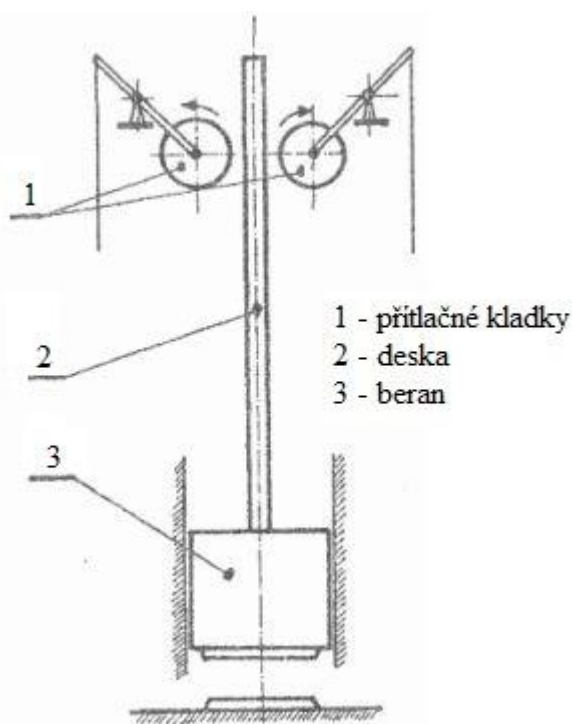
Deskové buchary mají beran zvedaný zpravidla dřevěnou deskou, která je s ním spojena pomocí klínu. Deska je sevřena mezi dvěma nebo čtyřmi kladkami. Schéma pohonu se dvěma kladkami je na obr. 7, kladky jsou poháněny elektromotorem a přitlačovány k desce pákovým mechanismem.

V případě čtyř kladek jsou dvě hnací a dvě přitlačné. Hnací jsou pevně uloženy a přitlačné jsou pohyblivé. Při otáčení hnacích kladek a po přitlačení desky přitlačnými kladkami na hnací kladky vznikají mezi kladkami a deskou třecí síly, které zdvihají desku s beranem do horní pracovní polohy. Po uvolnění přitlačných kladek následuje pohyb desky s beranem směrem dolů.

Zdvihací člen se skládá z jedné až tří desek z impregnovaného dřeva nebo z umělých dřevovláknitých desek, které jsou uloženy vedle sebe. Hospodárnost deskových bucharů se posuzuje právě podle spotřeby desek. Největší vliv na opotřebení desek má zrychlovací a zpomalovací úsek při zdvihání desky a otřesy při dopadu beranu na tvářený materiál.

Deskové buchary mají hmotnost beranu 500 až 2500 kg, zdvih beranu se reguluje dorazem v rozmezí 0 až 1500 mm. Počet zdvihů závisí na velikosti zdvihu, pohybuje se v rozmezí 35 až 70 za minutu.

Hlavní nevýhody těchto bucharů jsou nízká účinnost a především nutnost časté výměny desek. Výhodou těchto bucharů je v porovnání s pružinovými vyšší hmotnost beranu, ovšem při výrobě větších výkovek se v dnešní době využívají především parovzdušné a hydraulické buchary, takže deskové se téměř nepoužívají.



Obr. 7 Schéma pohonu deskového bucharu se dvěma kladkami [18]

2.1.4 Řetězové padací [8] [11]

Řetězové padací buchary odstraňují některé nevýhody řemenových a deskových padacích bucharů. Mají oproti nim vyšší účinnost, která dosahuje až 55%.

Řetěz je pružně spojen s beranem pomocí gumového tlumiče, který je pohyblivě uložen v beranu. Tlumič je s řetězem spojen pomocí pojistného článku, který chrání řetěz před poškozením. Počáteční rychlost zdvihu beranu musí být v určitém poměru k odrazové rychlosti, aby se zbytečně nenamáhal řetěz. Díky tomu je životnost zvedacího členu výrazně vyšší než u řemenových a deskových bucharů.

Počet úderů při plném zdvihu je přibližně 45 až 55 za minutu, při krátkých zdvizích až 100 úderů za minutu.

Rozsah použití těchto bucharů je větší než u řemenových a deskových bucharů, řetězové buchary se používají například při kování ve vícedutinových zápustkách.

2.2 PAROVZDUŠNÉ [8] [11]

Parovzdušné buchary využívají k pohonu energii páry nebo horkého vzduchu. Pára se používá nasycená suchá, přehřátá a nejčastěji mokrá. Parovzdušné buchary mohou pracovat také s horkým vzduchem, který se dodává z kompresorové stanice.

Při porovnání páry a vzduchu vykoná pára vyšší práci než stejné množství vzduchu. To je způsobeno tím, že měrný objem páry je vyšší než měrný objem horkého vzduchu.

Teplota přehřáté páry je do 300 °C, teplota vzduchu do 250 °C.

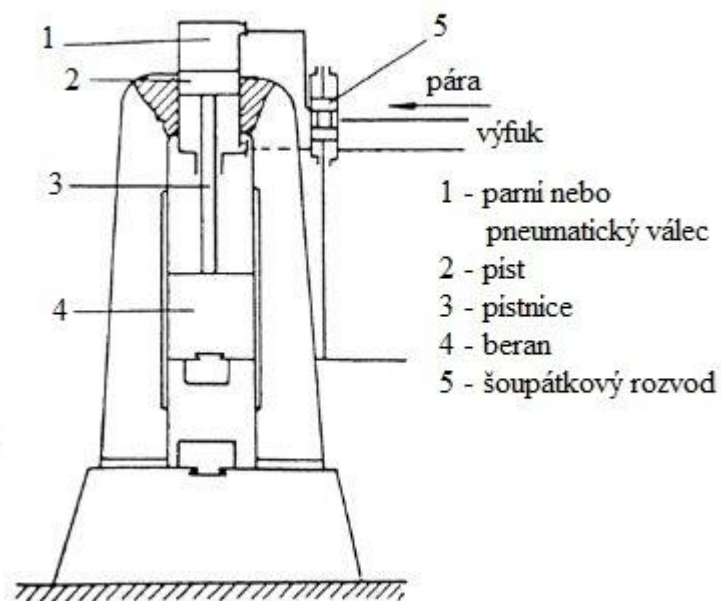
Pracovní tlak páry se pohybuje v rozmezí 0,7 – 0,9 MPa, tlak vzduchu je 0,6 – 0,8 MPa.

