



Thermische Charakterisierung von Edelstahl 1.4301: Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität

Dorothea Stobitzer, Applications Laboratory Selb

Einleitung

Die Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität (c_p) von Edelstahl 1.4301 ist entscheidend für das Verständnis seines thermischen Verhaltens unter realen Einsatzbedingungen. Sie liefert grundlegende Materialdaten, die für die Auslegung und Optimierung thermischer Prozesse in der Industrie unerlässlich sind. Typische Anwendungsfelder umfassen den Anlagenbau, die Verfahrenstechnik sowie die Lebensmittel- und Chemieindustrie, in denen Edelstahl häufig als Konstruktionswerkstoff eingesetzt wird. Insbesondere bei Anwendungen mit zyklischer oder transientscher Temperaturbelastung ist eine präzise Kenntnis der Wärmespeicherfähigkeit von großer Bedeutung. Dadurch können thermische Simulationen realistischer gestaltet und die Betriebssicherheit sowie Effizienz von Komponenten verbessert werden.

DSC- c_p -Bestimmung

Die Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität (c_p) mittels DSC erfolgt in der Regel über eine vergleichende Messmethode mit Referenzmaterial (beispielsweise nach DIN EN ISO 11357).

Zunächst wird an der DSC eine geeignete Kalibrierung durchgeführt (typischerweise Temperaturkalibrierung). Jede Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität eines Materials besteht aus drei Messungen, der Basislinie, einer Saphirreferenzprobe und der Probe selbst und kann nach der folgenden Gleichung berechnet werden.

$$c_p = \frac{\text{Signalunterschied (Probe – Basislinie)}}{\text{Probenmasse} \cdot \text{Heizrate} \cdot \text{Empfindlichkeit}}$$

Alle Messungen erfolgen unter definierter Heizrate in Schutzgasatmosphäre, um reproduzierbare Bedingungen sicherzustellen. Die c_p -Bestimmung wird in einem

definierten Temperaturbereich durchgeführt. Dabei sind stabile Basislinien sowie eine hohe Reproduzierbarkeit der Messbedingungen unerlässlich.

Während der Messung registriert die DSC den Wärmestrom als Funktion der Temperatur. Bei der Berechnung der spezifischen Wärmekapazität wird berücksichtigt, wie viel Wärmeenergie die Probe im Vergleich zum Standardmaterial aufnimmt. Phasenübergänge oder Reaktionen in der Probe können die Auswertung beeinflussen. Phasenübergänge zweiter Ordnung, beispielsweise Glasübergänge, müssen daher berücksichtigt werden, während Phasenübergänge erster Ordnung, etwa Schmelzvorgänge, auszuschließen sind.

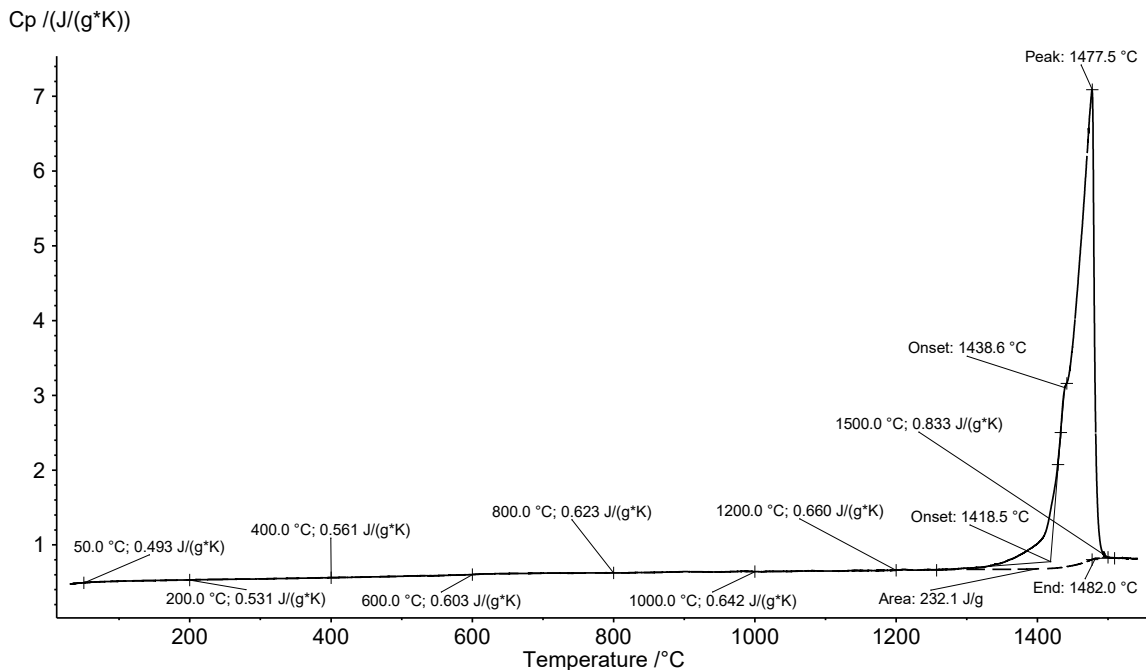
Das Ergebnis liefert die temperaturabhängige scheinbare* spezifische Wärmekapazität der Probe und kann zur Materialcharakterisierung oder zur weiteren thermophysikalischen Berechnung verwendet werden. Die genauen Messbedingungen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 DSC-Messparameter

