

Zmetky, nářadí a pracnost

Nonconforming product, die and productivity

Ing. Jan Otoupalík, Ing. Josef Burian

4dot Mechatronic Systems s.r.o.; Polní 780/92; 639 00 Brno
jan.otoupalik@4dot.cz, josef.burian@4dot.cz



Abstrakt

Firma zabývající se výrobou v automobilu oslovila v roce 2019 4dot s žádostí o implementaci technologického monitoringu. Po několika jednáních byly pro implementaci vybrány moduly Síla, Tuhost a Vůle, kterými byly osazeny stroje typu Hatebur AMP.

Firma měla striktní požadavky na umístění senzorů síly. Při prvních instalacích byly použity senzory švýcarského výrobce, ty však nejsou ideálním řešením pro tváření za tepla. 4dot upravilo senzory přetvoření SM, oceněné Zlatou medailí na MSV Brno 2021, pro potřeby modulu Síla na strojích Hatebur. Toto řešení je robustní, odolné a základní servis zvládne obsluha stroje.

V průběhu implementace systému se 4dot dozvědělo o hlavním problému, který mělo svým řešením odstranit. Problém byl vznik výkovků složených ze dvou kusů materiálu, které procházely kontrolou a hrozilo, že se dostanou až na montážní linky zákazníků. Vedle pozitivního efektu na kvalitu systém snížil i opotřebení nářadí a automatizoval významnou část práce obsluhy. Pracovník dnes nestojí nepřetržitě u stroje, ale zastává jinou náplň, nebo má vícestrojovou obsluhu. Kontrolu procesu a nouzové vypnutí stroje zajišťuje systém 4dot.

Abstract

In 2019, a company engaged in production in the automotive industry approached 4dot with a request to implement technology monitoring. After several negotiations, the Force, Stiffness, and Clearance modules were selected for implementation onto Hatebur AMP machines.

The company had strict requirements for the location of force sensors. Sensors from the Swiss manufacturer were used in the first installations, but they are not an ideal solution for hot forming. 4dot modified the Deformation sensors 4dot SM (Gold Medal MSV Brno 2021) for the needs of the Force module on Hatebur machines. This solution is robust, durable, and basic service can handle machine operators.

During the implementation of the system, 4dot learned about the main problem, which it had to solve with its solution. The problem was the emergence of forgings consisting of two pieces of material, which were inspected and threatened to reach the assembly lines of customers. In addition to the effect on the quality of the system reducing positive damage to tools and automated part of the operator's work. Today, the worker is not next to the machine, but preparing a material or operating other machines. The process of control and emergency shut down of the machine is provided by the 4dot system.

Clíčová slova: Hatebur, vodorovný kovací lis, síla, průběh síly, tolerance průběhu síly, dvoj-výkovek, nářadí, okrajové podmínky, životnost, automatizace, senzor přetvoření, tenzometr, senzor síly, technologický monitoring

Key words: Hatebur, Horizontal forging press, force, forming a curve, forming curve tolerance, double-forging, die, boundary conditions, service life, automation, deformation sensor, strain gauge, force sensor, process monitoring

1. Zadání

4dot zaujalo svého budoucího zákazníka v průběhu přednášky o možnostech monitoringu tvářecích strojů v roce 2019, kde prezentovalo aktuální výsledky výzkumu a vývoje. Zákazník, který je součástí nadnárodní společnosti působící v automobilu, následně oslovil 4dot s požadavkem monitoringu tvářecích sil vodorovných kovacích lisů typu Hatebur AMP. Striktní požadavek zákazníka byl na měření síly každé operace, ne pouze měření celkové síly pomocí dvou senzorů na každé straně rámu, jak měření síly provádí například samotná firma Hatebur [1]. Přestože to nebyl první vodorovný lis, který společnost 4dot osazovala, na začátku technici 4dot neznali hlavní příčinu tohoto požadavku na přesnost měření.

Očekávání zákazníka:

- 1) Zvýšení kvality
- 2) Prodloužení životnosti nářadí
- 3) Ochrana stroje

2. Dvoj-výkovky

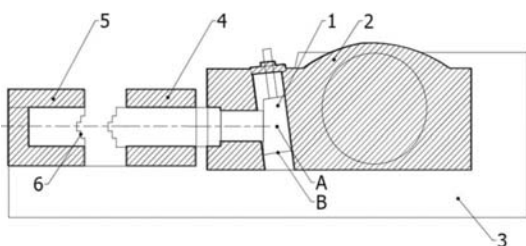
Pojem dvoj-výkovek 4dot převzalo od slovenského výrobního závodu, který jej převzal od matky v Německu. Považujeme tedy za nezbytné prvně definovat, co je pod tímto pojmem chápáno ve 4dot. Dvoj-výkovek je výkovek, který vznikl slisováním dvou samostatných částí materiálu. Tyto dvě části materiálu jsou tak pevně slisovány, že mohou vydržet i následné obrábění a dále postupovat ve výrobním řetězci.