Parovzdušné buchary se vyrábějí jako jednočinné i dvojčinné, podle konstrukce stojanu jsou jednostojanové nebo dvojstojanové. Schéma dvojstojanového parovzdušného bucharu je na obr. 8. Parovzdušné buchary se používají jak na volné, tak zápustkové kování.

Jednočinné (také známé pod názvem vzduchové padací buchary) k pohonu využívají převážně stlačený vzduch z centrálních rozvodů. Vzduch se používá pouze ke zdvihání beranu do horní polohy, energie úderu je rovna pouze potenciální energii beranu. V porovnání s řemenovými a deskovými padacími buchary mají vzduchové padací buchary větší životnost zdvihacího členu (pístní tyč s pístem) a větší počet úderů. Vyrábějí se s úderovou prací do 50 kJ a hmotností beranu do 4000 kg.

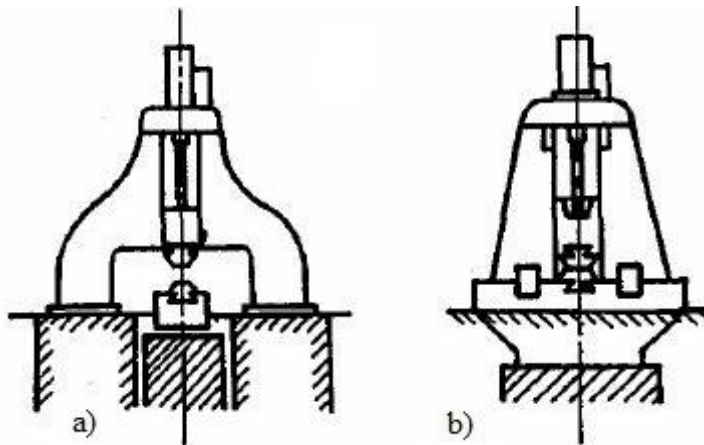
Jednostojanové dvojčinné, na rozdíl od dvojstojanových bucharů mají větší pracovní a manipulační prostor, ale mají méně přesné a tuhé vedení. Kvůli tomu se jednostojanové buchary používají výhradně pro volné kování. Jednostojanové buchary jsou poháněny párou nebo horkým vzduchem o stejných parametrech jako dvojstojanové.

Nejčastěji se vyrábějí s ručním ventilovým řízením pro snazší obsluhu. Vyrábějí se s hmotností beranu do 2000 kg.



Obr. 8 Schéma parovzdušného bucharu [11]

2.2.1 Dvojstojanové dvojčinné [3] [8] [9] [10] [18] [24]



Obr. 9 Porovnání konstrukce parovzdušných bucharů [4]

na volné i zápuskové kování. Tyto buchary jsou zvlášť vhodné pro kování ve vícedutinových zápuskách, kování těžkých výkovků a také na kování v postupových zápuskách přímo z tyčí. Buchar pro volné kování jsou určeny pro těžké výkovky jednoduchých tvarů.

Porovnání konstrukce parovzdušných bucharů pro volné a zápuskové kování je na obr. 9. Buchar pro volné kování (Obr. 9a) mají větší pracovní a manipulační prostor než buchary pro zápuskové kování (Obr. 9b).

Na obr. 10 je parovzdušný dvojstojanový dvojčinný buchar 17 KP od výrobce KRAMATORSK, určený pro postupové zápuskové kování s celkovou hmotností pohyblivých částí 5000 kg, celkovou kinetickou energií beranu a páry nebo vzduchu 125 kJ, pracující s párou nebo vzduchem pod tlakem 0,8 MPa o maximální teplotě 200 °C. Celkové rozměry tohoto bucharu jsou 3,7 x 2 x 8,77 m.

Na kování výkovků velkých rozměrů se používají mostové buchary s energií úderu až 250 kJ, které se vyznačují tím, že mají velký pracovní prostor mezi stojinami.

Mezi hlavní výhody těchto bucharů patří jejich univerzální využití ve větších kovárnách. Mohou se používat pro volné i zápuskové kování, kování ve složitých vícedutinových zápuskách i rozměrné výkovky jednoduchých tvarů. V současné době používá buchar tohoto typu například společnost Taforge a.s., která má k dispozici parní buchar Banning 3000 pro postupové kování, který využívá pro sortiment výrobků z automobilové, zemědělské výroby a stavební techniky o hmotnosti 0,2 – 50 kg.

Stojan dvojstojanového bucharu se skládá ze dvou stojin, spojených příčným a upevněných na šabotu, mezi pohyblivé části patří beran, pístní tyč, píst a horní zápuska nebo kovadlo. U válce je umístěn rozvod páry, který se skládá ze škrtkového ventilu a posouvače, který v závislosti na poloze rozděluje páru nebo vzduch do horní nebo spodní části válce.

Dvojstojanové parovzdušné buchary mají mnohostranné využití v kovárnách. Používají se



Obr. 10 Parovzdušný dvojstojanový buchar 17 KP [9]

2.2.2 S krátkým zdvihem [2] [8]

Tyto buchary dosahují díky zmenšenému zdvihu vysokou výrobou. Díky velmi tuhé vazbě šaboty a stojanu lze dosáhnout velmi přesných tvarů a rozměrů výkovku. Tyto buchary bývají poháněny vzduchem z centrálního rozvodu, nebo z vlastního kompresoru.

Na obr. 11 je buchar s krátkým zdvihem KGL 2 od výrobce Bêché, který je vhodný na kování ve vícedutinových zápustkách. Dosahuje 90 až 100 úderů za minutu, díky malému času dotyku zápustek s výkovkem se zvyšuje životnost zápustek. Nevýhodou je malý zdvih, u tohoto typu 450 – 620 mm. Hmotnost beranu je 1225 kg, celkové rozměry jsou 1,85 x 1,2 x 3,35 m.

