

Fyzikální simulace válcování a zušlechťování bezešvých trubek z nízkolegované Cr-Mo oceli AISI 4130

Physical Simulation of Rolling, Quenching and Tempering of Seamless Tubes Made from Low-Alloy Cr-Mo Steel AISI 4130

prof. Ing. Ivo Schindler, CSc.¹; Ing. Petr Kawulok, Ph.D.¹; Ing. Stanislav Ruzs, Ph.D.¹; Ing. Rostislav Kawulok, Ph.D.¹; Ing. Horymír Navrátil¹; Ing. Radek Jurča²; Ing. Rostislav Turoň²

¹ VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálův-technologická, Regionální materiálův technologické výzkumné centrum, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Česká republika

² TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY a.s., Průmyslová 1000, 739 61 Třinec, Česká republika

Byl fyzikálně studován vliv dovalčovací teploty (820 – 970 °C) na strukturní a mechanické vlastnosti bezešvých trubek s různou tloušťkou stěny (6,3 – 40 mm), a to ve stavu po tváření i po zušlechťování. V laboratorních podmínkách bylo zjednodušeně napodobováno děrování bloku a prodlužování na poutnické stolici při válcování trubek z nízkolegované oceli AISI 4130. Interpretace výsledků byla usnadněna sestavením ARA diagramu zkoumané oceli. Tloušťka stěny trubky ovlivňovala celkovou deformaci vzorků i rychlost závěrečného ochlazení. Dovalčovací teplota měla jen nevýrazný vliv na výsledné vlastnosti. Významně nižší tvrdosti bylo dosahováno jen po simulaci výroby trubky s největší tloušťkou stěny. Vliv dovalčovacích teplot na strukturní rozdíly vzorků po simulaci válcování byl eliminován následným kalením z teploty 850 °C a popuštěním při teplotě 680 °C.

Klíčová slova: bezešvé trubky; nízkolegovaná Cr-Mo ocel; fyzikální simulace válcování; dovalčovací teplota; zušlechťování

Influence of the finish rolling temperature on structural and mechanical properties of the seamless tubes with different wall thickness was studied in the state after forming, as well as after quenching and tempering. In laboratory conditions, piercing of the bloom and elongation in pilger mill was simply imitated in the case of tube rolling from low-alloy steel AISI 4130 with 0.31 % C, 1.04 % Cr and 0.22 % Mo. Interpretation of the results was facilitated by designing the CCT diagram of the investigated steel on the basis of dilatometric tests. Physical simulations were performed in the Hydrowedge II module of Gleeble 3800 simulator. Wall thickness of the tube influenced the total deformation of samples at anisothermal multi-pass plain-strain compression tests, as well as the final cooling rate. Finish rolling temperature changing from 820°C to 970°C had an only insignificant effect on the resulting properties. Markedly lower hardness was obtained only after the simulation of tube production with a wall thickness of 40 mm contrary to the wall thickness of 6.3 and 20 mm. Structural variations of the samples after rolling simulations were more or less removed by the subsequent quenching from a temperature of 850°C and tempering at a temperature of 680 °C. The hardness of the quenched and tempered microstructure similarly depends only slightly on the finish rolling temperature but remains lower in the case of simulation of tubes with a wall thickness of 40 mm. In comparison with the as-rolled state, quenching and tempering yielded in average in the hardness increase of 22 %.

Key words: seamless tubes; low-alloy Cr-Mo steel; physical simulations of rolling; finish rolling temperature; quenching and tempering

Neustále se zvyšující požadavky na mechanické vlastnosti bezešvých trubek při zachování stávajících výrobních technologií spolu s omezenými možnostmi úpravy chemického složení používaných ocelí vedou k výzkumu využitelnosti jejich teplotně řízeného válcování. Podmínky takového válcování jsou obecně známé [1 – 4]. Nelze je však snadno aplikovat na jakémkoliv válcovacím zařízení. Vliv vybraných parametrů řízeného válcování na výslednou strukturu a vlastnosti bezešvých trubek byl publikován např. v pracích [5 – 7].

V odborné literatuře se lze setkat s několika pracemi, ve kterých je použita ocel ve výchozím litém nebo protváře-

ném stavu a její pevnostní i plastické vlastnosti při tváření za tepla by tedy měly být ovlivněny výchozí velikostí zrna [6 – 8]. Obecně se předpokládá, že deformační chování ocelí v litém stavu by mělo být negativně ovlivněno hrubozrnnou a nepříznivě orientovanou makrostrukturou, strukturní a chemickou heterogenitou, výskytem licích vad, zeslabením hranic zrn a vnitřním prnutím [1, 9].

Mannesmannův způsob výroby bezešvých trubek, spjatý se zde popisovaným experimentem, je založen na principu průtlačného děrování kosým válcováním a následného rozválcování (prodlužování) vyděrováných polotovárů na poutnické stolici a finálního kalibrování vývalků. Tímto

způsobem jsou vyráběny bezešvé trubky o vnějším průměru od 60 do 660 mm s tloušťkou stěny 3 – 125 mm. Výchozím materiálem jsou ve většině případů ocelové, plynule lité předlitky kruhového průřezu, ale vhodnou alternativou mohou být také ingoty kruhového průřezu [10, 11].