2.1 Vznik dvoj-výkovku

Stroje typu Hatebur AMP vyrábějí výkovky z tyčí, které stříhají tyče za tepla. To je velmi efektivní způsob dělení materiálu. Proto, aby se zabránilo vzniku dvoj-výkovku a materiál ze dvou tyčí se nedostal do zápustek a neslisoval se, je konec a začátek tyče vyřazen z výroby jako technologický přírůstek. Tímto postupem by bylo za ideálních podmínek zamezeno vzniku dvoj-výkovku. V reálném světě však nastává i situace, kdy se konec tyče nalepí na nůž, není vyřazen z výroby a je vložen do první operace. Ale právě nedostatečný objem způsobí, že materiál není posunut do další operace a zůstává v první operaci. V okamžiku, jak se do první operace dostane druhý kus materiálu, dojde k jejich slisování. Pokud má druhý kus standardní objem materiálu, dojde i k přetížení nástrojů. Nejkritičtější situace z pohledu kvality je, když první a druhý kus materiálu dají dohromady správný objem materiálu.

3. Technické řešení

Řešení 4dot má následující specifika. Senzor přetvoření, umístěný ve stavěcím klínu každé operace (**obr.1**), slouží k měření deformace klínu. Pro přesné hodnocení síly je měřena i poloha klínu (kompenzace polohy měření). Rozhraní pro operátora je dotykový zobrazovací panel (**obr. 2**). Veškeré měření a zpracování dat zajišťuje monitorovací jednotka umístěná v rozvaděči stroje. Výpočet síly probíhá na základě měření přetvoření klínu a polohy klínu.



Obr.1 Schéma lisu typu Hatebur AMP. 1 – klín, 2 – beran, 3 – rám lisu, 4 – vedení pohyblivé části nástroje, 5 – uložení pevného nástroje, 6 – pevný nástroj, A – umístění senzoru přetvoření, B – umístění senzoru polohy.



Obr.2 Zobrazovací panel se dvěma obálkami (výstraha, risk) a průběhy síly na dvou operacích.

3.1 Sensory Kistler i 4dot

Pro měření síly na prvních strojích byly vybrány senzory přetvoření pro montáž do díry švýcarského výrobce Kistler. Tyto senzory byly vyvinuty pro lehký tvářecí stroje, jejich nasazení do klínů kovacích lisů je funkční technické řešení, ale montáž vyžaduje kvalifikovaného pracovníka. Nicméně pro snadnější montáž byl upraven vlastní Senzor přetvoření 4dot SM na provedení 4dot SMT (**obr. 4**). U aplikací na dalších strojích se počítá již se senzorem 4dot SMT. Provedení 4dot SMT je opatřeno závity, může být tedy vloženo do klínu (**obr. 3**) a připevněno šrouby na venkovní straně klínu. Pro montáž Senzoru přetvoření 4dot SM i SMT je dostačující proškolená obsluha vybavená momentovým klíčem.



Obr. 3 Řez klínem stroje Hatebur s integrovaným senzorem přetvoření 4dot SMT

Senzor přetvoření 4dot SM byl původně vyvinut pro technickou diagnostiku a monitoring náradí svislých kovacích lisů. Konstrukce senzoru je chráněna českým patentem číslo 308886 a senzor byl na MSV Brno 2021 oceněn Zlatou medailí. Dosahuje zhruba 30krát většího zesílení než foliový senzor přetvoření (tenzometr), měří tah/tlak, ohyb a krut. Montuje se pomocí 4 šroubů M5 a při montáži dojde k jeho předpětí, které zajišťuje jeho dlouhodobou funkčnost i na površích podléhajících korozi. Využití je možné jak v nástrojích, tak na rámu pro měření celkové síly.



Obr. 4 Senzor přetvoření 4dot SMT, rozteč závitových otvorů 23 mm, hlavní rozměry 33×47×10 mm, průměr drátu 3,2 mm.

