



MECHATRONIC SIZE CONTROL SYSTEM IN THE BAR AND WIRE ROD MILL

Otmar PALZER*

***Summary:** Quality demands on rolled steel bars and wire rods are steadily increasing. The new automatic size control system with a extremely quick hydraulic screw down and a highly dynamic measuring system compensates all disturbances by variations of tension, temperature, cross-section, spread and roll eccentricity.*

1. Úvod

Požadavky na tolerance vývalku u tyčové oceli a drátu, zejména pak u polotovaru pro automobilový průmysl a přechování za studena, jsou dnes extrémně vysoké. Požadované tolerance se často pohybují výrazně pod hranicí $\frac{1}{4}$ normy DIN. Příčinou tak úzkých tolerancí je snaha odběratelů vyloučit potřebu nákladných úpravářských operací, jakými jsou tažení a loupání tyčí.

Tyto tolerance již nelze dosáhnout na klasických válcovacích tratích, kde se dosahované tolerance pohybují mezi $\frac{1}{2}$ až $1/1$ normy DIN. Do válcovací tratě je třeba zařadit speciální kalibrační stolice, známé pod názvem “sizing mill”.

Na trhu jsou v současné době známy jen mechanické “sizing systémy”. Tyto systémy jsou, jak uvidíme později, již na limitu svých možností. Ve válcovacím procesu působí celá řada rušivých vlivů, které negativně ovlivňují hotovni tolerance vývalku. K těm nejdůležitějším patří “kolísání tahu, kolísání teploty, kolísání vstupního průřezu a excentricita válců.

Mechanický „sizing“ systém, reprezentovaný klasickou válcovací stolicí, není schopen dost účinně tlumit vliv těchto poruch na výsledné tolerance vávalku. Je to statický systém, která není schopna účinně reagovat na stále se měnící podmínky válcovacího procesu.

Bylo proto třeba vyvinout a realizovat nový systém, který by překonal omezení mechanických sizing systémů. Tak vznikl mechatronický systém, který svou optimální strukturou a vlastnostmi kontinuálně reaguje na poruchy, tj. měnící se podmínky v procesu válcování a účinně eliminuje jejich negativní vliv na výsledné tolerance. Mechanický systém byl rozšířen o měřicí a regulační část, která mechanickému systému dává nové vlastnosti, zejména adaptabilitu na stále se měnící podmínky válcování. Na jednotlivé poruchy, provázející proces válcování, je tento systém vždy schopen optimálně reagovat.

V tomto příspěvku je popsán tento mechatronický systém, který v plném rozsahu splňuje i nejpřísnější požadavky současného trhu. Byl označen jako ASC (Automatic Size Control) a je to hierarchicky organizovaný kaskádní systém obsahující prvky mechanické, hydraulické a prvky

* Dr.-Ing. Otmar Palzer, SMS Demag, Eduard Schoelman Strasse 4, 40237 Dusseldorf, Germany

měřicí a regulační techniky. Jednotlivé prvky systému jsou spou sladěny tak, aby jako celek dávaly optimální výsledek. Kromě technických aspektů byly při vývoji sledovány rovněž aspekty ekonomické, tj. minimální investiční a provozní náklady na realizaci a provoz tohoto systému. V závěru jsou prezentovány výsledky dosažené ASC systémem na jedné profilové válcovně.

2. AUTOMATIC SIZE CONTROL (ASC)

Jako základ mechanické části nového sizing systému byla vzata modifikovaná klasická duo stolice. Adaptabilita na měnící se podmínky válcování byla tomuto systému dána integrováním měřicího a regulačního systému. Základem tohoto systému je rychlé hydraulické stavění a přesný měřicí regulační systém. Při vývoji tohoto systému byla důsledně uplatněna mechatronická hlediska, t.j. systém byl vyvíjen paralelně v jednom týmu.