Pro optimalizaci řízeného válcování a ochlazování bezešvých trubek je vhodné využít fyzikální simulace [6, 7, 12, 13,]. V tomto případě byly použity anizotermické víceúběrové tlakové zkoušky s rovinnou deformací, které byly realizovány na simulátoru deformací za tepla HDS-20, jenž je instalován v Regionálním materiálově technologickém výzkumném centru na VŠB – TU Ostrava [12, 13]. Anizotermické víceúběrové tlakové zkoušky s rovinnou deformací se používají především pro fyzikální simulace procesů objemového tváření. Při tomto typu tlakové zkoušky se využívá omezeného šíření materiálu vlivem tuhých konců (nedeformovaných oblastí vzorku) [14, 15]. Výhodou těchto zkoušek je možnost naprogramování až 20 dílčích deformací, realizovatelných v širokém rozsahu deformačních rychlostí od 0,005 do 100 s⁻¹, s přesným řízením teploty zkoušeného vzorku v průběhu jeho ohřevu, deformace i ochlazování.

Popis experimentu

Hlavním cílem práce bylo určit vliv dovalcovací teploty na strukturální a mechanické vlastnosti bezešvých trubek s různou tloušťkou stěny, a to ve stavu po tváření i po zušlechťování. V laboratorních podmínkách bylo zjednodušeně napodobováno děrování bloku a prodlužování na poutnické stolici v případě válcování trubek z oceli AISI 4130; její konkrétní chemické složení v hm. % bylo: 0,31 C – 0,52 Mn – 0,29 Si – 1,04 Cr – 0,22 Mo – 0,028 Al. Výchozí stav byl po tváření za tepla. Simulované trubky o průměru 273 mm se lišily tloušťkou stěny (6,3 – 40 mm), z čehož byly odvozeny i různé rychlosti závěrečného ochlazování na teplotu 400 °C (průměrně 0,70 – 0,25 °C·s⁻¹). Klíčovým parametrem laboratorních testů byla dovalcovací teplota, měnící se v intervalu 820 – 970 °C. Celkem 12 simulací bylo prováděno pomocí tlakových zkoušek s rovinnou deformací (PSCT) na modulu Hydrawedge II simulátoru HDS-20. Hranolovité vzorky výšky 10 mm, šířky 15 mm a délky 20 mm byly odporově ohřívány a následně lokálně stlačovány ve směru výšky kovadly o šířce 5 mm (blíže viz např. [12]). Parametry ohřevu byly ve všech případech shodné, s výdrží 5 minut na teplotě 1290 °C. Při této teplotě proběhl i první úběr, napodobující děrování. Při nižších teplotách následovaly vždy dva úběry, napodobující prodlužování. Deformační rychlosti odpovídaly provozním podmínkám. Velikost prvních dvou deformací byla z praktických důvodů proporcionálně snížena oproti úběrům na válcovně. V tab. 1 a 2 jsou shrnuty parametry PSCT zkoušek, jak byly naprogramovány pro jednotlivé varianty simulace.

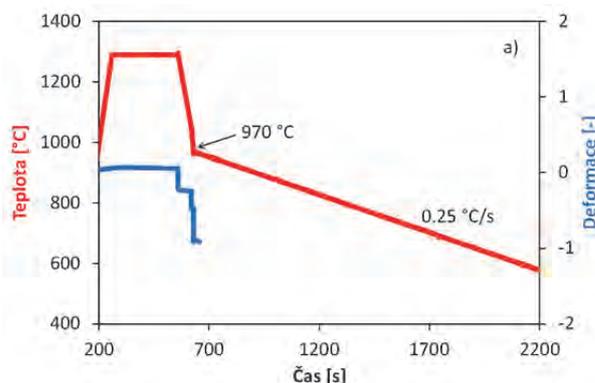
Tab. 1 Parametry simulace pro různé tloušťky stěny válcované trubky
Tab. 1 Simulation parameters for different wall thicknesses of the rolled tube

| Tloušťka stěny (mm) | Číslo úběru | Skutečná deformace (-) | Deformační rychlost (s ⁻¹) | Rychlost ochlazování (°C·s ⁻¹) |
|---------------------|-------------|------------------------|--|--|
| 6,3 | 1 | 0,33 | 4,8 | 0,7 |
| | 2 | 0,49 | 21,8 | |
| | 3 | 0,95 | 21,8 | |
| 20 | 1 | 0,28 | 3,9 | 0,44 |
| | 2 | 0,33 | 12,4 | |
| | 3 | 0,66 | 12,4 | |
| 40 | 1 | 0,21 | 3,1 | 0,25 |
| | 2 | 0,22 | 8,2 | |
| | 3 | 0,42 | 8,2 | |

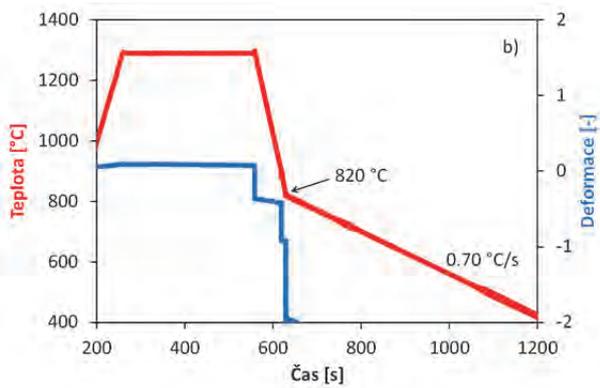
Tab. 2 Parametry simulace pro různé dovalcovací teploty
Tab. 2 Simulation parameters for different finish rolling temperatures

| Tloušťka stěny (°C) | Číslo úběru | Skutečná deformace (°C) | Rychlost ochlazování (°C·s ⁻¹) |
|---------------------|-------------|-------------------------|--|
| 970 | 1 | 1290 | 4,0 |
| | 2 | 1050 | 8,0 |
| | 3 | 970 | - |
| 920 | 1 | 1290 | 4,8 |
| | 2 | 1000 | 8,0 |
| | 3 | 920 | - |
| 870 | 1 | 1290 | 5,7 |
| | 2 | 950 | 8,0 |
| | 3 | 870 | - |
| 820 | 1 | 1290 | 6,5 |
| | 2 | 900 | 8,0 |
| | 3 | 820 | - |