Hlavní výhodou těchto bucharů je vysoká přesnost výkovků, což snižuje počet nutných dokončovacích operací. To je v současnosti jeden z hlavních požadavků při vývoji tvářecích strojů.



Obr. 11 Parovzdušný buchar s krátkým zdvihem KGL 2 [2]

2.3 PNEUMATICKÉ [4] [8] [16] [22]

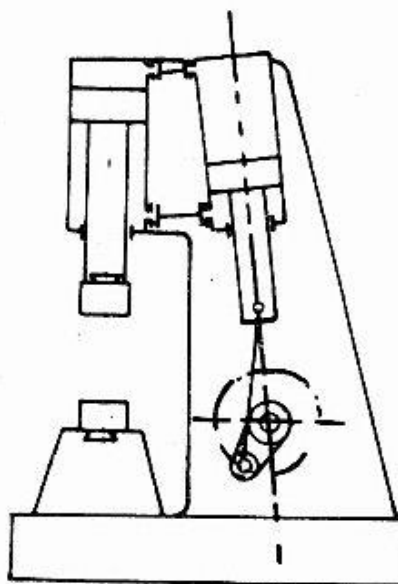
Pneumatické, neboli kompresorové buchary jsou poháněny vlastním kompresorem, který je součástí bucharu, a nejsou závislé na centrálním rozvodu vzduchu.

Princip pneumatického bucharu je znázorněn na obr. 12. Beran je poháněn tak, že je spojen s pístem pneumatického válce. Horní poloviny pracovního válce beranu a hydraulického válce, a stejně tak dolní poloviny jsou propojeny. Píst kompresoru se ovládá ojnící při otáčení klikové hřídele. Pohyb beranu kopíruje pohyb pístu kompresoru s určitým fázovým zpožděním.

Pneumatické buchary mohou být jednočinné nebo dvojčinné.

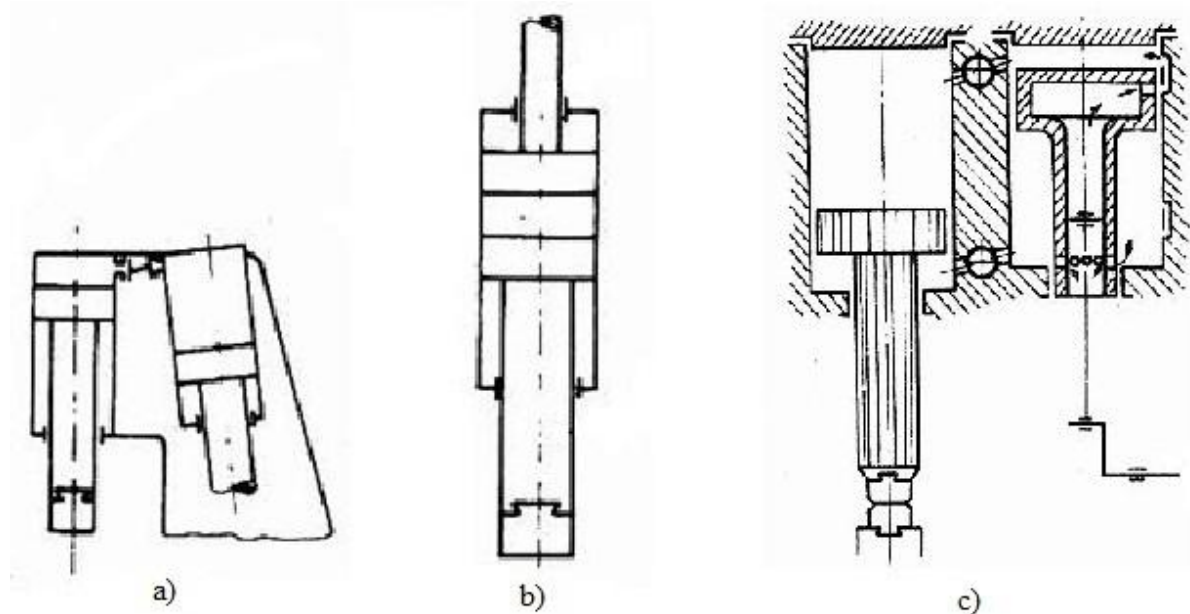
U jednočinných (obr. 13a) je kompresor spojen jen s jednou stranou pracovního válce. Pohyb beranu směrem nahoru je způsoben atmosférickým tlakem ze spodní strany a podtlakem nad pracovním pístem. Pohyb směrem dolů je vyvozen tlakem vzduchu od kompresoru a vlastní tíhou beranu.

Používají se i buchary s jedním válcem (obr. 13b). Ve válci je uložen píst kompresoru i beranu. Píst kompresoru je spojený s klikovým mechanismem pohonu. Buchar s jedním válcem pracují jako jednočinné.



Obr. 12 Princip pneumatického bucharu [8]

Nejčastější pneumatické buchary jsou dvojčinné. Princip dvojčinného bucharu je na obr. 13c. U těchto bucharů tvoří kompresor s pracovním válcem konstrukčně jeden celek. Poháněny jsou opět elektromotorem přes klikový mechanismus. Vzduch je stlačován na obou stranách pístu. Takto uspořádané válce zaručují lepší využití bucharu při kování oproti jednočinným bucharům.



Obr. 13 Princip jednotlivých typů pneumatických bucharů [8]

Spotřeba energie je v porovnání s dvojčinnými vzdušnými buchary se stejnou energií přibližně o 20 % menší, provozní náklady jsou přibližně poloviční. Používají se zejména pro volné kování. Hlavní výhody pneumatických bucharů jsou pohotovost, citlivost regulování energie úderu a dobrá účinnost.

Na obr. 14 je pneumatický buchar C41 vyráběný v 5 velikostech s hmotností beranu od 15 do 75 kg od výrobce Anyang. V největším provedení s hmotností beranu 75 kg má počet úderů 210 za minutu, zdvih beranu 0,3 m a celkové rozměry 1,43 x 1,48 x 1,85 m.