ASC je dynamický systém s rozsáhlými adaptibilními schopnostmi. Tento systém má hierarchickou kaskádní strukturu, jak je znázorněno na **obr.1**. ASC systém tvoří tyto úrovně řízení:

- Hydraulik Position Control (HPC)
- Automatic Gauge Control (AGC)
- Monitor Control (MON)

2.1 Hydraulic Position Control

Tato nejrychlejší úroveň řízení zajišťuje s vysokou přesností konstantní válcovací mezeru bez válcovacího tlaku. Vysoké přesnosti nastavení válcovací mezery se dosáhne díky tzv. „nulování“. Za tím účelem se válce zadaným tlakem přitlačí hydraulickým stavěním k sobě, zároveň se měří poloha pístu hydraulického válce snímačem polohy zabudovaným v hydraulickém válci, jak je znázorněno na **obr. 2**. Po dosažení předepsaného tlaku se odečte hodnota polohy pístu, která je převzata do paměti jako nula stavěcího systému.

Za účelem zjištění modulu tuhosti válcovací stolice, který je potřebný pro AGC regulaci, se válce dále přitlačují k sobě, až je dosaženo předvolené hodnoty tlaku pro kalibrování válcovací stolice. Rozpínací síla pružení se vypočte pomocí tlaku v hydraulickém válci a pružení stolice již zmíněným snímačem polohy. Tímto způsobem získáme postupně pružnou charakteristiku stolice. AGC regulace potřebuje znát tuto charakteristiku, aby mohla cíleně kompenzovat pružení válcovací stolice v průběhu válcování.

Samotná HPC regulace přináší ve srovnání s mechanickým stavěním tyto výhody:

- vysoká rychlost stavění
- vysoká přesnost a reprodukovatelnost nastavení
- stavění za tlaku vždy možné
- automatické jištění proti přetížení
- výpočet válcovací síly z tlaku ve válci
- základ pro AGC regulaci

2.2 Automatic Gauge Control (AGC)

Na druhé úrovni řízení zajišťuje AGC regulace konstantní válcovací mezeru pod válcovacím tlakem.

Úkolem klasické AGC, jak ji známe z pásových válcoven, je držet konstantní válcovací mezeru, t.j. konstantní tloušťku pásu, při měnícím se zatížení válcovací stolice, jak je znázorněno na **obr.3**. Jak je zřejmé ze vztahu (1), je kolísání tloušťky pásu závislé především na modulu tuhosti válcovací stolice:

$$\Delta h_1 = \frac{\Delta h_0}{1 + \frac{M_G}{M_P}} \quad (1)$$

kde značí:

Δh_1 = výstupní tloušťka pásu

Δh_0 = vstupní tloušťka pásu

M_G = modul tuhosti válcovací stolice

M_P = modul tuhosti pásu

Pokud AGC regulace zajistí maximální tuhost válcovací stolice, $M_G \rightarrow \infty$, pak se kolísání výstupní tloušťky pásu blíží k nule, $\Delta h_1 \rightarrow 0$, tzn., že dostáváme konstantní výstupní tloušťku pásu nezávisle na kolísání vstupní tloušťky pásu Δh_0 .

Poněkud složitější situace je u profilu, jakým je například kulatina. Na rozdíl od ploché oceli zde jde o třidimenzionální úlohu. Kromě tloušťky, příp. výšky profilu musí být regulována rovněž šířka a tah v profilu. U kulatiny je snaha kromě předepsané výšky a šířky dosáhnout rovněž optimální ovalitu profilu. Ideálního stavu se dosáhne při $h = b$, tj. $h - b = 0$, což odpovídá nulové ovalitě. Z toho důvodu nelze u symetrických profilů, ke kterým kulatina patří, realizovat regulačním systémem maximální tuhost válcovací stolice, jak je tomu u pásové oceli, nýbrž tuhost optimální, která zajistí výsledek blízký citovanému ideálnímu stavu. Optimální tuhost válcovací stolice je přitom taková tuhost, která při napružení válcovací stolice dává výsledek $h = b$, tzn. průsečík charakteristiky pro výšku a šířku profilu v závislosti na tuhosti válcovací stolice, jak je zřejmé z **obr. 4**.