Grafy na obr. 1 dokumentují průběh dvou simulačních testů pomocí naměřených (nikoli naprogramovaných) a počítačově registrovaných dat. Měřené hodnoty tlakové deformace byly v tomto případě ponechány v nativní formě, tedy se znaménkem mínus.



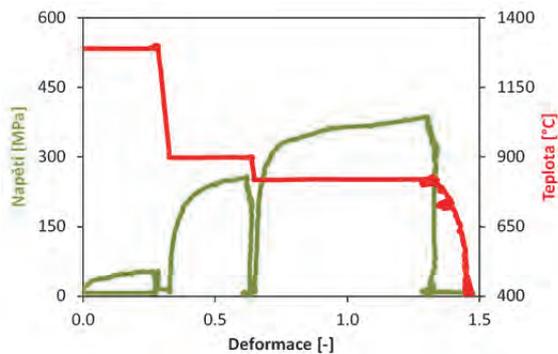
a) tloušťka stěny trubky 40 mm, vysoká dovalcovací teplota
a) tube wall thickness 40 mm, high finish rolling temperature



b) tloušťka stěny trubky 6,3 mm, nízká doválcovací teplota
b) tube wall thickness 6.3 mm, low finish rolling temperature

Obr. 1 Časový průběh teploty a deformace pro vybrané příklady simulace

Fig. 1 Evolution in time of temperature and strain for selected simulation examples



Obr. 2 Hodnoty napětí a teploty registrované v závislosti na deformaci při simulaci válcování trubky s tloušťkou stěny 20 mm; doválcovací teplota 820 °C

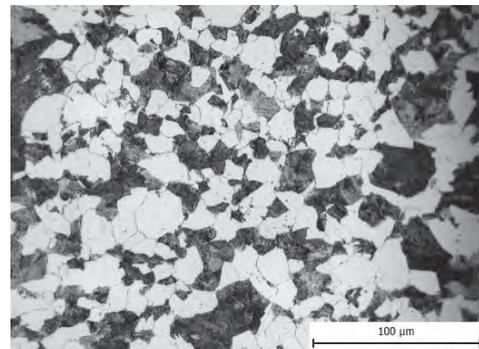
Fig. 2 Values of stress and temperature depending on strain for simulation of tube rolling with the wall thickness of 20 mm; finish rolling temperature of 820°C

Obr. 2 ukazuje příklad naměřené hodnoty napětí a teploty v závislosti na rostoucí deformaci; napětí i deformace jsou v tomto případě převedeny na absolutní hodnoty.

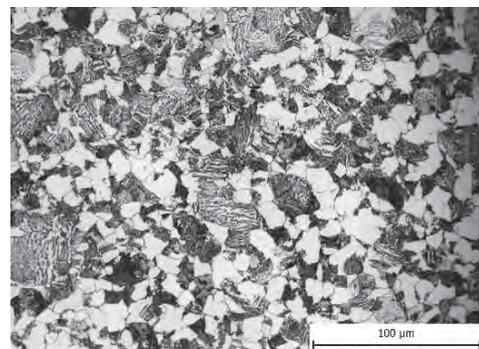
Vzorky byly po simulaci podélně rozpůleny a podrobeny ve středu deformované oblasti metalografické analýze i měření tvrdosti HV30, a to přímo ve stavu po simulaci teplotně řízeného válcování a ochlazování, resp. po následujícím zušlechťení. Kalení a popouštění probíhalo s využitím dvou laboratorních odporových pecí jednotným režimem: pec 850 °C/30 minut – kalení do oleje – pec 680 °C/20 minut – vzduch.

Pro snadnější interpretaci strukturálních analýz byl sestaven ARA diagram zkoumané oceli. Válcovité vzorky plné (\varnothing 6 mm, délka 86 mm) nebo s dutými hlavami (s redukovanou středovou částí \varnothing 5 mm a délka 5 mm) byly v simulátoru HDS-20 austenitizovány po dobu 180 s při teplotě 900 °C a následně ochlazovány nominální rychlostí v rozsahu 0,2 – 100 °C·s⁻¹. Bezkontaktním dilatometrickým modulem byly měřeny změny průměru vzorků a za pomoci speciálního CCT softwaru integro-

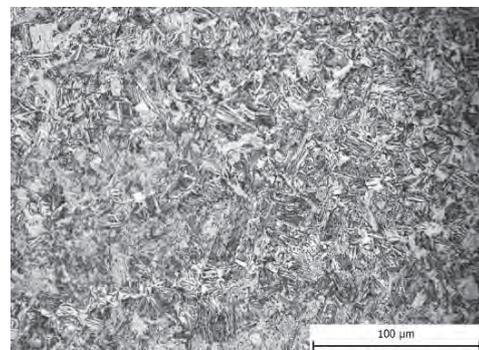
vaného do programu Origin pak byly určovány a v grafu vynášeny teploty jednotlivých fázových transformací. Tyto poznatky byly verifikovány metalograficky – viz např. mikrostruktury na obr. 3.