Díky dobré regulovatelnosti velikosti úderu a nezávislosti na centrálním rozvodu vzduchu se tyto buchary využívají pro volné kování ve větších kovárnách. Maximální velikost výkovků je ovšem omezena menšími celkovými rozměry stroje. V České republice využívá pneumatické buchary například společnost ZVU Kovárna, která má k dispozici dva buchary KB 1000 a KB 630 od výrobce Východoslovenské strojárne, Košice. Tyto buchary používají na volně kované výkovky do hmotnosti 25 kg. Pneumatické buchary dále využívá na všechny druhy volného kování, jako prodlužování, pýchování, prosazování, osazování,



Obr. 14 Pneumatický buchar C41 [4]

děrování atd. kovárna Triangolo Hulín, která má k dispozici buchar B 250 pro výrobu kovářského náradí, jako například kleště, apod. Pro větší výkovky až do hmotnosti 70 kg využívá buchary B 750 a PB 1600.

2.4 HYDRAULICKÉ [8]

Nositel energie u hydraulických bucharů je kapalina. Jako pracovní kapalina se nejčastěji používá emulze nebo minerální olej.

Podle způsobu práce se tyto buchary vyrábějí ve dvou provedeních – jednočinné a dvojčinné.

Hydraulické buchary mají nejvyšší účinnost ze všech bucharů, která se pohybuje okolo 75 %.

2.4.1 Jednočinné [7] [8] [21] [23]

Princip práce jednočinných hydraulických bucharů je podobný, jako u jednočinných mechanických padacích bucharů. Beran je zdvihán do horní výchozí polohy pomocí hydraulického pohonu. Z horní pracovní polohy do dolní se beran pohybuje pouze vlivem vlastní hmotnosti.

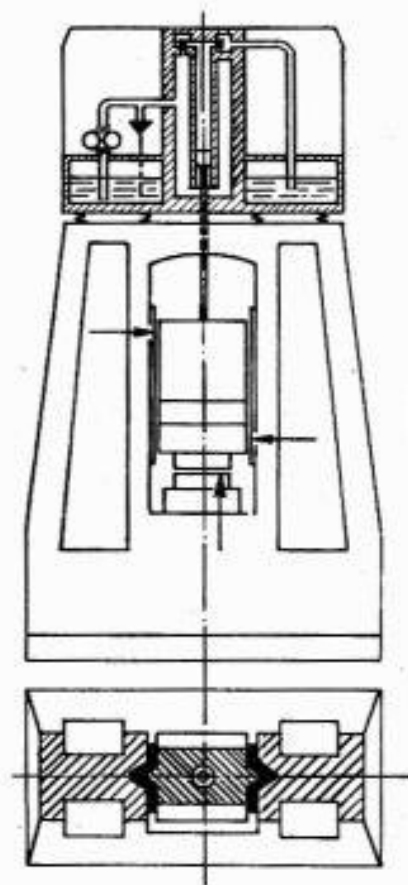
Mechanismus čerpadlového pohonu skládající se z čerpadla, elektromotoru, nádrže na pracovní kapalinu a rozdělovacího zařízení je uložen v horní části bucharu na příčniku. Příčnick je odlitek z ocelolitinu a kvůli ochraně čerpadlového pohonu před rázy a vibracemi je uložen na stojanu přes pružinové tlumiče rázu.

Pohyblivé pracovní části bucharu jsou beran, horní část zápustky, píst a pístnice, která spojuje beran s pístem. V horní části válce je tlumič rázu.

Při zdvihání beranu do horní výchozí polohy přivádí čerpadlo pracovní kapalinu pod píst. Pracovní tlak kapaliny je 16 – 32 MPa. Při pohybu dolů se beran pohybuje vlivem své hmotnosti a tlaku vzduchu ve vzduchovém tlumiči. Schéma jednočinného bucharu je znázorněno na obr. 15.

Buchar může být ovládán například hydromechanicky. Ovládání se skládá z pedálu a páky spojené s rozdělovacími ventily. Plné stlačení pedálu odpovídá plnému otevření vypouštěcího ventilu pracovní kapaliny, čímž se dosáhne největšího úderu beranu. Při částečném stažení pedálu vypouštěcí ventil škrtká kapalinu vytékající zpod pístu, čímž lze regulovat velikost úderu beranu.

Jednočinné buchary se používají na kování v jednoduchých i vícedutinových zápustkách. Vyrábějí se se zdvihem 0,6 – 1,35 m, hmotností beranu od 500 do 3700 kg a energií úderu od 8 do 50 kJ.



Obr. 15 Jednočinný buchar [8]

2.4.2 Dvojčinné [8]

Pracovní i zpětný pohyb je vyvozen hydraulickým zařízením.

Konstrukce stojanu a pohyblivých částí je podobná jako u jednočinných hydraulických bucharů.

Tyto buchary mají složitější čerpadlo-akumulátorový pohon složený z hydraulických prvků. Jako pracovní kapalina slouží minerální olej. Všechny části pohonu jsou umístěny na horním příčnicku.