Pro potlačení vlivu excentricity válců, jak vyplývá ze vztahu (2), je výhodné, aby válcovací stolice jako celek měla co nejmenší tuhost [1].

$$\Delta h_1 = \frac{\Delta E}{1 + \frac{M_P}{M_G}} \quad (2)$$

kde značí

ΔE = excentricita válců

Je tedy výhodné realizovat mechanickou část systému s nízkou tuhostí a optimální tuhost systému doladit regulačním systémem, tj. pomocí AGC. Čím vyšší je tuhost válcovací stolice, tím vyšší podíl excentricity válců se přenesse do kolísání výšky příp. šířky válcovaného profilu.

To znamená sizing stolice musí současně plnit dvě protichůdné úlohy:

1. $M_G \rightarrow \infty$, pro redukci průřezových a teplotních poruch
2. $M_G \rightarrow 0$, pro redukci vlivu excentricity a ovality válců.

Pro mechanický sizing systém je tato úloha neřešitelná. ASC systém je naproti tomu schopen splnit obě úlohy.

Dynamická tuhost ASC systému je díky AGC relativně vysoká, což umožňuje do značné míry redukovat vliv průřezových a teplotních poruch na kolísání hotovných tolerancí. Frekvence těchto poruch je velmi nízká, a lze je tudíž ASC systémem prakticky plně vyregulovat, jak ukazuje **obr. 5**.

Přenosová funkce AGC regulace je proto nastavena tak, aby frekvence poruch odpovídající excentritě válců nebyla AGC systémem prakticky registrována. To znamená, že na vysokofrekvenční poruchy reaguje jen mechanická část ASC systému, jejíž statická tuhost je relativně nízká, a na nízkofrekvenční poruchy reaguje AGC systém, jehož dynamická tuhost je relativně vysoká.

Vliv excentricity válců na tolerance vývalků při tak úzkých tolerancích, jak jsou dnes požadovány, nelze již zanedbat. Jak ukázala praxe, na výsledné tolerance nepůsobí jenom excentricita poslední válcovací stolice, nýbrž excentricita tří, příp. čtyř výběhových stolic, jak ukazuje **obr. 6**. V horní části tohoto obrázku je zobrazen časový průběh měřené šířky profilu, která velmi citlivě reaguje na poruchy v procesu válcování. V dolní části obrázku je zobrazena frekvenční charakteristika této časové funkce, získaná pomocí Fourierovy transformace (FFT). Z obrázku je na první pohled zřejmé, které frekvence se nejvíce podílejí na kolísání měřené šířky. V našem případě jsou to zejména frekvence 4,18; 3,40 a 2,41 Hz. Tyto frekvence odpovídají otáčkové frekvenci stolic 20, 19 a 12, které byly výběhovými stolicemi pro válcovaný profil.

Těmto frekvencím odpovídají rovněž příslušné amplitudy kolísání šířkového rozměru, které ukazují, jakou měrou se jednotlivé stolice podílejí na výsledném kolísání šířky profilu. V našem případě je to 0,037mm, 0,028mm a 0,023mm pro stolice 20, 19 a 12.

2.3 Monitor control (MON)

Na třetí úrovni řízení zajišťuje MON regulace vyregulování zbytkových chyb hlavních rozměrů profilu a optimální relaci mezi těmito rozměry, tj. minimální ovalitu profilu, jak je znázorněné na **obr. 7**.

Před realizací MON regulace bylo třeba zodpovědět tyto otázky:

1. co musí být regulováno
2. kolik stolic musí být regulováno a
3. které stolice musí být regulovány

Teoretický rozbor ukázal, že již samotná bezťahová regulace silně redukuje chyby vstupního rozměru, jak ukazuje **obr. 8**. Kolísání výstupního rozměru vlivem teplotní poruchy se na rozdíl od předešlého ještě zesílí. Bezťahovou regulaci lze u menších rozměrů zajistit např. pomocí tzv. smyčkové regulace. U větších rozměrů lze použít např. tzv. kvocientní regulace.