3.2 Návrh vyhodnocovacích algoritmů

Při návrhu vyhodnocovacích algoritmů vycházelo 4dot z výstupů dosavadních měřících systémů, které využívají senzory přetvoření na rámu. Po umístění senzorů pod jednotlivé operace a získání reálných dat bylo nutné vyhodnocovací algoritmy připravit. Stroje Hatebur obsazují operace postupně, síla se tedy postupně rozkládá mezi 1. operaci, pak 1. a 2. operaci a nakonec 1., 2. a 3. operaci. Naměřené maximální síly při náběhu jsou uvedeny v tabulce (**tab. 1**). Předpoklad, pro který byl navržen vyhodnocovací algoritmus, nepočítal, že síla při osazené pouze 1. operaci bude dvojnásobná.

Tomuto chování se musela přizpůsobit metodika vyhodnocování. Minimální tolerance průběhu síly zajišťuje způsobily proces, tedy kvalitní výrobky. Algoritmy 4dot nepracují s maximální silou, ale s průběhem síly. Toleranční pole je dáno dvěma obálkovými křivkami Výstraha a Risk. Obálkové křivky jsou odvozeny od ideálního průběhu. Minimální a maximální síla je tedy proměnná v čase procesu, celý průběh síly viz **obr. 2**. Kontrola celého průběhu umožňuje velmi přesnou kontrolu procesu. Pokud je při jedné obsazené operaci síla až dvojnásobná a proces je v pořádku, vzniká problém s nastavením limitů. Ten lze řešit dvěma způsoby: 1. Zvýšením tolerance síly. Toto řešení je snadné, systém stále dává lepší výsledek než při práci pouze s maximální hodnotou, ale tento postup je proti cíli maximálně snížit toleranci průběhu síly.

2. Druhou možností, kterou využili technici 4dot, je zavedení okrajových podmínek. Jinak řečeno zavedou se stavy A až F viz **tab. 2** a s každým stavem se pracuje samostatně. To umožňuje pracovat s velmi úzkou tolerancí průběhu síly a zajistit maximální způsobilost procesu.

Tab.1 Náběh sil v kN na jednotlivých operacích u stroje typu Hatebur AMP

zdvih č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. operace	9.8	4.2	3.7	3.5	3.8	4.0	4.7	4.1	3.5	3.7
2. operace	-	72.7	80.2	68.6	67.5	72.3	78.0	82.4	75.9	71.0
3. operace	-	-	18.8	18.6	18.2	18.2	18.2	17.2	18.4	15.8

Tab.2 Označení stavů dle obsazení operací. Symbol v tabulce značí obsazenou operaci.

stav	A	B	C	D	E	F
1. operace		✓	✓	✓		
2. operace			✓	✓	✓	
3. operace				✓	✓	✓

3.3 Automatická kontrola průběhu síly

Automatická kontrola průběhu síly je nastavitelná pomocí těchto tří parametrů:

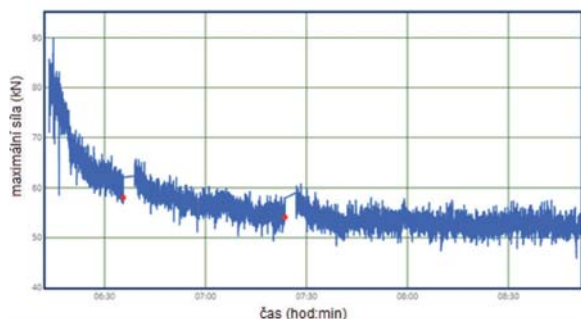
1. Sada výrobku pro naučení ideálního průběhu
2. Obálka
3. Tolerance

Prvním krokem ke spuštění automatické kontroly průběhu síly je naučení ideálního průběhu. Učení ideálního průběhu zajišťuje software v monitorovací jednotce. V průběhu učení ideálního průběhu se provádí vizuální kontrola průběhu a pak kontrola vyrobených kusů.

Druhým krokem je určení obalové křivky na základě ideálního průběhu a parametrů pro výpočet obálky. Tyto parametry určují technici 4dot při implementaci monitoringu a jednotlivé parametry jsou přizpůsobené danému typu stroje. Výsledkem je obalová křivka určující ideální průběh procesu.