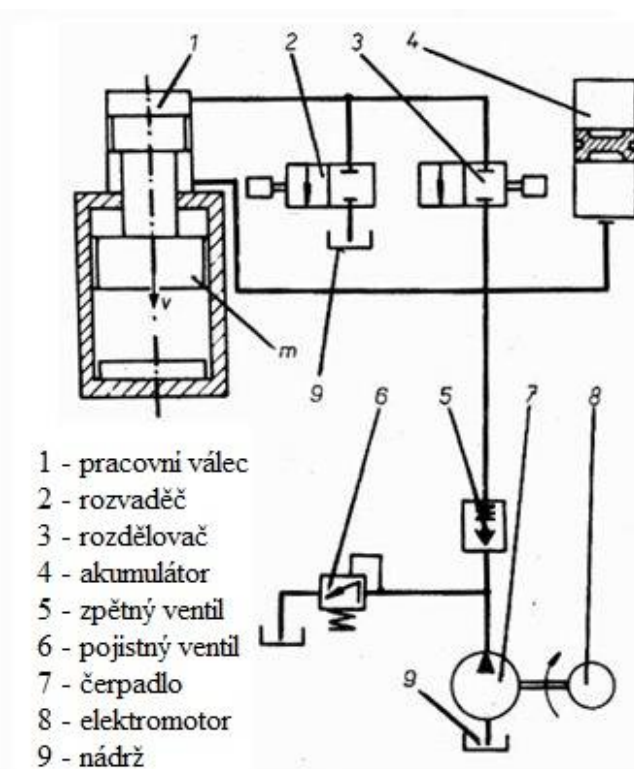
Základní schéma je znázorněno na obr. 16. Pracovní zdvih je vyvozen pracovní kapalinou dodávanou čerpadlem a akumulátorem do pracovního válce. Čerpadlo je poháněno elektromotorem. V pracovním obvodu je pojistný ventil. Pracovní kapalina je dodávána od čerpadla přes zpětný ventil k rozdělovači. Zpětná větev obvodu je spojena s akumulátorem. Těsně před úderem beranu je přívod pracovní kapaliny s vysokým tlakem automaticky uzavřen rozdělovačem a prostor pracovního válce nad pístem a nádrž jsou spojeny rozvaděčem.

V horní části pracovního válce klesne tlak pracovní kapaliny. Zpětný zdvih následuje bezprostředně po skončení pracovního zdvihu. Pracovní cyklus trvá, dokud je ovládací pedál řízení stlačený. Výškou stlačení pedálu se reguluje množství kapaliny proudící přes rozdělovač, a tím i rychlost beranu.

Tyto buchary se vyrábějí s energií úderu od 15 do 60 kJ, počtem zdvihů až 80 za minutu a maximálním zdvihem 1 m.

Na obr. 17 je hydraulický buchar KPH 2000 od výrobce Žďárské strojírny, Žďár nad Sázavou s hmotností beranu 2000 kg, počtem úderů 25 za minutu, největším zdvihem 1 m, s rozměry 2,6 x 1,5 x 5 m. Tento buchar je určen pro přesné zápusťkové kování, kalibrování, rovnání a volné kování. Uplatňuje se v kovárnách s malosériovou a sériovou výrobou.

Hydraulické buchary jsou v dnešní době nejčastěji využívané buchary díky vysoké



Obr. 16 Schéma pohonu dvojčinného bucharu [8]



Obr. 17 Hydraulický buchar KPH 2000 [23]

účinnosti a možnosti širokého využití. Převážně se využívají buchary dvojčinné, které mají v porovnání s jednočinnými buchary stejných rozměrů větší energii úderu. Výše zmíněný buchar KPH 2000 využívá při své výrobě například společnost ZVU Kovárna a.s. pro zápustkové výkovky do hmotnosti 3 kg, nebo v menším provedení KPH 800 společnost Kována Jiříkov a.s. pro výkovky s hmotností 0,1 – 0,4 kg.

2.5 VYSOKORYCHLOSTNÍ [8]

Pro kování materiálů s vysokým deformačním odporem a těžko tvářitelné materiály, jako například vysokouhlíkové, vysokopevnostní, žárovečné a korozivzdorné oceli, se používají vysokorychlostní buchary.

Hlavní charakteristikou těchto bucharů je vysoká dopadová rychlost nástroje na tvářený materiál. Dopadová rychlost nástroje ovlivňuje deformační rychlost tvářeného materiálu, s čímž souvisí i změna přetvárného odporu tvářeného materiálu. To z energetického hlediska záporně ovlivňuje tvářecí proces. Při vysoké rychlosti přetvoření materiálu vzniká také tepelný efekt, při kterém se část energie dodané bucharem mění na teplo. Teplo se z tvářeného materiálu dostatečně rychle neodvádí do okolí a tím pádem se zvyšuje teplota materiálu.

Tepelný efekt při určitých rychlostech tváření vyvažuje negativní vliv přetvárného odporu. Optimální tvářecí rychlost leží v rozmezí 10 až 30 ms⁻¹. Při nižší rychlosti se tepelný efekt ještě výrazně neprojeví, při vyšší rychlosti převládá negativní účinek přetvárného odporu.

U těchto bucharů lze výrobky vyrobít na jeden úder, rázová energie na jednotku plochy zápustky je až pětkrát vyšší než u ostatních bucharů. Díky tomu materiál lépe zatéká do úzkých a hlubokých otvorů. Poměr výšky zatékání a šířky otvoru h:b může být až 20:1 oproti bucharům s malými a středními rychlostmi beranu s poměrem h:b do 2:1.

Vysokorychlostní buchary mívají vyhazovač, díky kterému mohou mít výkovky minimální úkosity, přesnost výkovků a drsnost povrchu je lepší než u ostatních bucharů, díky čemuž mohou být menší přídavky výkovků.

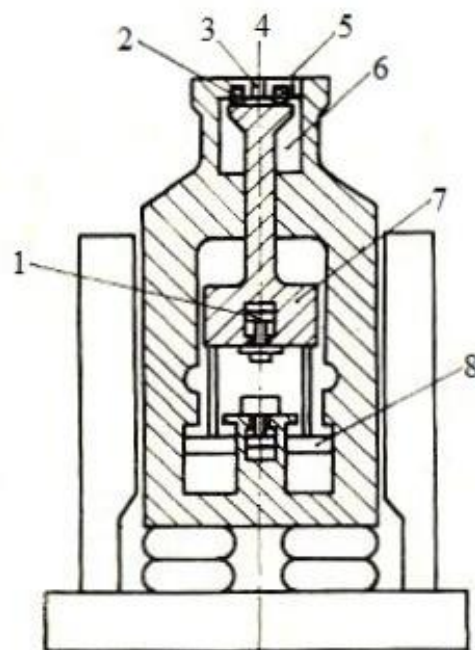
Vysokorychlostní buchary se kromě zápustkového kování dají použít i na jiné technologické operace, jako například protlačování.

