

Populärvetenskaplig sammanfattning

Målet med denna avhandling är att förstå mekanismerna som sker i nickel designat på mikrostrukturnivå med en harmonisk struktur allt eftersom det deformeras under dragning. Vad det innebär förklaras här nedan.

För att förstå vad en harmonisk struktur är behöver man veta vad ett korn innebär för en materialvetare. Tänk dig att du ska bygga en sten av oregelbundet kantiga gruskorn. Inom varje korn ligger atomerna i ett repeterande mönster. Gruskornen måste sättas in i olika riktningar relativt varandra för att kunna bygga upp en sten som saknar hålrum emellan gruskornen. På samma sätt är en metall uppbyggd. Skillnaden är att kornen vanligtvis är för små för att se med blotta ögat utan är i storleksordningen mikrometer, därav namnet mikrostruktur. Med en harmonisk struktur menas att vi har designat mikrostrukturen på så sätt att kluster av stora korn ligger insprängda i ett kontinuerligt nätverk av små korn.

Varför bemöda sig att skapa en sådan struktur? För att det ökar styrkan på materialet. Metallbaserade material finns överallt runt om oss, som till exempel armeringsjärn i byggnader, komponenter i bilar och köksredskap. Genom att utveckla starkare material kan en mindre mängd material användas för att bära samma laster utan att ge vika. Det är bra ur klimat- och energisynpunkt på två sätt. Dels minskar materialåtgången, vilket är bra i sig, och dessutom minskas vikten i motordrivna föremål, vilket minskar energiåtgången för deras drivning. Det finns många sätt att stärka metalliska material; det går att blanda grundmetaller till en legering, utföra värmebehandling av materialet eller bearbeta materialet mekaniskt. Detta gör att atomerna som materialet består av arrangerar om sig, vilket drastiskt kan ändra de mekaniska egenskaperna. Problemet är att när styrkan på materialet ökar, så minskar dess plastiska seghet. Plastisk seghet är ett mått på hur mycket ett material, efter att först ha gett vika, kan deformeras tills att det börjar spricka och gå itu. I strukturella material vill man ha ett visst mått av seghet. Om materialet är tillräckligt segt, kan man i förtid se om en komponent har överstigit sin last och åtgärda det. Ett material som saknar plasticitet kan spricka utan förvarning, vilket kan ge ödesdigra konsekvenser. Problemet kallas styrka-seghet-dilemmat. Det går inte att få det ena utan att göra avkall på det andra. Idealt sett vill man öka styrkan utan att minska segheten. Med vissa legeringar har man delvis kunnat uppnå detta genom att låta atomer från grundmetallerna fördela sig i kluster med olika sammansättning. Om man i stället är begränsad till en viss kombination av atomer som ska vara samma genom hela komponenter, är möjligheterna få.

Det är möjligt att bearbeta metallen mekaniskt så att kornstorleken minskas. Med en minskad kornstorlek ökar styrkan (definierad som flytspänning, som ska förklaras ytterligare) dramatiskt men segheten minskar likaså. En lovande metod för att överkomma dilemmat är att blanda grupper av stora och små korn. Det finns många olika sätt att arrangera grupperna av korn, varav harmonisk struktur är en.

Med en sådan struktur har det visat sig möjligt att få styrkan från de små kornen och segheten från de stora. Materialets egenskaper är alltså inte en blandning av egenskaperna från de två korngrupperna, utan genom positiva samverkanseffekter får man de bästa från vardera.

Hur materialet produceras på labbnivå beskrivs i avhandlingen, men notera att frågor som berör storskalig produktion och tillämpningsområden inte behandlas. Det är frågor för framtida forskning och utveckling. Avhandlingen handlar om att förstå mekanismerna som ger de positiva effekterna. Med god förståelse för mekanismerna kan designen optimeras ytterligare och materialet användas i praktiska tillämpningar med god säkerhet.

För att studera materialet har vi utfört dragprov. Det innebär att man töjer (drar ut) materialet och mäter vilken kraft som krävs för att göra detta. Man vet då hur mycket provbiten är töjd i genomsnitt, och om man tar provbitens dimensioner i beaktande, storleken på den genomsnittliga spänningen. Från det kan man få ut en rad övergripande värden såsom flytspänningen, den spänning som krävs för att provbiten ska gå från elastisk, reversibel deformation till plastisk, permanent deformation, samt den totala spänning och töjning som krävs för att materialet ska spricka. Värdena går att jämföra med andra material, men hjälper lite för att förstå mekanismerna. För att vidga förståelsen har vi studerat den lokala fördelningen av spänning och töjning av materialet.

Vi har använt röntgenstrålningsmetoder för att mäta snittförändringar i atomavståndet och hur dess lokala arrangemang ändras. Utifrån detta går det att uppskatta spänning och plastisk deformation lokalt i materialet. Genom att anpassa experimentuppställningarna och dataanalysmetoder efter material med harmoniska strukturer har beteendet i vissa individuella korn samt det genomsnittliga beteendet i grupperna av stora och små korn kunnat studeras. Lokala töjningar har undersökts genom att använda en teknik där små markörer sätts på provbitens yta. Ytan filmas under dragprovstestet, och utifrån markörerna förflyttning relativt varandra beräknas den lokala töjningen.

Genom att kombinera informationen från den lokala spänningen och töjningen kan följande slutsatser dras: Grupperna av stora och små korn töjs lika mycket till en början. Eftersom de stora kornen är omslutna av små korn, tvingas de stora kornen att deformeras elastiskt tillsammans med de små kornen ända tills att de små börjar deformera plastiskt. Det gör att flytspänningen i material med harmonisk struktur är högre än väntat. Därefter beter sig materialet som en kombination av material med bara stora korn och små korn var för sig, ända tills att töjningen börjar koncentrera sig i stora korn. I samband med det sker återigen positiva samverkanseffekter som gör att materialet tål mer plastisk deformation än förväntat. Varför har vi bara fått en översiktlig bild av och det ska studera vidare. Det är mest av akademiskt intresse och inte avgörande ur en praktisk synpunkt, eftersom komponenter ska vara designade så att de inte utsätts för krafter långt över flytspänningen.