Posledním krokem je nastavení tolerancí obálky, neboli jak velký rozsah sil je přípustný. Nenastavují se konkrétní síly, ale procentuální hodnota ideálního průběhu. Čím nižší hodnota se nastaví, tím užší je toleranční pásmo průběhu síly. U tohoto konkrétního zákazníka může upravovat tolerance jen pracovník zodpovědný za proces. Velikosti tolerance pak zůstávají pro každý výrobek uložené v paměti a jsou používány při opakované výrobě.

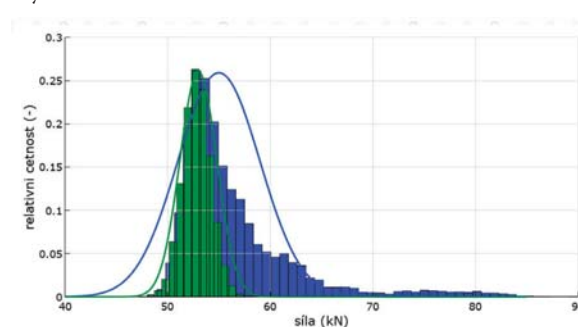
Nastavení automatické kontroly potřebuje zásah pracovníka při učení ideálního průběhu a dále při zahřívání stroje. Jak lze vidět na obr. 5, studený stroj znamená vyšší tvářecí síly. Pokud chceme držet nízkou toleranci, je třeba v průběhu zahřívání stroje spustit přeučení ideálního průběhu, aby ideální průběh odpovídal aktuálnímu procesu. V mezích mezi učením a v ustáleném stavu je kontrola průběhu síly plně automatická.



Obr. 5 Změna maximální síly při zahřívání stroje. Na svislé ose je maximální síla první operace, na vodorovné ose čas v hodinách. Červené tečky značí zastavení stroje v situaci, kdy by při dalším zdvihu hrozil vznik zmetku (dvoj-výkovku). Jednalo se o situaci, kdy se do zápusky dostal konec tyče v okamžiku, kdy v ní být neměl. Stroj vypnula kontrola spodní limity obálky.

Data vizualizovaná na obr. 5 jsou na obr. 6 znázorněna v podobě modrého histogramu. Data z obr. 5 od 8:00 jsou vizualizována pomocí zeleného histogramu (obr. 6). Oba histogramy jsou

proloženy Gaussovou křivkou. Na zeleném histogramu je vidět, že v ustáleném stavu stroj funguje ve velmi úzkém pásmu sil, což umožňuje automatickou kontrolu s minimální tolerancí průběhu síly.



Obr. 6 Histogramy maximálních sil s proložením Gaussovou křivkou. Modře jsou označeny všechny hodnoty z obr. 5. Zeleně pouze hodnoty po 8 hodině ze stejného obrázku, tedy hodnoty po ustálení teploty stroje.

4. Zamezení vzniku dvoj-výkovku

Pro zamezení vzniku dvoj-výkovku je tedy třeba měřit síly v každé operaci, vyhodnocovat průběh síly nejen maximální hodnotu a díky okrajovým podmínkám pracovat s minimální tolerancí průběhu síly. Kombinace těchto tří opatření zamezuje vzniku dvoj-výkovku. Nejčastější příčina zastavení stroje je ve stavu A, kdy se do první zápusky dostane materiál, který měl být vyřazen z výroby. Dvě takovéto zastavení stroje jsou znázorněny červenou tečkou na obr. 5. Tím je zabráněno vzniku dvoj-výkovku, ale i následnému přetížení všech operací a snížení životnosti nářadí.

Ještě důležitější je kontrola průběhu síly u postupů výroby, kde je proveden i ostřih výronku nebo děrování, tam nezle spoléhat na vyřazení výkovku na základě hmotnosti.

5. Závěr

Očekávání na systém byla splněna, systém omezuje přetěžování nářadí, umožňuje hodnocení sil každé operace, odstraňuje vadu dvoj-výkovku a díky automatické kontrole umožňuje více-strojovou obsluhu. Ke kontrole procesu slouží algoritmy vyvinuté 4dot a chráněné patentovou přihláškou EP3856507. Technický monitoring byl u zákazníka nasazen na starý lis, ale je možné jej nasadit i na nové lisy, kde je lze rovnou propojit s řídicím systémem stroje. Technologie je nastavitelná na vodorovné i svislé kovací stroje.

Literatura

- [1] Steiner, Ch. The state-of-the-art total press load monitor (PLM). *Netshape – Hatebur magazine for horizontal cold and hot forming*. 2013.

Recenze: Ing. Jiří Strádal, Doc. Ing. Václav Kubec, Ph.D.