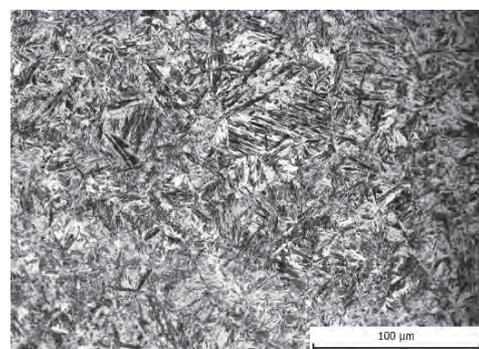
a) rychlost ochlazování 0,2 °C·s⁻¹ (ferrit a perlit)
a) cooling rate of 0.2°C·s⁻¹ (ferrite and pearlite)



b) rychlost ochlazování 1 °C·s⁻¹ (ferrit, bainit a perlit)
b) cooling rate of 1°C·s⁻¹ (ferrite, bainite and pearlite)

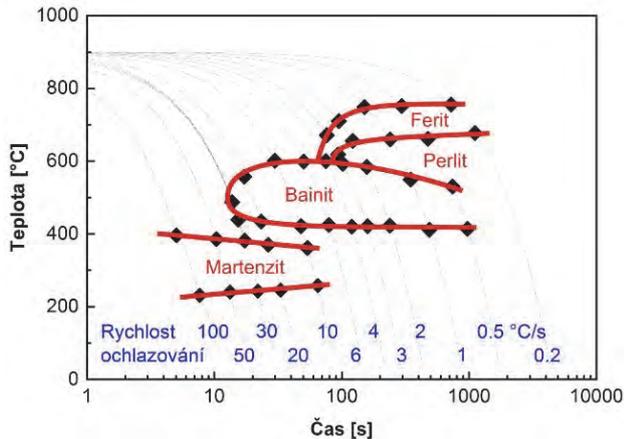


c) rychlost ochlazování 6 °C·s⁻¹ (bainit)
c) cooling rate 6°C·s⁻¹ (bainite)



d) rychlost ochlazování 100 °C·s⁻¹ (martenzit)
d) cooling rate 100°C·s⁻¹ (martensite)

Obr. 3 Mikrostruktura vybraných vzorků po dilatometrii
Fig. 3 Microstructure of selected samples after dilatometry

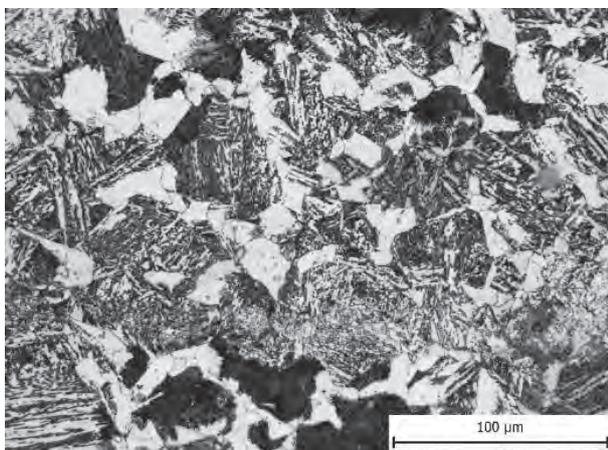


Obr. 4 Experimentálně stanovený ARA diagram oceli AISI 4130
Fig. 4 Experimentally assembled CCT diagram of steel AISI 4130

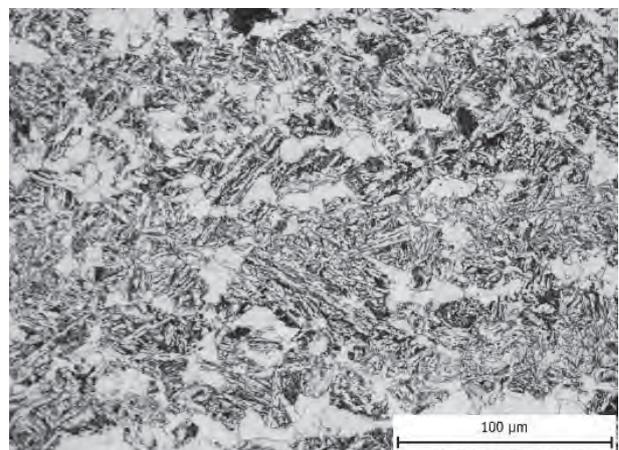
Výsledný diagram anizotermického rozpadu austenitu je znázorněn na obr. 4.

Diskuse výsledků

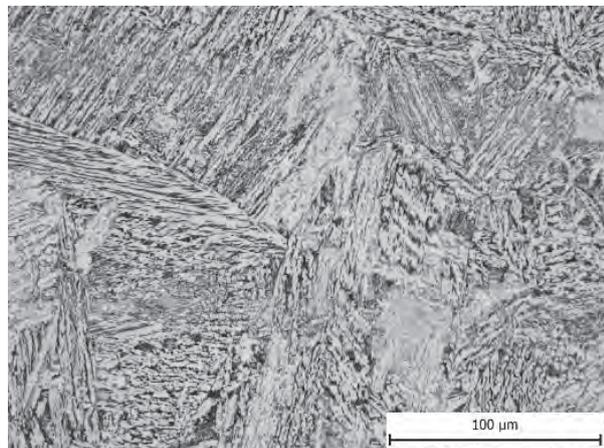
Mikrostruktury na obr. 5 odpovídají mezním podmínkám simulace válcování a ochlazování z hlediska doválcovací teploty i tloušťky stěny trubky (potažmo rychlosti závěrečného ochlazování). Reflektují různou velikost austenitického zrna a v souladu se získaným ARA diagramem jsou tvořeny bainitem, feritem a perlitem v různém poměru (struktura na obr. 5b je tvořena výhradně bainitem), v žádném případě však nebyla získána struktura čistě feriticko-perlitická. To lze vysvětlit experimentálními podmínkami odlišnými oproti podmínkám při sestavování ARA diagramu – působení předchozí deformace, různá velikost austenitického zrna nad teplotou A_{c3} aj.



