

Dansk Resume

Li-ion batterier hører til blandt de mest populære batterityper på markedet takket være deres gode egenskaber i form af høj ydeevne, lav selvafladning, lille vedligeholdelse, høj energitæthed og lang levetid. Sikkerhed udgør dog fortsat en stor svaghed ved batterierne på grund af risikoen for overophedning og nedsmeltning. Den manglende sikkerhed er kommet til udtryk i ulykker med brand og eksplosioner i mobiltelefoner, elbiler, bærbare computere, robotstøvsugere og fly. Formålet med denne afhandling er at generere viden, forståelse og forsøgsmetoder, der kan øge sikkerheden i Li-ion enkeltbatterier og batterimoduler.

For at bidrage til det overordnede formål, er tre matematiske modeller udviklet i dette projekt:

1. En sammensat model til analyse af nedsmeltningsfænomener i et cylindrisk Li-ion batteri, herunder udluftning af gasser og faste stoffer. Modellen er udviklet ved at udlede ligninger til energi- og masseudnyttelse, og resultaterne er blevet sammenholdt med eksperimentelle data fra offentliggjort litteratur;
2. En simplificeret nedsmeltningsmodel til undersøgelse af nedsmeltningsmønstret i en batteripakke designet af NASA til astronauters rumdragter. En simplificeret model blev oprindeligt bygget til enkeltbatterier med en intern kortslutningsanordning (en såkaldt 'internal short circuit device' = ISCD), anvendt til at udløse nedsmeltning ved lave temperaturer. Den simplificerede, sammensatte model blev efterfølgende tilsluttet en 2D termisk finite element model for at undersøge batteripakkens design. Simplificeringen består i at implementere en betingelse for effektivitetsfaktoren i den energiligning, der skal redegøre for den energi, der udledes i gas og faste stoffer;
3. En elektrokemisk model til undersøgelse af afladningsprocessen i prismeformede batteripakker med høj ydeevne udviklet af projektets partner, Banke A/S. Batterierne blev opladet ved vekslende temperaturer, og materialets beskyttelsesevne under faseændringer undersøgt. Endvidere blev påvirkningen ved at indregne ligninger for væskestrømning analyseret. En 1D elektrokemisk model blev udviklet ved at anvende ligninger til udregning af masse, opladning og energiudnyttelse i et enkeltbatteri og tilkoblet en 2D termisk model.

Ved sammenligning af tryk, temperatur, dampkvalitet og massetab viste resultaterne fra udluftningsmodellen god overensstemmelse med de analytiske beregninger med en afvigelse på 3,5%. Sammenholdt med de eksperimentelle data blev det konstateret, at modellen forudsagde energimængden målt eksperimentelt ved diverse opladningsniveauer med en afvigelse på 1,75%. Udluftningsmodellen er den eneste model, der ifølge offentliggjort litteratur i detaljer kan analysere samtlige faser af nedsmeltning i et cylindrisk batteri.

Resultaterne fra den simplificerede nedsmeltningsmodel viste, at når man tilføjer en effektivitetsfaktor i modelleringen af batterierne ved hjælp af en intern kortslutnings anordning, opnår man, at maksimumtemperaturen forudsagt af modellen svarer til maksimumtemperaturen målt eksperimentelt. Ved at anvende den simplificerede model og koble den til en 2D model af batteriet, viste modellen god overensstemmelse med de eksperimentelle data med en mindre afvigelse på 5 til 10 °C ved

maksimumtemperaturer. Den simplificerede model er den eneste model, der ifølge offentliggjort litteratur kan modellere den interne kortslutnings anordning udviklet af NASA og deres partnere.

Den tredje (elektrokemiske) model blev oprindeligt valideret eksperimentelt og blev fundet i god overensstemmelse med de eksperimentelle data. Resultaterne viste, at ved at tilføje faseændringsmateriale omkring enkeltbatterierne i en pakke og ved at aflade batterierne ved ekstreme temperaturer, opnås ingen betydelige forbedringer. Det blev konstateret, at ved lave temperaturer fungerer luft bedre end faseændringsmateriale.