Teplotní porucha se na rozdíl od poruchy průřezu dá úspěšně vyregulovat regulací válcovací mezery, tzn. pomocí AGC regulace, jak ukazuje **obr. 9**. U mechanických systémů není spojitá regulace válcovací mezery možná, a tudíž ani vyregulování teplotních poruch není u těchto systémů možné.

Spojením obou regulačních systémů, tj. bezťahové regulace a regulace válcovací mezery lze úspěšně vyregulovat obě poruchy, jak potvrzuje **obr. 10**. Z obrázku je rovněž zřejmé, že již dvě poslední válcovací stolice stačí zredukovat vliv vstupní poruchy na únosnou míru.

Důležitou součástí MON regulace je měřič rozměrů profilu. Tento měřič musí s vysokou frekvencí a přesností kontinuálně měřit výšku a šířku profilu, aby bylo možno garantovat co nejužší hotovní tolerance vývalků. Za tím účelem byl rovněž vyvinut speciální, vysoce inteligentní měřicí systém [2].

3. DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

ASC systém byl s úspěchem nasazen na jedné kombinované válcovně tyčí a drátu na TCHAJ-WANu [3]. V dalším jsou představeny některé výsledky dosažené pomocí ASC systému na této válcovně profilů.

Na **obr. 11** je znázorněno kolísání výškového a šířkového rozměru provačku před a za ASC systémem. Tento obrázek potvrzuje vysokou účinnost AGC systému.

Na **obr. 12** je pro 20 válcovaných sochorů zobrazena maximální a minimální šířka profilu. Jak tento obrázek potvrzuje, byly dosaženy hodnoty na hranici 1/8 normy DIN.

Na **obr. 13** je pro 20 za sebou válcovaných sochorů zobrazena jejich ovalita. Jak potvrzuje tento obrázek, bylo dosaženo hodnot na hranici 1/12 normy DIN.

Zkušenosti s touto válcovnou ukázaly, že v budoucnu lze s ASC sizing systémem dosáhnout tolerancí na hranici 1/10 normy DIN.

Kromě špičkových tolerancí lze ASC systémem díky maximálním úběrům v celém rozsahu válcovaných rozměrů a termomechanickému válcování dosáhnout rovněž ideálních mechanických vlastností vývalků přímo z procesu válcování [4].

4. ZÁVĚR

Tento příspěvek měl mimo jiné ukázat, že v budoucnu bude třeba pro zvládnutí náročných úkolů stále častěji nasazovat mechatronické systémy. Samotné mechanické systémy jsou z hlediska vývoje často již na hranici svých možností.

Tento projekt rovněž ukázal, jak důležité je řešit kombinované úlohy, tj. mechanické a elektronické systémy, na základě mechatronických principů, tj. jako jednu úlohu se společným cílem. V ASC systému se vyskytuje celá řada kombinovaných úloh, jejichž rozhraní bylo třeba citlivě řešit. Jako příklad lze uvést měřič rozměrů, snímače tlaku a polohy integrované v hydraulickém válci, měření válcovacího tlaku ve válcovací stolici a propojení regulačního systému válcovací stolice s mechanickou částí stolice.

Pro úspěšné řešení těchto úloh je důležitý interdisciplinární přístup k řešení celkové úlohy.

5. LITERATURA

- [1] Palzer O., Koermer A.: Einsatz hydraulischer Anstellungen für das Präzisions-walzen von Profilen, Der Kalibreur, 04/2001 (v tisku)
- [2] Hofmann K., Palzer O.: High-speed roll gap control in rod and bar mills: a chalenge for laser diameter gages, Iron and Steel Engineer, 09/1999, 42-46
- [3] Chiang Y.J., Palzer O.: Automatic size control – a new sizing technology in the China Steel Corporation No.2 steel bar mill, MPT International, 01/1999, 82-89
- [4] Müller H., Palzer O.: Neue Sizing-Technologie für Stabstahl und Draht, Stahl und Eisen, 03/1999, 49-56