Nevýhody těchto bucharů jsou menší životnost, menší výrobnost, která omezuje jejich použití na přesné a kvalitní výrobky z těžko tvářitelných materiálů. Další nevýhody jsou vysoké náklady na provoz a údržbu a vysoká pořizovací cena.

Podle nositele energie lze tyto buchary rozdělit do tří skupin. První skupinu tvoří buchary pracující se stlačeným dusíkem, které mají uzavřený systém pracovního média. Druhou skupinu tvoří buchary pracující se stlačeným vzduchem, které mají otevřený systém. Do třetí skupiny patří buchary pracující na principu spalovacího motoru.

2.5.1 Se stlačeným dusíkem a vzduchem [6] [8]

Na obr. 18 je znázorněn princip typického představitele bucharu pracujícího se stlačeným dusíkem, bucharu Dynapak. Poloha na obrázku odpovídá plnění pracovního válce 6 po zdvihu beranu 7 do horní polohy pomocí pomocných hydraulických válců 8. V okamžiku, kdy se horní plocha pístu 4 přitlačí na prstencové těsnění 2 upevněné v horní části válce, se z prostoru mezi



Obr. 18 Princip bucharu Dynapak s dvouválcovým pohonem [8]

těsněním vypustí stlačený plyn otvorem 3. Beran drží v horní poloze tlakem plynu působícího na píst. Zdvihací zařízení se spustí do spodní polohy. Otvor 5 slouží k doplňování dusíku do válce kvůli netěsnostem. K pracovnímu zdvihu dojde dodáním stlačeného plynu otvorem v horní části válce. Beran při pohybu směrem dolů urychluje tlak na píst. Hotový výkovek se ze zápusky vysouvá vyhazovačem 1.

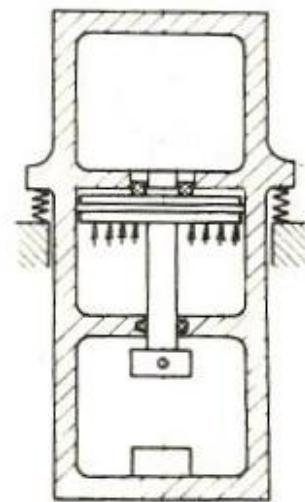
V tomto provedení mají buchary vysokou účinnost 90 – 94 %.

Kromě výše popsaného principu se používá také princip podle obr. 19. V horní poloze beran drží silou vyvozenou nižším tlakem ve spodním válci. Tato síla musí být větší než součet tíhové síly beranu a síly vyvozené vyšším tlakem působícím na horní plochu pístu. Při pohybu směrem dolů se plyn ve spodním nízkotlakém válci stlačí a potom se využívá pro zdvih beranu při dalším pracovním cyklu, nebo se vypouští do atmosféry. Tlak dusíku u těchto strojů je až 14 MPa a tlak ve spodním nízkotlakém válci je 0,3 - 0,5 MPa.

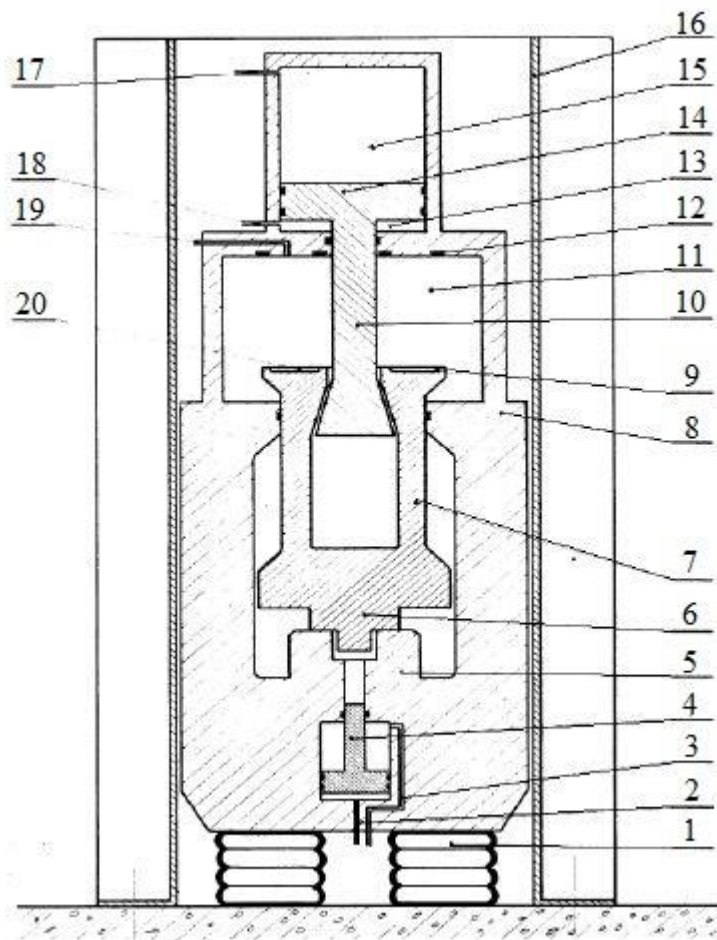
V tomto provedení má buchar menší účinnost okolo 60 %.

Mezi buchary pracující se stlačeným vzduchem patří například buchar YVK vyvinutý ve společnosti Žďas, jehož princip je znázorněn na obr. 20. Tento buchar má pneumacko-hydraulický pohon. V rámu stroje se pohybuje protiběžná část, uložená na pneumacko-hydraulickém tlumícím zařízení. Charakteristika tlumícího zařízení je nastavitelná. V protiběžné části je pneumacký expanzní válec, do kterého zasahuje beran.