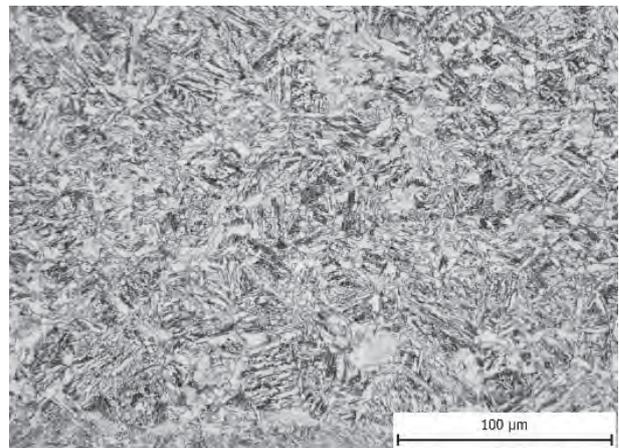
a) tloušťka stěny trubky 40 mm, doválcovací teplota 970 °C
a) tube wall thickness of 40 mm, finish rolling at 970 °C



c) tloušťka stěny trubky 40 mm, doválcovací teplota 820 °C
c) tube wall thickness of 40 mm, finish rolling at 820 °C



b) tloušťka stěny trubky 6,3 mm, doválcovací teplota 970 °C
b) tube wall thickness 6.3 mm, finish rolling at 970 °C

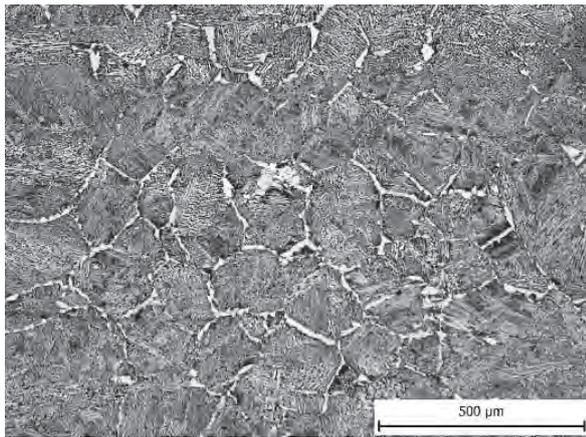


d) tloušťka stěny trubky 6,3 mm, doválcovací teplota 820 °C
d) tube wall thickness 6.3 mm, finish rolling at 820 °C

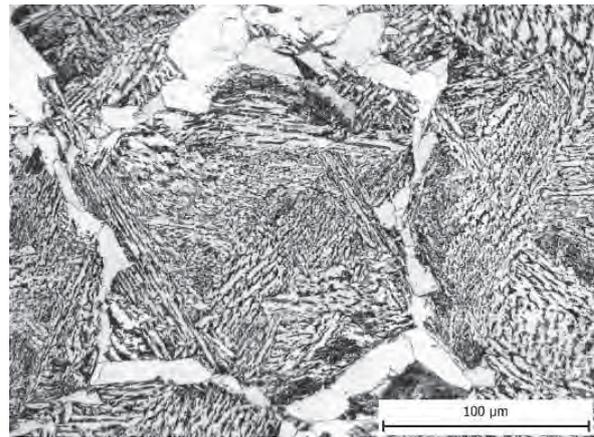
Obr. 5 Mikrostruktura vybraných vzorků po simulaci teplotně řízeného válcování a ochlazování
Fig. 5 Microstructure of selected samples after simulation of temperature-controlled rolling and cooling

Zejména po simulaci doválcovací teploty 920 °C se občas projevilo výrazné lemování hranic původních austenitických zrn feritem (obr. 6). Po zušlechtnění byla mikrostruktura všech 12 vzorků tvořena základními složkami a lišila se vesměs pouze mírou zviditelnění původního austenitického zrna (obr. 7).

Měření tvrdosti však prokázalo, že parametry simulací ovlivnily mechanické vlastnosti vzorků po obou etapách zpracování, napodobujících teplotně řízené válcování i následné zušlechtnění. Získané výsledky jsou dokumentovány grafy na obr. 8, a to závislostí tvrdosti na tloušťce stěny trubky a doválcovací teplotě.

