

切削加工により鉄鋼材料表面に形成したナノ結晶粒組織

Nanocrystalline Structure of Steel Surface Formed by Cutting

戸高 義一*1、梅本 実*1、李 金国*2、川畑 雄士*3、土谷 浩一*4

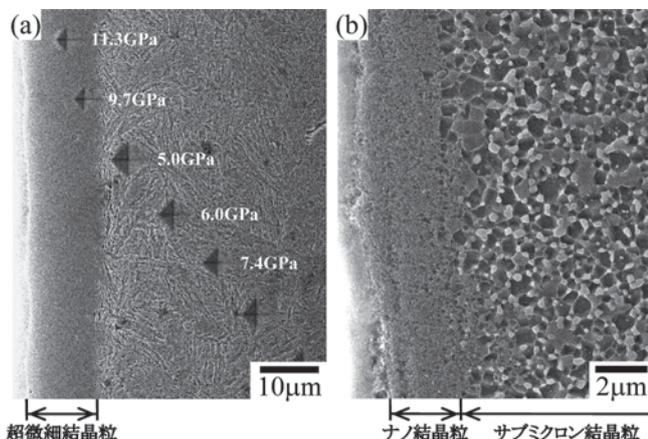


図1 S55C マルテンサイト鋼(1000℃、1h保持後氷水焼入れ)表面が超微細結晶粒化した(a) 高速ドリル加工まま材と(b) 高速ドリル加工後600℃、1h焼鈍材のSEM組織

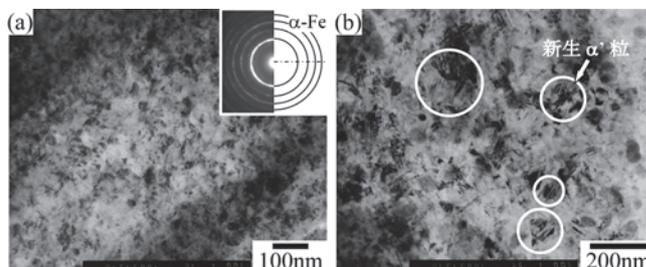


図3 表面が超微細結晶粒化した高速ドリル加工まま材のTEM組織 (a) ナノ結晶粒組織(制限視野絞りの大きさは:直径φ 1.2 μm)、(b) サブミクロン結晶粒組織

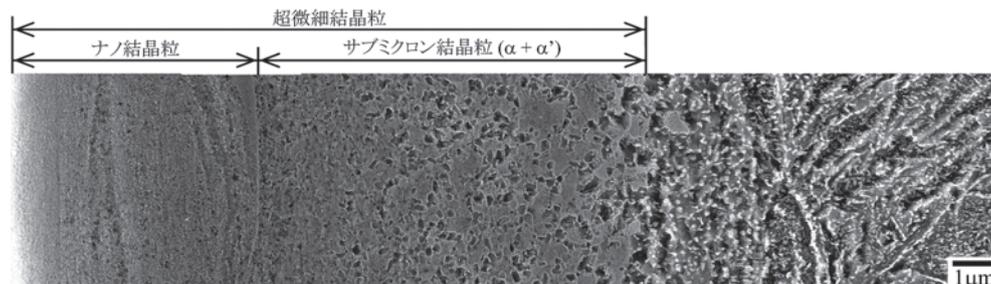


図2 表面が超微細結晶粒化した高速ドリル加工まま材の高倍SEM組織

これまでの切削加工は、如何に効率良く所定の形状に切削するかに終始しており、加工中に起こる材料の組織変化はほとんど無視されてきた。しかしながら近年、切削加工条件を工夫して被加工面に超強加工を与え、結晶粒の微細化やそれに伴う高硬度化を利用する動きが出てきた¹⁻³⁾。高速ドリル加工(ドリル径φ 5.0mm、周速80m/min、送り速度0.05mm/rev)したS55Cマルテンサイト鋼のSEM組織を図1(a)、図2に示す。ドリル穴表面近傍に均一なコントラストの層が観察される。この層は、ドリル穴表面から深さ5 μm程度まで結晶粒径20nmのナノ結晶粒組織であり、さらに試料内部では結晶粒径~200nmのサブミクロン結晶粒組織であることが、TEM観察で明らかとなった(図3)。以後、SEM観察において均一なコントラストで観察されるナノ・サブミクロン結晶粒組織を超微細結晶粒組織と呼ぶ。ピッカース硬さ試験において、この超微細結晶粒組織は試料の初期硬さHv7.8GPaに比べて3GPa程度高い値を示した(図1(a))。超微細結晶粒組織直下の領域に初期硬さに比べて硬さが低い領域があるが、これは高速ドリル加工により生じた加工発熱により焼戻されたためである。図1(b)に示すように、ナノ結晶粒組織は、600℃の焼鈍でさえもほとんど粒成長せず、また、サブミクロン結晶粒が再結晶した組織と明瞭な境界を形成する。明瞭な境界の形成とナノ結晶粒組織の熱的に安定な理由については未だ明らかになっていない。切削加工によるナノ・サブミクロン結晶粒化は、大きな歪量、歪勾配が高歪速度で付与されること^{1,2)}、また、それによる加工発熱で共析変態温度(A_{c1})以上に達して動的相変態が起こることにより生じ

ると考えられる^{2,3)}。これらの微細化が A_{c1} 以上の高温で生じていると考えられる理由は以下の通りである。図2中のサブミクロン結晶粒領域がフェライト粒(腐食された粒)とマルテンサイト粒(腐食されていない粒)からなり、試料表面に近づくにつれてマルテンサイト粒の割合が増加するためである。ここで観察されるマルテンサイト粒はサブミクロンサイズであり、切削加工中にオーステナイト化し、新たに生成したと考えられる(図3(b))。さらにXRD分析で、無加工材に比べて、ナノ結晶粒化したドリル穴表層の残留オーステナイト量の増加が認められた³⁾。相変態が加工中に起こることで、生成したオーステナイト粒が超強加工されて結晶回転することでバリエーションを回避し、オーステナイト粒の微細化およびその後の微細なフェライト粒・マルテンサイト粒の形成につながったと考えられる。

参考文献

- 1) Y. Todaka, M. Umemoto, Shuji Tanaka and K. Tsuchiya : Mater. Trans., 45 (2004), 2209.
- 2) Y. Todaka, M. Umemoto, J. Li and K. Tsuchiya : Rev. Adv. Mater. Sci., 10 (2005), 409.
- 3) J.G. Li, M. Umemoto, Y. Todaka and K. Tsuchiya : Acta Mater., 55 (2007), 1397.

(2008年11月4日受付)

*1 豊橋技術科学大学生産システム工学系
 *2 豊橋技術科学大学大学院生(現: Institute of Metal Research, China)
 *3 豊橋技術科学大学大学院生(現: 日立金属(株))
 *4 豊橋技術科学大学生産システム工学系(現: (独)物質・材料研究機構)