Beran se zdvihá do horní výchozí polohy pomocí hydraulického pístu a pístnice. Píst je uložený v pomocném hydraulickém válci nad expanzním válcem. V horní poloze se beran drží podobně jako



Obr. 19 Princip bucharu Dynapak [8]



- 1 – pneumacké odpružení
- 2,3 – potrubí vyrážače
- 4 – vyrážač
- 5 – dolní část zápusky
- 6 – horní část zápusky
- 7 – beran
- 8 – protiběžná část
- 9 – osazená hlava beranu
- 10 – pístnice
- 11 – pracovní válec
- 12 – dvojice těsnění
- 13 – prostor pod pístem
- 14 – píst
- 15 – prostor nad pístem
- 16 – rám
- 17 – naplňovací potrubí
- 18 – odváděcí potrubí
- 19 – odváděcí potrubí s ovládacím ventilem
- 20 – vybrání v hlavě beranu

Obr. 20 Princip bucharu YVK Žďas [6]

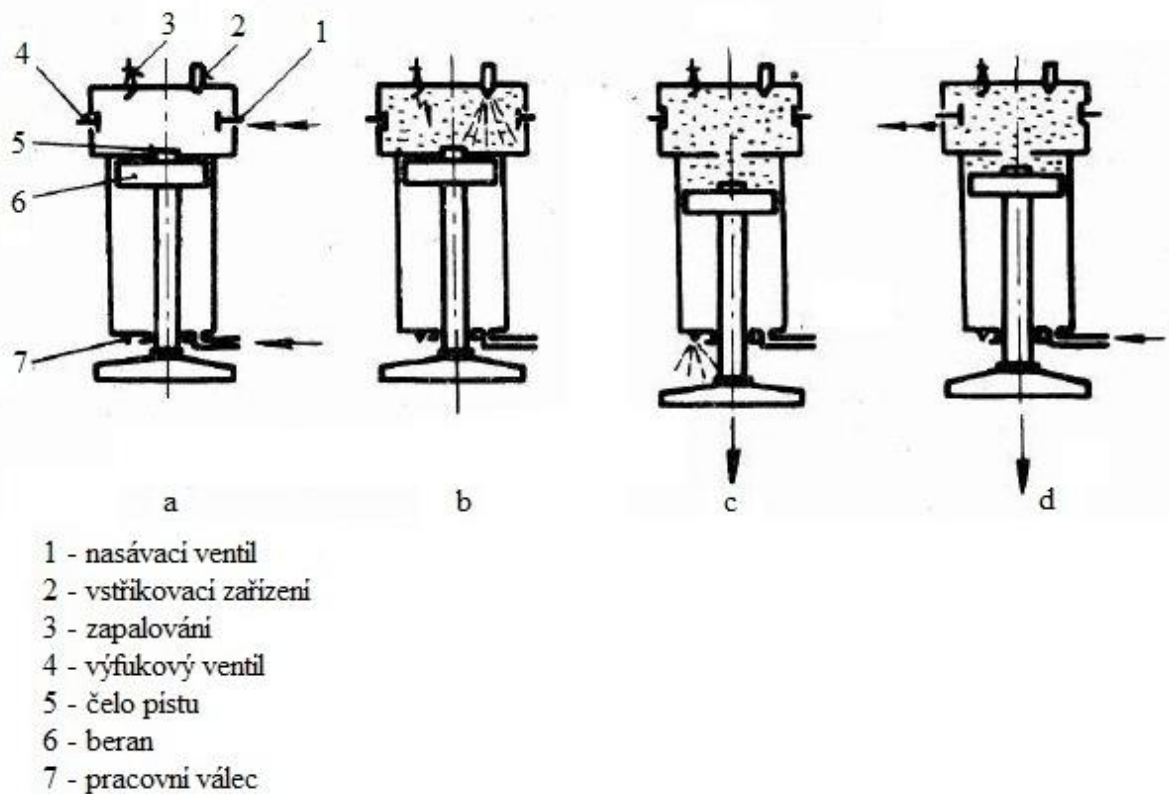
u bucharu Dynapak pomocí přetlaku vzduchu v expanzním válci. Po zdvihnutí beranu a zachycení v horní poloze se píst s pístnicí posunou do spodní polohy a buchar je připraven na pracovní zdvih. Ten nastane vpuštěním vzduchu mezi těsnění a čelo beranu. Jako pracovní médium se používá stlačený vzduch s regulovatelným tlakem v rozmezí 0,6 – 7 MPa.

2.5.2 Se spalovacím motorem [8]

Na rozdíl od vysokorychlostních bucharů pracujících se stlačeným dusíkem nebo vzduchem mají tyto stroje velkou výrobnost. Opatření funkčních částí strojů a životnost zápusťek jsou podobné jako u konvenčních bucharů.

Na obr. 21 je zobrazen princip práce bucharu Petro-Forge. U těchto bucharů odpadá fáze akumulace energie ve stlačeném plynu. Buchar Petro-Forge slučuje části vysokorychlostního bucharu a spalovacího motoru. Při spalování paliva se píst udržuje v horní poloze tlakem vzduchu 0,14 – 0,35 MPa. Tento vzduch se přivádí ze vzdušníku pomocí regulačního ventilu. Během spalování se tlak ve spalovací komoře zvýší 5–7 krát, překoná odpor pístu a koná pracovní zdvih. Pracovní objem spalovací komory je 4000 cm³, začáteční rychlost rázu přibližně 15 ms⁻¹, zdvih pístu 225 mm. Spotřeba paliva je přibližně 400 mm³ na 1 kJ, jako palivo se používá směs 80 % benzínu a 20 % petroleje.

Vysokorychlostní buchar Petro-Forge se kromě kování používá na protlačování, vysekávání a lisování práškového kovu.



Obr. 21 Princip vysokorychlostního bucharu Petro-Forge [8]

3 ZÁVĚR

Jeden z hlavních požadavků dnešní doby na výrobu je, aby byl výrobek vyroben na co nejmenší počet operací. Při procesu je také kladen důraz na návaznost výroby. V tvářecích technologiích se při výrobě součástí využívají stroje zdvihové, silové (lisy) a energetické (buchary). I přes nárůst výroby v tvářecích technologiích pomocí lisů si buchary udržují zastoupení ve výrobě technologií tváření. Při kování pomocí bucharu má materiál díky vysoké kovací rychlosti v porovnání s lisy dobrou stoupavost. Díky tomu jsou buchary vhodné pro tváření vysokých výkovků.