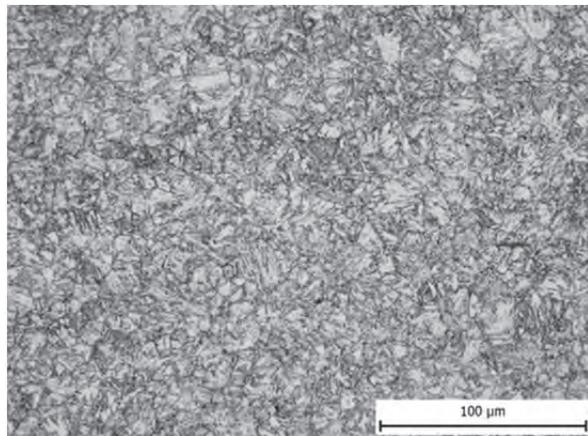


a) celkový pohled a) the overall view

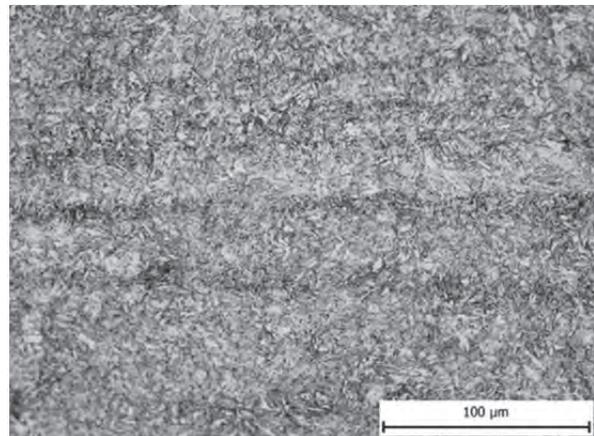


b) detail b) detail

Obr. 6 Mikrostruktura po simulaci válcování a ochlazování trubky s tloušťkou stěny 6,3 mm s doválcovací teplotou 920 °C
Fig. 6 Microstructure after simulation of rolling and cooling of a tube with the wall thickness of 6.3 mm; finish rolling temperature of 920°C

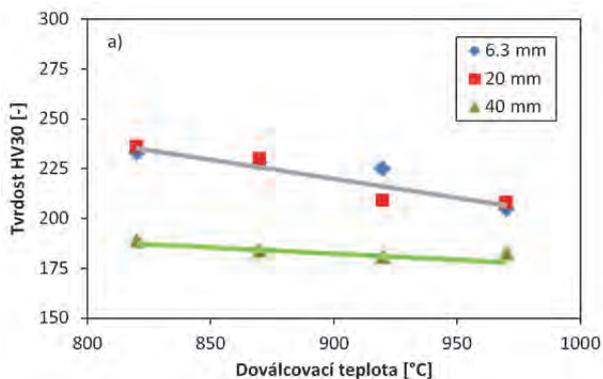


a) simulace tepelného zpracování trubky s tloušťkou stěny 40 mm po doválcování při teplotě 970 °C
a) simulation of thermal treatment of the tube with wall thickness of 40 mm; finish rolling temperature of 970°C

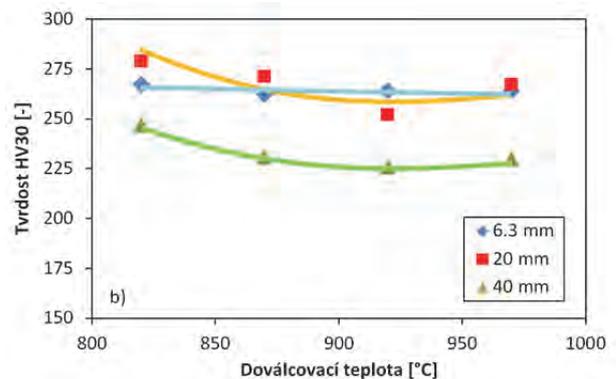


b) simulace tepelného zpracování trubky s tloušťkou stěny 6,3 mm po doválcování při teplotě 820 °C
b) simulation of heat treatment of a tube with a wall thickness of 6.3 mm; finish rolling temperature of 820°C

Obr. 7 Příklady mikrostruktury zušlechťených vzorků
Fig. 7 Examples of microstructure of the quenched and tempered samples



a) ve stavu po válcování a ochlazování
a) in a state after rolling and cooling

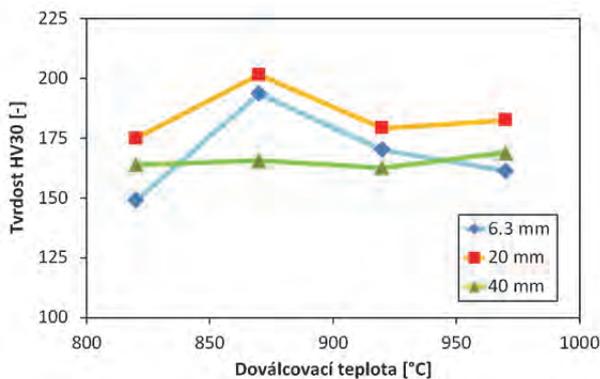


b) ve stavu po zušlechťení
b) after quenching and tempering

Obr. 8 Vliv simulačních parametrů na tvrdost laboratorních vzorků
Fig. 8 Influence of simulation parameters on hardness of laboratory samples

Po válcování tvrdost mírně a prakticky lineárně klesá s rostoucí doválcovací teplotou. Hodnoty tvrdosti pro tloušťku stěny 6,3 mm a 20 mm jsou prakticky shodné. Evidentně nižší jsou tyto hodnoty pro tloušťku stěny

