PyRoll Integral Thermal Model Documentation

Max Weiner

February 14, 2022

1 Im Walzstich

Im Walzstich treten andere Wärmeübergangsmechanismen als auf Transportstrecken auf. Konvektion und Strahlung sollen hier ob der kleinen freien Oberflächen, der geringeren Übergangskoeffizienten und der kurzen Zeiten des Durchtritts durch den Walzspalt als vernachlässigbar angesehen werden. Dagegen tritt Wärmeübergang durch metallischen Kontakt mit den Walzen, sowie Wärmegenerierung durch Umformung auf. Die Temperaturänderung entlang im Walzstich ergibt sich also zu

$$\Delta T = \Delta T_\mathrm{U} + \Delta T_\mathrm{C} \tag{1}$$

Die einzelnen Beiträge werden im folgenden erläutert.

1.1 Umformung

Die Umformleistung wird zum einen in der Mikrostruktur des Werkstoffes gespeichert, zum weit größeren Teil aber als Wärme dissipiert. Überschlägig kann ein dissipierter Anteil von 95 % angesetzt werden. $k_\mathrm{f}$ist der Umformwiderstand, welcher zum einen von der Fließspannung des Werkstoffes, zum anderen von der Geometrie des Walzspaltes abhängig ist. $\Delta\varphi_\mathrm{V}$ ist die Formänderung im Walzstich.

$$\Delta T_\mathrm{C} = 0.95 \frac{k_\mathrm{f} \Delta\varphi_\mathrm{V}}{\rho c_\mathrm{p}} \tag{2}$$

1.2 Kontakt

Über die gedrückte Fläche $A_\mathrm{d}$geht Wärme vom Walzgut in die Walzen mit der Temperatur $T_\mathrm{R}$über. Der Koeffizient $\alpha_\mathrm{C}$fällt hier weit höher als bei Konvektion aus, ugf. $2000\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-1}}$ to $6000\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-1}}$. Das Volumen des Walzgutes im Walzspalt wird hierbei zu $V = L_\mathrm{d}\left(A_\mathrm{P0} + A_\mathrm{P1}\right)/2$ angenommen.

$$\Delta T_\mathrm{C} = \frac{\alpha_\mathrm{C} A_\mathrm{d} \left(T - T_\mathrm{R}\right) t}{V \rho c_\mathrm{p}} \tag{3}$$

2 Auf Transportstrecken

In den Zwischenräumen zwischen den Gerüsten sowie auf Kühlstrecken kühlt das Walzgut durch Wärmeabgabe an die Umgebung aus. Diese Bereiche sollen hier als Transport bezeichnet werden. Dabei treten 3 hauptsächliche Mechanismen des Wärmeübergangs auf: Kovektion, Wasserkühlung und Strahlung. Die Temperaturänderung entlang der Transportstrecke ergibt sich also zu

$$\Delta T = \Delta T_{\mathrm{K}} + \Delta T_{\mathrm{W}} + \Delta T_{\mathrm{S}} \tag{4}$$

Die einzelnen Beiträge werden im folgenden erläutert.

2.1 Konvektion

Wärmeübergang durch Konvektion bzw. durch direkten Kontakt mit der Atmosphäre wird über ein einfaches Wärmeübergangskoeffizientenkonzept modelliert. Benötigte Eingabewerte sind der Koeffizient α_{K}und die Umgebungstemperatur T_∞. Überschlägig kann $\alpha_{\mathrm{K}} \approx 15\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-1}}$ angenommen werden. A_{P}ist der Profilquerschnitt, u_{P}dessen Umfang. Die für den Transport benötigte Zeit $t$ist ein Eingabewert.

$$\Delta T_{\mathrm{K}} = \frac{\alpha_{\mathrm{K}} u_{\mathrm{P}} \left(T - T_\infty\right) t}{A_{\mathrm{P}} \rho c_{\mathrm{p}}} \tag{5}$$

2.2 Wasserkühlung

Die Wasserkühlung wird ebenso über einen Wärmeübergangskoeffizienten α_{W}modelliert, aber getrennt betrachtet da sich der Koeffizient von dem der Konvektion unterscheidet und die Wassertemperatur T_{W}im allgmeinen ungleich T_∞ist.

$$\Delta T_{\mathrm{W}} = \frac{\alpha_{\mathrm{W}} u_{\mathrm{P}} \left(T - T_{\mathrm{W}}\right) t}{A_{\mathrm{P}} \rho c_{\mathrm{p}}} \tag{6}$$

2.3 Strahlung

Das Stefan-Boltzmann-Strahlungsgesetz ist im Unterschied zu den anderen beiden Ansätzen nichtlinear. Die Strahlungsleistungs ändert sich mit der vierten Potenz der Temperatur. $\sigma_{\mathrm{B}} = 5.6704\,\mathrm{W/m^2/K^4}$ ist die Stefan-Boltzmann-Konstante, ϵ_{B}der relative Strahlungskoeffizient.

$$\Delta T_{\mathrm{S}} = \frac{u_{\mathrm{P}} \epsilon_{\mathrm{B}} \sigma_{\mathrm{B}} \left(T^4 - {T_\infty}^4\right)}{A_{\mathrm{P}} \rho c_{\mathrm{p}}} \tag{7}$$