



Title	Microstructure Control of Cu Alloy Sheets by Cryogenic High-Speed Rolling
Author(s)	李, 相民
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/77489
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (李相民)	
論文題名	Microstructure Control of Cu Alloy Sheets by Cryogenic High-Speed Rolling (極低温高速圧延による銅合金板の材質制御)
論文内容の要旨	
<p>Copper alloys, which are mostly used as conducting materials, high electrical conductivity and high mechanical strength are required simultaneously for many applications. Pure copper is very conductive, however, soft and heavy. Addition of alloying elements increases strength; however, it decreases electrical conductivity. Therefore, strengthening by the deformation twinning is discussed for copper alloys in this thesis. This is because not only deformation twins act as obstacles of dislocation glide, but also the electrical conductivity through twin boundaries is low. In a copper alloy with low stacking fault energy (SFE), deformation twinning occurs at low strain rate under ambient temperature. Meanwhile, high strain rate and cryogenic temperature, i.e., high Zener-Hollomon (Z) parameter deformation, are required to induce deformation twinning in alloys with high SFE.</p> <p>First, it is confirmed that the formation of deformation twins in copper alloy with low SFE induced by the low-speed rolling at room temperature is effective for strengthening. Secondary, the cryogenic high-speed rolling with high Z parameter is proposed and applied to copper alloys with various SFE. The following remarks are derived.</p> <p>(1) Multi-pass cold rolling of the Cu-15at%Al with extra-low SFE was carried out at room temperature and low-speed (5 m/min) to show the deformation twinning actually contributes mechanical properties. The relationship between strength and elongation was improved in the processed alloy. That was similar to that by severe plastic deformation and annealing in literature.</p> <p>(2) A novel rolling process, cryogenic high-speed rolling (C-HSR) was proposed. The proposed rolling process where the sheet cooled in liquid nitrogen is supplied to high-speed rolling with rolls at room temperature. It was confirmed that a high rolling speed (> 750 m/min) not only contributes to the increase in strain rate but also reduces the contact heat due to the shorter contact duration, so that a synergistic effect can be expected to realize high Z deformation.</p> <p>(3) A case study was carried out to verify whether C-HSR can improve strength and electrical conductivity of Cu-5mass%Zn sheets with high SFE (50 mJ/m²). The estimated heat balance showed only the C-HSR was able to keep the sheet temperature below the room temperature throughout the rolling process. The low-speed rolled (LSR) sheet showed the tensile strength of 520MPa and electrical conductivity of 52%IACS after 80% rolling. On the other hand, the C-HSR processed sheet showed improved properties with 580MPa and 54%IACS, respectively. Deformation twins were more frequently formed in the C-HSRed sheet. The C-HSRed sheet showed the typical brass-type rolling texture.</p> <p>(4) C-HSR of the Cu- xAl ($x = 3.1, 6.7$ mass %, referred to as 3Al and 7Al, respectively) was carried out as another case study. C-HSR is found to be more effective for the Cu-3Al with higher SFE in both balances of (strength – ductility) and (strength – conductivity). It is predicted that dislocation density, as well as grain boundaries and deformation twins, increase mechanical strength; meanwhile, dislocation density is a single factor to decrease electrical resistivity.</p> <p>It is concluded that the strength – electrical conductivity balance of copper alloys is improved by deformation twinning. The deformation twinning can be induced even in copper alloys with high SFE by the proposed cryogenic high-speed rolling. The effect is stronger when the SFE is higher. As the C-HSR realizes high Z deformation without cooling of rolls and rolling mills, it is advantageous for industries.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (李 相 民)	
	(職) 氏 名
論文審査担当者	主査 教授 宇都宮 裕
	副査 教授 荒木 秀樹
	副査 教授 小泉 雄一郎
	副査 准教授 松本 良

論文審査の結果の要旨

導電性材料として多用される銅合金に対しては、高強度と高電気伝導性が同時に求められる。一般的な強化手法である合金元素の添加は、電気伝導性の顕著な低下を招くため銅合金については不適である。そこで本論文では、銅合金の高強度化手法として変形双晶の利用を検討している。双晶境界は転位運動の障壁となり強化に寄与するが、対応粒界であるために電気伝導性の低下は小さい。積層欠陥エネルギー(SFE)が低い銅合金では室温の低ひずみ速度条件においても変形双晶は発現するが、合金添加量が小さい高 SFE 銅合金では、高ひずみ速度かつ低温、すなわち高 Zener-Hollomon 因子(Z 因子)、条件下的転位運動が困難な条件でしか変形双晶は発現しない。本論文は、低 SFE 合金の室温低速圧延(Low-Speed Rolling, LSR)によって変形双晶の発現が銅合金の高強度化に有効であることを確認し、次に高 Z 因子条件で大加工が可能な極低温高速圧延(Cryogenic High-Speed Rolling, C-HSR)法を提案していくつかの銅合金に適用し、以下の知見を得ている。

(1) 極低 SFE の Cu-7mass%Al 合金に対して、室温で多パスの低速圧延(LSR)を行うと、加工度の増加とともに、変形双晶の発現、せん断帯の発生、せん断帯の交差による結晶粒の微細化という組織変化が現れ、圧延材は優れた強度-延性バランスを示すことを見出している。

(2) 被加工材を液体窒素温度に冷却した後に、常温の高速圧延機に供して圧延を行う C-HSR を提案している。その圧延法では、ひずみ速度が大きいことに加えて、被加工材とロールの接触時間が短くなることで、被加工材へのロールからの熱移動が抑制され、被加工材が低温に保たれることを明らかにしている。このことにより高圧下率条件においても、圧延中の Z 因子が高く保たれ、変形双晶が発現することを示している。

(3) 高 SFE の Cu-5mass%Zn 合金に対して、圧下率 80% の LSR を適用すると圧延板は強度 520MPa と導電率 52%IACS を示したが、C-HSR 圧延材は、強度 580MPa と導電率 54%IACS を示し、強度と導電率の両面に優れることを明らかにしている。同時に、C-HSR 圧延材には変形双晶がより高頻度に見られ、合金型集合組織が発達することも示している。

(4) 低 SFE の Cu-3mass%Al と極低 SFE の Cu-7mass%Al に対して、C-HSR または LSR を適用し、C-HSR 圧延材の方が LSR 圧延材よりも優れた強度を示すこと、その効果は、Cu-7mass%Al に比べて Cu-3mass%Al の方が相対的に大きいことを報告している。圧延材の強度を拡張 Hall-Petch の式を用いて考察し、LSR の強化機構は主として転位密度の増加であるのに対して、C-HSR の場合には転位密度の増加に加え、変形双晶や結晶粒微細化も強化に寄与することを明らかにしている。

以上のように、本論文は、変形双晶を銅合金に発現させることで強度と導電率バランスが改善されることを明らかにしたもので材料科学に寄与するところが大きい。また提案された極低温高速圧延法は、ロールを冷却することなく高 Z 因子条件下での大圧下を実現する加工方法として、材料工学に寄与するところ大である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。