Messkopf	DSC- c_p der DSC 500 Pegasus®
Ofen	Rhodium
Tiegel	Pt/Rh-Tiegel mit Deckel (mit Al ₂ O ₃ -Liner)
Probenthermoelement	Typ S
Spülgas	Ar (70 ml/min)
Temperaturprogramm	<ul style="list-style-type: none">• Isotherme bei 25 °C für 15 min• dynamisches Segment: 25 °C bis ~1550 °C mit einer Heizrate von 20 K/min für 10 min• Isotherme bei 1550 °C für 10 min
Probenmasse	140,952 mg
Kalibrierstandard	Saphir (83,265 mg)

*Die scheinbare spezifische Wärmekapazität ist ein Begriff aus der Thermodynamik, der verwendet wird, um das thermische Verhalten von Stoffen zu beschreiben, die während eines Aufheiz- oder Abkühlvorgangs Phasenumwandlungen durchlaufen (z.B. Schmelzen, Verdampfen).

APPLICATIONNOTE Thermische Charakterisierung von Edelstahl 1.4301: Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität



1 Scheinbare spezifische Wärmekapazität von Edelstahl 1.4301

Ergebnisse und Diskussion

Die dargestellte Messkurve (Abbildung 1) zeigt die temperaturabhängige scheinbare spezifische Wärmekapazität (c_p) des Edelstahls 1.4301 im Bereich von Raumtemperatur bis ca. 1550 °C. Zu Beginn und im Verlauf (bis ca. 1200 °C) zeigt das Material wie erwartet ein weitgehend stabiles Verhalten mit geringfügiger Zunahme der c_p -Werte. Die gemessenen Werte liegen hier im Bereich von etwa 0,49 bis 0,66 J/(g·K). Ab etwa 1400 °C ist ein deutlicher Anstieg der c_p -Kurve zu erkennen. Der Onset der Umwandlung liegt bei ca. 1418 °C, während ein ausgeprägter endothermer Effekt bei 1477,5 °C beobachtet wird. Dieser starke Peak ist typisch für einen Phasenübergang erster Ordnung und weist auf den Schmelzvorgang des Materials hin. Im Bereich der Schmelzreaktion wird zusätzlich Energie für die Umwandlung des festen in den flüssigen Zustand benötigt (latente Wärme), was sich in dem stark erhöhten scheinbaren c_p -Wert und der breiten Peakstruktur widerspiegelt. Im Bereich des Schmelzübergangs ist c_p aufgrund der latenten Wärme des Phasenübergangs nicht immer eindeutig definiert.

Die Integration des Peaks ergibt eine Umwandlungsenthalpie von ca. 232 J/g, was die energetische Signatur des Schmelzprozesses darstellt. Der Endpunkt der Umwandlung liegt bei etwa 1482 °C, ab dem das Material vollständig im flüssigen Zustand vorliegt.

Zusammenfassung

Die Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität liefert umfassende thermophysikalische Informationen, die für die Materialcharakterisierung und die Prozessentwicklung von großer Bedeutung sind. Ein zentraler Vorteil ist, dass dadurch das vollständige thermische Verhalten über einen sehr großen Temperaturbereich erfasst wird – einschließlich Festkörperbereich, Phasenumwandlungen und Schmelzvorgang. Dadurch lassen sich konsistente Datensätze für Größen wie c_p , Enthalpie und Schmelzenthalpie ohne Datenlücken erstellen. Zudem ermöglicht die Messung bis in die Schmelze eine eindeutige Identifizierung und Quantifizierung von Phasenübergängen, insbesondere der Schmelztemperatur und der zugehörigen latenten Wärme, was für Legierungen wie Edelstahl 1.4301 besonders relevant ist. Diese Daten können direkt in thermische Simulationen (z. B. Guss- oder Hochtemperaturprozesse) einfließen und erlauben so realitätsnahe Modellierungen von Aufheiz-, Schmelz- und Erstarrungsvorgängen.

Mit der DSC 500 *Pegasus*® lassen sich präzise c_p -Messungen über einen breiten Temperaturbereich durchführen. Die hohe Empfindlichkeit des Systems sowie stabile Messbedingungen ermöglichen eine zuverlässige Bestimmung thermophysikalischer Materialeigenschaften selbst bei anspruchsvollen Hochtemperaturanwendungen.