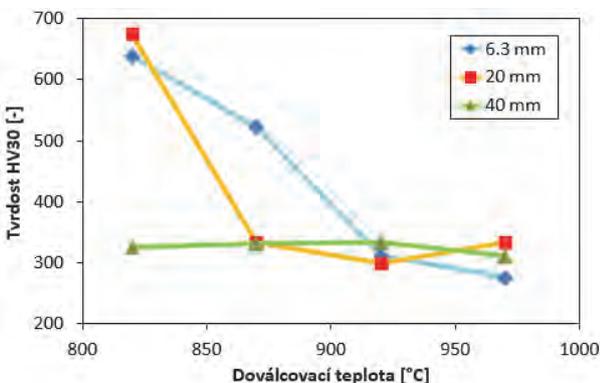
40 mm. Podobné experimenty, prováděné dříve na oceli X70 mikrolegované niobem a vanadem [12], daly výsledky s podstatně složitějšími trendy. S výjimkou největší tloušťky stěny se projevilo výrazné lokální maximum tvrdosti pro dovalčovací teplotu 870 °C. Toto lokální maximum způsobilo zvýšený podíl acikulárního feritu vzniklého při teplotě cca 870 °C (obr. 9). U oceli X70 byla ovšem situace navíc komplikovaná precipitačními procesy.



Obr. 9 Vliv parametrů simulace válcování a ochlazování bezešvých trubek z oceli X70 na tvrdost

Fig. 9 Hardness as a function of the simulation parameters of seamless tubes production for steel X70

Výsledky analogických simulací provedených na oceli 42CrMo4 [13] přinesly také zajímavé výsledky (obr. 10). Uvedená ocel, která obsahovala o cca 0,1 hm. % více C a o cca 0,3 hm. % více Mn než ocel AISI 4130, se zvýšení tvrdosti vlivem snížení dovalčovacích teplot zásadně projevilo především v případě simulované tloušťky stěny 6,3 mm. Ke zvýšení tvrdosti v případě simulované tloušťky stěny 20 mm došlo jen při dovalčovací teplotě 820 °C, kdy mikrostruktura vzorků po simulaci byla tvořena především martenzitem. Vliv dovalčovací teploty byl v případě simulované tloušťky stěny trubky 40 mm z ocelí 42CrMo4 i X70 eliminován malou celkovou deformací při dovalčování a velmi nízkou rychlostí závěrečného ochlazování ($0,25 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$), jak dokládají hodnoty v tab. 1.



Obr. 10 Vliv parametrů simulace válcování a ochlazování bezešvých trubek z oceli 42CrMo4 na tvrdost

Fig. 10 Hardness as a function of the simulation parameters of seamless tubes production for steel 42CrMo4

Zušlechtním laboratorních vzorků z oceli AISI 4130 došlo k očekávanému zvýšení jejich tvrdosti. Lineární závislost veličiny HV30 na dovalčovací teplotě zůstala zachována jen u tloušťky stěny trubky 6,3 mm. U ostatních dvou tloušťek stěny lze pozorovat spíše polynomickou závislost s lokálním minimem v okolí dovalčovací teploty 920 °C. Významně odlišné (tj. nižší) jsou hodnoty tvrdosti jen pro největší tloušťku stěny simulované trubky.

Závěr

Fyzikální simulace teplotně řízeného válcování a ochlazování bezešvých trubek z nízkolegované C-Mn oceli AIS 4130 prokázaly nevýrazný vliv dovalčovací teploty v intervalu 820 – 970 °C na výsledné strukturální vlastnosti i tvrdost. Významně nižší tvrdosti bylo dosažováno po simulaci výroby trubky s největší tloušťkou stěny (40 mm), zatímco vzorky odpovídající tloušťce stěny trubky 6,3 a 20 mm vykazovaly prakticky shodné mechanické vlastnosti.

Mikrostrukturální rozdíly vzorků po simulaci válcování (velikost zrna, podíly fázových složek) byly prakticky eliminovány následným kalením z teploty 850 °C a popuštěním při teplotě 680 °C. Závislost tvrdosti zušlechtněné struktury na dovalčovací teplotě je rovněž nevýrazná, ale tvrdost zůstává nižší v případě simulace trubek s tloušťkou stěny 40 mm.

Zušlechtnění trubek vede u zkoumané oceli oproti stavu po válcování k nárůstu tvrdosti HV30 v průměru o hodnotu 46, resp. o 22 %. Snížením dovalčovací teploty z 970 °C na 820 °C bylo u laboratorních zušlechtněných vzorků dosaženo nárůstu tvrdosti jen o cca 4 %, což jen stěží vykompenzuje provozní komplikace spojené s praktickými technologickými opatřeními vedoucími ke zvýšení tvrdosti a pevnostních vlastností trubek.

Doplňkovým produktem provedených experimentů je ARA diagram protvářené oceli AISI 4130, sestavený pro podmínky ochlazování z teploty austenitizace 900 °C.

Poděkování

Tato práce vznikla při řešení projektu FV10253 „Výzkum a vývoj progresivních mikrolegovaných materiálů pro teplotně řízené válcování a ochlazování s následným zušlechtním bezešvých trub pro použití v oblasti OCTG a strojním průmyslu“ financovaného Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR, projektu LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - Program udržitelnosti" financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, a v rámci projektu studentské grantové soutěže SP2018/105 podporovaném na VŠB – TU Ostrava Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky

Literatura

- [1] TEOH, L. L. Thermo-mechanical Processing and Microstructure of Microalloyed Steel Bar and Wire Rod products. *Journal of Materials Processing Technology*, 48 (1995) 1-4, 475–485.