Buchary využívají kinetickou energii nahromaděnou v beranu k překonání přetvárného odporu materiálu. Dají se rozdělit podle základního principu přenosu energie na mechanické, které přenášejí energii pomocí mechanických převodů a hydraulické, u kterých je nositelem energie kapalina. Dále parovzdušné a pneumatické, které pohání stlačená pára nebo vzduch a vysokorychlostní, které pracují se stlačeným plynem nebo mají pohon v podobě spalovacího motoru.

Buchary mají široké využití ve výrobě tvářecími technologiemi. Využívají se v malých, například uměleckých kovárnách pro kusovou výrobu, ale i ve velkosériové výrobě a ve výrobě rozměrných výkovků, například pro automobilový, zemědělský a stavební průmysl. Pro kusovou výrobu se využívají díky snadné obsluze a nenáročné údržbě mechanické, převážně pružinové buchary. Pneumatické buchary se využívají pro volné kování rozměrných výkovků díky dobré regulovatelnosti velikosti úderu. Pro zápustkové kování se využívají mechanické buchary řetězové, které lze využít i pro vícedutinové zápustky. Pro složité vícedutinové zápustky se využívají mostové buchary, například parovzdušné nebo hydraulické. Tyto buchary lze využít i pro rozměrné výkovky jednoduchých tvarů. Z důvodu návaznosti ve výrobním procesu se buchary umísťují do uspořádaných pracovních celků s dalšími výrobními stroji.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [5]

1. Anyang Forging Press-electro hydraulic forging hammer. *Anyang Forging Press Machinery Industry Co.,Ltd* [online]. [cit. 2012-03-30]. Dostupné z: <http://www.chinesehammers.com/hydraulic-close-die-forging-hammer.html>
2. Bêché KGL 2 forging hammer - Used machines. *Exapro* [online]. [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: http://www.exapro.com/beche-kgl-2-forging-hammer-p11027204/?counter=33&product_category=132¤cy_best=EUR#!prettyPhoto
3. *Buchary: Študijný materiál* [online]. Košice: Technická univerzita v Košiciach [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/kvtar/1/files/05_Buchary.pdf
4. C41 Pneumatic Hammer / Forging Hammer. *TWFTA* [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: http://www.twfta.com/cn00153349/showroom_6752.htm
5. Generátor citací. *Citace.com* [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/>
6. HORÁK, Aleš. *Progresivní technologie ve výrobě tvářených součástí*. Brno, 2008. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5850. Bakalářská práce. VUT v Brně. Vedoucí práce doc.Ing, Pavel Rumišek, CSc.
7. HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje 1971*. 1. vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1972.
8. KOVÁČ, Andrej a Milan JENKUT. *Tvárníacie stroje*. 1. vydanie. Bratislava: ALFA, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1978.
9. KRAMATORSK 17 KP Forging Hammers Used. *MachineTools.com* [online]. [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.machinetools.com/us/listings/view/kramatorsk-17-kp--3>
10. MachineTools.com: The Leading Worldwide Metalworking Industry Marketpalce. [online]. [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: http://www.machinetools.com/us/listings/spec_sheet/kramatorsk-17-kp--3
11. MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje* [online]. Praha, 2006/2007 [cit. 2012-03-04]. Dostupné z: www.strojar.com/download/file.php?id=653
12. Něco o bucharu - Užitečné pro buchar. *Kovářství jen tak* [online]. 9. 11. 2008 [cit. 2012-03-31]. Dostupné z: <http://www.kovarstvi-jen-tak.estranky.cz/clanky/neco-o-bucharu/uzitecne-pro-buchar.html>
13. Padací buchar mechanický pro obrábění kovů. *Allbiz* [online]. 2011 [cit. 2012-03-04]. Dostupné z: <http://www.ru.all.biz/cs/g371876/>
14. Parovzdušný buchar: LTD, OOO. *ALL.BIZ: Ruska* [online]. [cit. 2012-03-30]. Dostupné z: <http://102030.ru.all.biz/cs/cat.php?oid=649971>

15. PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do tváření I* [online]. Ostrava, 2001 [cit. 2012-03-04]. Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV1.pdf
16. Pneumatické buchary. *Průmyslový servis Kladno* [online]. 2010 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: http://www.prumyslovy-servis.cz/index_soubory/Page577.htm
17. RUDOLF, Bedřich a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: Základy výpočtů a konstrukce*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1979.
18. STANĚK, Jiří. *Základy stavby výrobních strojů: Tvářecí stroje*. 1. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2001. ISBN 80-7082-738-6.
19. VARCHOLA, Michal a Kamil MADÁČ. *Tvárníace stroje: Učebná pomůcka pre predmet Výrobná technika* [online]. Košice, 2004 [cit. 2012-03-04]. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/6768161/TS>
20. Vybavení naší dílny. *Kovářství diviš* [online]. [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.kovarstvi-divis.cz/dilna-4/>
21. Výrobní aktivity a produkty - Velké zápusťkové kování. *CPF - CZECH PRECISION FORGE* [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.cpforgem.com/cs/vyrobni-aktivity-a-produkty/velke-zapustkove-kovani.html>
22. Výrobní možnosti kovárny Kiříkov a. s. *Kovárna Jiříkov a. s.* [online]. [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: http://kovarna.jirikov.sweb.cz/main_cz.html
23. Výrobní možnosti. *ZVU Kovárna* [online]. 2006 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.kovarna.cz/zvu-vyrobni-moznosti.php>
24. 150 let kovárenské výroby v Kopřivnici. *Tarovák* [online]. [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: http://partners.tatra.cz/exter_pr/tatrovak/filenew.asp?id=46

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
b	Šířka otvoru	[mm]
E_k	Kinetická energie	[J]
h	Výška zatékání materiálu	[mm]
m_1	Hmotnost beranu	[kg]
m_2	Hmotnost protiběžného beranu	[kg]
v_1	Rychlost beranu v okamžiku úderu	[ms ⁻¹]
v_2	Rychlost protiběžného beranu v okamžiku úderu	[ms ⁻¹]