- [2] MESPLONT, C. Grain Refinement and High Precipitation Hardening by Combining Microalloying and Accelerated Cooling. *Revue de Metallurgie – CIT*, 106 (2006) 5, 238–246.
- [3] VERLINDEN, B., DRIVER, J., SAMAJDAR, I., DOHERTY, R. D. *Thermo-mechanical processing of metallic materials*, 1st ed. Oxford: Elsevier, 2007. 528 s.
- [4] BARANI, A. A., LI, F., ROMANO, P., PONGE, D., RAABE, D. Design of High-strength Steels by Microalloying and Thermomechanical Treatment. *Materias Science and Engineering: A*, 463 (2007) 1-2, 138–146.
- [5] PUSSEGODA, L.N., YUE, S., JONAS, J.J. Laboratory Simulation of Seamless Tube Piercing and Rolling Using Dynamic Recrystallization Schedules. *Metallurgical Transactions A*, 21 (1990) 153–154.
- [6] SCHINDLER, I., JURČA, R., RUSZ, S., TUROŇ, R., KAWULOK, P., KAWULOK, R., OPĚLA, P. Fyzikální simulace teplotně řízeného válcování bezešvých trubek z mikrolegované oceli. *Hutnické listy*, 68 (2015) 6, 60–66.
- [7] WANG, B., LIAN, J. Effect of Microstructure on Low-temperature Toughness of a Low Carbon Nb–V–Ti Microalloyed Pipeline Steel. *Materials Science and Engineering: A*, 592 (2014), 50–56.
- [8] GULYAYEV, Y. G., MAMUZIC, I., SHYFRIN, Y. I., BURSAK, M., GARMASHEV, D. Y. Perfection of Processes of Seamless Steel Tubes Production. *Metallurgija*, 50 (2011) 4, 285–288.
- [9] WANG, F. J., SHUANG, Y. H., HU, J. H., WANG, Q. H., SUN, J. CH. Explorative Study of Tandem Skew Rolling Process for Producing Seamless Steel Tubes. *Journal of Materials Processing Technology*, 214 (2014) 8, 1597–1604.
- [10] KOMORI, K. Simulation of Mannesmann Piercing Process by the Three-dimension Rigid-plastic Finite-element Method. *International Journal of Mechanical Sciences*, 47 (2005) 12, 1838–1853.
- [11] JOUN, M. S., LEE, J., CHO, J. M., JEONG, S. W., MOON, H. K. Quantitative Study on Mannesmann Effect in Roll Piercing of Hollow Shaft. *Procedia Engineering*, 81 (2014), 197–202.
- [12] RUSZ, S., ŠEVČÁK, V., JURČA, R., TUROŇ, R., TUROŇOVÁ, P., KAWULOK, P., KAWULOK, R., OPĚLA, P., SCHINDLER, I. Fyzikální simulace řízeného válcování bezešvých trub z mikrolegované oceli X70. *Kovárenství*, (2017) 61, 39–42.
- [13] KAWULOK, P., LELKEŠ, D., SCHINDLER, I., TUROŇ, R., JURČA, R., KAWULOK, R. The Plastometric Simulation of Rolling of Seamless Tubes from Cr-Mo Steel. In *Metal 2018*, Conference Proceedings. Ostrava: Tanger Ltd, 2018, in press.
- [14] MANDZIEJ, S. T. Physical Simulation of Metallurgical Processes. *Materiali in tehnologije*, 44 (2010) 3, 105–119.
- [15] KNAPINSKI, M. et al. Analysis of the Microstructure Evolution during Thermo-mechanical Treatment of the Steel Plates in Grade X80-X100. *Metallurgija*, 52 (2013) 2, 239–242.

Nové Centrum pro výzkum a inovace firmy AK Steel / New AK Steel Research and Innovation Center

I&S Technology, October 2018, p. 140-143 www.aksteel.com

V dubnu 2017 firma AK Steel slavnostně otevřela své nové moderní Centrum pro výzkum a inovace. Centrum představuje investici za 36 mil. USD, budovy mají plochu 136 000 čtverečních stop a jsou situovány na šestnáctiakrovém pozemku v blízkosti vedení společnosti AK Steel ve West Chesteru a také jejího závodu v Middletownu v Ohiu, USA.

AK Steel zaměstnává asi 8500 lidí v osmi ocelárnách, dvou koksovárnách a dvou rourovnách v šesti státech USA, jedna rourovna je také v Mexiku. Společnost je hrdá na své nové centrum, které je důležitou součástí její strategie vyvíjet nové výrobky a procesy v oblasti uhlíkových, nerezavějících a elektrotechnických ocelí a uspokojovat tak současné i budoucí potřeby svých zákazníků. Centrum dále rozšiřuje možnosti dodávek nových ocelových výrobků na trh. Ocel stále zůstává nejrecyklovanějším materiálem na světě! CEO AK Steel ocenil také podporu místních, regionálních i státních představitelů při výstavbě centra, které je i výhodně situováno, aby mohlo sloužit regionálním zákazníkům i dodavatelům.

Inovační tým společnosti byl během posledních dvou let rozšířen o 30 %. Zvýšil se také počet každoročně zahajovaných výzkumných a inovačních projektů mezi lety 2014 – 2016 až třikrát. Moderní laboratoře a pilotní ocelářské provozy centra pro výzkum a inovace zahrnují 17 prototypových laboratoří, 17 analytických laboratoří a 22 společných prostor pro zaměstnance, zákazníky a dodavatele. V centru bude zaměstnáno 125 zaměstnanců. Nové centrum je také charakteristické použitím několika firemních ocelových výrobků při výstavbě.